

INFORME ANUAL CIESOL 2012

CIESOL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR
CENTRO MIXTO UAL-PSA-CIEMAT



Centro de Investigación de la Energía Solar
Centro Mixto UAL-PSA-CIEMAT



CIESOL

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



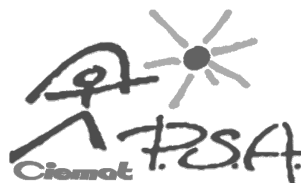
SOLAR ENERGY RESEARCH CENTER

JOINT INSTITUTE UAL-CIEMAT

Título del documento:

INFORME DE ACTIVIDADES CIESOL 2012

CIESOL ANNUAL REPORT 2012



CIESOL es un centro estable de carácter público, sin personalidad jurídica propia, dotada 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-2012-Dirección-01

Nº de páginas: 105

Revisión: A

Fecha: 15 Abril 2013

Autor(s): Dr. Antonio Romerosa (UAL)
Dr. Christoph Richter (DLR-PSA)
Dr. José A. Sánchez (UAL)
Dr. Manuel I. Maldonado (CIEMAT)
Dr. Manuel Berenguel (UAL)
Dr. Luís Yebra (CIEMAT)

Dr. Javier Batlles (UAL)
Dra. Mª José Jiménez (CIEMAT)
Dr. Manuel Pérez (UAL)
Dr. Amadeo R. Fernández-Alba (UAL)
Dr. Sixto Malato Rodríguez (CIEMAT)

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ACTIVIDADES DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR (CIESOL)	4
2.1 ACTIVIDADES EN ORGANOMETÁLICA Y FOTOQUÍMICA	4
2.1.1 Líneas estratégicas del grupo	4
2.1.2 Investigadores principales del grupo	4
2.1.3 Miembros del grupo	5
2.1.4 Síntesis y caracterización de polímeros polimetálicos solubles en agua. Estudio de sus propiedades químicas, físicas y actividad fotocatalítica en agua	6
2.1.5 Sistemas polimetálicos poliméricos derivados de las fosfinas solubles en agua PTA y DMOPTA	8
2.2 ACTIVIDADES EN TRATAMIENTO DE AGUAS	10
2.2.1 Líneas estratégicas del grupo	10
2.2.2 Investigadores principales del grupo	10
2.2.3 Miembros del grupo	12
2.2.4 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)	12
2.2.5 Desarrollo de nuevas estrategias basadas en fotocátalisis solar para la regeneración de aguas depuradas (FOTOREG)	16
2.2.6 Combinación de tecnologías intensivas para la mejora de la calidad de los efluentes acuosos en PYMES. Diseño de un proceso integrado (AQUAPYME)	22
2.2.7 Regeneración mediante energía solar de las aguas residuales de la guardería de la universidad de Almería.	26
2.2.8 Optimización del proceso de tratamiento de aguas ácidas mediante membranas (ósmosis inversa)	27
2.2.9 Aplicación de la energía solar térmica a la desalación	28
2.2.10 X Reunión de la mesa española de tratamiento de aguas (META 2012)	29
2.2.11 Otros	30
2.3 ACTIVIDADES EN MODELADO Y CONTROL AUTOMÁTICO	31
2.3.1 Líneas estratégicas del grupo.	31
2.3.2 Investigadores principales del grupo	31
2.3.3 Miembros del grupo	32
2.3.4 Estrategias de control no lineal con compensación de retardo en plantas de generación de energía solar	33
2.3.5 Estrategias de control y supervisión para la gestión integrada de instalaciones en entornos energéticamente eficientes	37
2.3.6 Simulación y control de instalaciones termosolares de captadores cilindroparabólicos en aplicaciones industriales y de refrigeración	42

2.4 ACTIVIDADES EN EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR	47
2.4.1 Líneas estratégicas del grupo.	47
2.4.2 Investigadores principales del grupo	47
2.4.3 Miembros del grupo	48
2.4.4 Predicción a corto plazo de la nubosidad utilizando técnicas de teledetección y de tratamiento de imágenes	48
2.4.5 Predicción de nubes sobre el campo de colectores solares de la planta GEMASOLAR	51
2.4.6 Optimización para la industrialización de la predicción de nubes en campos solares	53
2.5 ACTIVIDADES EN QUÍMICA AMBIENTAL	56
2.5.1 Líneas estratégicas del grupo	56
2.5.2 Investigadores principales del grupo	56
2.5.3 Miembros del grupo	58
2.5.4 Tratamiento y reutilización de aguas residuales para una gestión sostenible. (TRAGUA)	58
2.5.5 Desarrollo de nuevas estrategias basadas en fotocátalisis solar para la regeneración de aguas depuradas (FOTOREG)	63
3. PROYECTO SINGULAR ESTRATÉGICO: ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y FRÍO SOLAR (PSE-ARFRISOL)	66
3.1 INTRODUCCION	66
3.2 ACTIVIDADES EN MODELADO, CONTROL AUTOMÁTICO Y MONITORIZACIÓN:	68
3.3 ACTIVIDADES EN FRÍO SOLAR E INSTALACIONES TÉRMICAS:	71
3.4 PUBLICACIONES RELACIONADAS	73
4. INFRAESTRUCTURAS CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS DEL CENTRO	75
4.1 UNIDAD TÉCNICA	75
4.2 INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS DEL AREA DE APROVECHAMIENTO QUÍMICO DE LA ENERGÍA SOLAR	78
4.3. INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS DEL AREA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA ENERGÍA SOLAR	86
5. MASTER EN ENERGÍA SOLAR.	101
6. ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIA.	103
7. COMITÉS Y RESPONSABLES DE ACTIVIDADES.	104
7.1 DIRECCIÓN DEL CENTRO	104
7.2 RESPONSABLES DE ACTIVIDADES	104
7.3 COMITÉ DE COORDINACIÓN	105
7.4 COMITÉ CIENTÍFICO	105

1. INTRODUCCIÓN

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: organometálica y fotoquímica, tratamiento de aguas, química ambiental, modelado y control automático de instalaciones solares, domótica orientada a la eficiencia energética, frío solar y 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 que agrupan a los investigadores de las áreas temáticas específicas 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 las actividades y producción científica de sus diferentes unidades funcionales. En cuanto a su financiación, se cuenta con la asignación específica vinculada a los propios proyectos y contratos y con una aportación fija anual asumida de forma igualitaria por ambas instituciones para los gastos corrientes y de funcionamiento del centro.

A lo largo del año 2012, el número de investigadores vinculados al centro que ha participado en los proyectos y contratos adscritos al mismo ha sido 50, 30 de ellos doctores y 20 no doctores. De estos 50 investigadores, 23 han estado ubicados de forma permanente en sus laboratorios y despachos. El centro cuenta con dos puestos técnicos financiados gracias por el Subprograma Personal Técnico de Apoyo (PTA) del Plan Nacional de Investigación que 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 último puesto técnico se ha incorporado al centro a lo largo del ejercicio 2012.

Los proyectos de investigación en desarrollo han sido en total 17, 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 4, destacando por su número e inversión realizada los correspondientes a la empresa Torresol Energy O&M, S.L.

Las actividades de investigación han permitido también la lectura de 3 tesis doctorales y la participación en 20 congresos y reuniones científicas, de ellas 11 internacionales. La producción científica vinculada a las investigaciones del centro ha sido de 1 patente, 40 artículos en revistas SCI, de los cuales 33 de ellos

están ubicadas en revistas de primer cuartil en sus respectivas áreas, 2 capítulos de libros internacionales, 29 artículos en congresos internacionales y 9 artículos en congresos nacionales.

El programa de difusión y transferencia tecnológica ha cubierto un total de 18 actividades específicas incluyendo soporte en programas formativos externos y recepción de visitas institucionales y de empresas.

A lo largo de 2012 ha tenido lugar también la 6ª edición del master propio de la UAL Master CIESOL en Energía Solar y 2 cursos especializados vinculados a proyectos de investigación, el primero sobre modelado de fotobiorreactores y el segundo sobre simulación dinámica de instalaciones solares en aplicaciones industriales.

En este periodo se han solicitado, en colaboración con universidades y centros españoles y europeos 4 proyectos en convocatorias internacionales, dos en el ámbito del 7º Programa Marco y 2 en el ámbito de cooperación euro-mediterránea.

Como hitos a destacar en este resumen se incluyen por último los siguientes:

- Organización de la reunión bianual de la Red META "Mesa Española de Tratamiento de Aguas" en su décima edición por la unidad de Tratamiento de Aguas del centro. Se ha celebrado del 4 al 6 de octubre de 2012 en el Hotel Barceló Cabo de Gata, Retamar. La reunión ha contado con la participación de unos 130 asistentes representando a instituciones de 13 de las 17 comunidades autónomas del estado.
- Participación de 4 investigadores del centro por invitación de la Fundación para la Innovación Agraria del Ministerio de Agricultura de Chile en el "Seminario de Energía Solar para la Agricultura y la Agroindustria" en Cocón-Mantagua el 20 de noviembre de 2012. Con posterioridad a este seminario, se realizó un encuentro con el equipo directivo y técnicos de la fundación en su sede en Santiago de Chile para establecer estrategias de colaboración y asesoramiento en el ámbito de las aplicaciones de la energía solar en la agricultura.

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 Almeria 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-storey 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 2012, approximately 50 researchers (30 doctors and 20 non-doctors) conducted their research in collaboration with CIESOL on different research projects and contracts. It is worth mentioning that 23 out of the 50 researchers were working full-time in the CIESOL building using its present infrastructure, laboratories and offices. CIESOL also employs two technicians, one who has worked at the center for some time and the other hired in June 2012. 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 2012, 17 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 4 contracts realised with companies and agencies, highlighting the corresponding investment and transfer of knowledge to the private sector and society in general. One of the most important was the collaboration with Torresol Energy O & M, SL. Research activities carried out during 2012 allowed 3 different dissertations to be defended and participation in 24 conferences and scientific meetings, of which 17 were international. The principal research results from CIESOL in 2012 were published, or are to be published, in international science journals. There were a total of 40 articles in SCI journals and 2 international book chapters. With the main goal of transferring its knowledge to the private sector and society, CIESOL organized a total of 18 specific activities including external training programs and hosting institutional and corporate visits. Throughout 2012, CIESOL also collaborated in organizing the 6th edition of the Masters in Solar Energy and 2 specialized courses related to research projects conducted at the center: the first related to photobioreactor modelling and the second to dynamic simulation of solar installations in the industrial sector. Over this period, we elaborated 4 different research proposals within international calls, in collaboration with various Spanish and European universities, two in the field of FP7 and two in the field of Euro-Mediterranean cooperation.

The principal aims that should be highlighted are as follows:

Organization of the biannual meeting of the META Network "Spanish Mesa Water Treatment" in its tenth edition conducted by CIESOL's Water Treatment Group. It was held from 4th to 6th October, 2012 at the Hotel Barceló, Cabo de Gata, Retamar. The meeting was attended by 130 participants representing institutions from 13 out of 17 Spanish regions.

Participation of four of CIESOL's researchers invited by the Foundation for Agrarian Innovation at the Chilean Ministry of Agriculture in the "Seminar on Solar Energy and Agriculture Agribusiness" in Cocón-Mantagua on November 20, 2012. Following this seminar, there was a meeting with the directive team and the Foundation's technicians with the main goal of establishing collaborative strategies between both countries in the field of solar energy applications in agriculture.

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

2.1 ACTIVIDADES EN ORGANOMETÁLICA Y FOTOQUÍMICA

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.

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 105 artículos internacionales, 11 patentes españolas e internacionales y más de 190 presentaciones en congresos nacionales e internacionales. Ha sido responsable de más de 16 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 105 international refereed papers, 11 Spanish and international patents and made more than 190 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

- Franco Scalambra
- Antonio Manuel Romerosa Nieves
- Sonia Mañas Carpio
- Nazira Jadagayeva
- Luis Manuel Aguilera Sáez
- Manuel Serrano Ruiz
- Cristóbal Saraiba Bello

2.1.4 Síntesis y caracterización de polímeros polimetálicos solubles en agua. Estudio de sus propiedades químicas, físicas y actividad fotocatalítica en agua

Participantes:

Grupo de Inv. "Química de Coordinación Organometálica y Fotoquímica" (CIESOL, Univ. de Almería)

Contactos:

Romerosa Nievas (romerosa@ual.es)

Christoph Richter (christoph.richter@dlr.de)

<http://www.ual.es/GruposInv/FQM-317/>

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía, Proyecto de Excelencia. P07-FQM-03092

Duración prevista:

Febrero 2008 - Enero 2012

Situación:

Finalizado

Antecedentes:

Desde hace años se está investigando los agregados supramoleculares debido a sus importantes propiedades (sensores, máquinas moleculares, materiales sensibles a pequeños estímulos físicos y/o químicos, etc). Los agregados supramoleculares se obtienen por ensamblaje o autoagregación de pequeñas moléculas orgánicas o inorgánicas. A pesar de los grandes avances en esta rama de la ciencia hasta hace muy poco tiempo no se conocían polímeros metálicos solubles o compatibles con agua. El primer ejemplo fue presentado por nuestro grupo.

Objetivos:

Se pretenden desarrollar nuevos catalizadores compatibles con agua que además sean capaces de mediar de síntesis orgánica inducida mediante luz solar. Dichos catalizadores permitirían obtener compuestos químicos con bajo impacto ambiental y energético al usar agua como disolvente, poder reutilizar el catalizador, fácil separación de los productos y el uso de la radiación solar como fuente de energía.

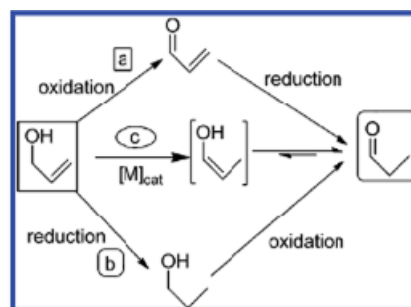


Fig. 2.1.4.1. Mecanismo de isomerización de alcoholes alílicos

Resultados durante 2012:

Durante este año se ha continuado profundizando las tareas propuestas en el proyecto:

- se han investigado nuevos sistemas para la isomerización catalítica en agua de alquenos mediante luz visible a temperaturas próximas a la ambiente;
- El proceso para la oxidación de moléculas orgánicas ha sido patentado a nivel europeo, estando en la actualidad investigándose el mecanismo del mismo;
- se han obtenido nuevos complejos organometálicos que son activos en catálisis en fase homogénea tanto con luz como sin la misma.

A pesar de los interesantes resultados obtenidos no se han publicado, aunque ya en 2013 se han comenzado a enviar artículos como el recientemente aceptado Dalton Trans. de título: Catalytic isomerization of allylic alcohols in water by $[\text{RuClCp}(\text{PTA})_2]$, $[\text{RuClCp}(\text{HPTA})_2]\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{RuCp}(\text{DMSO-kS})(\text{PTA})_2]\text{Cl}$, $[\text{RuCp}(\text{DMSO-kS})(\text{PTA})_2](\text{OSO}_2\text{CF}_3)$ and $[\text{RuCp}(\text{DMSO-kS})(\text{HPTA})_2]\text{Cl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (PTA = 1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane; HPTA = 1-H-1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane).

Abstract:

The isomerization of allylic alcohols in water, catalytically mediated by watersoluble metal complexes, is an elegant synthetic procedure for obtaining carbonyl compounds in a completely atom-economical eco-benign process with useful applications in natural product synthesis and bulk chemical processes. This overview aims to provide a view of the goals attained in catalyzed allylic alcohol isomerization in water and its promising applications.

Patentes:

AUTORES: Antonio Manuel Romerosa Nieves
TÍTULO: Procedimiento y catalizador para la oxidación selectiva de grupos aldehído
SOLICITUD DE APLICACIÓN: P2010-00665 (11/05/2010)
N.º DE REGISTRO: ES 2371718 A1 AÑO: 09/01/2012
ENTIDAD TITULAR: Universidad de Almería
PAISES: España. Europe

Publicaciones:Revistas:

- Lorenzo-Luis, P.; Romerosa, A.; Serrano-Ruiz, M., Catalytic isomerization of allylic alcohols in water. *ACS Catalysis* 2012, 2 (6), 1079-1086.

Congresos:

- Hajji, L., Saraiba, C., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, M. Water soluble ruthenium complexes containing PTA and mPTA against natural purine bases: novel purine coordination sites to ruthenium. *9th European Workshop on Phosphorus Chemistry*, March 22-23, 2012, Rennes, France. P 57. PP 99.
- Romerosa, A., Aguilera, L., Serrano-Ruiz, M., Scalambra, F., Lorenzo-Luis, P. Catalytic Isomerization Of Allylic Alcohols By Heterometallic Complexes $[\text{RuCpCl}(\text{PPh}_3)\text{-}\mu\text{-dmoPTA-MCl}_2]$ (M = Co, Ni, Zn). *XXV International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC XXV)*, September 2-7, 2012, Lisbon Portugal. PA.93
- Serrano-Ruiz, M., Lorenzo-Luis, P., Mena-Cruz, A., Romerosa, A. Isomerización de Alcoholes Alílicos en agua catalizada por $[\text{RuClCp}(\text{PTA})_2]$ (PTA = fosfaadamantanofosfina). *XXX Reunión del grupo especializado en Química Organometálica*. 12-14 de junio de 2012, Castellón. PO77.

Tesis Doctoral

- Nazira Jadagayeva. Síntesis de dímeros de Ru (II) como precursores de complejos poliheterometálicos solubles en agua: estudio de sus propiedades fotoquímicas y físicas. Tesis doctoral dirigida por A.M. Romerosa Nieves y M. Serrano Ruíz.

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

Participantes:

Grupo de Inv. "Química de Coordinación, Organometálica y Fotoquímica" (CIESOL, Univ. de Almería)

Contactos:

A. Romerosa Nievas (romerosa@ual.es)
 Christoph Richter (christoph.richter@dlr.de)
 www.ual.es/GruposInv/FQM-317

Fuente de financiación:

MEC CTQ-2010-20952

Duración prevista:

Enero 2011- Diciembre 2013

Situación:

Segundo año

Antecedentes:

El objetivo del proyecto es la síntesis de nuevos polímeros-heteropolimetálicos solubles en agua, los cuales pueden presentar nuevas propiedades en agua y en estado sólido ya que combinan diversos tipos de átomos metálicos y ligandos en una misma unidad polimérica. Entre las posibles propiedades de estos compuestos destacan su posible actividad frente a la luz solar lo que les permitiría mediar reacciones de síntesis de alto valor añadido, usando como fuente de energía la luz solar. Del esfuerzo realizado se han obtenido muchos resultados pero se están publicando en 2013.

Objetivos:

Se pretende el desarrollo generalizado de nuevos polímeros hetero-polimetálicos solubles en agua.

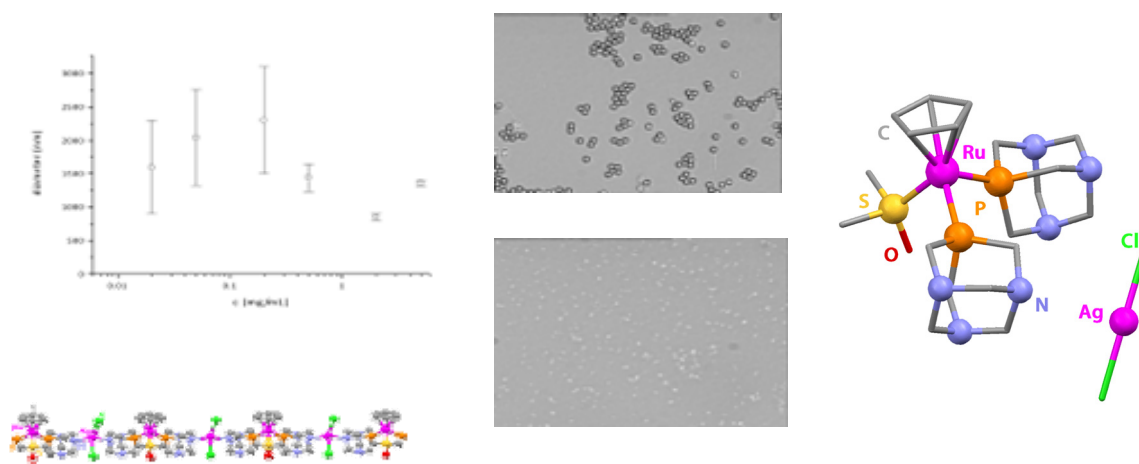
Resultados durante 2012:


Fig. 2.1.5.1. Polímeros polimetálicos y su comportamiento en agua

El 2012 ha sido muy positivo para este proyecto ya que se han obtenido nuevos y muy interesantes polímeros poliheterometálicos con propiedades novedosas. El trabajo aún continúa por lo que no se han producido publicaciones todavía, no obstante en 2013 se pretenden publicar los primeros resultados, que

hasta ahora sólo se han presentado a congresos. Un ejemplo de nuevos polímeros polimetálicos y de su comportamiento en agua se puede ver en la figura 2.1.5.1.

Abstract:

The aim of the project is the synthesis of new water soluble hetero-polymetallic polymers, these ones can introduce new physical and chemical properties in water and in the solid state because they combine various types of metal atoms and ligands in a single polymer unit. Among the possible properties of these compounds include their potential activity towards sunlight. The effort is now far behind those in the publishing process for this year 2013

Results for 2012:

2012 has been very positive for this project as they have obtained new and interesting poliheterometallics polymers with novel properties. The work continues, so there were no publications yet, however in 2013 it intended to publish the first results which until now have only been presented at conferences. An example of new polymetallic polymers and their behavior in water can be seen in the figure 2.1.5.1.

Congresos:

- Scalambra, F., Jadagayeva, N., Aguilera, L.M., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A. {{{(PTA)₂CpRu-CN-RuCp(PTA)₂}}-ML_x}}_n: new water soluble organometallic polymers (PTA = 1,3,5-Triaza-7-Phosphaadamantane). *9th European Workshop on Phosphorus Chemistry*, March 22-23, 2012, Rennes, France. OC 26. PP 35.
- Aguilera-Sáez, L.M., Scalambra, F., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A., Lorenzo-Luis, P. Synthesis of water soluble heterometallic complexes including the moiety {RuCpCl(PPh₃)-dmoPTA} (dmoPTA = 3,7-dimethyl-1,3,7-triaza-5-phosphabicyclo[3.3.1]nonane). *9th European Workshop on Phosphorus Chemistry*, March 22-23, 2012, Rennes, France. P 2. pp 43.
- Romerosa, A., Serrano-Ruiz, M., Scalambra, F., Jadagayeva, N., Aguilera, L. Organo-heterometallic polymeric complexes containing PTA. *XXV International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC XXV)*, September 2-7, 2012, Lisbon Portugal. S4.4. Satellite lecture.
- Romerosa, A., Scalambra, F., Jadagayeva, N., Serrano-Ruiz, M., Aguilera, L. Water soluble organo-heterometallic polymeric complexes containing 3,5,7-triaza-phosphaadamantane (PTA). *40 International Conference on Coordination Chemistry (ICCC40)*, September 9-13, 2012, Valencia, Spain. MS.C3.P.486; C359.
- Scalambra, F., Jadagayeva, N., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A. {{{(PTA)₂CpRu-μ-CN-RuCp(PTA)₂}}-μ-MCl₃}}_n (M= Co, Ni, Cd): Nuevos Miembro de la Familia de Complejos Poliheterometálicos Solubles en Agua. *15ª Reunión Científica Plenaria de Química Inorgánica/9ª Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido*. 1-4 de Julio de 2012, Gerona. PSII-100, PP 153.

2.2 ACTIVIDADES EN TRATAMIENTO DE AGUAS

2.2.1 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*

2.2.2 Investigadores principales del grupo

José Antonio Sánchez Pérez

Catedrático de Universidad. Departamento de Ingeniería. Químico Industrial (1988) y Doctor en Ciencias Químicas (1992) por la Universidad de Granada. Investigador responsable del grupo "Ingeniería de bioprocesos y tecnologías del agua" del Plan Andaluz de Investigación. Ha participado en trece proyectos de I+D de ámbito nacional e internacional, liderando seis 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. Coautor de cuatro patentes y más de ochenta publicaciones científicas en revistas internacionales, entre las que destaca en los dos últimos años: Science of the Total Environment. 409: 4141-4166 (2011); Journal of Hazardous Materials. 186:1924-1929 (2011); Applied Catalysis B: Environmental. 104 (3-4): 316-323 (2011); Applied Catalysis B: Environmental. 119-120: 132-138 (2012); Journal of Hazardous Materials. 237-238: 223-230 (2012); Water Research. 46 (18): 6154-6162 (2012).

José Antonio Sánchez Pérez

Full Professor, Department of Engineering, Degree in Chemical Engineering by Univ. of Granada (1988); PhD by the Univ. of Granada (1992). Head of the group "Bioprocess Engineering and water technologies". He has involved in 13 research projects (European and Spanish projects) and has leaded 6 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. Scientific production summary: 80 peer-reviewed international publications. Highlighted papers in the last two years: Science of the Total Environment. 409: 4141-4166 (2011); Journal of Hazardous Materials. 186:1924-1929 (2011); Applied Catalysis B: Environmental. 104 (3-4): 316-323 (2011); Applied Catalysis B: Environmental. 119-120: 132-138 (2012); Journal of Hazardous Materials. 237-238: 223-230 (2012); Water Research. 46 (18): 6154-6162 (2012)

Manuel Ignacio Maldonado Rubio

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, 11 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 9 libros en Editorial Internacional, co-autor de 71 publicaciones en revistas científicas internacionales con índice de impacto (factor h=27), más de 90 contribuciones a Congresos y Simposiums internacionales y diversas contribuciones a congresos nacionales.

Manuel Ignacio Maldonado Rubio

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: 71 paper-reviewed international publications (h index 27), co-author of 3 books as well as 9 chapters in others, 90 communications to international congresses and 4 communications to national congresses. He has involved in 11 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.

2.2.3 Miembros del grupo

- José Antonio Sánchez Pérez
- Antonia Pilar Fernández Ibáñez
- José Luis García Sánchez
- Isabel María Román Sánchez
- Lucas Santos-Juanes Jordá
- María Inmaculada Polo López
- Elisabet Ortega Gómez
- Gracia Rivas Ibáñez
- Manuel Ignacio Maldonado Rubio
- José Luis Casas López
- Isabel Oller Alberola
- María de la Menta Ballesteros Martín
- Ana Belén Esteban García
- Alejandro Cabrera Reina
- Irene Carra Ruiz



2.2.4 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" (CIESOL, Univ. de Almería)
- Unidad de "Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar" de la Plataforma Solar de Almería (CIESOL, CIEMAT).

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)
S. Malato (sixto.malato@psa.es)

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía, Proyecto de Excelencia. RNM-3772

Duración prevista:

Enero 2009 – Diciembre 2012. Prorrogado hasta diciembre 2013.

Situación:

En curso. Prorrogado por la Junta de Andalucía

Antecedentes:

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 fotocatalisis-biológico a escala planta piloto.
3. Análisis de la depuración biológica de los intermedios de foto-oxidación en biorreactores de membrana con fangos adaptados a la naturaleza química de los contaminantes. Con el fin de la reutilización de las aguas, se tendrán en cuenta las dos posibilidades de acoplamiento: i) pre-tratamiento foto-catalítico seguido del biológico (para aguas tóxicas no biodegradables) o ii) biodegradación y post-tratamiento foto-catalítico que elimine la materia orgánica remanente en el efluente del biorreactor de membrana (para aguas no tóxicas y sólo parcialmente biodegradables).
4. Estudio de las variables del proceso y evaluación económica.
5. Difusión de los resultados y fomento de la cultura científica.

Resultados durante 2012:

Se ha llevado a cabo una evaluación económica del proceso combiando photo-Fenton/MBR para el tratamiento de aguas residuales industriales tóxicas. El estudio se centra en el impacto de la contaminación presente en las aguas residuales, el radio de oxidación fotoquímica, el uso de un MBR como proceso biológico y el tamaño de la planta en los costes de operación y de amortización. Como ejemplo de contaminantes de aguas residuales industriales, se ha usado una mezcla de cinco plaguicidas comerciales usados comúnmente en el área mediterránea, que con concentraciones que van desde 500 mg/L a 50 mg/L, expresadas como concentración de carbono orgánico disuelto. Para un proceso combinado AOP / Biotratamiento, los costes totales dependen en gran medida la carga de contaminación y biodegradabilidad. En cuanto al pretratamiento químico, el nivel requerido de mineralización de la materia orgánica antes de la oxidación biológica es el parámetro principal que

contribuye a los costes. En este sentido, la investigación debe ser dirigida a minimizar la oxidación química para obtener un efluente biodegradable suficiente para la oxidación biológica posterior. De esta manera, la combinación con un MBR es aconsejable para aguas residuales altamente contaminadas, puesto que los requisitos de mineralización son menores que para otros sistemas biológicos (por ejemplo, SBR), permitiendo una reducción de aproximadamente un 20% de coste en el proceso de foto-Fenton. El uso de un MBR puede implicar mayores costes de operación en la etapa de tratamiento biológico, pero la reducción de los costes totales debido a la reducción del tiempo de proceso fotocatalítico compensa esto, lo que resulta en una reducción de costes del 12% en comparación con el acoplamiento con un proceso de lodos activados tradicional. Además, un estudio detallado de la distribución de los costes en el tratamiento fotoquímico muestra que si la carga de contaminación disminuye, también lo hace la superficie de colectores solares necesarios, ganando importancia en los costes la contribución del gasto en reactivos. Esto significa que la optimización de la cantidad de reactivo necesario es esencial para el coste final. La escala de tratamiento es también un factor importante a tener en cuenta. Se logra más de un 30% de reducción de costes cuando se escala el proceso combinado de 1 a 40 m³/día, con costes competitivos que varían desde 1,1 hasta 1,9 €/m³, dependiendo de la carga de contaminación.

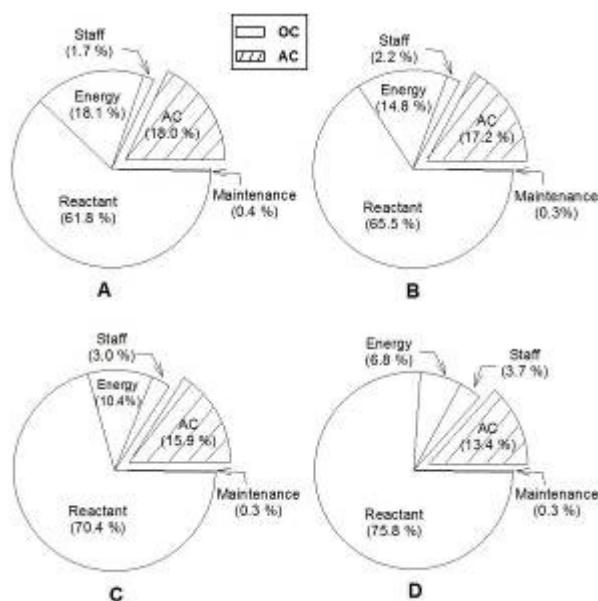


Fig. 2.2.4.1: Breakdown of relative costs for the photo-Fenton process in order to treat 10 m³/day as a function of pollution load (A 500 mg DOC/L-57% mineralization, B 500 mg/L-40%, C 200 mg/L-33%, D 50 mg/L-20%).

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).

The specific objectives of this project are:

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.

Results for 2012:

An economic assessment on a solar photo-Fenton/MBR combined process to treat toxic industrial wastewater has been carried out. This study focuses on the impact of the contamination present in wastewater, the photochemical oxidation, the use of an MBR as biological process and the plant size on operating and amortization costs. As example of industrial wastewater pollutant, a mixture of five commercial pesticides commonly used in the Mediterranean area has been used, ranging from 500 mg/L to 50 mg/L, expressed as dissolved organic carbon concentration. For a combined process AOP/Biotreatment, total costs greatly depend on pollution load and biodegradability. Regarding the chemical pretreatment, the required organic matter mineralization level prior to biological oxidation is the main parameter contributing to cost. In this sense, research should be addressed to minimize the chemical oxidation to obtain a sufficient biodegradable effluent for further biological oxidation. In this way, the combination with MBR is advisable for highly-polluted wastewater as the mineralization requirements are lower than for other biological systems (e.g SBR), permitting approximately a 20% cost reduction in the photo-Fenton process. The use of an MBR may involve higher operating costs in the biotreatment step, but the reduction in total costs due to the shortening of the photocatalytic process time compensates for this, resulting in a 12% cost reduction compared to coupling with a traditional activated sludge process. In addition, a detailed study of the cost distribution in the photochemical treatment shows that if the pollution load decreases, so does the solar collectors surface needed, so reactant costs gain importance. This means that optimizing the amount of reactant required is essential to the final cost. The treatment scale is also an important factor to bear in mind. More than a 30% cost reduction is achieved when scaling the combined process from 1 m³/day to 40 m³/day, obtaining competitive costs that vary from 1.1-1.9 €/m³, depending on the pollution load.

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.

2.2.5 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" (CIESOL, Univ. de Almería)
- Unidad de "Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar" de la Plataforma Solar de Almería (CIESOL, CIEMAT)
- Grupo de Inv. "Residuos de plaguicidas" (CIESOL, Univ. de Almería)

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. CTQ2010-20740-C03-01

Duración prevista:

Enero 2011 – Diciembre 2013.

Situación:

En curso

Antecedentes:

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:

Los objetivos concretos del proyecto coordinado, que derivan de las sinergias entre los tres subproyectos, son:

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 2012:

Se ha evaluado el uso de D-gluconato de hierro (II) y de sulfato de hierro (II) como fuente de hierro para el proceso de foto-Fenton a pH inicial neutro. Se ha utilizado acetaminofeno como contaminante para este propósito. La evaluación se ha llevado a cabo a escala de laboratorio y planta piloto. Además, se analizó la dosis de peróxido de hidrógeno con el fin de disminuir el consumo de este reactivo. De las diferentes condiciones operativas estudiados, se concluyó que la relación entre el carbono orgánico, proporcionado por el complejo de hierro, y el contaminante, es especialmente importante, y que el carbono orgánico disuelto debido al complejo no debe ser significativo, con respecto al del contaminante. También, con el fin de evaluar la eficiencia del complejo de hierro, es esencial estudiar la cinética de degradación de carbono orgánico disuelto. En cuanto a la concentración de hierro disuelto, se observó que es posible formar complejos con el hierro y lograr la degradación de los contaminantes y de sus subproductos cuando se inicia el proceso a pH neutro. Con respecto a la dosificación de H_2O_2 , los resultados mostraron que, aunque la adición continua fue más eficiente con respecto al consumo de peróxido de hidrógeno, la velocidad de transformación fue más lenta que para las adiciones secuenciales. Es importante remarcar que la composición inorgánica de aguas residuales afecta a la cinética de degradación, y a la secuencia de dosificación de reactivo.

En este sentido, existe la necesidad de automatizar la dosificación de peróxido de hidrógeno para su uso en aplicaciones industriales. Se ha demostrado que existe una relación entre el oxígeno disuelto (OD), y el consumo de peróxido de hidrógeno, por lo tanto, puede ser usado como una variable en la optimización de la dosificación de peróxido de hidrógeno. Para este propósito, se obtuvo un modelo experimental que une el comportamiento dinámico del OD con el consumo de peróxido de hidrógeno, y se ha desarrollado un sistema de control sobre la base de este modelo. Este sistema de control, un controlador proporcional y integral (PI) con un mecanismo anti-oscilación se ha probado experimentalmente. Los ensayos se llevaron a cabo en planta piloto en condiciones de luz solar y con acetaminofeno como contaminante modelo. En comparación con una única adición inicial o adición continua, se logra una disminución de 50% en el consumo de peróxido de hidrógeno cuando se utiliza el controlador automático.

Además, se ha realizado una evaluación de los costes de las diferentes estrategias de adición de hidrógeno peróxido. De esta manera, se ensayaron adiciones manuales de peróxido de hidrógeno, automáticas y controladas. Para este estudio económico se ha tomado como referencia una planta de 100 m² con captadores solare tipo CPC. Los resultados muestran tener en cuenta sólo el peróxido de hidrógeno como la variable económica puede conducir a error. De hecho, con este criterio la estrategia de una única adición de H_2O_2 sería la más costosa cuando, en realidad, no es el caso. Por otro lado, siempre debe considerarse el tiempo de tratamiento. En consecuencia, deben estimarse no sólo los costos de operación, sino también los costes de amortización en la evaluación de los costos del proceso. Además, como el tiempo de tratamiento afecta al volumen de agua tratada al año, éste deberá tenerse en cuenta también. Así, cuando se considera el volumen de agua tratada, la evaluación económica determina que para requisitos de baja mineralización, pueden utilizarse sin distinción tanto una única adición manual de reactivo como la dosificación controlada. Sin embargo, cuando la mineralización

necesaria es mayor, la dosificación controlada resultaría ser una mejor opción. Para el tratamiento de una disolución de paracetamol 0,5 mM (50 mg / COD L) hasta el 60% de mineralización, se ha estimado un incremento lineal en el coste unitario total independientemente de la estrategia de adición de H_2O_2 . Para una mineralización entre el 50% y el 60%, el coste medio sería 0,53 €/m³. Para valores más altos de mineralización, el coste es muy sensible a la mineralización y la estrategia de dosificación de reactivos.

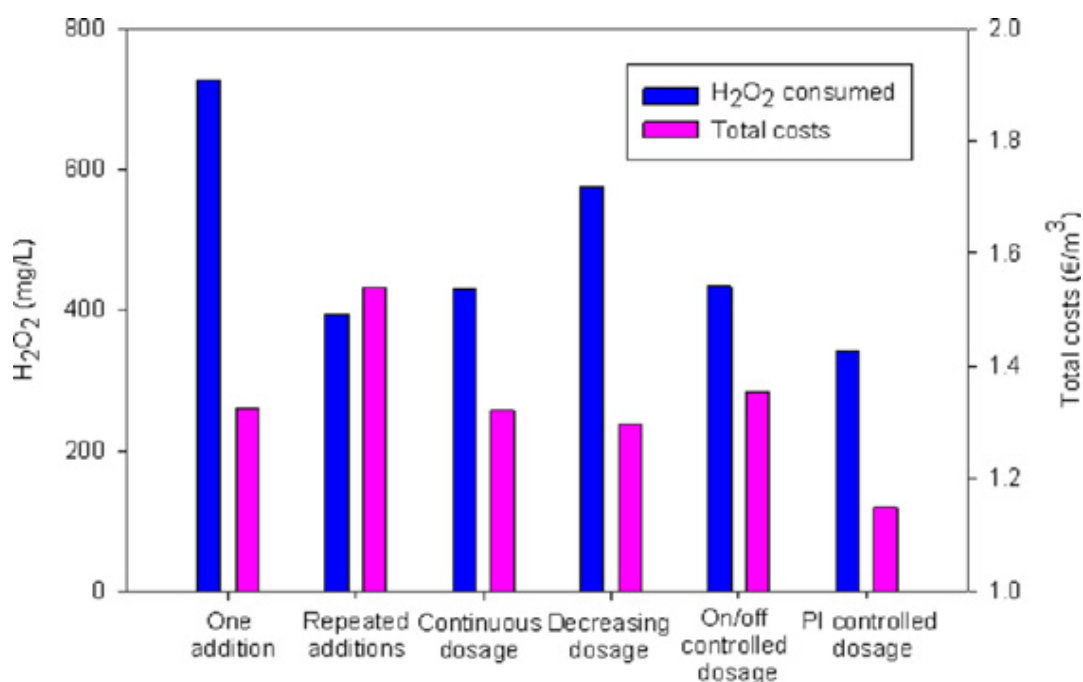


Fig. 2.2.5.1 Photo-Fenton process at pilot plant scale to achieve approx. 80% Mineralization acetaminophen (50 mg/L initial DOC).

Con respecto a la desinfección de aguas residuales mediante foto-Fenton solar, se llevó a cabo un estudio sobre la inactivación de *E. faecalis* a pH neutro inicial con 20 mg L⁻¹ de Fe²⁺ y 50 mg L⁻¹ de H_2O_2 en diferentes matrices [solución salina (0,9% NaCl), solución salina con resorcinol y un efluente secundario simulado de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales (SEWWTP)]. Se determinaron los efectos del estrés mecánico, pH ácido, la luz solar y luz/ H_2O_2 . La luz del sol condujo a una disminución de 2 logen la concentración bacteriana mientras 50 mg L⁻¹ de H_2O_2 con la luz solar disminuye la concentración de *E. faecalis* de 10⁶ a 10² UFC ml⁻¹ después de 100 minutos de exposición solar. La composición química del agua demostró tener una marcada influencia en la inactivación de *E. faecalis* mediante foto-Fenton solar. El límite de detección se alcanzó en 55 min en la disolución salina. La presencia de resorcinol (10 mg L⁻¹ de carbono orgánico disuelto) reduce el tiempo de tratamiento en 10 min; mientras que una reducción de 15 min se observó con SEWWTP, siendo el pH final neutro. Los resultados de inactivación se ajustaron satisfactoriamente a una versión modificada del modelo Chick-Watson. Las constantes cinéticas fueron 0,212 min⁻¹ para la disolución salina, 0,283 min⁻¹ para la disolución salina con resorcinol, y 0,353 min⁻¹ para SEWWTP. Por lo tanto, con el fin de optimizar el tratamiento terciario en una planta de tratamiento de aguas residuales, es muy importante considerar la cantidad y la naturaleza de la materia orgánica presente en el efluente a tratar. No hay relación directa entre la oxidación de la materia orgánica

(descontaminación) y la inactivación bacteriana (desinfección) mediante foto-Fenton puesto que la matriz de agua afecta al metabolismo celular y a la viabilidad celular.

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.

The specific objectives of the coordinated project, which derive from the synergies between the three sub-projects, are:

- 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.*

Results for 2012:

The use of iron (II) D-gluconate and iron (II) sulfate as iron sources for the photo-Fenton process at initial neutral pH was assessed. Acetaminophen was used as the contaminant for this purpose. The evaluation was carried out at laboratory and pilot-plant scales. In addition, hydrogen peroxide dosage was analyzed in order to decrease reactant consumption. From the different operational conditions studied, it was concluded that the ratio between organic carbon, supplied by an iron complex, and the pollutant, is especially important; and that DOC due to the complex should not be significant with respect to that of the pollutant. Also, in order to evaluate the efficiency of an iron complex, it is essential that the DOC degradation kinetics is studied. Regarding the dissolved iron concentration, it was observed that it is possible to form complexes between iron and degradation contaminant by-products which could increase process efficiency when initiated at neutral pH. With regard to H₂O₂ dosage, results showed that, although continuous addition was more efficient with respect to hydrogen peroxide consumption, the process rate was slower than for sequential additions. It is important to remark that the inorganic composition of wastewater seriously affects not only degradation kinetics, but also H₂O₂ dosage sequence, being necessary an optimization in a case by case basis.

In this sense, there is a need to automate hydrogen peroxide dosage for use in industrial applications. It has been demonstrated that a relationship exists between dissolved oxygen (DO) concentration and hydrogen peroxide consumption; therefore, DO can be used as a variable in optimising the hydrogen peroxide dosage. For this purpose, a model was experimentally obtained linking the dynamic behaviour of DO to hydrogen peroxide consumption. Following this, a control system was developed based on this model. This control system, a Proportional & Integral controller (PI) with an Anti-Windup mechanism has been tested experimentally. The assays were carried out in a pilot plant under sunlight conditions and with Acetaminophen used as the model pollutant. In comparison with non-assisted addition methods (a sole initial or continuous addition), a decrease of 50% in hydrogen peroxide consumption was achieved when the automatic controller was used, driving an economic saving and an improvement in process efficiency.

Additionally, a cost assessment of different hydrogen peroxide addition strategies with the assistance of dissolved oxygen on-line monitoring as the controlled variable has been carried out. In this way, manual, automatic and controlled hydrogen peroxide supplies were assayed. This economic study relates total costs to water treatment capacity and mineralization for a 100 m² CPC plant. Results show that only considering hydrogen peroxide consumption as the economic variable may lead to error. In fact, by only taking into account the reactant concentration used would present the one H₂O₂ addition strategy as the most costly when, in reality that was not the case. Thus, the treatment time should always be considered as well. Consequently, not only operating costs, but also amortization costs should be estimated when evaluating the overall process costs. Furthermore, as the treatment time affects the treated water volume per year, the latter must be born in mind, too. Indeed, when the treated water volume is estimated, the economic evaluation determines that for low mineralization requirements, both manual reactant addition and controlled dosage could be used without distinction. However, when the mineralization needed is higher, controlled dosage would prove a better choice for the concentration and type of contaminant studied. To treat a 0.5 mM acetaminophen solution (50 mg/L DOC) up to 60% mineralization, a linear increment in total unitary cost was estimated regardless of the H₂O₂ addition strategy. The average cost between 50% and 60% mineralization would be 0.53 €/m³. To reach higher mineralization values, cost is acutely sensitive to mineralization and the reactant dosage strategy.

With regard to wastewater disinfection by solar photo-Fenton, a study on *E. faecalis* inactivation was carried out at initial neutral pH in compound parabolic collectors with 20 mg L⁻¹ of Fe²⁺ and 50 mg L⁻¹ of H₂O₂ in different matrices [saline solution (0.9% NaCl), saline solution with resorcinol and a simulated secondary effluent from a municipal wastewater treatment plant (SEWWTP)]. The effects of mechanical stress, acidic pH, solar light and solar light/H₂O₂ were determined. Sunlight led to a 2-log bacterial decrease while H₂O₂ (50 mg L⁻¹) with solar light decreased *E. faecalis* concentration from 10⁶ to 10² CFU mL⁻¹ after 100 min of solar exposure. The chemical composition of water matrix was shown to have a marked influence on *E. faecalis* inactivation by solar photo-Fenton. The detection limit was reached within 55 min in the saline solution. The presence of resorcinol (Dissolved Organic Carbon: 10 mg L⁻¹) reduced the treatment time by 10 min; whilst a 15 min reduction was observed in SEWWTP and the final pH returned to neutral. *E. faecalis* inactivation results were satisfactorily fitted to a modified version of the classical Chick-Watson model. The kinetic constants were 0.212 min⁻¹ for saline solution, 0.283 min⁻¹ for saline solution with resorcinol, and 0.353 min⁻¹ for SEWWTP. Therefore, in order to optimize the tertiary treatment in a wastewater treatment plant, it is very important to consider the amount and nature of the organic matter present in the effluent to be treated. There is no direct relationship between organic matter oxidation (decontamination) and bacterial inactivation (disinfection) using photo-Fenton since the water matrix affects cellular metabolism and consequently cell viability.

Publicaciones:

- 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 and Biotechnology* 2013, 88 (4), 636-643.
- Ortega-Gómez, E.; Moreno úbeda, J. C.; Álvarez Hervás, J. D.; Casas López, J. L.; Santos-Juanes Jordá, L.; Sánchez Pérez, J. A., Automatic dosage of hydrogen peroxide in solar photo-Fenton plants: Development of a control strategy for efficiency enhancement. *Journal of Hazardous Materials* 2012, 237-238, 223-230.
- 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* 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.09.067>

- Ortega-Gómez, E.; Fernández-Ibáñez, P.; Ballesteros Martín, M. M.; Polo-López, M. I.; Esteban García, B.; Sánchez Pérez, J. A., Water disinfection using photo-Fenton: Effect of temperature on *Enterococcus faecalis* survival. *Water Research* 2012, 46 (18), 6154-6162.
- Román Sánchez, I.; Carra Ruiz, I.; Sánchez Pérez, J. A., Evaluation of the pollution parameters in the Spanish sanitary tax. *Evaluación de los parámetros de contaminación en los cánones de saneamiento en España. Tecnología del Agua* 2012, 32 (344-345), 72-74.
- Sirtori, C.; Zapata, A.; Malato, S.; Agüera, A., Formation of chlorinated by-products during photo-Fenton degradation of pyrimethanil under saline conditions. Influence on toxicity and biodegradability. *Journal of Hazardous Materials* 2012, 217-218, 217-223.
- Bayarri, B; Giménez, J.; Madonado, M. I., Malato, S., Esplugas, S., 2,4-Dichlorophenol degradation by means of heterogeneous photocatalysis, comparison between laboratory and pilot plant performance. *Submitted CEJ*.

2.2.6 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" (CIESOL, Univ. de Almería)
- Unidad de "Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar" de la Plataforma Solar de Almería (CIESOL, CIEMAT)

Contactos:

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

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía, Proyecto de Excelencia. P10-RNM-5951

Duración prevista:

6 de Julio de 2011 – 5 de Julio de 2015.

Situación:

En curso

Antecedentes:

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.

Objetivos:

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.

Los objetivos concretos del proyecto son:

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 2012:

Con fecha 1 de febrero de 2012 se incorpora al proyecto AQUAPYME Irene Carra Ruíz tras haber defendido el trabajo fin de máster en septiembre de 2011, enmarcado en la línea de investigación del proyecto AQUAPYME, con la consecuente obtención del título de máster oficial en "Biotecnología industrial y agroalimentaria" en la Universidad de Almería. Irene Carra Ruíz renuncia a la beca del proyecto AQUAPYME con fecha 30 de junio de 2012 por pasar a FPU y a resultas Gracia Rivas Ibáñez se incorpora al proyecto con fecha 1 de septiembre de 2012.

En cuanto a resultados científicos, se estudió la aplicación del proceso foto-Fenton con energía solar a pH neutro inicial y en escala de planta piloto mediante repetidas adiciones de hierro como una estrategia para eliminar los contaminantes recalcitrantes de agua. Una mezcla de cinco pesticidas comerciales fue utilizada como contaminante modelo. El efecto de la dosis de hierro en el rendimiento del proceso fue inicialmente estudiado en agua desmineralizada y después evaluado en agua residual real. Se ha demostrado que mediante la adición de hierro en diferentes etapas, es posible operar el proceso foto-Fenton a pH neutro inicial sin disminuir sustancialmente la velocidad de reacción en comparación con el proceso foto-Fenton a pH 2,8. No obstante hay dos aspectos a tener en cuenta, primero que el consumo de hierro sería mayor que a pH 2,8 y segundo que el pH puede disminuir debido a la hidrólisis de hierro. Los resultados han demostrado que la concentración de hierro inicial y el tiempo de adición son los factores que más influyen sobre el funcionamiento del proceso, debido principalmente a la hidrólisis de hierro junto con las sustancias presentes en el agua (carbonatos, fosfatos) y la química compleja de hierro. La dosificación de hierro durante el proceso de foto-Fenton da lugar a diferentes concentraciones de hierro promedio en el sistema, obteniendo de este modo las diferentes velocidades de eliminación de COD y consumo de H_2O_2 , junto con los valores de mineralización análogos a los obtenidos a pH 2,8. Los principios activos de los plaguicidas empleados pueden ser eliminados incluso mediante dosificaciones de hierro por el proceso Fenton a pH 7, sin embargo se obtienen velocidades de eliminación mucho menores y una mineralización insignificante. Por lo tanto, el protocolo para decidir el orden adecuado de las dosis de hierro debe ser estudiado cuidadosamente, caso por caso, ya que no sólo la velocidad de reacción, sino también la precipitación del hierro se ve seriamente afectado por la calidad del agua, la concentración inicial de contaminantes y el objetivo final del tratamiento, es decir, la eliminación de ciertos compuestos o el porcentaje de mineralización.

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.

Graphical Abstract

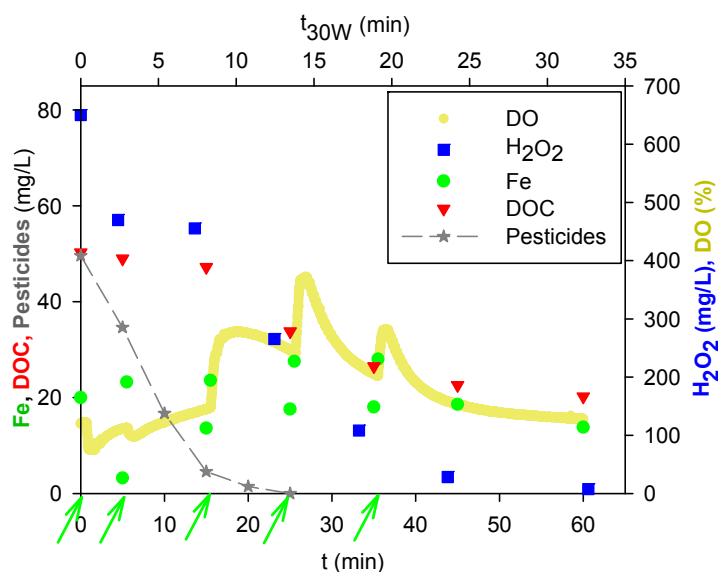


Fig. 2.2.6.1 Results obtained after 1h of solar photo-Fenton with 50 mg DOC/L and 650 mg H_2O_2 /L at initial neutral pH with five additions of 20-20-10-10-10 mg Fe/L. The arrows point out the time of addition.

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.

The specific objectives of the project are:

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.

The official start date AQUAPYME project was the 6th July, 2011. However it is not given credit for their execution until 20th February 2012, in which the management of the University of Almeria opened the project cost center by entering the first installment. Likewise the incorporation of the PhD student associated with the project took place last 1st February 2012, 8 months after the project start date, being Ms. Irene Carra Ruiz the person who finally got this predoctoral fellowship. Because of these setbacks, the project builds about six months late, not being able to present results for the year 2011. Currently, the task 101 about the characterization of wastewater from Cítricos del Andarax is being developed.

Results for 2012:

Repeated iron additions were assayed as a strategy to remove recalcitrant pollutants from water using the solar photo-Fenton process at initial neutral pH and at pilot-plant scale. A mixture of five commonly used commercial pesticides was used as the model pollutant. The effect of iron dosage on process performance was initially studied in demineralized water and later evaluated on real wastewater. It has been demonstrated that by adding iron at different steps, it is possible to operate photo-Fenton at initial neutral pH without substantially decreasing the reaction rate compared to photo-Fenton at pH 2.8. Nonetheless,

iron consumption would be greater than at pH 2.8 and it should be taken into account that pH could decrease due to iron hydrolysis. Results have shown that the initial iron concentration and the time of addition are essential to the running of the process, mainly due to iron hydrolysis, substances present in the water (carbonates, phosphates) and the complex chemistry of iron. Dosing iron during the photo-Fenton process allows different average iron concentrations in the system, thus obtaining different DOC removal and H₂O₂ consumption rates, together with mineralization values analogous to those obtained at pH 2.8. Active ingredients can even be removed with dark Fenton dosing iron at pH 7, but at a much slower rate and obtaining negligible mineralization. Therefore, the protocol for deciding the adequate sequence of iron dosing should be carefully studied on a case by case basis, seeing as not only reaction rate but also iron precipitation is seriously affected by water quality, the initial concentration of contaminants and the final objective (i.e. the elimination of certain compounds or the percentage of mineralization) of the treatment.

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 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.09.065>

2.2.7 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" (CIESOL, Univ. de Almería)
- Unidad de "Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar" de la Plataforma Solar de Almería (CIESOL, CIEMAT)

Contactos:

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

Fuente de financiación:

Vicerrectorado de Infraestructuras, Campus y Sostenibilidad

Duración prevista:

Julio 2010 – Julio 2015.

Situación:

En curso

Antecedentes:

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 2012:

Se ha instalado un MBR de 1 m³ al día de capacidad de tratamiento que opera en continuo y se ha diseñado y construido un reactor para foto-Fenton para su combinación como postratamiento con el MBR a fin de obtener 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.

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

Participantes:

Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua" (CIESOL, Univ. de Almería)

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)

Fuente de financiación:

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

Duración prevista:

Julio 2012 – Diciembre 2014.

Situación:

En curso

Antecedentes:

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 2012:

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.

Results for 2012:

Declared Confidential

2.2.9 Aplicación de la energía solar térmica a la desalación

Participantes:

- Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua" (CIESOL, Univ. de Almería)
- Unidad de "Aplicaciones Medioambientales" de la Plataforma Solar de Almería (CIEMAT)

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)

J. Blanco (julian.blanco@psa.es)

Fuente de financiación:

CIEMAT

Duración prevista:

Abril, 2012 – Diciembre, 2014.

Situación:

En curso

Antecedentes:

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: i) 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. ii) Optimización técnico-económica del diseño del sistema solar MED-DEAHP optimizando el de cada subsistema y estableciendo un diseño final precomercial.

Resultados durante 2012:

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 precommercial optimized Solar system. This will set the following specific objectives: i) 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. ii) technical-economic optimization of the design of the solar system MED-DEAHP optimizing each subsystem and establishing a precommercial final design.

Results for 2012: Declared Confidential

2.2.10 X Reunión de la mesa española de tratamiento de aguas (META 2012)

La Red META, "Mesa Española de Tratamiento de Aguas", tiene como objetivo poner en contacto a los expertos en tratamiento de aguas, tanto de universidades como de empresas, con el ánimo de exponer las líneas generales de investigación que se están llevando a cabo, fomentando el diálogo, la colaboración y el intercambio de experiencias, técnicas e ideas. A través de estas acciones se busca ayudar al desarrollo de la investigación y de las tecnologías en el tratamiento de aguas en España.

En 2012 la reunión de la Red META llegaba a su décima edición y en este caso fue organizada por el grupo de Tratamiento de Aguas del Centro de Investigación en la Energía Solar, CIESOL. Se ha celebrado del 4 al 6 de octubre de 2012 en el Hotel Barceló Cabo de Gata, Retamar, Almería. La reunión ha contado con la participación de unos 130 asistentes representando a instituciones de 13 de las 17 comunidades autónomas del estado. Las aportaciones científicas se resumen en 2 lecturas invitadas, 41 comunicaciones orales y más de 50 comunicaciones en póster. Se ha recibido financiación del Plan Propio de Investigación de la Universidad de Almería (2500 €) y del Ministerio de Economía y Competitividad, CTQ2011-14454-E, (7000 €).



Fig. 2.2.10.1 Cartel de la X Reunión de la Mesa Española de Tratamiento de Aguas (META 2012)

Abstract:

The META Network, "Mesa Española de Tratamiento de Aguas", aims at bringing together experts in water treatment, both universities and companies, with the aim of exposing the general lines of research being carried out, encouraging dialogue, collaboration and exchange of experiences, ideas and techniques. The aim of these actions are to assist the development of research and technologies in water treatment in Spain.

In 2012 the Network meeting META reached its tenth edition and was organized by the Water Treatment Research Group from CIESOL. The meeting was held from 4 to 6 October 2012 at the Hotel Barceló Cabo de Gata, Retamar, Almería. The conference has been attended by about 130 participants representing institutions of 13 of the 17 regions of Spain. The scientific contributions are summarized in two invited lectures, 41 oral presentations and 50 poster communications. It has received funding from the Research Plan of the University of Almeria (2500 €) and the Ministry of Economy and Competitiveness, CTQ2011-14454-E, (7000 €).

2.2.11 Otros

En el programa ENPI 2012, se ha participado en la solicitud (concept note) "Implementation of a low cost treatment for complex industrial wastewaters by solar photo-Fenton processes and biological granular reactors: effective transfer of technology (ULYSSES)". No ha sido financiada.

En la convocatoria 2012 de Proyectos de Excelencia de la Junta de Andalucía, se ha presentado la propuesta "Diseño de nuevos reactores para foto-fenton solar aplicados a la regeneración de aguas. Economía, escalado y control del proceso (SULAYR)". Pendiente de resolución.

Abstract:

We have participated in the proposal (concept note) "Implementation of a low cost treatment for complex industrial wastewaters by solar photo-Fenton processes and biological granular reactors: effective transfer of technology (ULYSSES)" to the ENPI 2012 program. This proposal has not been selected to be funded.

We submitted the proposal "Design of new reactors for solar photo-Fenton applied to the wastewater reclamation. Economy, scaling up and process control (SULAYR)" to the Andalusian Govern (Excellence 2012). Under review.

2.3 ACTIVIDADES EN MODELADO Y CONTROL AUTOMÁTICO

2.3.1 Líneas estratégicas del grupo.

Las principales líneas estratégicas del grupo son las siguientes:

- Modelado y control de plantas termosolares.
- Modelado, control y robótica en agricultura.
- Eficiencia energética y control de confort en edificios.
- Educación en Ingeniería.
- Modelado y control de fotobiorreactores.
- Vehículos eléctricos. Control predictivo y robusto.
- 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.*

2.3.2 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, Electrónica y Robótica 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

Manuel Berenguel was born in Almería, Spain, in 1968. 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

Nació en Almería (España) en 1971. 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

Luis José Yebra was born in Almería, Spain, in 1971. 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.

2.3.3 Miembros del grupo



- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| • Manuel Berenguel Soria | • Manuel Pérez García |
| • Francisco Rodríguez Díaz | • José Luis Guzmán Sánchez |
| • José Carlos Moreno Úbeda | • José Domingo Álvarez Hervás |
| • Manuel Pasamontes Romera | • María del Mar Castilla Nieto |
| • Ricardo Silva Parreira | • Luis José Yebra Muñoz |
| • Lidia Roca Sobrino | • Javier Bonilla Cruz |
| • Alberto de la Calle Alonso | • Luis Castillo López |



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

Participantes:

- Grupo de Inv. "Automática, Electrónica y Robótica" de la Universidad de Almería
- Departamento de Automática de la Universidad Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Contactos:

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

Fuente de financiación:

MEC – PHB2009-0008-PC. Proyecto de cooperación bilateral

Duración prevista:

Enero 2007 – Diciembre 2013

Situación:

El proyecto se encuentra en su último año de ejecución.

Antecedentes:

Proyecto de cooperación bilateral. Surge como continuación de actividades que se realizaron dentro de una red Alfa en 1998.

Objetivos:

Este proyecto tiene por objetivos 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. De esta forma los objetivos particulares del proyecto son los siguientes:

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.

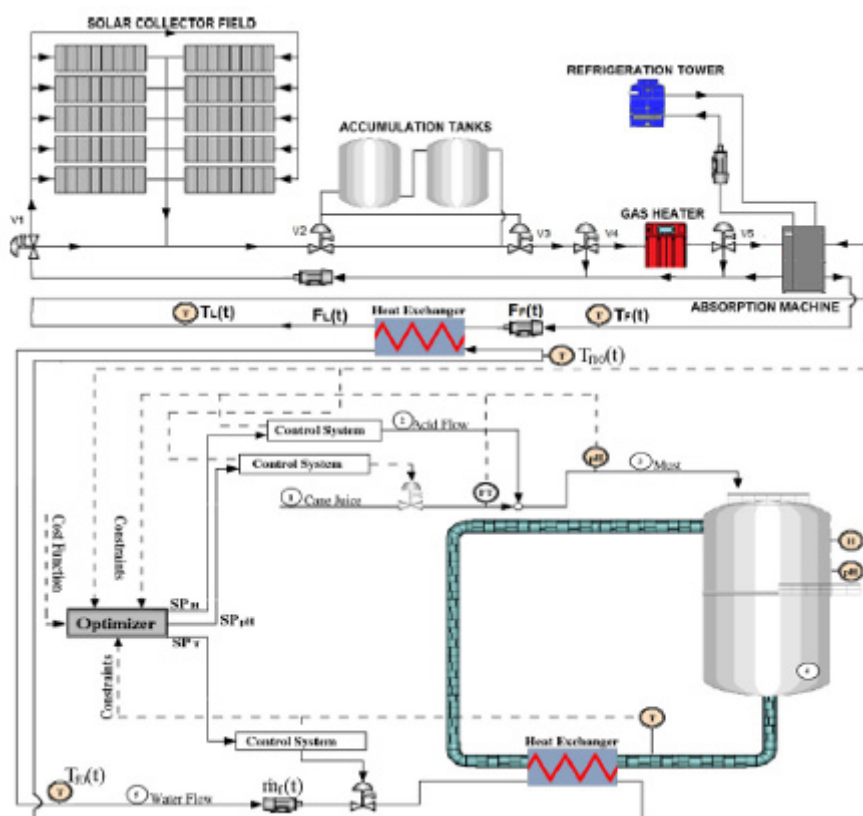


Fig. 2.3.4.1. Producción de etanol con frío solar

Resultados durante 2012:

Durante este tercer 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.

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

- Pawlowski, A.; Guzmán, J. L.; Normey-Rico, J. E.; Berenguel, M., A practical approach for Generalized Predictive Control within an event-based framework. *Computers and Chemical Engineering* 2012, 41, 52-66.
- Pawlowski, A.; Guzmán, J. L.; Normey-Rico, J. E.; Berenguel, M., Improving feedforward disturbance compensation capabilities in Generalized Predictive Control. *Journal of Process Control* 2012, 22 (3), 527-539.
- 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.
- 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.
- 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.

Congresos

- Americano da Costa, M.V., Normey-Rico, J.E., Guzmán, J.L., Pasamontes, M., Berenguel, M. Aplicação da Técnica Hardware in the Loop em uma Planta Solar que Auxilia um Sistema de Controle Avançado para Unidade de Fermentação Alcoólica. *Congresso Brasileiro de Automação*, 2012, Campina Grande, Brasil.

- de Andrade, G.A., Pagano, D.J., Álvarez, J.D., Berenguel, M. Controle Preditivo não Linear Aplicado em Sistemas de Geração de Energia Solar. *Congresso Brasileiro de Automação*, 2012, Campina Grande, Brasil.
- Tahim, A.P.N., Pagano, D.J., Ponce, E. Nonlinear Control of dc-dc Bidirectional Converters in Stand-alone dc Microgrids. *Conference on Decision and Control (CDC)*, 2012, Hawaii, USA.
- Normey-Rico, J.E., Guzmán Sánchez, J. L. "Unified PID Tuning Approach for Stable, Integrative and Unstable Dead-Time Processes", *PID 2012*, Italia.
- Alvarez, J.D., Normey-Rico, J.E., Berenguel, M. "Design of PID Controller with Filter for Distributed Parameter Systems", *PID 2012*, Italia.
- Moreno, J.C., Guzmán Sánchez, J. L., Normey-Rico, J.E., Baños, A., Berenguel, M. Improvements on the Filtered Smith Predictor using the Clegg Integrator", *PID 2012*, Italia.

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

Participantes:

- Grupo de Inv. "Automática, Electrónica y Robótica" de la Universidad de Almería
- Universidad de Sevilla
- Universidad de Valladolid
- CIEMAT-Plataforma Solar de Almería

Contactos:

F. Rodríguez (frodridg@ual.es)
Luis Yebra (luis.yebra@psa.es)

Fuente de financiación:

Plan Nacional – DPI2010-21589-C05-04 (UAL), DPI2010-21589-C05-05 (CIEMAT)

Duración prevista:

Enero 2010 – Diciembre 2013

Situación:

Activo

Antecedentes:

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 2012:

- Estrategias de control predictivo, robusto y no lineal aplicadas a sistemas energéticos.
- Modelado de sistemas de energías renovables.
- Control jerárquico y óptimo de sistemas energéticos.
- Desarrollo de modelos de flujo bifásico en colectores solares.
- Modelado dinámico de la planta desaladora solar híbrida y control de destilado.
- Control de una bomba de calor.

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. The three basic objectives of the coordinated project are:

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.

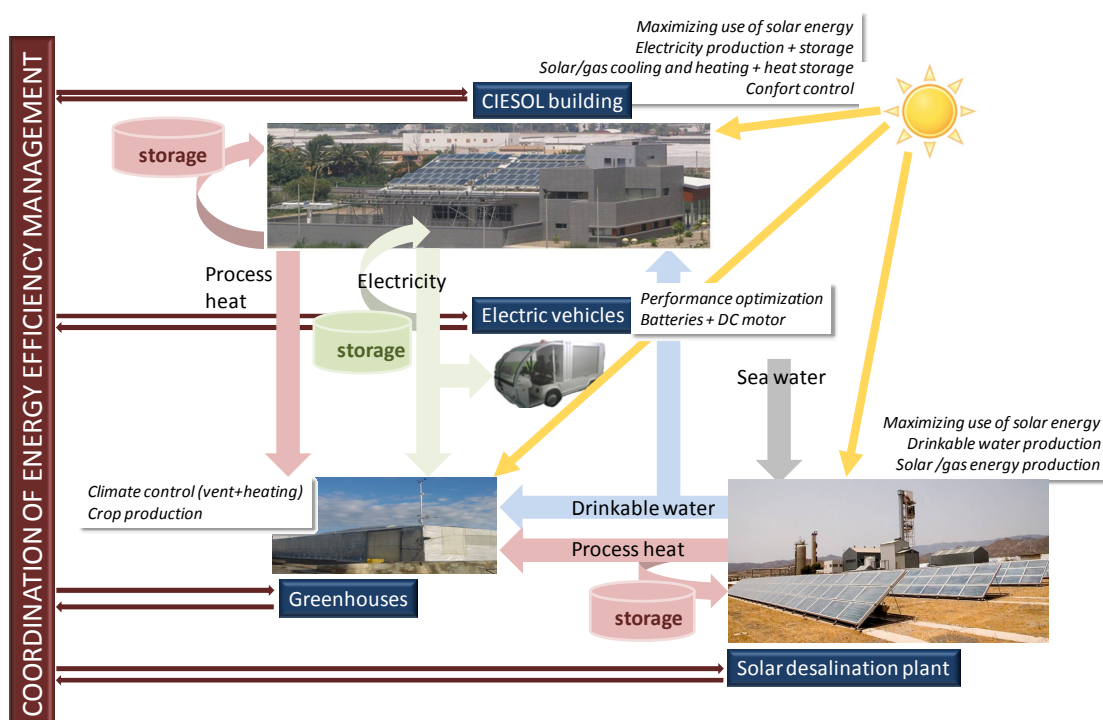


Figura 2.3.5.1. Proyecto POWER

Publicaciones.Revistas

- Ramírez-Arias, A.; Rodríguez, F.; Guzmán, J. L.; Berenguel, M., Multiobjective hierarchical control architecture for greenhouse crop growth. *Automatica* 2012, 48 (3), 490-498.
- Bonilla, J.; Yebra, L. J.; Dormido, S.; Zarza, E., Parabolic-trough solar thermal power plant simulation scheme, multi-objective genetic algorithm calibration and validation. *Solar Energy* 2012, 86 (1), 531-540.
- Bonilla, J.; Yebra, L. J.; Dormido, S., Chattering in dynamic mathematical two-phase flow models. *Applied Mathematical Modelling* 2012, 36 (5), 2067-2081.
- De la Calle, A.; Roca, L.; Yebra, L. J.; Dormido, S., Modeling of a two-step solar hydrogen production plant. *International Journal of Hydrogen Energy* 2012, 37 (14), 10549-10556.
- Rodríguez, F.; Guzmán, J. L.; Arahál, M. R., Virtual sensors for designing irrigation controllers in greenhouses. *Sensors (Switzerland)* 2012, 12 (11), 15244-15266.
- Pasamontes, M.; Álvarez, J. D.; Guzmán, J. L.; Berenguel, M., Learning switching control: A tank level-control exercise. *IEEE Transactions on Education* 2012, 55 (2), 226-232.
- Gonzalez, R.; Pawlowski, A.; Rodríguez, C.; Guzman, J. L.; Sanchez-Hermosilla, J., Design and implementation of an automatic pressure-control system for a mobile sprayer for greenhouse applications. *Diseño e implementación de un sistema de control automático para un pulverizador móvil para aplicaciones* 2012, 10 (4), 939-949.
- Gonzalez, R.; Rodriguez, F.; Guzman, J. L.; Pradalier, C.; Siegwart, R., Combined visual odometry and visual compass for off-road mobile robots localization. *Robotica* 2012, 30 (6), 865-878.
- Ortega-Gómez, E.; Moreno úbeda, J. C.; Álvarez Hervás, J. D.; Casas López, J. L.; Santos-Juanes Jordá, L.; Sánchez Pérez, J. A., Automatic dosage of hydrogen peroxide in solar photo-Fenton plants: Development of a control strategy for efficiency enhancement. *Journal of Hazardous Materials* 2012, 237-238, 223-230.
- Beschi, M.; Visioli, A.; Berenguel, M.; Yebra, L. J., Constrained temperature control of a solar furnace. *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 2012, 20 (5), 1263-1274.
- Guzmán, J. L.; Rivera, D. E.; Dormido, S.; Berenguel, M., An interactive software tool for system identification. *Advances in Engineering Software* 2012, 45 (1), 115-123.
- 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 (2), 171-183.

Libros Internacionales

- Camacho, E.F., Berenguel, M., Rubio, F.R., Martínez, D. "Control of solar energy systems" *Advances in Industrial Control Series*. Springer; ISBN 978-0-85729-916-1. 2012. 416 PP

Congresos Internacionales

- Sánchez, J.A., Rodríguez, F., Acien, F. G., Guzmán, J.L., López, J.C. Biomass-Based System Design. *International Conference of Agricultural Engineering; CIGR-AgEng 2012*; 8-12 Julio; 2012. Valencia, Spain.
- Montoya, A.P., Guzmán, J.L., Rodríguez, F., Sánchez, J.A. Hybrid Modelling and Control of Greenhouse Temperature Combining Aerial-Pipes and Air-Fan Heater Systems. *International Conference of Agricultural Engineering; CIGR-AgEng 2012*; 8-12 Julio; 2012. Valencia, Spain.
- Beschi, M., Berenguel, M., Visioli, A., Guzmán, J.L., Yebra, L.J. A feedback linearization GPC control strategy for a solar furnace. *American Control Conference ACC'12*, 2012. Montreal, Canada.
- Álvarez, J.D., Guzmán, J.L., Rivera, D., Dormido, S., Berenguel, M. ITCRI: An interactive software tool for evaluating control-relevant identification. *16th IFAC Symposium on System Identification SYSID'12*. 2012 Brussels, Belgium.
- Camacho, E.F., Berenguel, M. Control of Solar Energy Systems. Keynote paper in *2012 International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes ADCHEM 2012*. 2012 Singapore. Singapore.
- Roca, L., Yebra, L.J., Berenguel, M. De la Calle, A. Dynamic modeling and simulation of a multi-effect distillation plant. *9th MODELICA Conference*. 2012. Munich, Germany.
- Guzmán, J.L., Rivera, D., Berenguel, M., Dormido, S. I-PIDtune: An interactive tool for integrated system identification and PID control. *IFAC Conference on Advances in PID Control PID'12*. 2012. Brescia, Italy.
- J.C. González, Guzmán, J.L., Berenguel, M., Dormido, S. A new framework to develop web-based interactive tools for control education. *9th IFAC Symposium on Advances in Control Education*. 2012 Nizhny Novgorod, Russia.
- Guzmán, J.L., Costa-Castelló, R., Dormido, S., Berenguel, M. Interactive tools to learn basic concept on nonlinear systems linearization through a case study. *9th IFAC Symposium on Advances in Control Education*. 2012. Nizhny Novgorod, Russia.
- Rivas, J. L., Guzmán, J. L., Rodríguez, F., Berenguel, M., Dormido, S. Integrated virtual and remote lab for greenhouse climate control. *9th IFAC Symposium Advances in Control Education*. 2012. Nizhny Novgorod, Russia.
- De la Calle, A., Roca, L., Yebra, L.J., Vidal, A., Dormido, S. Modelling Thermo-chemical Hydrogen Generation in a Solar Plant. *Proceedings MATHMOD 2012 - 7th Vienna International Conference on Mathematical Modelling*, 2012. Vienna, Austria.

- De la Calle, A., Yebra, L.J., Dormido, S. Modeling of a falling film evaporator. *9th International Modelica Conference*. 2012. Munich, Germany, PP. 941–948.
- Bonilla, J., Yebra, L.J., Dormido, S., Cellier, E. Object-Oriented Modeling of Switching Moving Boundary Models for Two-phase Flow Evaporators, *Proceedings MATHMOD 2012 - 7th Vienna International Conference on Mathematical Modelling*, 2012. Vienna, Austria.
- Bonilla, J., Yebra, L.J., Dormido, S., F. Cellier, E. Object-Oriented Library of Switching Moving Boundary Models for Two-phase Flow Evaporators and Condensers. *9th International Modelica Conference*. 2012. Munich, Germany PP. 71–80.
- Server, J.F. , Yebra, L.J., Miguel, G.S. , Santos, R., Cerrajero, E. Hi-Biosoleo: Biomass – Solar – Wind power hybridization in a pilot plant. *SolarPACES*, 2012. PP. 1–6.
- Guzmán, J.L., Rivera, D., Berenguel, M. , Dormido, S. I-PIDtune: An interactive tool for integrated system identification and PID control. *IFAC Conference on Advances in PID Control PID'12*. 2012. Brescia, Italy.

Congresos Nacionales

- Nachidi, M., Tadeo, F., Rodríguez, F., Guzmán, J.L., Takagi-Sugeno fuzzy modelling for greenhouse climate control. *XVI Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy, ESTYLF2012*. 2012. Valladolid, España.
- Castilla, M., Álvarez, J.D., Rodríguez, F. y Berenguel, M. Control eficiente del confort en edificios. *X Simposio CEA de Ingeniería de Control*, 2012. Barcelona, España.
- Rodríguez, F., Castilla, M., Sánchez, J.A., Pawlowsky, A., Pérez, A. y Agüero, J. Estrategias de control y supervisión para la gestión integrada de instalaciones en entornos energéticamente eficientes. *X Simposio CEA de Ingeniería de Control*, 2012. Barcelona, España.

2.3.6 Simulación y control de instalaciones termosolares de captadores cilindroparabólicos en aplicaciones industriales y de refrigeración

Participantes:

- Grupo de Inv. "Automática, Electrónica y Robótica" (CIESOL, Univ. de Almería)
- Unidad de Concentración Solar de la Plataforma Solar de Almería

Contactos:

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

Fuente de financiación:

Proyecto de Excelencia Junta de Andalucía RMM-5927

Duración prevista:

Marzo 2011 – Marzo 2014.

Situación:

En desarrollo

Antecedentes:

Desarrollos recientes por parte de diversos fabricantes y organismos de investigación de concentradores cilindroparabólicos 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 cilindroparabólico 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 cilindroparabólicos 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 cilindroparabólicos.
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.

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.

Resultados durante 2012:

Se han establecido contactos con varias industrias andaluzas de distintos sectores, para cuantificar las demandas de calor de proceso y/o refrigeración así como la elaboración de sus perfiles horarios de demanda para su utilización posterior en simulaciones dinámicas. Los casos con mayor nivel de desarrollo han sido los de las demandas de calor de una lavandería industrial (Figura 2.3.6.1) y de una industria conservera de productos vegetales, y la demanda de refrigeración de una industria hortofrutícola. En paralelo se ha elaborado un estudio de casos de aplicación de captadores cilindroparabólicos en demandas de acondicionamiento climático de edificios a través del uso de sistemas de absorción de simple y doble efecto. Hasta la fecha de este informe, se han localizado 18 fabricantes de captadores cilindroparabólicos de pequeño tamaño que ofrecen un total de 34 modelos comercializables. En todos los casos se cuenta con las fichas técnicas y tablas de especificaciones (Figura 2.3.6.2) y se ha constatado también una escasa asunción de procedimientos normalizados de ensayo y de expresión de especificaciones a pesar de la existencia de menciones expresas a los captadores de concentración en las normas EN12975-2, ASTM E 905-87, ASHRAE 93-77 e ISO9806-1.

Se ha profundizado también en el análisis de las fuentes de datos climáticos disponibles para Andalucía, con datos de radiación solar, temperatura y velocidad de viento, realizándose un inventario y una comparativa entre los distintos tipos de fuentes.

Con relación a las herramientas de simulación, se ha ampliado el modelo óptico y térmico de captador cilindroparabólico para incluir efectos tridimensionales y condiciones de frontera de radiación distribuida. Se ha desarrollado un modelo de trazado de rayos para predecir la distribución angular de radiación en el tubo absorbente (Figura 2.3.6.3). Así como modelos dinámicos de un depósito estratificado en

termoclina, de un intercambiador de calor, basados en primeros principios, y modelos simplificados de otros componentes secundarios (tuberías, válvulas, etc.).

Se ha integrado en la plataforma de simulación previamente desarrollada un módulo de análisis económico para evaluar los principales indicadores económicos a corto y largo plazo de una planta solar para una aplicación térmica de referencia.

Se ha procedido al estudio de optimización monoobjetivo de diseño de una planta basada en simulación para un escenario de referencia, estudiando algoritmos de optimización avanzados y evaluando la influencia de distintas funciones de coste en el punto óptimo de diseño. Se ha estudiado la sensibilidad del punto óptimo de diseño para distintas condiciones ambientales, económicas y de operación. Además se han propuesto y desarrollado metodologías de optimización multiobjetivo de diseño de plantas de captadores cilindroparábolicos para aplicaciones industriales basadas en múltiples criterios económicos. El análisis multiobjetivo ha permitido obtener un conjunto de soluciones de compromiso entre distintos objetivos económicos para escenarios de referencia (Figuras 2.3.6.4 y 2.3.6.5).

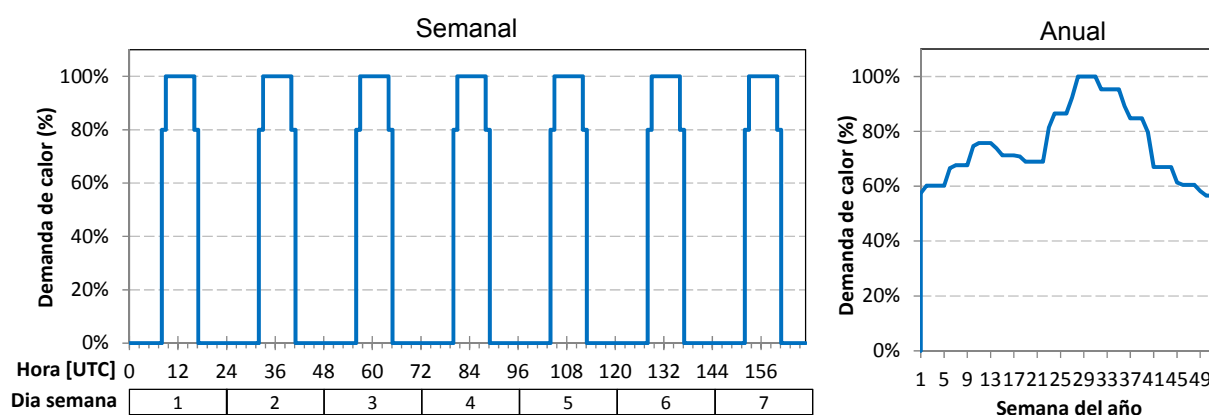


Figura 2.3.6.1. Curva de demanda de potencia de calor de proceso para la lavandería industrial analizada.

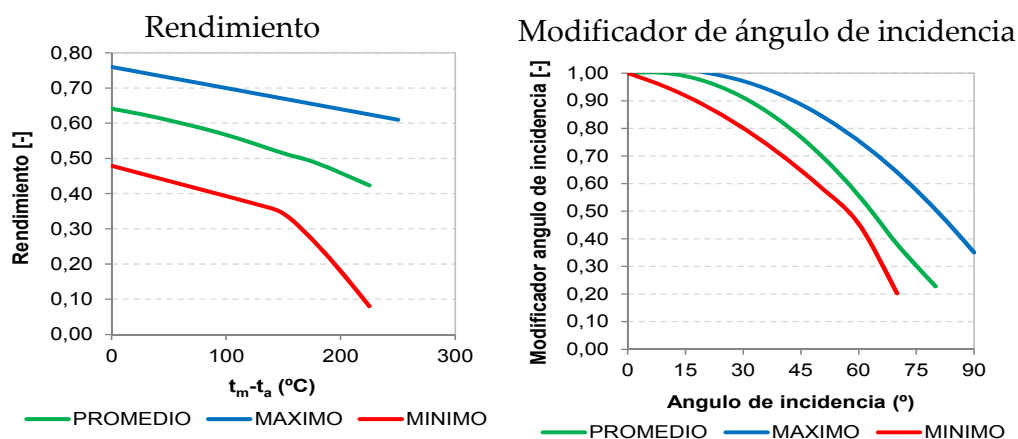


Figura 2.3.6.2. Especificaciones tipo de los captadores cilindroparábolicos comerciales analizados.

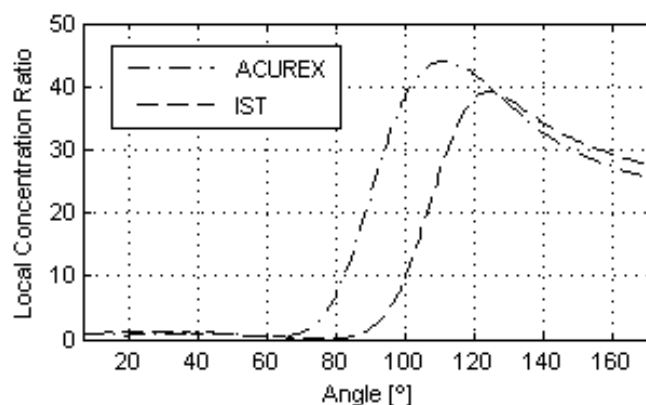
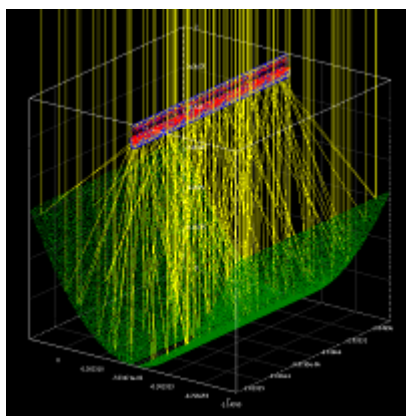


Figura 2.3.6.3. Aplicación del modelo de trazado de rayos al cálculo de concentración solar.

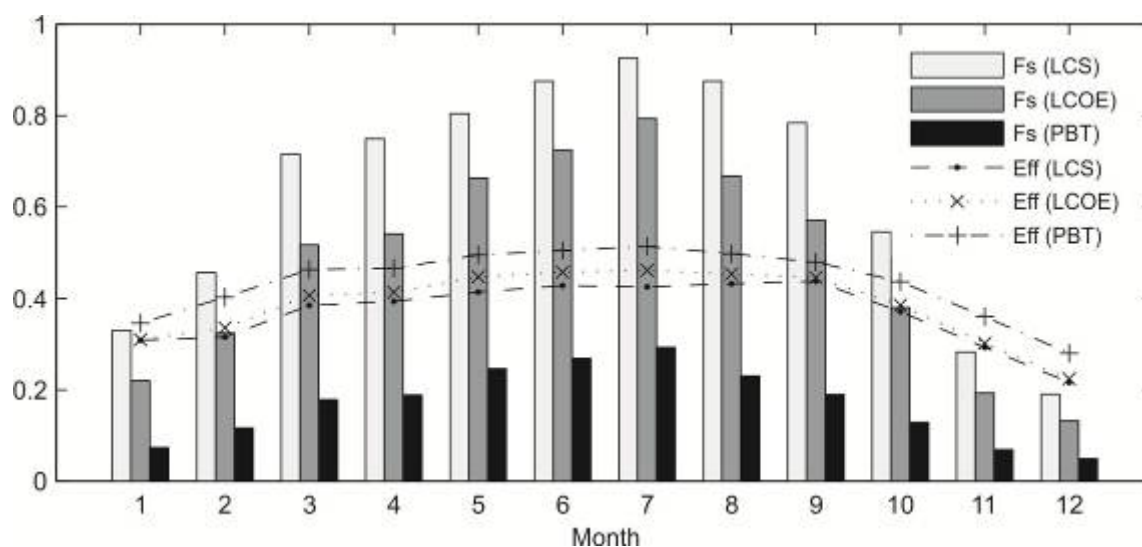


Figura 2.3.6.4. Fracción solar y eficiencia mensual para distintas funciones objetivo.

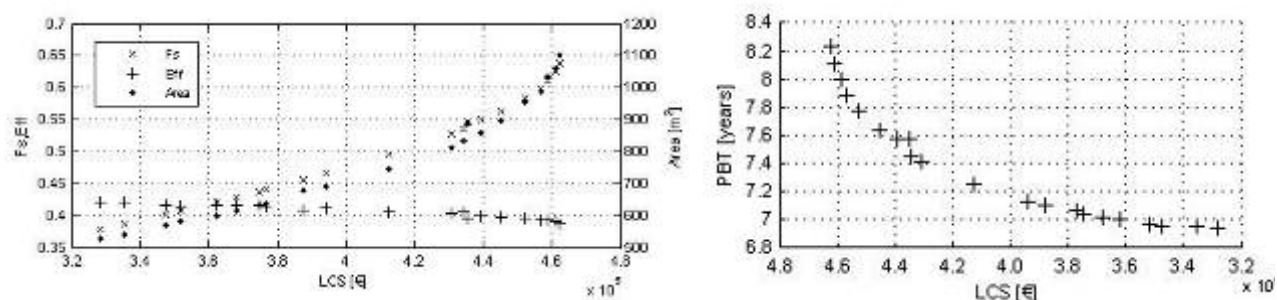


Figura 2.3.6.5. Frente de Pareto de la optimización multiobjetivo.

Publicaciones:

- 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, 103-118.
- 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.

2.4 ACTIVIDADES EN EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR

2.4.1 Líneas estratégicas del grupo.

Las principales líneas estratégicas del grupo son las siguientes:

- Evaluación del recurso solar.
- Predicción de radiación solar a partir de cámara de cielo y de imágenes de Meteosat.
- Diseño y optimización de plantas de refrigeración y calefacción solar

Main research lines:

- *Forecast of the frequency and duration of each type of cloud cover blocking the sun's disk applied to Gemasolar solar thermal plant (Torresol Energy).*
- *Forecast and evaluation of solar resources using satellite and sky images as well artificial neural networks.*
- *Design, modeling and optimization of solar-assisted building cooling, heating and power systems.*

2.4.2 Investigadores principales del grupo

Francisco Javier Batlles Garrido

Nació en Almería (España) en 1959. Recibió el título de Licenciado en Física por la Universidad de Granada en 1986. En el año 1995 alcanzó el grado de Doctor en Física por la Universidad de Granada. Prof. Francisco Javier Batlles acumula 55 artículos en revistas internacionales indexadas; unas 120 comunicaciones a congresos, tanto nacionales como internacionales; 7 tesis doctorales dirigidas. Es Investigador Principal de 5 proyectos financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación -Plan Nacional de Investigación I+D+i-; Investigador Principal de 7 contratos de investigación con empresas. Responsable del Proyecto "Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (ARFRISOL)" en la Universidad de Almería. Proyecto científico-tecnológico singular de carácter estratégico financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y cofinanciado con Fondos FEDER con una duración de 7 años (2005-2012).

Francisco Javier Batlles Garrido

Francisco Javier Batlles was born in Almería, Spain, in 1959. He received the physics degree and the Ph.D. degree in physics degree from the University of Granada, Spain, in 1986 and 1995, respectively. Prof. Francisco Javier Batlles has 55 articles in international journals, about 120 conference papers, both national and international, 7 doctoral theses directed. He is also the Principal Researcher of 5 projects funded by the Ministry of Science and Innovation - National Research Plan I + D + i, Principal Researcher of 7 research contracts with different companies. University Almeria's Project Manager of the Singular Strategic Scientific-Technological Project called "Bioclimatic Architecture and Solar Cooling (ARFRISOL)". ARFRISOL was accepted by the National Plan of Research and was supported by the Spanish Ministry of Innovation and Science and cofinanced with FEDER Funds with duration of 7 years (2005-2012).

2.4.3 Miembros del grupo



- Francisco Javier Batlles Garrido
- Mercedes Martínez Durbán
- Sabina Rosiek
- Francisco Javier Barbero Francisco
- Joaquín Alonso Montesinos

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

Participantes:

Grupo de Investigación "Recursos Energético Solares y Climatología"

Contactos:

Francisco Javier Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación:

Ministerio de Ciencia e Innovación – Plan Nacional I+D+I

Duración prevista:

2012-2014

Situación:

Activo

Antecedentes:

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.

Resultados durante 2012:

Durante este primer año se han adquirido los equipos necesarios para el desarrollo del proyectos. Dichos equipos son una cámara de cielo que nos proporcionará imágenes del mismo y un cielómetro que nos permitirá determinar con bastante precisión la altura de la cubierta nubosa.

Se ha desarrollado una metodología que nos permita predecir la nubosidad a corto plazo en cualquier punto geográfico. Dicha metodología está basada en la determinación del vector de movimiento de las nubes. Con dichos vectores, obtenidos a partir de sucesivas imágenes de satélite en torno al punto de interés, podremos llevar a cabo un desplazamiento de las nubes detectadas en la imagen, lo que nos

permitirá conocer la distribución de nubes en un momento futuro. Sin embargo, cuando pretendemos dotar a dicha predicción una resolución mayor, tanto temporal como espacialmente, surge la necesidad de conocer medidas de tierra. En este caso se utilizará una cámara de cielo que permitirá predecir la obstrucción del disco solar a partir de las nubes presentes en ese momento en nuestro campo de visión. De forma análoga a partir de varias imágenes sucesivas podremos determinar el vector desplazamiento de las nubes con la que hacemos la predicción. Los resultados han puesto de manifiesto que la predicción de la nubosidad a corto plazo, 1 hora, se realizó con una probabilidad de acierto del 80% para imágenes de cámara de cielo y con un 71% para imágenes de METEOSAT.

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:

- 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, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.54>

2.4.5 Predicción de nubes sobre el campo de colectores solares de la planta GEMASOLAR

Participantes:

Grupo de Investigación "Recursos Energético Solares y Climatología"

Contactos:

Francisco Javier Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación:

GEMASOLAR 2006, S.L.

Duración prevista:

Septiembre 2009 - Diciembre 2012

Situación:

En curso

Antecedentes:

Para estimar la radiación solar que incide sobre la superficie terrestre necesitamos tener en cuenta el efecto de las nubes. Las nubes reflejan, absorben y transmiten la radiación solar. La interacción de la radiación solar con las nubes depende de la altura de estas, así, las nubes bajas son más opacas que las nubes altas. Cuando el cielo no está totalmente cubierto por las nubes, la forma y posición de las mismas en relación al disco solar afecta también a la radiación incidente. Para medir la nubosidad se utiliza la fracción de cielo cubierto por las nubes. Estas medidas suelen proporcionarlas los observadores desde tierra, o mediante el análisis de imágenes obtenidas con una cámara de nubes. Un aspecto clave en el estudio de las nubes es el conocimiento de su distribución en el espacio y en el tiempo, así, como su clasificación.

Objetivos:

En este proyecto se pretende analizar la influencia de las nubes sobre el funcionamiento de una central termosolar. Para ello nos proponemos aplicar una metodología basada en Redes Neuronales Artificiales. La técnica de redes neuronales proviene originalmente del ámbito de la inteligencia artificial. Dicho ámbito constituye un área nueva, poderosa y notable dentro de la computación. Permite, por una parte, la creación de complejos sistemas inteligentes y, por otra, dar solución a numerosos problemas de la vida real en diferentes campos de aplicación. Se han alcanzado excelentes resultados en ingeniería, agricultura y meteorología. A pesar del espectacular avance de las técnicas de Inteligencia Artificial en los últimos años y su creciente implantación en la mayoría de las disciplinas científicas, su uso en la modelización de la radiación solar puede decirse que aún es incipiente.

Resultados durante 2012:

Declarados confidenciales.

Abstract:

To estimate solar radiation that incises on the terrestrial surface we need to have the effect of clouds. Clouds reflect, absorb and transmit solar radiation. The interaction of solar radiation with clouds depends on the height of these, so, low clouds are more opaque than high clouds. When sky is partially cloudy, form and position of clouds related with solar disk affect to incident radiation. To measure the cloudiness is used the fraction of cover sky by clouds. These measures usually are from terrestrial observers or from the analysis of images obtained with a camera of clouds. A key in the study of clouds is the knowledge of their distribution in the space and in the time as well as their classification.

In this project it is pretended to analyze the influence of clouds in the operation of a solar thermal power plant. For this we propose us to apply a methodology based on Artificial Neural Networks. The technique of neural networks comes from the artificial intelligence ambit. This ambit is an new area, powerful and notable in the computing. It allows, by one hand, the making of complex intelligent systems and, by the other hand, give solution to real problems in the real life in different fields. Results are excellent in engineering, agriculture and meteorology. Despite the spectacular progress of Artificial Intelligence techniques in recent years and its growing implantation in the most of scientific disciplines, its use in the modeling of solar radiation is still emerging.

Publicaciones:

No procede

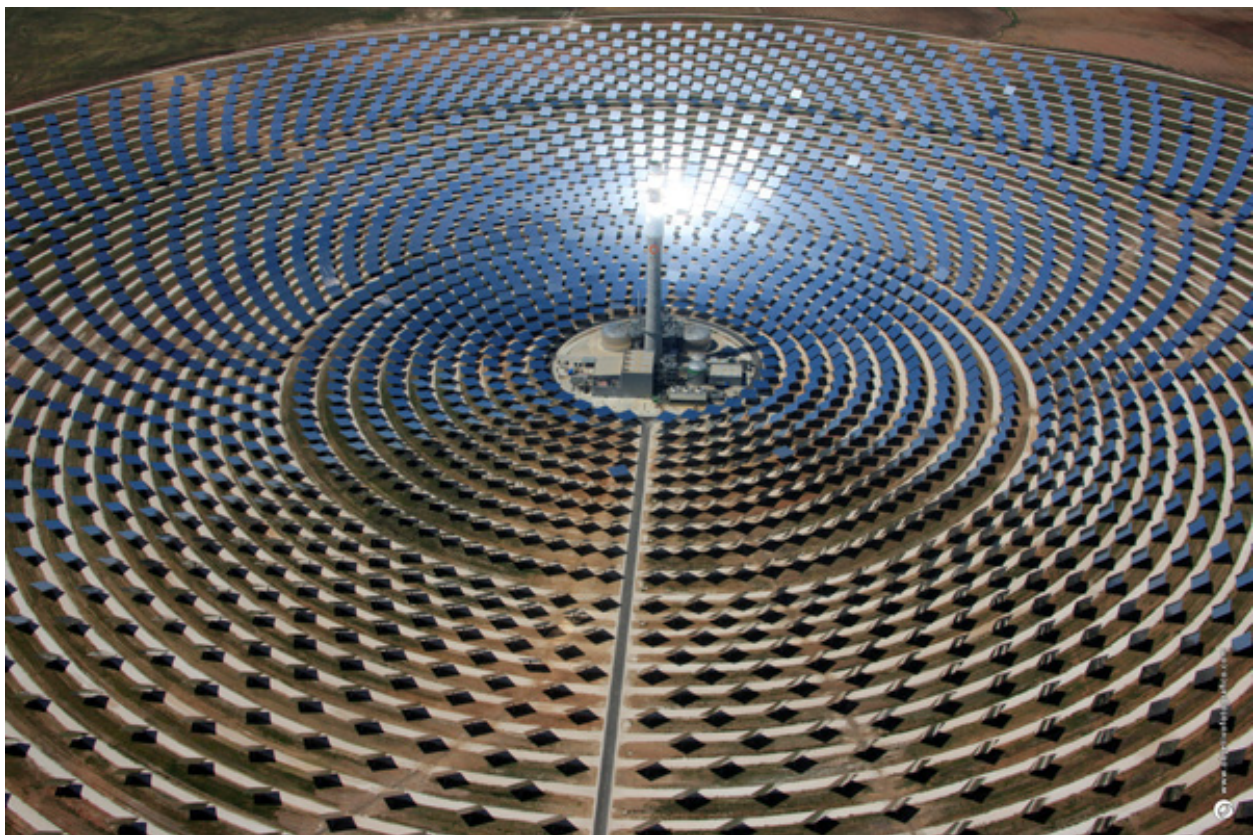


Fig. 2.4.5.1 Vista aérea de la planta GEMASOLAR ubicada en Fuentes de Andalucía, Sevilla (fuente Torresol Energy Investments, S.A).

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

Participantes:

Grupo de Investigación "Recursos Energético Solares y Climatología"

Contactos:

Francisco Javier Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación:

TORRESOL ENERGY O&M, S.L.

Duración prevista:

Septiembre 2012 - Diciembre 2014

Situación:

En curso

Antecedentes:

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 resultó 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 2012:

Declarados confidenciales.

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:

No procede



Fig. 2.4.6.1 Vista aérea de las plantas Valle 1 y Valle 2, ubicadas en San José del Valle, Cádiz (fuente Torresol Energy Investments, S.A).

2.5 ACTIVIDADES EN QUÍMICA AMBIENTAL

2.5.1 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.*

2.5.2 Investigadores principales del grupo

Amadeo Rodríguez Fernández-Alba

Catedrático de Universidad. Departamento de Hidrología y Química Analítica. Licenciado en Ciencias Químicas (Química Analítica) por la Universidad Complutense de Madrid (1977) y Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Granada (1987). Director del grupo de investigación "Residuos de Plaguicidas" del Plan Andaluz de Investigación desde 1993, ha desarrollado su labor científica en temas relacionados con el desarrollo y validación de métodos de análisis de plaguicidas y otros contaminantes prioritarios y emergentes en alimentos y muestras medioambientales mediante técnicas de cromatografía acoplada a espectrometría de masas. Ha participado en 24 proyectos de I+D de ámbito nacional, 12 internacionales y 6 regionales, 32 de ellos como investigador principal, así como 47 Contratos de Investigación con Empresas Privadas y Entidades Públicas. Editor de 1 libro en Editorial Nacional y 2 en Editorial Internacional (Elsevier). Co-autor de más de 200 publicaciones en revistas científicas internacionales con índice de impacto, 16 capítulos de libros, 3 patentes, más de 200 contribuciones a Congresos y Simposios internacionales. Además, ha dirigido 12 Tesis Doctorales y una Tesis de Licenciatura y participado en la organización de diferentes cursos y reuniones científicas nacionales e internacionales.

Amadeo Rodríguez Fernández-Alba

Full Professor, Department of Hydrogeology and Analytical Chemistry. Degree in Chemistry (Analytical Chemistry) by Univ. Complutense of Madrid (1977); PhD by the Univ. of Granada (1987). Head of the group "Pesticide Residues" since 1993, he has developed his scientific work on issues related to the development and validation of analytical methods for pesticides and other priority and emerging contaminants in food and environmental samples by chromatographic techniques coupled to mass spectrometry. He has participated in 41 research projects (national and international projects) leading 31 of them, as well as in 47 Research contracts with private companies and public administrations. Editor of 1 national and 2 international books (Elsevier). Co-author of 200 peer-reviewed international publications, 15 book chapters, 3 patents and more than 200 contributions to international conferences and symposiums. He has directed 12 PhD theses and has participated in organizing various courses and national and international scientific meetings.

Sixto Malato Rodríguez

Su labor científica ha estado fundamentalmente relacionada con Proyectos de I+D centrados en la descontaminación de aguas mediante procesos de oxidación avanzada. Ha coordinado o participado 18 Proyectos Nacionales y 16 Proyectos Internacionales (3rd, 4th, 5th, 6th y 7th EU Framework Programmes). Autor de 1 libro en Editorial Internacional y 16 libros en Editorial Nacional. Co-autor de 51 capítulos de libros y de más de 170 publicaciones en revistas científicas internacionales con índice de impacto, 4 patentes. Ha dirigido 11 Tesis Doctorales. h-index (de acuerdo a <http://www.scopus.com>, Enero 2013): 48. Editor asociado de Environmental Chemistry Letters (Editorial Springer), y Journal of Advanced Oxidation Technologies (Sci.& Technol. Network, Inc.). Miembro de Comité editorial de Catalysis Today (Editorial Elsevier) y Photochemical and Photobiological Sciences. (RSC Publishing). Premio Jaime I de Protección del Medio Ambiente, 2011. <http://www.fvea.es/medioambiente.html>. Gran Premio del Jurado del Premio Europeo de Innovación, 11 Diciembre 2004, Mónaco. http://www.european-grandprix.com/index_en.htm. Director de Centro de Investigación de la Energía Solar (CIESOL). <http://www.ciesol.es>. Director de la Plataforma Solar de Almería (www.psa.es).

Sixto Malato Rodríguez

Dipl. Chemistry (Chemical Engineering) by Facultad de Ciencias of University of Granada (1987). Master in Environmental Sciences by the Instituto de Investigaciones Ecológicas (Málaga, 1994). PhD in Chemical Engineering at the University of Almería (1997). Director of Plataforma Solar de Almería (www.psa.es). Director of Joint Research Center (Univ. Almería-CIEMAT) of R&D in Solar Energy (CIESOL). <http://www.ciesol.es>. 24 years of experience having worked at different sectors. He works at the Plataforma Solar de Almería (PSA-CIEMAT) in all the projects linked to solar water treatment. Concretely, he has been involved in 15 EU and 16 National related to the development of solar wastewater treatment technologies, and has been involved in the design and construction of all the experimental pilot plants for solar detoxification of industrial waste water in Europe. He is author of 1 book and co-author of 15 books as well as 47 chapters in others. He has also co-authored more than 170 publications in indexed international journals and 4 patents. He has directed 11 PhD Thesis. Ass. editor Environmental Chemistry Letters (Ed. Springer), and Journal of Advanced Oxidation Technologies (Sci.& Technol. Network, Inc.). Member of editorial board: Catalysis Today (Elsevier) and Photochemical and Photobiological Sciences. (RSC Publishing). h-index (<http://www.scopus.com>, Jan 2013): 48

The Jury's Grand Prix of "European Grand Prix for Innovation Awards". 11 December 2004, Mónaco. http://www.european-grandprix.com/index_en.htm. Jaime I Price in Environmental Protection, 2011 (Most important in science in Spain). <http://www.fvea.es/medioambiente.html>.

2.5.3 Miembros del grupo

- Amadeo Rodríguez Fernández-Alba
- Ana Agüera
- María José Gómez
- Octavio Malato
- Samanta Uclés
- Sixto Malato
- María Jesús Martínez
- María del Mar Gómez
- Ana Uclés



2.5.4 Tratamiento y reutilización de aguas residuales para una gestión sostenible. (TRAGUA)

Participantes:

- Grupos de Ingeniería Química de la Universidad de Alcalá
- Universidad Rey Juan Carlos
- Universidad Autónoma de Madrid
- Universidad Complutense, Universidad de Extremadura
- Universidad de Castilla la Mancha
- Universidad de Cantabria
- CIEMAT
- CIESOL
- Grupo de Microbiología Ambiental de la Universidad Autónoma de Barcelona
- Química Analítica de la Universidad de Jaén
- Microbiología III de la Universidad Complutense
- Laboratorio de Ecotoxicología del INIA
- Instituto Jaume Almería del CSIC/Universidad de Barcelona
- Departamento de Geología de la Universidad de Alcalá
- Grupo de Geología de la Universidad Rey Juan Carlos

- Universidad Politécnica de Catalunya
- COEXPHAL
- Universidad Las Palmas de Gran Canarias
- ASAJA-GRANADA
- Grupo de Economía Ambiental de la Universidad de Alcalá
- Universidad de Alicante
- Cátedra UNESCO de Territorio y Medio Ambiente de la Universidad rey Juan Carlos

Contactos:

Amadeo R. Fernández-Alba (amadeo@ual.es)
Sixto Malato (sixto.malato@psa.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Educación y Ciencia: Convocatoria Plan Nacional de I+D+i 2004-2007.
CONSOLIDER-INGENIO 2010. Convocatoria 2006

Duración prevista:

Septiembre 2006 – Junio 2012.

Situación:

Finalizado

Antecedentes:

La gestión sostenible del agua tiene como uno de sus pilares básicos a la reutilización. Según estudios recientes realizados sobre nuestro país el potencial de reutilización de agua es alrededor de 10 veces superior al nivel actual. Las causas de la escasa reutilización de aguas son diversas, entre las más importantes: no se dispone de protocolos de tratamiento para las aguas generadas en las EDAR, no existen criterios claros para elegir tecnologías en los tratamientos avanzados, no existen indicadores de calidad de las aguas de aceptación generalizada en función de su uso posterior y tampoco se dispone de instrumentos que permitan establecer las ventajas económicas y sociales de la reutilización. Estos son los motivos fundamentales por los que se propone el programa TRAGUA.

Objetivos:

El objetivo de este programa es abordar de manera integrada los diferentes aspectos implicados en la reutilización de aguas residuales procedentes de EDAR. El equipo estudiará la aplicación de tratamientos de las aguas procedentes de las EDAR basados en tecnologías avanzadas, establecerá los criterios de calidad química y biológica de las aguas y determinará su impacto sobre el medio natural.

Resultados durante 2012:

Dado que el proyecto finalizaba en Junio de 2012, la principal actividad de este año se ha centrado en la elaboración de los informes finales, guías y otros documentos propuestos en la memoria inicial del proyecto. El grupo de Química Ambiental ha participado en la elaboración de los cuatro documentos que se muestran en la Figura 2.5.4.1.

Información adicional sobre el contenido de las guías y demás documentos puede encontrarse en:
<http://www.consolider-tragua.com>



Fig. 2.5.4.1. Documentos derivados del proyecto

Se finalizaron asimismo trabajos relacionados con lo que han sido las principales contribuciones del grupo a los resultados del proyecto:

1. Desarrollo de nuevos métodos analíticos para la determinación de contaminantes orgánicos en efluentes y aguas naturales basados en la aplicación de nuevos procesos de tratamiento de muestras (SBSE, DI) y análisis (LC-QTOF-MS), con especial énfasis en la aplicación simultánea de métodos cuantitativos de screening de compuestos "objetivo" y análisis cualitativo de compuestos "no objetivo", con el fin de ampliar el ámbito de los métodos con un mínimo consumo de tiempo y esfuerzo. Para ello se ha hecho uso de herramientas informáticas avanzadas (PeakView™ and MultiQuant™) de tratamiento de datos y de bases de datos espectrales basadas en medidas de masa exacta. Un esquema de las estrategias propuestas para el tratamiento de los resultados analíticos se muestra en la Figura 2.5.4.2. A la finalización del proyecto se puede decir que se dispone de métodos analíticos rápidos, sensibles, selectivos y robustos para la determinación de cientos de contaminantes en aguas residuales y ambientales.

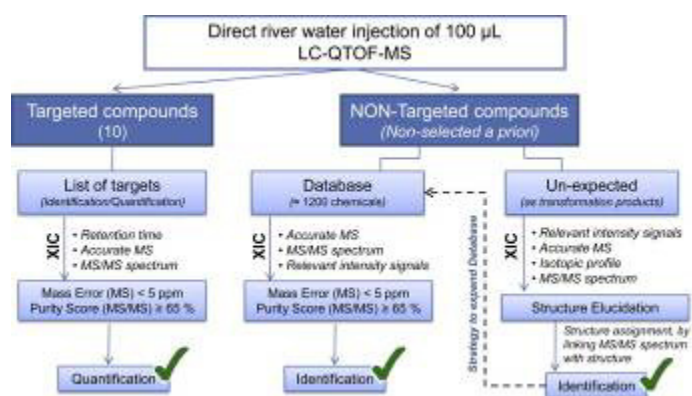


Fig. 2.5.4.2. Estrategia de tratamiento de datos propuesta

2. Estudios de identificación de productos de transformación de contaminantes emergentes durante los procesos de tratamiento y evaluación de su toxicidad. A la finalización del proyecto puede decirse que se han desarrollado estrategias analíticas útiles para la identificación de productos de transformación desconocidos tanto en aguas residuales como en aguas naturales, poniéndose de manifiesto la importancia de este tipo de estudios para una adecuada evaluación de las aguas dado que en muchos casos los intermedios generados son más tóxicos y persistentes.

3. Optimización de procesos de tratamiento terciario de efluentes basados en el empleo de foto-Fenton a pH neutro y a dosis mínimas de hierro y H₂O₂. El empleo de etilendiamina-N,N'-ácido disuccínico (EDDS) como agente complejante del hierro permite la estabilización del mismo en solución. Los resultados obtenidos en ensayos con aguas residuales reales han demostrado que el procedimiento propuesto permite la degradación de los micro-contaminantes orgánicos presentes en las aguas, evitando el incremento de la salinidad del agua como consecuencia del ajuste del pH previo y posterior al tratamiento. La principal desventaja del proceso radica en la degradación del EDDS con el consiguiente consumo de radicales •OH e incremento del coste del proceso y la incompleta desinfección del efluente.

Hay que reseñar que el Programa Consolider Tragua, fue reconocido el pasado 12 de diciembre, durante la Gala de la Ciencia 2012, como uno de los cinco mejores proyectos representativos de la calidad científica española a criterio de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica, la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP) y la Subdirección General de Proyectos de Investigación.

Abstract:

Since the project ended in June 2012, the main activity this year has focused on the preparation of the final reports, guides and other documents proposed in the initial project memory. The Environmental Chemistry Group has participated in the development of the four documents shown in Figure 2.5.4.1. Additional information about the documents can be found at: <http://www.consolider-tragua.com>

The main contributions of the Environmental Chemistry Group to the Consolider Tragua project can be summarized as follows:

1. *Development of rapid, sensitive, selective and robust analytical methods for comprehensive determination of target and non-target organic pollutants in wastewater and natural waters, taking advantage of new software tools (PeakView™, MultiQuant™) for data processing and spectral databases based on accurate mass measurements. A diagram of one of the proposed strategies for treating analytical results is shown in Figure 2.5.4.2. (J. Chromatogr. A 1256, 2012, 80)*
2. *Development of analytical strategies useful for identifying unknown transformation products in both wastewater and natural waters, pointing out the relevance of these studies for an adequate water assessment, as in many cases intermediates are more toxic and persistent than parent compounds.*
3. *Optimization and application of a tertiary treatment based on the use of a modified photo-Fenton at neutral pH and low doses of iron and H₂O₂. The use of ethylenediamine-N, N'-disuccinic acid (EDDS) as complexing agent permits the stabilization of iron in solution. The application of the treatment to real wastewater effluents have shown that the method allows for degradation of the organic micro-contaminants present in water, preventing the increase of salinity derived from of pH adjustment before and after the treatment required in conventional photo-Fenton. The main disadvantages of the process are i) the degradation of EDDS with the consequent consumption of OH• radicals and increased cost and ii) the incomplete disinfection of the effluent.*

It should be noted that the Tragua Consolider Program, was recognized last December 12, during the Gala of Science 2012 as one of the five best projects representative of the Spanish scientific quality.

Publicaciones.

- Trovó, A. G.; Pupo Nogueira, R. F.; Agüera, A.; Fernandez-Alba, A. R.; Malato, S., Paracetamol degradation intermediates and toxicity during photo-Fenton treatment using different iron species. *Water Research* 2012, 46 (16), 5374-5380.

- Chary, N. S.; Herrera, S.; Gómez, M. J.; Fernández-Alba, A. R., Parts per trillion level determination of endocrine-disrupting chlorinated compounds in river water and wastewater effluent by stir-bar-sorptive extraction followed by gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 2012, 404 (6-7), 1993-2006.
- Martínez Bueno, M. J.; Ulaszewska, M. M.; Gomez, M. J.; Hernando, M. D.; Fernández-Alba, A. R., Simultaneous measurement in mass and mass/mass mode for accurate qualitative and quantitative screening analysis of pharmaceuticals in river water. *Journal of Chromatography A* 2012, 1256, 80-88.
- Agüera, A.; Ramos, M. M. G.; Fernández-Alba, A. R., Chemical Evaluation of Water Treatment Processes by LC-(Q)TOF-MS: Identification of Transformation Products. 2012; Vol. 58, pp 61-109.
- Bueno, M. J. M.; Gomez, M. J.; Herrera, S.; Hernando, M. D.; Agüera, A.; Fernández-Alba, A. R., Occurrence and persistence of organic emerging contaminants and priority pollutants in five sewage treatment plants of Spain: Two years pilot survey monitoring. *Environmental Pollution* 2012, 164, 267-273.
- Pareja, L.; Pérez-Parada, A.; Agüera, A.; Cesio, V.; Heinzen, H.; Fernández-Alba, A. R., Photolytic and photocatalytic degradation of quinclorac in ultrapure and paddy field water: Identification of transformation products and pathways. *Chemosphere* 2012, 87 (8), 838-844.
- Gómez, M. J.; Herrera, S.; Solé, D.; García-Calvo, E.; Fernández-Alba, A. R., Spatio-temporal evaluation of organic contaminants and their transformation products along a river basin affected by urban, agricultural and industrial pollution. *Science of the Total Environment* 2012, 420, 134-145.
- Klamerth, N.; Malato, S.; Agüera, A.; Fernández-Alba, A.; Mailhot, G., Treatment of municipal wastewater treatment plant effluents with modified photo-fenton as a tertiary treatment for the degradation of micro pollutants and disinfection. *Environmental Science and Technology* 2012, 46 (5), 2885-2892.
- Pérez-Parada, A.; Gómez-Ramos, M. M.; Bueno, M. J. M.; Uclés, S.; Uclés, A.; Fernández-Alba, A. R., Analytical improvements of hybrid LC-MS/MS techniques for the efficient evaluation of emerging contaminants in river waters: A case study of the Henares River (Madrid, Spain). *Environmental Science and Pollution Research* 2012, 19 (2), 467-481.

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

Participantes:

- Grupo de Inv. "Residuos de Plaguicidas" (CIESOL, Univ. De Almería)
- Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua" (CIESOL, Univ. de Almería)
- Unidad de "Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar" de la Plataforma Solar de Almería (CIESOL, 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. CTQ2010-20740-C03-03

Duración prevista:

Enero 2011 - Diciembre 2013.

Situación:

En curso

Antecedentes:

La reutilización de aguas residuales requiere de tratamientos físico-químicos de afino que devuelvan al agua una calidad adecuada al destino previsto. Existen actualmente nuevas tecnologías para lograr estos fines, pero 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 el riesgo ambiental que facilite su implementación. Es también necesario, para garantizar la calidad de las aguas regeneradas, evaluar estos tratamientos mediante técnicas analíticas sofisticadas, que permitan conocer en detalle los contaminantes presentes y sus niveles de concentración, incluyendo el estudio del riesgo potencial asociado a la reutilización del agua tratada.

Objetivos:

Se trata de un proyecto coordinado cuyo objetivo general es 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). Como objetivos específicos de este subproyecto se incluyen:

1. Caracterización química de las aguas residuales utilizadas durante el proyecto
2. Evaluación analítica de la eficiencia de los tratamientos aplicados con el fin de confirmar la eliminación de los contaminantes presentes las en aguas residuales y garantizar la calidad de las aguas regeneradas.
3. Asimismo se estudiará la viabilidad de la aplicación de las aguas regeneradas mediante los tratamientos terciarios como agua de riego.

Resultados durante 2012:

Se ha trabajado en el estudio de la degradación del plaguicida tiabendazol (TBZ) mediante tratamiento biológico con un Reactor de Membrana (MBR) y tratamiento (foto)catalítico mediante Fenton y foto-Fenton solar. Este estudio se ha realizado en colaboración con el grupo de Tratamiento de Aguas (subproyecto 1). Se contó también con la participación de la Dra. Carla Sirtori, de la Universidade Federal

da Integração Latino-Americana (UNILA), de Brasil, que ha realizado una estancia de investigación en nuestro centro. Estudios previos realizados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la EPO colaboradora del proyecto, permitieron identificar el tiabendazol como refractario al tratamiento aplicado en la misma, basado en un reactor biológico secuencial (SBR). Por ello, se planteó la aplicación de tratamientos alternativos que eliminaran/redujeran la presencia de este compuesto en los efluentes. El tratamiento en el MBR se realizó alimentando el mismo con un influente simulado ($\text{TOC}=348 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{IC}=5,8 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{DQO}=1230$) dopado con una concentración inicial de TBZ de 100 ppb. Se observó que durante el tratamiento se producía una reducción del TOC del 96%, sin embargo, si bien la concentración de TBZ empleada no resultaba tóxica para los fangos, ésta se mantenía inalterada durante el tratamiento.

Como alternativa de tratamiento se realizaron experimentos de Fenton y foto-Fenton, en ambos casos sin modificación del pH para simplificar el proceso de cara a una futura aplicación como post-tratamiento acoplado al tratamiento biológico. Para compensar la precipitación del hierro en tales condiciones de trabajo, los experimentos se realizaron mediante adiciones consecutivas de 20+20+20 mg/L. Los experimentos se realizaron utilizando un efluente simulado dopado con 100 ppb de TBZ. El seguimiento de la evolución de la concentración de TBZ durante los experimentos se realizó mediante LC-QTRAP-MS/MS a fin de poder detectar bajas concentraciones del plaguicida que escapan a los análisis convencionales mediante LC-DAD, y que se encuentran más próximas a los niveles reales encontrados en los efluentes de la industria utilizada como modelo. Los resultados obtenidos mostraron una eliminación del TBZ de 92% con Fenton y 94% con foto-Fenton tras la primera adición de Fe y del 99.9% en ambos casos tras la segunda. Si bien esta reducción era importante, la total eliminación del TBZ no pudo alcanzarse incluso después de la tercera adición de Fe, quedando una concentración residual de TBZ de 0.09 ppb.

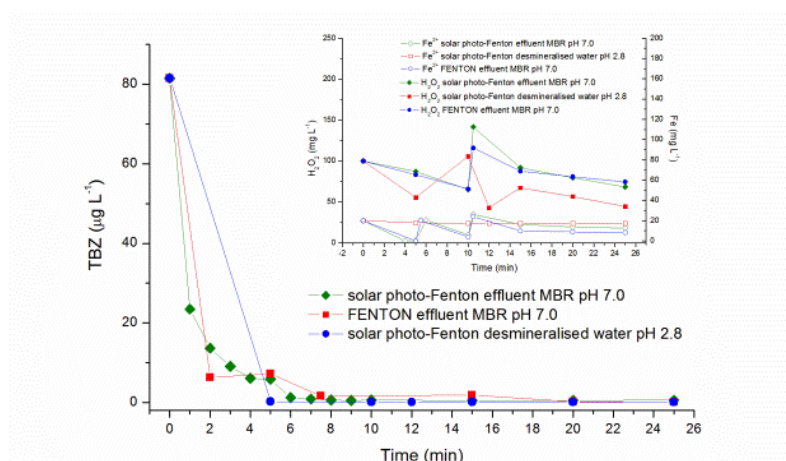


Fig. 2.5.5.1. Seguimiento de la concentración de TBZ, Fe y H_2O_2 durante los experimentos realizados

Un tercer ensayo, por foto-Fenton a $\text{pH}=2,8$ y en agua destilada permitió verificar que, incluso en condiciones óptimas de degradación, no era posible reducir la concentración residual de 0.09 ppb. Dado que no hay diferencias apreciables entre ambos tratamientos (Fenton y foto-Fenton) a pH neutro es razonable proponer el tratamiento con Fenton y dos adiciones de Fe^{2+} como alternativa de tratamiento. El número de adiciones de Fe^{2+} a realizar y el tiempo entre ellas se ajustaría a las condiciones reales de la planta a fin de reducir coste y tiempo del tratamiento, sin embargo la rápida degradación del

contaminante permite augurar resultados prometedores en efluentes reales. Dado, no obstante que la presencia de carbonatos/bicarbonatos en los efluentes puede afectar drásticamente al tratamiento con Fenton, el grupo de Tratamiento de Aguas del CIESOL está trabajando en la optimización del tratamiento biológico mediante el control del pH para reducir el contenido de estos iones y favorecer el post-tratamiento mediante Fenton. Adicionalmente se realizaron estudios de identificación de intermedios de TBZ durante el tratamiento con Fenton mediante el empleo de técnicas de espectrometría de masas de alta resolución (LC-QTOF-MS). Las reacciones de hidroxilación e hidrólisis fueron las responsables de los intermedios identificados. Los derivados hidroxilados alcanzaron concentraciones elevadas coincidiendo con la desaparición del TBZ, lo que implica que el seguimiento de los intermedios puede ser también importante de cara a optimizar el tratamiento con Fenton en condiciones reales.

Abstract:

Because of the limited degradation observed for some pesticides during the treatment with SBR applied in the industry involved in the project, alternative treatments have been studied based on biological treatment with membrane reactor (MBR) and on (photo)catalysis by Fenton and solar photo-Fenton in order to reduce or eliminate the concentration of these contaminants in the effluents. Thiabendazole (TBZ) has been selected as model compound during the treatments in simulated effluents at an initial concentration of 80-100 ppb. The biological treatment in the MBR allowed a 96% reduction of DOC, but resulted unefficient in the degradation of TBZ. Fenton and photo-Fenton experiments were performed at neutral pH, using sequential additions of Fe^{2+} to compensate for the precipitation of this reactive in such pH conditions. Fenton and photo-Fenton processes resulted in a rapid TBZ removal, obtaining 99.9% degradation after two additions of Fe^{2+} (20+20 mg/L). However, a residual concentration of TBZ of 10 g/L persisted even after a third addition of 20 mg/L of Fe^{2+} . Monitoring of TBZ degradation was followed by LC-QTrap-MS/MS in order to reach low concentrations of the pesticide, which are closest to the actual levels found in the industrial effluent used as model and escape to conventional analysis by LC-DAD. Results obtained reinforce the importance of using sensitive analytical tools to provide a realistic evaluation of the treatments.

Publicaciones:

- Agüera, A.; Martínez Bueno, M. J.; Fernández-Alba, A. R., New trends in the analytical determination of emerging contaminants and their transformation products in environmental waters. *Environmental Science and Pollution Research* 2013, 1-20.
- Agüera, A.; Ramos, M. M. G.; Fernández-Alba, A. R., Chemical Evaluation of Water Treatment Processes by LC-(Q)TOF-MS: Identification of Transformation Products. 2012; Vol. 58, pp 61-109.
- Klammerth, N.; Malato, S.; Agüera, A.; Fernández-Alba, A., Photo-Fenton and modified photo-Fenton at neutral pH for the treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plant effluents: A comparison. *Water Research* 2013, 47 (2), 833-840.
- Agüera, A.; Gómez-Ramos, M.M.; Fernandez-Alba, A.R. Transformation products of pesticides in the environment: Analysis and occurrence. *Transformation Products of Emerging Contaminants in the Environment: Analysis, Processes, Occurrence, Effects and Risks*. John Wiley & Sons, Inc., 2013 (En prensa).

3. PROYECTO SINGULAR ESTRATÉGICO SOBRE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y FRÍO SOLAR (PSE-ARFRISOL)

3.1 INTRODUCCION

ARFRISOL PS-120000-2005-1 (www.arfrisol.es) es un Proyecto Científico-Tecnológico Singular de carácter Estratégico financiado por Plan Nacional de I+D+I y coordinado por la Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación del CIEMAT que a lo largo de los últimos 6 años ha permitido al centro CIESOL, al igual que a otros centros más en España, contar con un conjunto de infraestructuras científicas y de demostración relacionadas con la eficiencia energética en la edificación tanto desde el punto de vista de aprovechamiento solar, de la mejora de los sistemas de control de las instalaciones y de la monitorización de parámetros ambientales de los espacios en los edificios. Este proyecto, de gran relevancia para el centro a lo largo de los últimos años, ha concluido a lo largo de 2012. En el mismo, en los trabajos vinculados de forma directa al edificio CIESOL han participado 3 grupos, la Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación del CIEMAT y las unidades de Evaluación de Recursos Solares y de Modelado y Control Automático del propio centro.

Hay que destacar que además de los resultados concretos que se han ido presentando a lo largo de cada uno de los informe anuales anteriores, pueden identificarse otro tipo de resultados que se consideran importantes a largo plazo tales como las aportaciones en cuanto a desarrollo de metodologías de evaluación experimental de edificios, y la disponibilidad de los C-Ddl como soporte experimental a futuros trabajos de investigación en este ámbito.

Los edificios demostradores (C-Ddl's) construidos en el marco del PSE-ARFRISOL, uno de ellos el propio edificio CIESOL, son instalaciones experimentales de gran valor en el campo de la investigación en Eficiencia Energética en la Edificación, entre otras cosas gracias a su completa instrumentación, sistema de adquisición de datos y a estar monitorizados de forma continua. En este sentido son también de gran interés los diferentes sistemas pasivos y solares activos integrados los diferentes C-Ddls. Concretamente en el caso del edificio CIESOL además del propio edificio, presentan especial interés el sistema de frío solar y la fachada ventilada.

Finalizado este proyecto está previsto continuar realizando actividades de difusión en cuanto a publicación y participación en congresos. También se ha iniciado la elaboración de diferentes propuestas donde estas instalaciones experimentales tienen un papel fundamental en cuanto a soporte experimental. Entre las actividades que se están realizando en torno a esta temática cabe destacar que CIESOL será sede de la 2ª edición de una escuela de verano sobre "Dynamic data analysis and performance characterisation" organizada en el marco de trabajo del Annex 58 del programa ECBCS de la IEA.

Participantes:

Para llevar a cabo las Investigaciones de este PSE se firmó el 15 de Diciembre de 2005 un Acuerdo de Consorcio entre las siguientes Instituciones:

- Empresas Constructoras:
 - ACCIONA
 - FCC
 - DRAGADOS
 - OHL
- Empresas fabricantes de captadores solares y módulos fotovoltaicos:
 - ISOFOTON
 - ATERSA
 - GAMESA
 - UNISOLAR
- Empresas fabricantes de bombas de absorción para ser acopladas a captadores solares:
 - UNISOLAR
- Empresas instaladoras de captadores solares y módulos fotovoltaicos:
 - ATERSA
 - GAMESA
 - UNISOLAR
 - ACCIONA
 - ISOFOTON
- Empresas e ingenierías de diseño de instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas:
 - ATERSA
 - GAMESA
 - UNISOLAR
 - ACCIONA
 - ISOFOTON
- Grupos de Investigación:
 - CIEMAT
 - Universidad de Oviedo
 - Universidad de Almería
- Depositarios finales de los edificios:
 - CIEMAT
 - Fundación Barredo (Asturias)
 - Universidad de Almería
- Coordinador:
 - CIEMAT

Teniendo como subcontratada a la Real Sociedad Española de Física (RSEF) para la elaboración de los Módulos Educativos a nivel de Infantil, Primaria y Secundaria.

Contactos:

- **Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación (CIEMAT):**
 - M. R. Heras (Mrosario.heras@ciemat.es)
 - M. J. Jiménez (Mjose.Jimenez@psa.es)
- **Grupo de Evaluación de Recursos Solares (UAL):**
 - F.J. Batlles (fbatlles@ual.es)
- **Grupo de Modelado y Control Automático (UAL):**
 - M. Berenguel (beren@ual.es)
 - M. Pérez (mperez@ual.es)

Fuente de financiación:

50% MEC y las CCAA

Duración prevista:

Mayo 2005 – Mayo 2012

Situación:

Finalizado

Antecedentes:

Ver informe de los años 2008, 2009, 2010 y 2011

3.2 ACTIVIDADES EN MODELADO, CONTROL AUTOMÁTICO Y MONITORIZACIÓN:

Los objetivos fundamentales del grupo de modelado y control automático están relacionados con la monitorización y control jerárquico de las instalaciones, fundamentalmente en aspectos relacionados con la instalación de frío solar y el confort del edificio.

Resultados durante 2012:

- Finalización de la tesis de Manuel Pasamontes Romera.
- Técnicas de control por conmutación.
- Control de confort en habitaciones.
- Técnicas de identificación e identificación relevante para control.
- Aspectos educativos.



Fig. 3.1. Vistas del CDDI CIESOL-ARFRISOL

Abstract:

The main activities during 2012 in this project have been related to the development of identification and control techniques, mainly in aspects related to the solar cooling system and control confort inside the building. The main results during 2012 are:

- *PhD thesis of Manuel Pasamontes Romera.*
- *Switching control techniques.*
- *Comfort control in rooms.*
- *Control relevant-identification.*
- *Educational aspects.*

3.2.1 Control de confort en habitaciones

Se han desarrollado diversos controladores automáticos para complementar las medidas activas del C-DdI CIESOL y poder alcanzar un confort térmico óptimo. A partir de los diferentes análisis de confort que se han realizado en el interior del C-DdI CIESOL, se llegó a la conclusión de que era necesario la utilización de un sistema de control que permita mantener el confort de los usuarios y, al mismo tiempo, minimizar el consumo de energía. Se realizó una comparación entre varios enfoques de control predictivo que permitieron obtener un nivel de confort alto, optimizando el uso del sistema de climatización a través de distintas funciones de coste. Además, también se obtuvieron resultados reales en el interior del C-DdI CIESOL para cada una de las estrategias de control testeadas. Las estrategias de control propuestas están enfocadas desde dos puntos de vista diferentes:

- En el primer enfoque se utiliza una estrategia de control predictivo jerárquico con distintas funciones de coste. La capa superior se dedica a optimizar las referencias de temperatura necesarias para mantener el confort térmico. La capa inferior se encarga de seguir esas referencias actuando sobre el sistema de fancoils mediante controladores PID.
- En el segundo enfoque, el problema se aborda a través de estrategias de control predictivo clásico con distintas funciones de coste, y se actúa sobre la velocidad de los fancoils.

Este trabajo se describe en las referencias Alvarez y col. ^(a), Castilla y col. ^(b), Castilla y col. ^(c).

3.2.2 Control para el sistema de captadores solares

Para obtener la energía requerida para mantener el confort térmico de los usuarios se ha desarrollado un sistema de control por conmutación para la instalación de frío solar que se encuentra en la cubierta del C-DdI CIESOL. Los campos de captadores solares son sistemas que suelen presentar una importante no linealidad en su comportamiento. Cuando el control de dichos sistemas se aborda mediante estrategias clásicas de control lineal, se produce un error significativo con respecto al comportamiento deseado debido a esta no linealidad, que implica que una misma acción de control puede provocar efectos diferentes dependiendo del estado actual del sistema. La alternativa lineal aplicada más habitualmente

para tratar este fenómeno, se basa en el diseño de múltiples controladores lineales para distintos puntos de operación, y la selección en cada momento del más cercano al punto de operación actual. Desafortunadamente, la sustitución de un controlador por otro diferente causa transitorios en la señal de control, debido a que el estado inicial del nuevo controlador no es adecuado para la situación actual del sistema, que puede llegar a desestabilizar el sistema.

Como solución al problema anterior, se definió una estrategia de conmutación entre controladores basada en la manipulación del estado de los controladores en su representación en espacio de estados. De esta forma se consigue que ante un cambio de controlador, la señal de control aplicada por el nuevo controlador en el mismo instante del cambio sea coherente con la señal de control aplicada en el instante anterior. Dicha estrategia de conmutación fue aplicada con éxito para implementar un sistema de control para el sistema de captadores solares del C-DdI CIESOL. Este trabajo se describe en la referencia Pasamontes (d).

3.2.3 Control de instalación de frío solar

Para controlar toda la instalación de frío solar se decidió el desarrollo e implementación de un controlador híbrido. Primero, se definió un modelo de balance de energía adaptado a las necesidades de los problemas de control automático del subsistema de generación de calor del C-DdI CIESOL. El modelo obtenido debía cubrir diferentes necesidades. En primer lugar, que sirviese como herramienta para diseñar y probar los algoritmos de control en simulación antes de ser implementados en el sistema real, permitiendo ser utilizado para realizar análisis de optimización del proceso. Por último, se deseaba utilizar el mismo modelo para realizar predicciones del comportamiento dinámico de la planta por parte de controladores avanzados online, siendo necesario que este fuese lo suficientemente ligero como para cumplir con la constante de tiempo de los mismos. Además, era necesario tener en cuenta que existía cierta limitación en cuanto a la información disponible del funcionamiento interno de ciertos componentes.

La caracterización del modelo se realizó en tres fases, fijando en primer lugar aquellos parámetros de los que se disponía de información técnica, despejando aquellos valores que podían ser obtenidos mediante la aplicación de reglas geométricas o a través de ciertas tablas de referencia, posteriormente el resto de parámetros fueron obtenidos mediante la aplicación de métodos de mínimos cuadrados.

Utilizando el modelo anteriormente descrito es posible realizar predicciones del comportamiento del sistema con independencia del punto de operación en que se encuentre, aspecto de gran influencia en los modelos lineales cuando el rango de trabajo es amplio.

Usando el modelo no lineal se ha podido diseñar una estrategia de control predictivo híbrido, basada en la linealización de la respuesta forzada (acciones, perturbaciones y salidas futuras) en función del punto de operación actual, mientras que la respuesta libre (acciones, perturbaciones y salidas pasadas) es obtenida directamente del modelo no lineal. El optimizador del controlador MPC (Model Predictive Control) utiliza el modelo lineal de la respuesta libre, teniendo en cuenta la evolución libre del sistema,

para calcular la mejor secuencia de acciones futuras a aplicar en el instante actual. La ventaja de linealizar la respuesta libre del sistema con respecto a utilizar un modelo no lineal es la reducción tiempo necesario para obtener una solución. Este trabajo se describe en las referencias Pasamontes y col. ^(d), y Pasamontes ^(e).

3.2.4 Modelado de estancias para de caracterización térmica de su envolvente

Se ha llevado acabo el estudio de un despacho del C-Ddl del SP3 situado en Madrid. Se han analizado los datos correspondientes a un periodo de ensayo de más de dos años (26 meses). El edificio estaba siendo utilizado con normalidad durante este periodo.

En un primer análisis se ha utilizado un método de regresión basado en medias para identificar las principales contribuciones al balance energético en el recinto. Es importante destacar que en este trabajo se han tenido en cuenta los aspectos dinámicos, aunque las ecuaciones utilizadas presentan ciertas analogías con las del estado estacionario.

Se ha desarrollado una herramienta que permite gestionar y filtrar el gran volumen de datos necesario para llevar a cabo este análisis de forma sistematica y fiable. Tambien se han desarrollado diferentes métodos para medir la ocupacion del recinto y modelar el aporte energético debido a la actividad metabólica de los usuarios.

Se ha demostrado la capacidad de método utilizado para extraer algunos de los principales parámetros térmicos de la habitación considerada. También se han identificado las principales contribuciones al balance energético en la habitación. Este primer análisis proporciona criterios útiles para seleccionar las principales contribuciones a la ecuación de balance energético que se utilizarán en los próximos análisis aplicando métodos dinámicos. Además, los parámetros que se obtienen en este primer estudio proporcionan un soporte muy útil para la validación de futuros trabajos. El principal inconveniente del método aplicado es que requiere un periodo de tiempo excesivamente largo para obtener parámetros fiables, lo cual limita su utilidad para aplicaciones comerciales. En próximos trabajos se aplicarán métodos dinámicos que reducen drásticamente el periodo de ensayo. Este trabajo se describe en las referencias Castillo y col. ^(f), Castillo y col. ^(g).

3.3 ACTIVIDADES EN FRÍO SOLAR E INSTALACIONES TÉRMICAS:

Se pretende analizar en el edificio CIESOL: el comportamiento termodinámico del sistema de calefacción y refrigeración instalado basado en equipos de energía solar térmica que cubran las necesidades energéticas, la instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la Red.

Resultados de “frío solar” durante 2012:

Durante este año se han realizado las siguientes tareas:

3.3.1 Análisis de un sistema de evacuación del calor utilizando agua del subsuelo

Se estudió una instalación alternativa a la existente para la disipación del calor residual que se produce en la máquina de absorción. Se trata de aprovechar las posibilidades de refrigeración que nos ofrece el agua del subsuelo, sustituyendo la torre de refrigeración, que tiene un consumo de agua desmineralizada importante, además de ser una posible fuente de legionella. Se trata de una instalación que consta en dos pozos excavados a la profundidad de 20 metros y separados con una distancia de 100 metros y un intercambiador de placas contracorriente situado en el edificio CIESOL y a través del cual se produce el enfriamiento del agua procedente de la máquina de absorción. El funcionamiento de la instalación es simple. Una bomba sumergible ubicada en el pozo más cercano vehicula el agua del pozo por una tubería a unos 15.000 litros/hora de caudal aproximadamente. El agua a una temperatura media de 21°C sale del pozo y se dirige a un intercambiador situado en el edificio CIESOL. En el intercambiador aumenta su temperatura, extrayendo calor del circuito de calor residual de la máquina de absorción. Una vez calentada, el agua se vehicula hasta el pozo más alejado. Este proceso se realiza de manera continua siempre que sea necesario evacuar calor del proceso. Al otro lado del intercambiador, circula el agua procedente de la máquina de absorción. Durante el año 2011 se realizaron varios ensayos con el fin de comparar ambos sistemas de disipación de calor. Se ha visto que el sistema de disipación de calor que utiliza el agua del subsuelo mejora la eficiencia del sistema de frío solar, reduciendo su demanda final de electricidad y agua desmineralizada. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que durante un periodo de refrigeración dicho sistema utiliza 30% menos de electricidad que la torre de refrigeración y, además permite ahorrar unos 116 m³ de agua desmineralizada. Los principales resultados de este estudio se reflejan en la publicación "Shallow geothermal energy applied to a solar-assisted air-conditioning system in southern Spain: two-year experience" (Rosiek and Batlles ^(h)).

Abstract:

The increasing energy consumption in many countries (especially in Spain) is moving from the winter to summer months due to the usage of cooling systems. Passive saving strategies together with active solar system play an important role as methods to reduce energy consumption and CO₂ emissions, and have been in intensive development and are becoming considered as the viable application in the regions of southern Europe. The Spanish Ministry of Science and Innovation (MINCIN former MEC) is promoting a singular strategic project called ARFRISOL.

This project intends to save up to 60% office building energy demand by means of passive techniques and reduce conventional energy consumption to only 10-20% of the usual consumption with active solar devices. In this framework five Research and Demonstration Office Building Prototypes (R&DOBP) in different Spanish climatic zones have been built. One of these buildings is CIESOL with photovoltaic system to self-supply electricity, and solar-assisted air-conditioning. The PV panels and the solar collectors integrated into its roof perform as passive shading devices that benefit the thermal performance of the building.

CIESOL and all the 5 ARFRISOL Building Prototypes are being monitored for at least a year to analyze the building performance in real use conditions. In this period the monitoring software and data acquisition system has been developed.

Also in this period the behavior of the solar-assisted air-conditioning installed in the CIESOL building has been analyzed. This system consists mainly of flat-plate solar collectors and the simple effect LiBr-H₂O absorption chiller. Different operation modes were analyzed. Coefficient of performance (COP) at various

generator, absorber, condenser and evaporator temperatures is being investigated and experimental results show that in practice it is easy to obtain values of about 0.6. The main goal of this work is to describe the characteristics of the developing building and the solar-assisted air-conditioning system. Another useful purpose is to find the optimum conditions and operation parameters for the solar system through analyzing various system operation strategies.

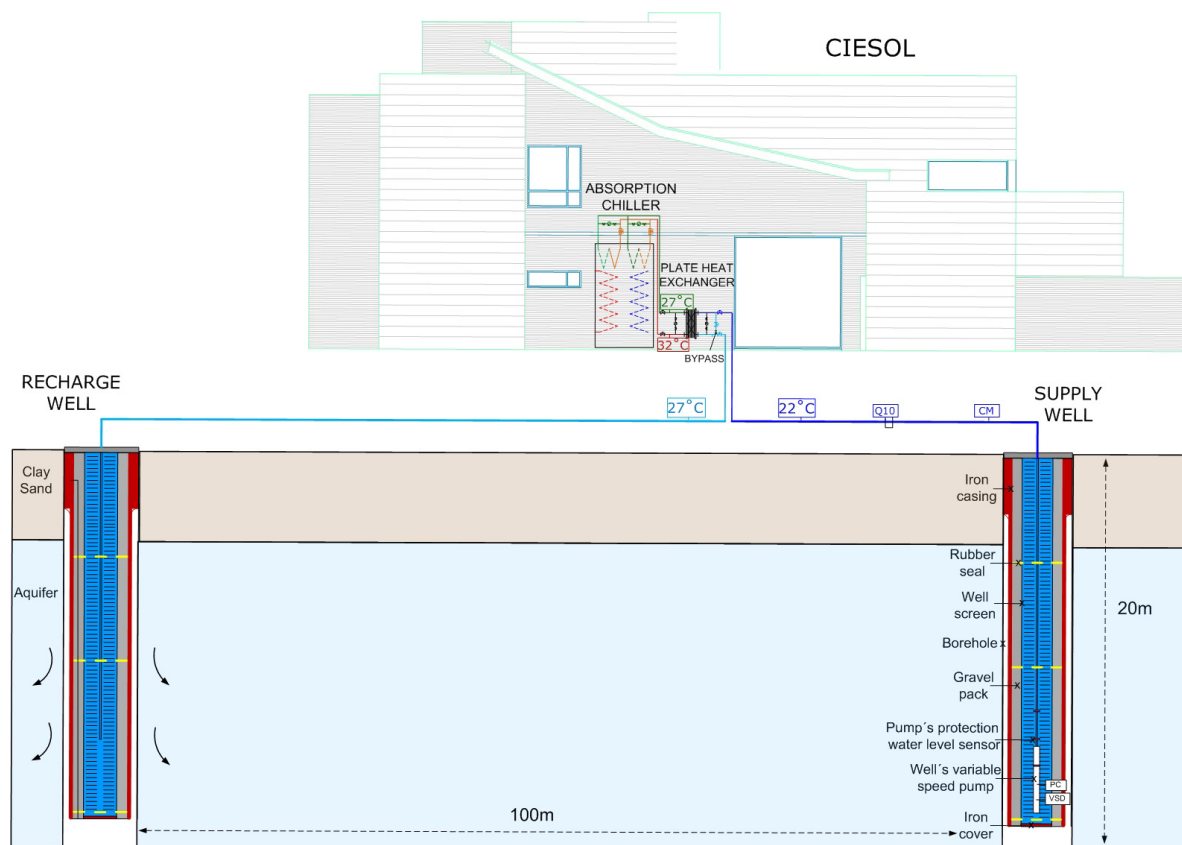


Fig. 3.2. Esquema general del sistema de disipación de calor utilizando el agua del subsuelo.

3.4 PUBLICACIONES RELACIONADAS

Revistas

- 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.
- 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. (a)
- 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. (b)

- Rosiek, S.; Batlles, F. J., Shallow geothermal energy applied to a solar-assisted air-conditioning system in southern Spain: Two-year experience. *Applied Energy* 2012, 100, 267-276. ^(h)
- Rosiek, S.; Batlles Garrido, F. J., Performance evaluation of solar-assisted air-conditioning system with chilled water storage (CIESOL building). *Energy Conversion and Management* 2012, 55, 81-92. ^(c)
- Pasamontes, M.; Álvarez, J.D.; Guzmán, J.L.; Berenguel, M.; Camacho, E.F., Hybrid modelling of a solar-thermal heating facility. *Submitted to Solar Energy* 2013. ^(d)

Congresos

- Castillo, L.; Jiménez, M.J.; Guzmán, J.L.; Enríquez, R.; Heras, M.R., Caracterización térmica de una habitación de un edificio de oficinas en Madrid, en condiciones reales de uso, a partir de ecuaciones de balance energético integradas. *Reunión de Grupo Especializado de Energía de la RSEF*. 2013. Valencia, Spain. ⁽ⁱ⁾
- Castillo, L., Enríquez, R., Jiménez, M.J., Regression method based in averages, applied to estimate the thermal parameters of a room in an occupied office building in Madrid. *3ª Reunión expertos Annex 58 IEA*. 2013. Holzkirchen, Germany. ^(g)
- Castillo, L., Jiménez, M.J., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Heras, M.R., Análisis de cargas por ocupación en un contenedor-demostrador de investigación del proyecto ARFRISOL. *XIII Encuentro Inter-Bienal del Grupo Especializado de Termodinámica (GET) de la RSEF*. 2012. Orense, Spain.
- Castilla, M., Álvarez, J.D., Normey, J.E., Rodríguez, F. A nonlinear model based predictive control strategy to maintain thermal comfort inside a bioclimatic building. *20th Mediterranean Conference on Control and Automation*. 2012. Barcelona, Spain.

Tesis Doctoral

- Manuel Pasamontes Romera. Estrategias de control avanzadas aplicadas a un sistema de climatización basado en energía solar. Tesis doctoral realizada y presentada en el Departamento de Lenguajes y Computación de la Universidad de Almería. Febrero de 2013. ^(e)

Investigación Tutelada

- Luis Castillo López. Análisis de cargas por ocupación en un Contenedor-Demostrador de Investigación del proyecto ARFRISOL. Trabajo de investigación tutelado 2011. Máster en Informática Industrial. Presentado en el Departamento de Lenguajes y Computación de la Universidad de Almería. Directores María José Jiménez Taboada (CIEMAT), Francisco Rodríguez Díaz (Universidad de Almería). Curso 2010/2011.

4. INFRAESTRUCTURAS 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.

4.1 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.

Esta área está operativa desde 2005 con la entrada en funcionamiento del Centro. Hasta la fecha ha desarrollado o están desarrollando varios proyectos de investigación competitiva. Entre los que destaca el Proyecto Singular Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (PSE-ARFRISOL). Es evidente que la producción de esta área recae en gran medida en la calidad y funcionamiento de su infraestructura científica que requieren de un constante trabajo de actualización y mantenimiento.

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.

Esta área de tratamiento de aguas está operativa desde 2004 con la entrada en funcionamiento del Centro. Hasta la fecha ha desarrollado importantes proyectos de investigación competitiva. Entre los que destaca el Proyecto TRAGUA del Programa CONSOLIDER INGENIO y el Proyecto INNOWATECH del 6 Programa Marco de UE. Todo ha supuesto unos fondos de investigación de alrededor de 1 millón de euros y un número republicaciones 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 optimización de los trabajos experimentales así como la implementación de un sistema de calidad que facilite el acceso a proyectos y contratos de investigación están siendo las tareas fundamentales del técnico.

La instrumentación analítica esta basada especialmente en espectrometría de masas de última generación y requiere un mantenimiento especializado permanente como limpieza de fuentes y capilares, actualización de software, reparación de sistemas de comunicación del espectrómetro de masa con el ordenador de control y control de revisiones periódicas del servicio técnico. En similar medida otra instrumentación cromatográfica disponible o de medidas globales como COT o evaluación de iones. También es importante los sistemas de tratamiento de muestras, que por el volumen de trabajo son automatizados como sistemas ASPEC (extracción en fase sólida automatizada) que necesitan de forma permanente limpieza o reparación de las válvulas de entrada de la muestra así como comprobación de flujos. Es importante que estas tareas tengan una continuidad muy estricta y que sean desarrolladas por una misma persona que tenga una visión global del procesos desarrollar con planes de trabajo eficaces. Además de lo comentado en el apartado I, es muy importante desarrollar y mantener bases de datos de los contaminantes que estudiamos, ya que su elevado número (mas de 200) hace que tanto los patrones analíticos como sus características tanto de análisis como ambientales (comparando con otras de bibliografía), sea un elemento importante para optimizar y focalizar el trabajo.

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

4.2 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. Dispone de un sistema totalmente automatizado que recoge a través de sensores adecuados diversos parámetros importantes para el control de la reacción en estudio: tiempo de reacción, irradiación incidente en función del tiempo y temperatura. Además presenta la posibilidad de programar la temperatura en función del tiempo y la irradiación proveniente de las lámparas de luz artificial. Una característica importante es la de permitir usar contenedores cerrados adaptables a diversas técnicas analíticas tales como RMN, UV, IR, lo cual lo hace 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.

El sistema micromolar fotoquímico para tubos de RMN se compone de los siguientes elementos:

- Cuerpo central de vidrio de baja absorción para la radiación solar y de dimensiones 0,13 m de longitud y 0,1 m de diámetro, que además consta de dos salidas con oliva (4, 5) (0,006 m de diámetro) que permite la salida y entrada de agua por su interior (1).
- Contenedor del medio de reacción: tubo de RMN (2) en el cual se introduce la mezcla de reacción que se desea irradiar.
- Adaptador entre el cuerpo central y el contenedor que cierra el sistema (3).
- Bigoterías de entrada (4) y salida (5) del líquido termostalizador.
- Sistema intercambiador de calor con bomba del líquido termostalizador (6).
- Adaptares de cuerpo central con fuente de radiación (7).
- Fuente de radiación artificial o natural (8).

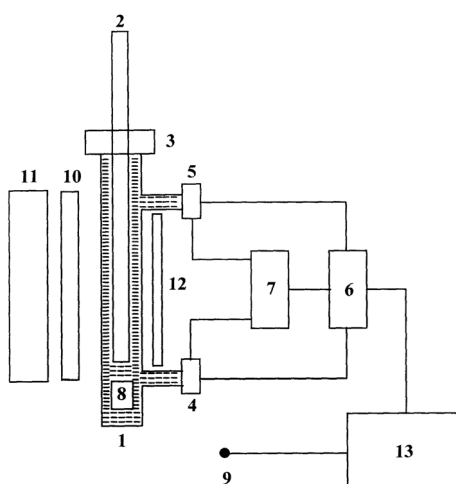


Fig. 4.2.1 Vista esquemática del reactor micromolar fotoquímico

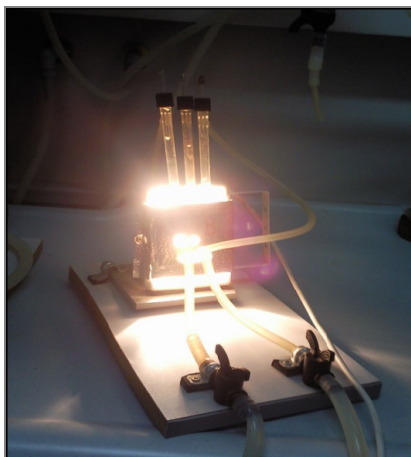


Fig. 4.2.2 Reactor micromolar fotoquímico

Este reactor micromolar fotoquímico permite irradiar la mezcla de reacción contenida (aproximadamente 0,5 mL) en el interior de un tubo de Resonancia Magnética Nuclear de forma controlada y sin alterar en ningún momento el medio reacción. El conjunto, cuerpo central-contenedor-adaptador, cierra herméticamente con objeto de crear un volumen cerrado por donde pueda circular controladamente el agua, entrando a través de una bigotera de entrada y evacuándose por la salida. El agua de refrigeración es recirculada a través de una bomba centrífuga conectada a un criotermostato. En el punto de entrada y salida del agua de termostatización existe un sensor de temperatura que permite controlar la misma en todo el proceso de reacción.

En la Figura se puede observar el reactor micromolar fotoquímico para tubos de RMN adaptado con una lámpara de luz visible. El sistema consta de tres fotorreactores que se sitúan en tres posiciones distintas y fijas en la lámpara de luz halógena de 300 W.

Espectrofotómetro de Fluorescencia



Fig. 4.2.3 Horiba Fluoromax-4

El espectrofotómetro de fluorescencia Fluoromax-4 Horiba Jobin Yvon, consta de una lámpara de arco de xenón de 150-W libre de ozono, con un diseño de rendija plana de Czerny-Turner que mantiene el foco en todas las longitudes de onda. El rango de emisión y excitación normalmente usado se encuentra entre 200-950 nm, optimizado a la luz ultravioleta y visible. Se miden espectros de fluorescencia de sustancias en estado sólido y líquido con un ancho de banda de 10-15 nm para el haz de excitación y emisión.

Se miden rendimientos cuánticos de emisión por comparación con los de $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ ($\Phi = 5,5\%$). También se miden tiempos de vida mediante la técnica de cronometraje de fotón único "Single Photon Counting", empleando un módulo concentrador FluoroHub DataStation usando los fuentes de NanoLED con una longitud de onda central de excitación de 364, 390 y 460 nm de forma instantánea e intercambiables.

Espectrofotómetro UV-Vis JASCO V650

El espectrofotómetro UV-Vis mide absorbancias de sustancias químicas, se usa principalmente para realizar cinéticas de reacción y el estudio de las propiedades solvatocrómicas de diferentes compuestos organometálicos activos a luz.



Fig. 4.2.4.
JASCO V650

Espectrofotómetro UV-Vis Hach Lange

Fig. 4.2.5
Hach Lange DR5000

Se trata de un equipo de la marca Hach Lange. Mide la absorbancia de muestras a estudio a una longitud de onda fija. Permite hacer barridos para sacar el espectro UV-Vis de disoluciones de interés. También permite el análisis de los kits de DQO u otros de forma automática y dando una lectura del valor en la pantalla. Se utiliza para todos los análisis colorimétricos y para los kits.

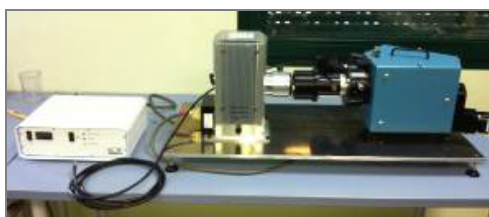
Irradiador de tubos de RMN

Fig. 4.2.6.
Irradiador de tubos de RMN

El irradiador de tubos de RMN consta de una fuente de luz de deuterio LOT-Oriel GmbH and KG, un monocromador McPHERSON Meter Scanning Monochromator y una fibra óptica que lleva la luz al tubo de RMN de 0,5 mm de diámetro interno. Se usa principalmente para estudiar mecanismos de reacción mediados por luz, identificación de especies intermedias y cinética de reacción

Carruseles de reacción

Fig. 4.2.7.
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.

Armario térmico Memmert

El armario térmico calienta o enfría mediante la técnica Peltier a diferentes velocidades de calentamiento y enfriamiento. Se usa principalmente para cristalización de sustancias para su posterior caracterización mediante difracción de rayos-X de monocristal.



Fig. 4.2.8.
Armario térmico



Fig. 4.2.9. Incubador

Incubador

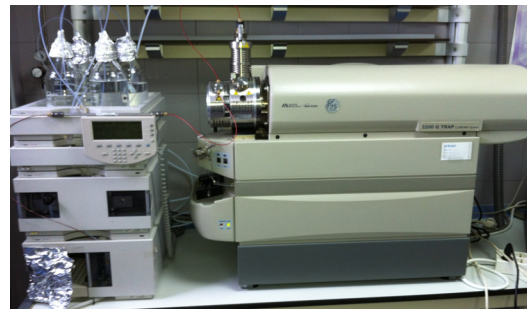
Incubador Sanyo que mantiene una temperatura adecuada para el crecimiento de las bacterias que se estén estudiando en cada caso.

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. Contiene un toma muestras automático, desgasificador, detector de red de diodos, así como una columna apolar tipo C-18 como fase estacionaria que permite la separación de las moléculas en función de su polaridad. Este dispositivo es utilizado para la detección de contaminantes presentes en el agua y permite estudiar la eliminación de los mismos en las condiciones experimentales que se ensayan en el grupo de investigación.

*Fig. 4.2.10. UPLC***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.

*Fig. 4.2.11.**Cromatógrafo de Gases***Espectrómetros de masas AB SCIEX QTRAP 5500 LC/MS/MS y QTRAP 3200 LC/MS/MS***Fig. 4.2.12. QTRAP 5500 y 3200 LC/MS/MS acoplados a HPLC*

Se trata de dos espectrómetros de masas híbridos cuadrupolo-trampa de iones lineal acoplados a cromatografía líquida de alta resolución. Proporcionan excelente sensibilidad en full scan, MS/MS y MS³. Están equipados con una fuente de ionización a presión atmosférica y un inyector automático con capacidad para 100 muestras. Los equipos se aplican 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. El modo de trabajo MRM permite alcanzar una excelente selectividad incluso en matrices complejas, permitiendo la cuantificación de los compuestos presentes en las mismas con un alto grado de exactitud. Los modos de trabajo de MS/MS (EPI) y MS³, proporcionan asimismo información estructural útil para la identificación de productos de transformación y compuestos desconocidos.

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. Consta de cromatógrafo de gases equipado con muestreador automático con capacidad para 100 muestras y espectrómetro de masas de triple cuadrupolo que proporciona excelente sensibilidad y selectividad para el análisis cuantitativo. Se aplica especialmente a la determinación de niveles traza de contaminantes como fragancias sintéticas, plaguicidas, PAH, etc



Fig. 4.2.13.
BRUKER 320MS acoplado al
BRUKER 450GC

Cromatógrafo Iónico (Metrohm 881 Compact IC Pro)

Este cromatógrafo permite el análisis preciso de aniones o cationes en concentraciones de $\mu\text{g/L}$ a g/L , con límites de detección $<1 \mu\text{g/L}$. Se obtienen resultados precisos e incluye un software (MagIC NetTM) que controla todos los componentes de sistema y supervisa los parámetros esenciales del análisis cromatográfico. Las partes principales incluye componentes automatizados: iPump, iDetector, iColumn para garantizar resultados precisos y se excluyen la mayor parte de los errores de manejo. 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).



Fig. 4.2.14.
881 Compact IC Pro

Analizador de carbono orgánico total (TOC)

Fig. 4.2.15. Analizador de TOC VcPH

Es un equipo Shimadzu TOC-V CPH, analizador de carbono con módulo para la determinación de nitrógeno orgánico total. Este equipo permite determinar el carbono y el nitrógeno disueltos. Otro accesorio facilita el análisis de muestras sólidas de Carbono tanto orgánicos como inorgánicos. El TOC (Total Organic Carbon) es el método estándar para la evaluación del contenido de materia orgánica en aguas superficiales y subterráneas.

La cantidad de materia orgánica presente en el agua es un criterio importante para la calidad. 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)

Fig. 4.2.16.
Analizador de DBO

Instrumento de medición de Demanda Biológica de Oxígeno OxiTop® para 12 muestras, con unidad de control, bandeja de agitación y 12 cabezales de medición. La medida se realiza a temperatura constante en un incubador Aqualytic. 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)

Fig. 4.2.17. Analizador
de DQO

Se trata de una reacción de oxidación a alta temperatura para calcular la cantidad de oxígeno (mg/L) necesaria para llevar una muestra problema a su máxima oxidación. Actualmente se trabaja con kits (viales preparados con los reactivos) y un digestor de la marca Hach Lange. 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

El simulador solar contiene una lámpara de xenón que emite en la longitud entre 300-800 nm con una potencia de 250-765 W/m². Este dispositivo simula el espectro solar, permitiendo la experimentación a escala de laboratorio, haciéndose fundamental en pruebas iniciales previas a la escala piloto.

Fig. 4.2.18. Simulador Solar

Plantas piloto

Plantas 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.

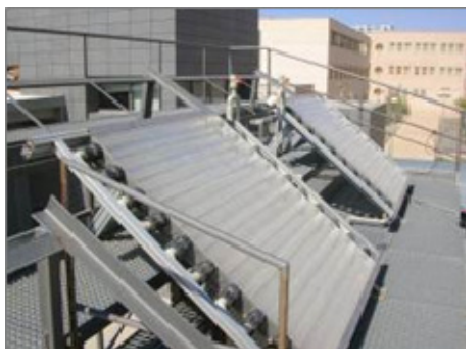


Fig. 4.2.19. Planta piloto en altura

Planta 1 (en altura)

Consta de un colector solar CPC constituido por dos módulos de aproximadamente 2,25 m² con un volumen iluminado de 22 litros cada uno y un volumen total de unos 89 litros (tanque de mezcla 50 L). El reactor fotocatalítico está dotado de bombas de recirculación, medida de pH, temperatura, potencial redox, H₂O₂, y caudal. La adquisición de datos y control del proceso está automatizada mediante PC.

Planta 2 (móvil)

Constituida por cinco reactores tubulares compuestos por Captadores Parabólicos Compuestos (CPC) y tubos de vidrio tipo PYREX. La superficie iluminada con la que se trabaja es de 0,20 m². Los tubos de vidrio tienen 50 mm de diámetro y 2,5 mm de espesor, resultando un diámetro interno de 45 mm. El reactor fotocatalítico está dotado de bombas de recirculación, medida de pH, temperatura, potencial redox, H₂O₂, y caudal. La adquisición de datos y control del proceso está automatizada mediante PC.



Fig. 4.2.20. Planta móvil

Planta 3 (móvil)

Constituida por ocho reactores de vidrio tipo PYREX con captador plano. Los tubos de vidrio tienen 50 mm de diámetro y 2,5 mm de espesor, resultando un diámetro interno de 45 mm. El reactor fotocatalítico está dotado de bombas de recirculación, medida de pH, temperatura, potencial redox, H₂O₂, y caudal. La adquisición de datos y control del proceso está automatizada mediante PC.

Planta 4 (fija)

Constituida por veintidós reactores de vidrio tipo PYREX con captador plano. Los tubos de vidrio tienen 50 mm de diámetro y 2,5 mm de espesor, resultando un diámetro interno de 45 mm. El reactor fotocatalítico está dotado de bombas de recirculación, medida de pH, temperatura, potencial redox, H₂O₂, y caudal. La adquisición de datos y control del proceso está automatizada mediante PC.

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



Fig. 4.2.21. Planta piloto

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, cada uno de los cuales consta de un tanque de almacenamiento de agua de doscientos litros

Reactores biológicos

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

De membrana Plana

Reactor biológico de membrana (MBR). Consta de un reactor de 4L de capacidad con una membrana plana de la marca Kubota y un reactor anóxico de 2L conectado. Dispone de controles de nivel, aireación y alimentación automática.

De fibra hueca

Reactor biológico de membrana (MBR). Se compone de un reactor de 12L de capacidad con las membranas de fibra hueca, de la marca Puron. Dispone también de un reactor anóxico de 4L de capacidad. Dispone de controles de nivel, aireación y alimentación automática.



Fig. 4.2.22.
Reactor de fibra hueca

Reactor biológico batch

Reactor biológico en modo batch (SBR). Consta de un reactor de 6L de capacidad en los que se alternan ciclos reacción, anoxia y decantación. Cuenta con aireación y alimentación automática.

Reactor biológico de membrana SiClaro® 8PE de Martin Systems AG.

Se compone de un módulo anóxico y uno de membranas planas. Tiene una capacidad máxima de tratamiento de 1.6 m³ día con una superficie filtrante de 6.2 m².



Fig. 4.2.23
Reactor. SiClaro® 8PE

4.3. 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-DdI (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 del apoyo y dos tanques de agua fría. La instalación abastece la demanda de refrigeración y calefacción del edificio CIESOL y sirve como el banco de ensayos para las investigaciones.

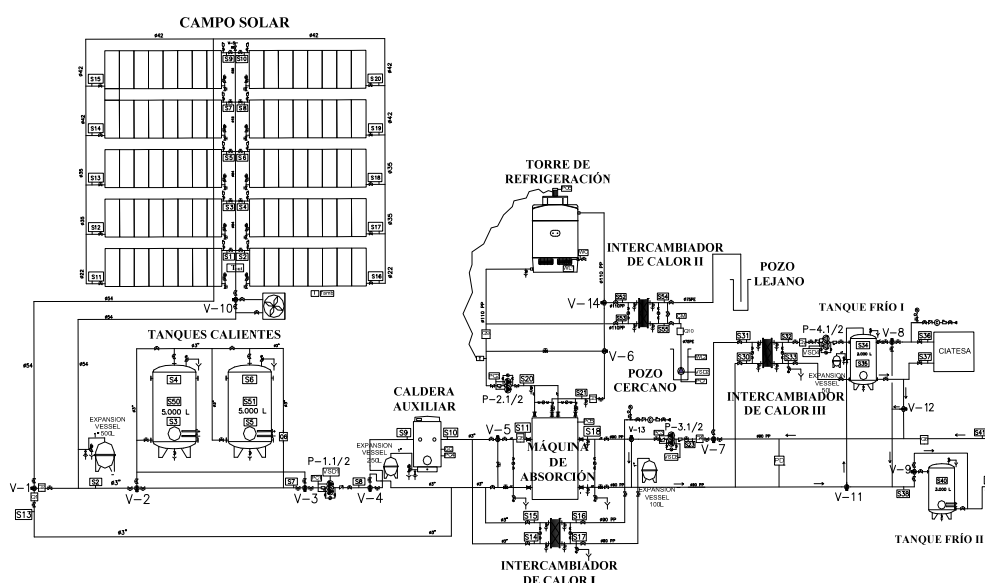


Fig. 4.3.1. El esquema general del sistema de refrigeración y calefacción solar.

Se cuenta con una instalación que incluye los siguientes componentes, conectados de acuerdo al esquema de la figura 4.3.1.

Campo solar

El campo solar está dispuesto sobre la cubierta inclinada del edificio y orientado al sur. Los captadores están ubicados con un ángulo de incidencia de 30° con objetivo de favorecer la captación térmica del campo solar durante los meses estivales, cuando la necesidad de aporte térmico es mayor. El campo

solar está constituido por un total de 80 captadores Solaris CP1, con una superficie total de 160 m², organizados en 10 filas de 8 captadores cada una (ver figura 4.3.2).



Fig. 4.3.2. El campo solar constituido por 80 captadores Solaris CP1 y 42 módulos fotovoltaicos.

Sistema de acumulación

La instalación está formada por dos depósitos acumuladores de agua caliente, de 5000 litros cada uno, que permitirán amortiguar las variaciones de la temperatura de la salida del campo solar hacia la máquina de absorción, así como almacenar la energía sobrante que se obtenga en los captadores (ver figura 4.3.3).



Fig. 4.3.3. Dos tanques de acumulación de agua caliente de 5000 litros cada uno.

Caldera de gas natural

Para los períodos en los que la radiación solar sea insuficiente y no se disponga de energía acumulada para cubrir la demanda tanto de refrigeración en verano como calefacción en invierno, se ha instalado una caldera de gas natural de 100 kW de potencia, conectada en serie con la máquina de absorción. Dicha caldera aporta la energía que pueda faltar a la máquina de absorción para la producción de agua fría, o directamente pasa a un intercambiador de calor a la instalación para calefacción (ver figura 4.3.4).



Fig. 4.3.4. Caldera de gas natural.

Máquina de absorción

Es una máquina de absorción de simple efecto de potencia frigorífica de 70 kW de la marca Yazaki (serie WFC SC 20), que funciona gracias al calor aportado por un circuito de agua caliente procedente del campo solar. La máquina está alimentada mediante un caudal de 17,28 m³/h de agua caliente, siendo el rango de temperaturas de entrada al generador 70-88°C y la producción de agua fría entre 7 y 12°C. Como fluido de trabajo se utiliza una solución de agua y de bromuro de litio (ver figura 4.3.5).



Fig. 4.3.5. Máquina de absorción de simple efecto Yazaki WFC SC 20.

Sistema de enfriamiento

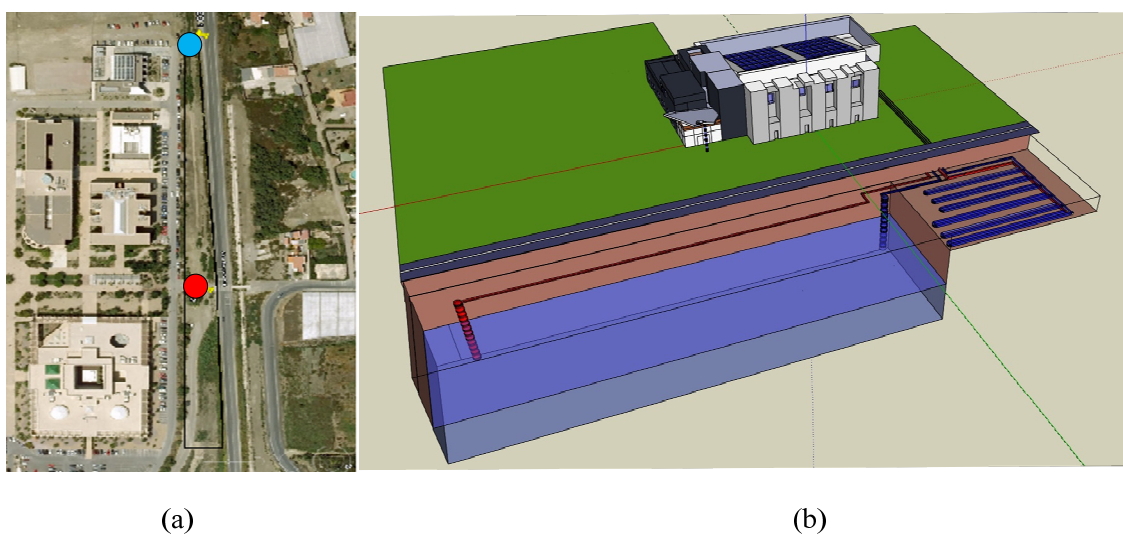
Debido a la necesidad de la YAZAKI de ser conectada a un circuito de agua de enfriamiento, para disipar el calor del absorbedor y del condensador, se instaló una torre de refrigeración que será gestionada por la máquina de absorción y por las temperaturas del circuito de condensación (ver figura 4.3.6).



Fig. 4.3.6. Torre de refrigeración Sulzer EWK 100.

Instalación de un sistema de evacuación del calor utilizando agua del subsuelo

Se idea una instalación alternativa a la existente para la disipación del calor residual que se produce en la máquina de absorción. Se trata de aprovechar las posibilidades de refrigeración que nos ofrece el agua del subsuelo, sustituyendo la torre de refrigeración, que tiene un consumo de agua desmineralizada importante, además de ser una posible fuente de legionella. El objetivo es obtener agua del subsuelo de dos pozos excavados a la profundidad de 20 metros y trasegar esa agua de un pozo al otro, pasándola por un intercambiador de placas (II) contracorriente situado en el edificio CIESOL y a través del cual se produce el enfriamiento del agua procedente de la máquina de absorción. Los pozos están separados a una distancia de 100 metros y uno es llamado lejano y otro cercano, debido su ubicación y aplicación (ver figura 4.3.7).



(a)

(b)

Fig. 4.3.7. a) Ubicación del pozo cercano y lejano en el campus de la Universidad de Almería, b) un modelo 3D del edificio CIESOL y los sistemas de evacuación de calor instalados durante el proyecto ARFRISOL.

Fan-coil

Fan-coil es un intercambiador de calor de aire y agua. Dicho intercambiador es alimentado por agua caliente o fría procedente del sistema del frío y calor solar (ver figura 4.3.8). Durante el modo de refrigeración cuando la temperatura de agua refrigerada es inferior que 7°C , se cierra la válvula del paso de agua refrigerada y se vuelve a abrir cuando la temperatura de la misma aumenta a 12°C . Como se mencionó anteriormente los fan-coils pueden ser utilizados en ambos modos de funcionamiento de la instalación. Durante el modo de calefacción la temperatura de entrada/salida de los fan-coils es $45/40^{\circ}\text{C}$.

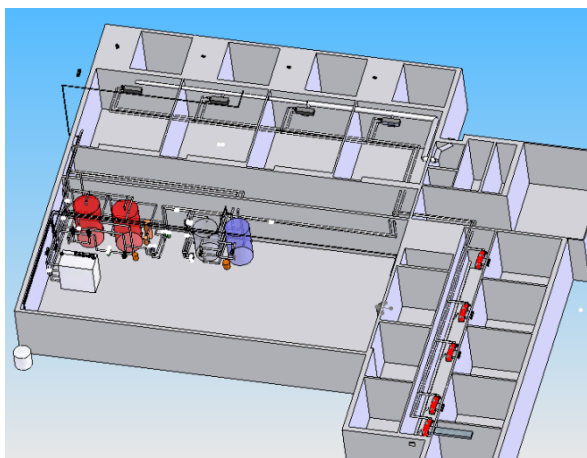


Fig. 4.3.8. Esquema de la planta baja del edificio CIESOL con la red de los fan-coils (fuente A. Estrada).



Fig. 4.3.9. Sistema de acumulación de agua fría.

Sistema de acumulación en frío

Tras analizar los ciclos de funcionamiento de la máquina de absorción, se ha puesto de manifiesto la necesidad de incorporar un sistema de almacenamiento de frío para evitar las paradas de la misma, que tienen lugar cuando la temperatura de salida del evaporador es del orden de los 6°C . Dicho sistema de

almacenamiento también nos servirá para cubrir la demanda de refrigeración en aquellos casos en los que no tenga ningún tipo de energía térmica. Se instaló dos depósitos de acumulación de capacidad de 3000l y 2000l respectivamente (ver figura 4.3.9).

Simulador de Carga

Hasta el verano del 2008 el consumo energético del edificio era fuera del control de los grupos de investigación, afectando directamente a la máquina de absorción, por lo que hacía difícil realizar una gran cantidad de batería de pruebas de gran interés. Por ello se instaló un sistema que simula el consumo energético, de forma que pueda fijarse a un valor concreto para realizar experimentos. El simulador de carga está formado por una máquina CIATESA IWED-360 de 75 kW de potencia (ubicada en el terraza norte del edificio) conectado en serie con un intercambiador de calor (III) de 90 kW y un sistema de acumulación de agua caliente de 2000l (ubicados en la nave del edificio).

Intercambiador de calor

Con el objetivo de abastecer la demanda de calefacción del edificio, se ha puesto un intercambiador de calor de placas, por el cual pasa el agua hasta conseguir las condiciones óptimas para los fan-coils (45°C de temperatura de impulsión al edificio).

Sistema de control

La instalación tiene un sistema de control que de forma completamente automática gestiona todas las señales monitorizadas, decidiendo cómo debe operar la instalación para maximizar en todo momento el aprovechamiento de la energía térmica recuperada por el campo solar. Dicho sistema recibe todas las temperaturas y en la base de ellas decide como debe actuar el sistema y también es responsable de ordenar el arranque y las paradas tanto de la máquina de absorción, como de la caldera. En la figura 4.3.10 se muestra varios tipos de sensores usados en el sistema de refrigeración y calefacción solar instalado en el edificio CIESOL. El sistema de control tiene dos pantallas, donde están agrupadas todas las principales consignas, necesarias para el correcto funcionamiento de la instalación. Se ha establecido también un horario de funcionamiento, modificable, dentro de cual el sistema se pone en marcha automáticamente, para satisfacer cualquier demanda que se presente en el edificio. Dicho sistema nos permite también la adquisición de los datos procedentes de toda la instalación, para posteriores análisis del sistema. Se dispone de un sistema de adquisición de datos que permite registrar del orden de 650 variables en los archivos diarios con el tiempo de muestreo de 1 minuto. En la figura 4.3.11 se presenta la pantalla principal del sistema de control.

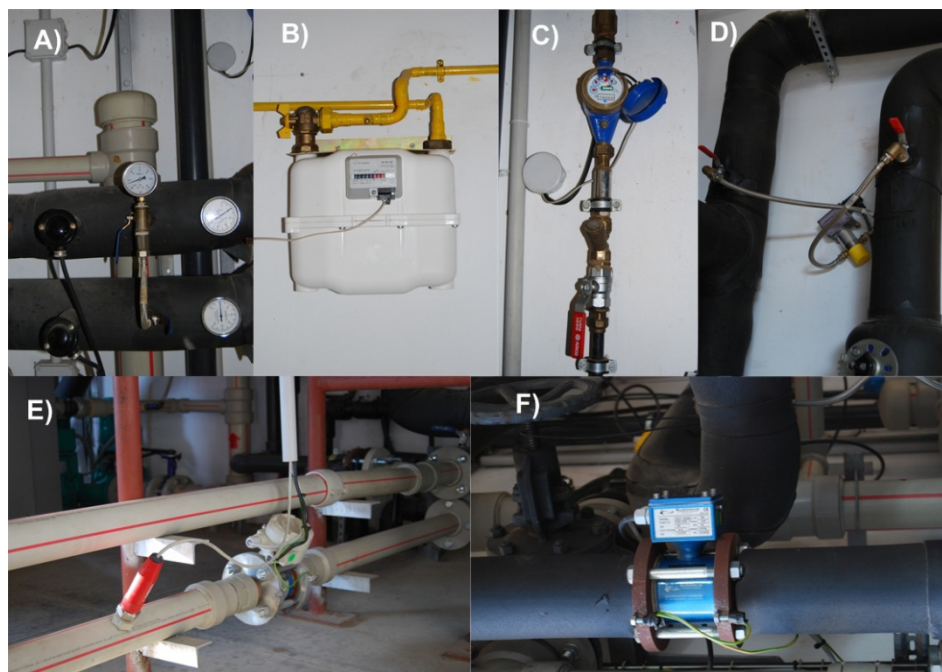


Fig. 4.3.10. Ejemplos de varios tipos de sensores utilizados en el sistema de refrigeración y calefacción solar: a) sonda de temperatura PT1000, b) contador de gas Actaris G6RF1HP, c) contador de agua consumida en la torre de refrigeración, d) el sensor de diferencia de presión Sauter DSDU 106 F020, e) un conductímetro Crison CM38, f) caudalímetro MUT 1000EI.

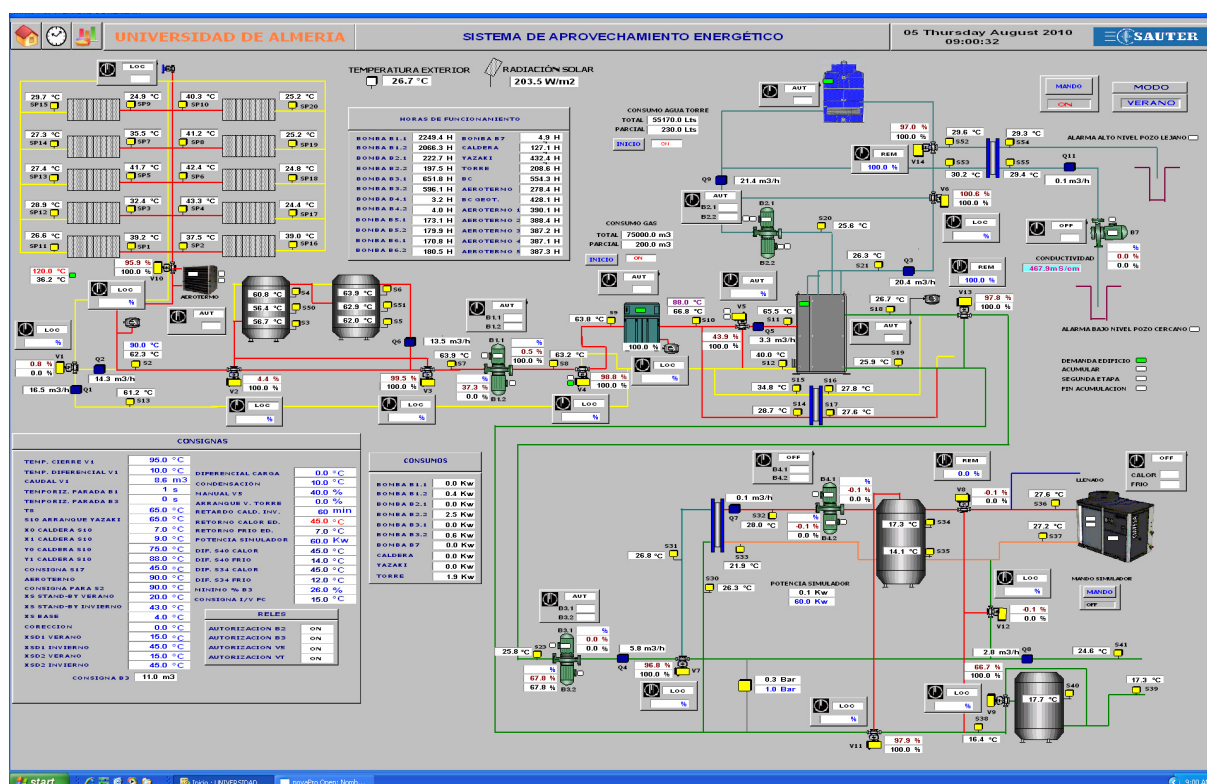


Fig. 4.3.11. Pantalla principal de sistema de control del sistema de refrigeración y calefacción solar.

Instalación de bomba de calor acoplada a intercambiadores geotérmicos mediante tubos enterados.

Desde Septiembre de 2009 el edificio CIESOL cuenta con una instalación de una bomba de calor acoplada a intercambiadores geotérmicos, que permite la climatización de la nave de ensayos, compartida por todos los grupos de investigación que trabajan en el centro. Dicho sistema fue desarrollado gracias al Proyecto Singular Estratégico de Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (ARFRISOL). Se dispone una bomba de calor reversible y un intercambiador geotérmico. Se trata de una bomba de calor tipo agua-agua de compresión mecánica simple (IZE-160 CIATESA) con una capacidad calorífica de 38.5 kW y una capacidad frigorífica de 30.6 kW. El intercambiador geotérmico está compuesto por cinco lazos de 118 m cada uno, con tubos de PE y 32mm de diámetro, separados 0.35m de manera que hacen un total de 590 m de longitud máxima, enterados a un metro de profundidad en el terreno frente al edificio CIESOL. En la figura 4.3.12 se muestra la pantalla de control, visualización y monitorización del mencionado sistema.

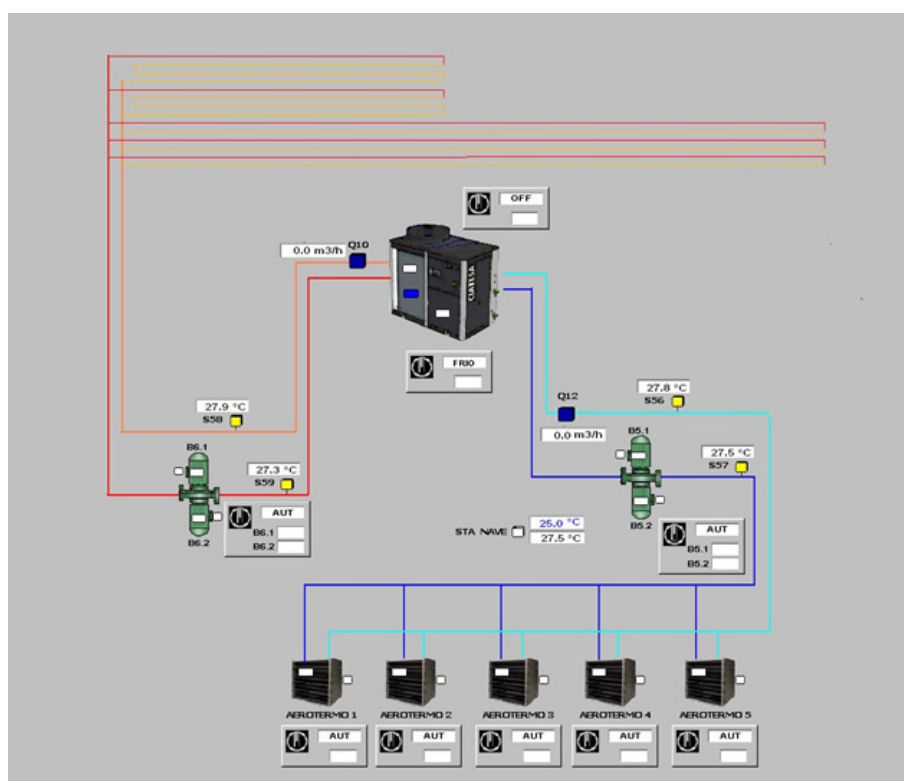


Fig. 4.3.12. Pantalla de control y de visualización del sistema geotérmico.

Garita meteorológica

Desde 2007, el CIESOL cuenta con una estación meteorológica ubicada en la azotea del edificio. La figura 4.3.13 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. Adicionalmente, desde el año 2008 se cuenta con una cámara de nubes (Yankee) y un

sistema de recepción de imágenes de satélite geoestacionario Meteosat de Segunda Generación (MSG), representados en la figura 4.3.14 y pertenecientes al grupo Recursos Energéticos Solares y Climatología (TEP165).

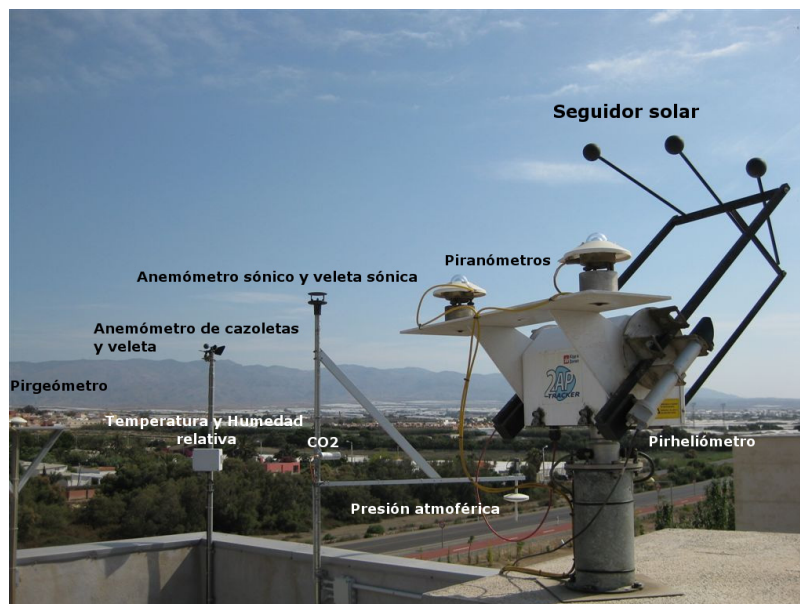


Fig.4.3.13. Garita meteorológica.



Fig. 4.3.14. Garita meteorológica: camera de nubes y antena parabólica encargada de establecer comunicación con el satélite geoestacionario Meteosat de Segunda Generación.

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. Finalmente y a la salida del inversor, en corriente alterna de 230 V, se conectan los cuadros de protección y medida de la Instalación Fotovoltaica. Dicho sistema fue desarrollado gracias al Proyecto Singular Estratégico de Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (ARFRISOL). En la figura 4.2.14 se

muestra imagen del sistema fotovoltaico y figura 4.3.15 expone un esquema general de la instalación donde se observa la conexión y distribución de los elementos. Adicionalmente, se dispone de un sistema de monitorización formado principalmente por un bus de comunicaciones que pasa a través de los tres inversores y de una célula fotovoltaica calibrada instalada junto a los paneles y que finalmente se conecta con un sistema de adquisición de datos, donde se registran del orden de 90 variables con un muestreo de 1 minuto.

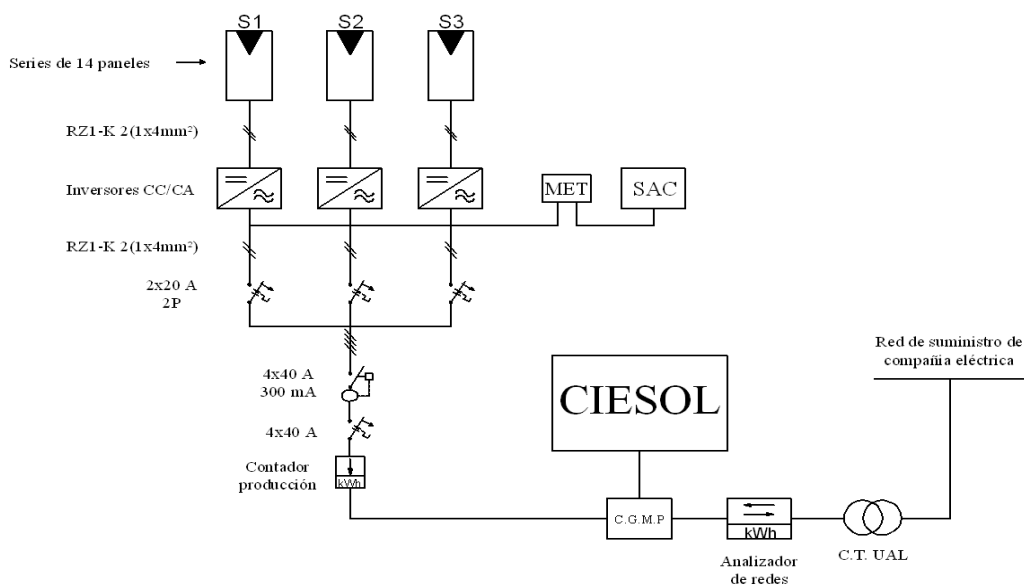


Fig. 4.3.15. El esquema general de la instalación fotovoltaica.

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 317 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.

Partiendo de la lista de sensores a instalar propuesta por la líder del proyecto, el equipo de CIESOL se encargó de realizar un análisis de los sistemas hardware de adquisición de datos disponibles en el mercado, analizando sus características para seleccionar aquel que mejor se adaptase a las necesidades del proyecto. Finalmente se optó por utilizar los sistemas Compact Fieldpoint de National Instruments, hardware pensado para un uso industrial, que aportaban la resolución en la lectura exigida por el proyecto, y a su vez permitía distribuirlos por el edificio para minimizar el cableado adicional necesario gracias a su conexión vía Ethernet, que permitía aprovechar las redes ya existentes. El diseño final de la distribución puede ser observado en las figuras 4.3.16 y 4.3.17.

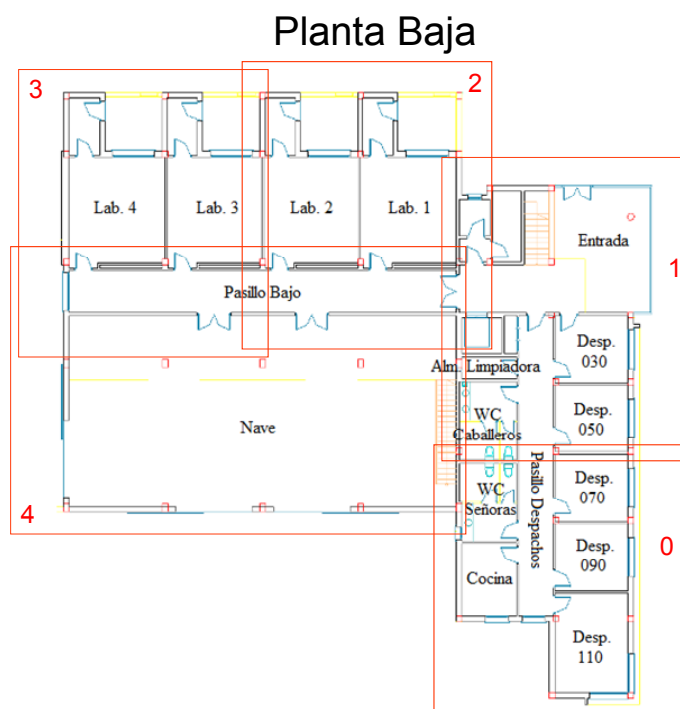


Fig. 4.3.16. Distribución de los Compact Fieldpoint en la planta baja.

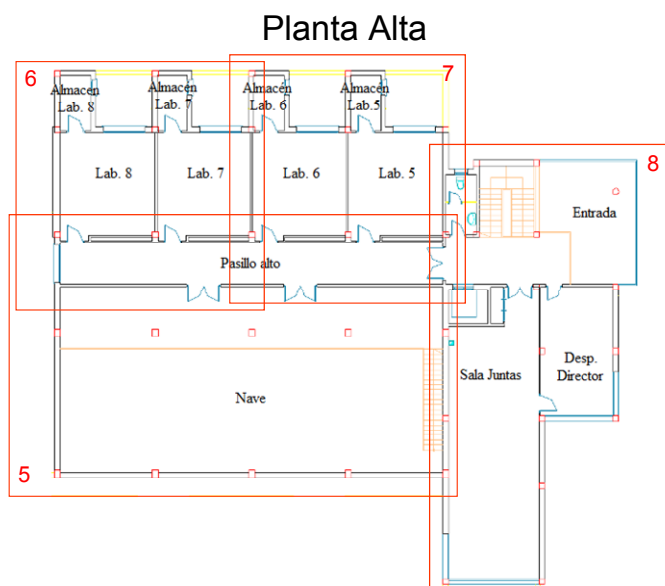


Fig. 4.3.17. Distribución de los Compact Fieldpoint en la planta alta.

Las figuras 4.3.18-21 muestran algunos ejemplos de la instalación realizada en el edificio, tanto de los Compact Fieldpoint como de los diferentes tipos de sensores.



Fig. 4.3.18. Compact fieldpoint con tarjetas de adquisición.



Fig. 4.3.19. Temperatura de superficie y sensor de tipo pt100.



Fig. 4.3.20. Sensores de humedad relativa, CO2 y flujo térmico.



Fig. 4.3.21. Watímetros instalados para analizar los consumos eléctricos.

Además, se destinaron dos Compact Fieldpoint adicionales para centralizar las lecturas de la fachada ventilada, uno de los elementos singulares que forman parte del centro, y de la garita meteorológica. La figura 4.3.22 muestra el conjunto de sensores instalados en la fachada ventilada (los tipos de medida definidos en la imagen izquierda son detallados en la tabla 4.3.1, la figura 4.3.23 muestra el aspecto actual de la fachada, donde se pueden observar los sensores exteriores, como la radiación, velocidad y dirección de viento, etc, junto con una representación tridimensional de su sección.

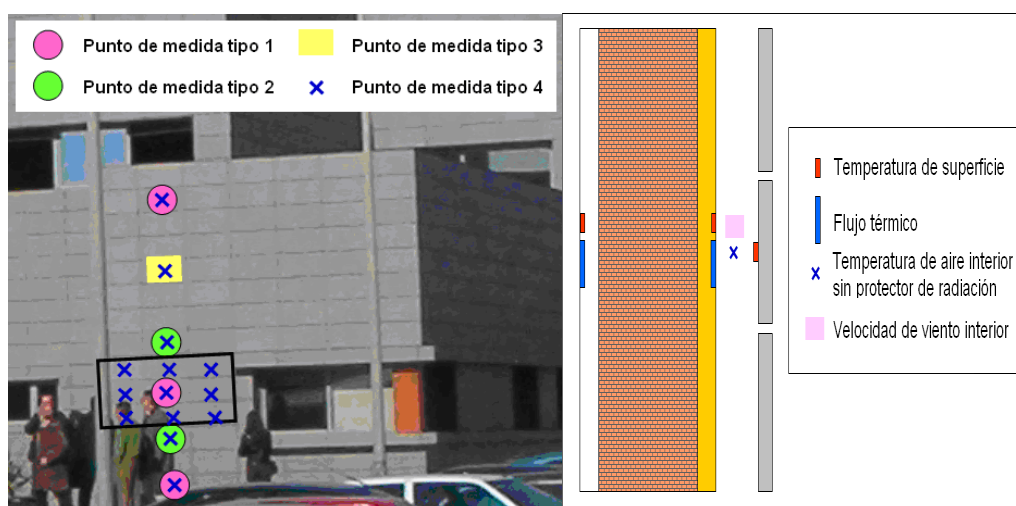


Fig. 4.3.22. Distribución de sensores en la fachada ventilada. Vista exterior y lateral

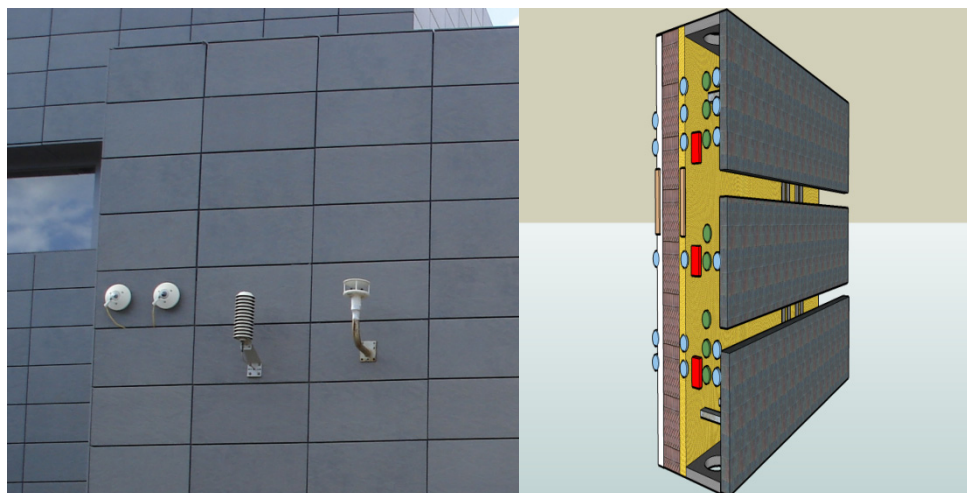


Fig. 4.3.23. Distribución de sensores exteriores en la fachada ventilada, y representación 3D de la sección.

Tabla 4.3.1. Significado de los tipo de puntos de medición

Tipo 1	Temperatura de superficie en plano interior de la fachada y superficies interiores de cavidad ventilada, flujo térmico en plano interior de la fachada y en la cavidad sobre el aislamiento, velocidad de viento en el interior de la cavidad ventilada.
Tipo 2	Temperatura de superficie en plano interior de la fachada y superficies interiores de cavidad ventilada, flujo térmico en plano interior de la fachada y en la cavidad sobre el aislamiento.
Tipo 3	Radiación global vertical, Radiación infrarroja vertical, temperatura de aire exterior, velocidad y dirección de viento exterior, temperatura de superficie en plano interior de la fachada y superficies interiores de cavidad ventilada, flujo térmico en plano interior de la fachada y en la cavidad sobre el aislamiento.
Tipo 4	Temperatura de aire interior sin protector de radiación

A lo largo de la vida del proyecto surgieron nuevas instalaciones de sensores, motivadas por la necesidad de los investigadores de contar con cierta información más específica para su trabajo. Por este motivo el personal de CIESOL realizó las siguientes ampliaciones de la red de sensores inicial:

Durante el periodo 2008-2009 se amplió el número de laboratorios singulares a estudiar de uno a cinco, para lo que fue necesario instalar nuevos sensores de temperatura superficial, humedad relativa, etc en cada una de las nuevas estancias.

- Estratificación de temperaturas en el centro de los laboratorios.
- Sensor de CO₂.
- Humedad relativa interior.
- Temperatura de globo.
- Temperatura de superficie en las cuatro paredes, suelo y techo.
- Velocidad de viento interior

Durante el periodo 2010-2011 ha sido necesario ampliar el sistema de monitorización del edificio con la instalación y conexionado de nuevos sensores en el laboratorio en que se realizan experimentos de confort, entre los que se encuentran nuevas lecturas de temperatura, humedad relativa en el falso techo y la adición de anemómetros de hilo caliente para medir la velocidad del viento en el impulso y el retorno del fancoil, entre otros (ver Figura 4.3.24).

- Velocidad de viento del impulso y el retorno de los fancoils
- Temperatura del impulso y el retorno de los fancoils
- Caudal del circuito hidráulico del fancoil
- Válvulas de 2 o 3 vías según la posición en el sistema hidráulico de cada laboratorio.
- Humedad relativa en el impulso de los fancoils.

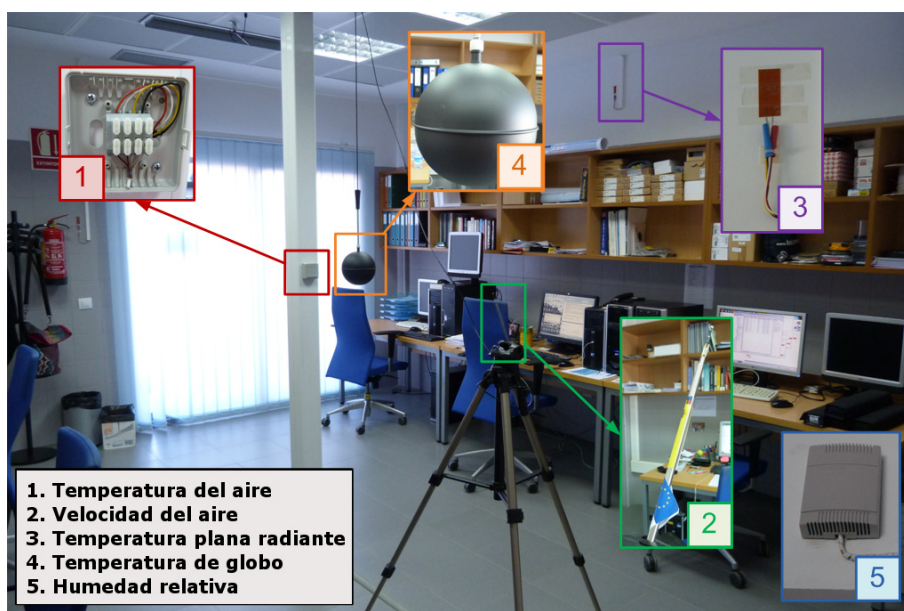


Fig.4.3.24. Detalle del laboratorio singular para estudios de confort.

Además, con el fin de realizar ciertos estudios de la carga ocupacional del edificio, se instalaron pares de sensores ópticos de tipo barrera en las estancias destinadas a estudios de confort. Finalmente, con el fin de disponer de una medida directa de la influencia de la radiación en el campo solar en el campo solar, que presenta una inclinación de 30° , se instaló un sensor para medir la radiación inclinada durante el periodo 2011-2012.

5. MASTER EN ENERGÍA SOLAR.

Participantes:

- CIESOL
- Conserjería de Innovación Ciencia y Empresa
- Sistemas de Calor S.L.

Contactos:

F. Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación:

Matrículas y subvenciones públicas y privadas.

Duración prevista:

1 curso académico.

Situación:

Finalizado VI Master
(Curso Académico 2011-2012)

Antecedentes:

Dentro de las energías renovables, la energía solar juega un papel fundamental. En los últimos tiempos, los diferentes gobiernos españoles han mostrado su interés por fomentar el uso de la energía solar, tanto térmica como fotovoltaica. Cabe destacar la ley de aprobación térmica para la edificación y la ley que regula las primas en el sector eléctrico. La primera favorece la producción de agua caliente sanitaria en la edificación, con colectores solares planos.



RELACIÓN ESQUEMÁTICA DE MATERIAS Y ACTIVIDADES

DENOMINACIÓN	CRÉDITOS	CUATRIMESTRE
Evaluación de recursos energéticos solares	3.5	1º
Fundamentos de Termodinámica Técnica	3	1
Modelado y control de plantas de energía solar	2.5	1º
Energía solar térmica de baja temperatura	4.5	1º
Energía solar térmica de media temperatura	4.5	1º
Energía solar térmica de alta temperatura	4.5	2º
Energía solar fotovoltaica	4.5	2º
Aplicaciones de la energía solar al tratamiento de aguas	2.5	2º
Aplicaciones de la energía solar a la agricultura	2.5	2º
Legislación y aspectos económicos de la energía solar	1.0	2º

La segunda es un apoyo decidido a la producción de electricidad mediante energía solar, tanto térmica como fotovoltaica. Entre los diferentes proyectos relacionados con la energía solar existentes en Almería, cabe destacar el AFRISOL y las centrales de producción de electricidad mediante

colectores cilindro-parabólicos. Este Master nace del interés común de los organismos participantes en potenciar el área de energía solar y de la necesidad cada vez más acusada que esta sociedad tiene de disponer de profesionales con una formación específica de estas tecnologías. Implantar el Master en la Universidad de Almería es consecuencia del entorno privilegiado en donde ésta se encuentra, ya que la situación geográfica de la provincia de Almería la convierte en un enclave de gran futuro en el campo de la energía solar y también ha sido pionera en el empleo de este tipo de desarrollo.

Objetivos:

El curso está dirigido a postgraduados, alumnos del último curso de licenciatura y, profesionales interesados en el aprovechamiento de la energía solar, pretende ofrecer una panorámica de la potenciabilidad del uso de dichas tecnologías, mostrando el interés que su utilización puede representar en el contexto energético actual. Así mismo, se pretende dar a conocer realizaciones industriales, siendo éstas presentadas y analizadas por especialistas que han intervenido en su diseño o puesta en funcionamiento. La Plataforma Solar de Almería (PSA) constituye un escenario de excepción para las actividades formativas. El CIESOL dispone también de instalaciones de aprovechamiento de energía solar y, en el panorama energético andaluz, surgen proyectos y realizaciones en el área de la energía solar que hacen indispensable la especialización en estas disciplinas energéticas.

Resultados durante 2012:

El comienzo del curso 2011-2012 tuvo lugar el día 15/10/2011. En esta edición el Master contó con 8 alumnos. Durante este curso académico los alumnos realizaron un trabajo fin de master.

6. ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIA.

Participación en eventos de transferencia:

- Foro Innovación-Empresa. Universidad de Almería. Febrero 2012.
- Día Solar Europeo. Mayo 2012.
- Semana de la Ciencia Europea. Noviembre 2012.
- Jornada sobre transferencia tecnológica en calor solar de procesos. Agencia Andaluza de la Energía, Sevilla, Noviembre 2012
- Encuentro Universidad de Almería - Corporación Tecnológica de Andalucía. Enero 2013.

Visitas y contactos institucionales y de empresas:

- Universidad Católica de Ecuador
- AM Brain (Alemania)
- Universidad de Tecnológica de Santiago (República Dominicana)
- Grupo Banas (República Dominicana)
- Universidad Abdemalek Essaidi de Tetuán (Marruecos)
- Universidad de Oujda (Marruecos)
- Fundación para la Innovación Agraria, Ministerio de Agricultura (Chile)
- LFN Energía
- ACE Servicios Energéticos

Colaboración en actividades formativas externas:

- Curso de Redes de Comunicación industriales. Máster en Informática Industrial.
- Master en Energía Solar de la Universidad de Salamanca.
- Curso formación en Energías Renovables (Asociación de Empresarios de la Provincia de Almería)
- curso FPE" Montaje y mantenimiento de instalaciones solares térmicas"

Cursos y actividades formativas vinculadas a actividades de investigación:

- Modelado, simulación, control y optimización de fotobiorreactores. 29/02/2012-01/03/2012
- Curso Introducción a TRNSYS y su uso en Aplicaciones Termosolares en Procesos Industriales. 12/07/2012-13/07/2012

7. COMITÉS Y RESPONSABLES DE ACTIVIDADES.**7.1 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

7.2 RESPONSABLES DE ACTIVIDADES

Actividad	Universidad de Almería (UAL)	Plataforma Solar de Almería (PSA)
Organometálica y Fotoquímica	Antonio Romerosa Catedrático de la UAL romerosa@ual.es	Christoph Richter Investigador de DLR en la PSA christoph.richter@dlr.de
Tratamiento de Aguas	José A. Sánchez 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 Investigador de O.P.I. CIEMAT Luis.yebra@psa.es
Evaluación del Recurso Solar	Javier Batlles Profesor Titular de la UAL fbatlles@ual.es	
Química Ambiental	Amadeo R. Fernández-Alba Catedrático de la UAL amadeo@ual.es	Sixto Malato Rodríguez Investigador de O.P.I. CIEMAT Sixto.malato@psa.es
Eficiencia Energética en la Edificación	Javier Batlles Profesor Titular de la UAL fbatlles@ual.es	M^a José Jiménez Investigador de O.P.I. CIEMAT mjose.jimenez@psa.es

7.3 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

Diego Martínez (Director de la Plataforma Solar de Almería, CIEMAT)

Diego.martinez@psa.es

Luis Yebra (Investigador del CIEMAT)

Luis.yebra@psa.es

7.4 COMITÉ CIENTÍFICO

Sebastián Dormido

sdormido@dia.uned.es

Catedrático de Informática y Automática de la UNED

María Luisa Castaño

mluisa.castano@micinn.es

Subdirectora General de Coordinación de Centros Tecnológicos
y Plataformas Científico-Tecnológicas del MICINN

Rafael van Grieten

rafael.vangrieken@urjc.es

Catedrático de Ingeniería Química y Vicerrector de Inv. de la
Universidad Rey Juan Carlos

David Serrano

david.serrano@imdea.org

Catedrático de Ingeniería Química y Director de IMDEA-Energía