



## GENERACIÓN DE ENERGÍA

Mejora de la rentabilidad en plantaciones de olivos

## FABRICACIÓN DE ALTO RENDIMIENTO

Gestión de calidad y mantenimiento productivo Total

## CONTROL ACÚSTICO EN ACTIVIDADES DE OCIO

Actuación municipal en la ciudad de Granada

## ENERGÍA TERMOSOLAR

Diseño de colectores cilindro-parabólicos

## TECNOLOGÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES

El bus domótico KNX

## MODELO DE EXCELENCIA EUROPEO

Relaciones causales

## TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN

Análisis de mecanismo paralelo

## SEPARACIÓN QUÍMICA

Membranas líquidas iónicas soportadas



## GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

Mejora del desarrollo de productos: El caso Navantia



Precio por ejemplar. 31,20 €

# DYNA

## ACCESO ILIMITADO PARA INSTITUCIONES Y ORGANIZACIONES

Consiga un acceso *on-line* a la base de datos de artículos completa de DYNA para cada ordenador en su Universidad, Biblioteca o lugar de trabajo.

Pregunte por una licencia de acceso *on-line* enviando un email a [dyna@revistadyna.com](mailto:dyna@revistadyna.com)

Fundada en 1926, DYNA es la revista de ingeniería general más influyente y prestigiosa de España, como lo reconoce Thomson-Reuters en la publicación anual de su informe JCR.

Publica 6 números al año con contenidos científicos innovadores en el amplio abanico de la ingeniería multidisciplinar: mecánica, eléctrica, metalúrgica, energética, gestión...

La suscripción *on-line* permite acceder al archivo histórico de los artículos de la revista de manera ilimitada a los usuarios de una organización con IP fija. Este tipo de acceso a contenidos simplifica la gestión de usuarios y contraseñas y abarata el acceso a la información de grandes volúmenes de lectores. La base de datos de artículos de DYNA crece mes a mes y actualmente se remonta al año 1970.



**DYNA DIGITAL**  
<http://www.revistadyna.com>

La Revista DYNA es el Órgano Oficial de Ciencia y Tecnología de la Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de España (FAIE).  
Fundada en 1926, DYNA es una de las revistas de ingeniería más influyentes y prestigiosas del mundo, como lo reconoce Thomson-Reuters en la edición anual de su informe JCR.  
Es el medio más indicado para la comunicación de los Ingenieros Industriales Superiores y de cuantos vean en ella el medio de expresión de sus ideas y experiencia.

DYNA es una revista bimestral que edita 6 números al año: enero, marzo, mayo, julio, septiembre, noviembre.

En el número de diciembre de cada año se publican los índices acumulativos por materias y autores de los artículos publicados en el año.

<http://www.revistadyna.com>

[dyna@revistadyna.com](mailto:dyna@revistadyna.com)

#### CONSEJO DE ADMINISTRACIÓN

**Presidente de Honor:** Luis Manuel Tomás Balibrea (FAIE - Madrid)  
**Presidente:** Néstor Goicoechea Gandiaga (Asociación de Bizkaia - Bilbao)  
**Vicepresidente:** José Esteban Fernández Rico (Asociación de Asturias - Oviedo)  
**Secretario-no consejero:** Carlos López de Letona Ozaita (Asociación de Bizkaia - Bilbao)

#### Vocales:

**Emilio Gómez-Villalba Ballesteros** (Asociación de Andalucía Oriental - Granada),  
**Germán Ayora López** (Asociación de Andalucía Occidental - Sevilla), **Javier A. Rodríguez Zunzarren** (Asociación de la Comunidad Valenciana - Valencia), **Juan Torres i Carol** (Asociación de Catalunya - Barcelona), **Miguel Ángel Martínez Lucio** (Asociación de Madrid - Madrid),  
**José María Ruiz - Tapiador Trallero** (Asociación Aragón - Zaragoza), **Manuel Lara Coira** (Asociación de Galicia - Santiago), **Pedro Hernandez Cruz** (Asociación de Cantabria - Santander), **Pedro Jiménez Mompean** (Asociación de la Región de Murcia - Murcia).

#### OTROS SOCIOS

**Ramón Larrinoa Barreda** (Colegio de Alava), **Gabriel Egaña Uranga** (Colegio de Gipuzkoa), **Carlos Izkue Montejo** (Colegio de Navarra), **Francisco J. Marrodán Esparza** (Asociación de La Rioja), **Jesús María Mirat Celdrán** (Asociación de Extremadura), **Alfonso Panadero Martínez** (Asociación de Albacete), **Andrés Pérez Bermúdez** (Asociación de Canarias), **Alfredo Arias Berenguer** (Asociación de Baleares), **Manuel María Urueña Cuadrado** (Asociación León - León).

#### CONSEJO DE REDACCIÓN

**Presidente:** Luciano Azpiazu Canivell (Iberdrola - Bilbao)  
**Vicepresidente:** Leopoldo Espolita Carreño (Asociación de Asturias - Oviedo)  
**Secretario:** Carlos López de Letona (Asociación de Bizkaia - Bilbao)

#### Vocales:

**Alberto Del Rosso** (Universidad Tecnológica Nacional - Buenos Aires, Argentina), **Alfonso Parra Gómez** (Asociación de Bizkaia - Bilbao), **Antonio Adsuar Benavides** (Conselleria de Industria Comercio e Innovación - Valencia) - **Eduardo Valle Peña** (Asociación de Cantabria - Santander), **Blas Hermoso Alameda** (Universidad Pública de Navarra - Pamplona), **Franck Giroit** (Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers - Paris, Francia), **Fernando Guíjarro Merelles** (Universidad de Extremadura - Cáceres), **Fernando López Rodríguez** (Agencia Extremeña de la Energía - Cáceres), **Ferrán Puerta Sales** (Universidad Politécnica de Cataluña - Barcelona), **Ignacio Fernández de Aguirre Guantes** (Instituto de Fundición Tabira - Durango), **Javier Barrondo Apodaca** (Iberdrola - Bilbao), **Jesús María Cantera Sojo** (Secot - Bilbao), **José Manuel Palomar Carnicero** (EPS Jaén - Jaén), **José María Bueno Lidón** (Green Power Tech - Sevilla), **José Rafael Castrejón Pita** (University of Cambridge - Cambridge, UK), **Juan M. Gers** (Gers USA LLC - Weston, Florida, USA), **Manuel Lara Coira** (Escuela Politécnica Superior de Ferrol - Ferrol), **Nicolás Gaminde Alix** (Asociación Bizkaia - Bilbao), **Juan L. Serarols Font** (Universidad de Girona - Girona), **Pedro J. Otaduy** (Oak Ridge National Laboratory - Oak Ridge, Tennessee, USA), **Raimundo Martínez Giménez** (Euroconseil - Sevilla).

#### CONSEJO ASESOR

**Allan Joseph Wailoo** (Universidad de Sheffield - Sheffield, UK), **Angel Mena Nieto** (Universidad de Huelva - Palos de la Frontera), **Carlos García Crespo** (Universidad de Mondragón - Mondragón), **Eva Martínez Caro** (Universidad Politécnica de Cartagena - Cartagena), **Javier Santos García** (Universidad de Navarra - San Sebastian), **Jorge Arturo Del Ángel Ramos** (Universidad Veracruzana - Veracruz, Méjico).

#### DIRECCIÓN

**José María Hernández Álava**

© 2011. Publicaciones DYNA S.L.

Publicaciones DYNA SL, a los efectos previstos en el artículo 32.1, párrafo segundo del vigente TRLPI, se opone expresamente a que cualquiera de las páginas e DYNA, o partes de ella, sean utilizadas para la realización de revistas de prensa. Cualquier acto de explotación (reproducción, distribución, comunicación pública, puesta a disposición, etc.) de la totalidad o parte de las páginas de DYNA, precisará de la oportuna autorización, que será concedida por CEDRO ([www.cedro.org/](http://www.cedro.org/) / [www.conlicencia.com](http://www.conlicencia.com)).

Las opiniones y datos consignados en los contenidos son de exclusiva responsabilidad de los autores.

**ENTIDAD EDITORA:** Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de España

#### ADMINISTRACIÓN, DIRECCIÓN, DISTRIBUCIÓN, EDICIÓN, PEDIDOS, PUBLICIDAD Y SUSCRIPCIONES:

Publicaciones DYNA S.L.,  
Alameda de Mazarredo, 69 - 48009 BILBAO.  
Tel.: +34 944 237566 - Fax +34 944 234461  
email: [dyna@revistadyna.com](mailto:dyna@revistadyna.com)  
Instrucciones detalladas para los autores en la web: [www.revistadyna.com](http://www.revistadyna.com)

#### IMPRESOR: MCCGRAPHICS

C/ Larrondo Beheko Etorbidea, edif. 4 Nave 1 - 48180 LOIU (Vizcaya) -  
Tel.: +34 944 535 205. e-mail: [elkar@mccgraphics.com](mailto:elkar@mccgraphics.com)  
Formato: 21 x 29,7 cm (A4)  
D.L. BI-6-1958  
ISSN 0012-7361  
ISSN electrónico 1989-1490  
SICI: 0012-7361(20111201)86:6<>1.0.TX;2-Z  
CODEN: DYNAU

Tirada de este número: 4.594 (papel) y 23.981 (digital)  
Ejemplares vendidos: 3.542 (papel) y 23.961 (digital)

#### UNIVERSIDADES COLABORADORAS

ETS de Bilbao, EPS de Ferrol, ETS de Vigo, EPS de la Universidad Carlos III de Madrid, EPS de Gijón, ETS de San Sebastián (Tecnun), ETS de Cartagena, ETS de Terrassa, EPS de la Universidad de Mondragón, EPS de Girona, ETS de Santander, ETS de Valencia, EPS Elche, Universidad Rovira i Virgili, Universidad de Huelva.

#### ORGANIZACIONES COLABORADORAS

CEIT-IK4, Euskalit, Tecnalia, ITEC, ITE

#### ORGANIZACIONES AMIGAS DE DYNA

SP Mutualia

Miembro de:

- Council of Science Editors
- Asociación Española de Comunicación Científica

# Suscripción anual Institucional

(Estos precios no incluyen el 4% de IVA)

<b>España</b> .....	150,00 €
<b>Número suelto</b> .....	30,00 €
<b>Extranjero</b> .....	209,00 €
<b>Número para extranjero</b> .....	38,00 €

**Suscripción WEB ilimitada al archivo histórico** ..... a consultar

Los ejemplares se envían por correo ordinario y su precio incluye los gastos de envío.

Forma de pago: Contado previo al envío de la revista

Medio de pago preferente: Domiciliación.

Para suscripciones, pedidos, reclamaciones, renovaciones, cancelaciones o cambios de domicilio enviar un correo electrónico a [dyna@revistadyna.com](mailto:dyna@revistadyna.com) indicando el motivo del mensaje, la identificación de la persona o entidad, NIF o CIF, dirección postal, teléfono y correo electrónico.

Existe un formulario de suscripción en nuestra página web:

<http://www.revistadyna.com>

## Tarifas publicitarias

(Estos precios no incluyen el 18% de IVA)

<b>Revista Impresa</b>	<b>Izda.</b>	<b>Dcha.</b>
Página a color	986 €	1.125 €
1/2 página a color (Horizontal o vertical)	643 €	739 €
1/4 página a color (Horizontal o vertical)	407 €	468 €
Interior Portada .....	1.164 €	
Interior Contraportada.....	1.007 €	
Contraportada .....	1.200 €	
Encartes y Publireportajes .....	a consultar	

**Revista digital (<http://www.revistadyna.com>)**

Banner web de 200x60 pixels (mínimo 7 días) ..... 20 €/día

Banner web de 650x80 pixels (mín. 7 días) ..... 80 €/día

Inserción en Boletín electrónico ..... a consultar

Páginas visitadas al mes: 30.000 (Google Analytics)

Nuestro formato impreso es A4 a todo color (21 x 29,7 cm)

El material digital original será por cuenta del anunciante. Los anuncios con indicación del lugar de colocación tendrán un aumento del 25%.

## Incluida en / Indexed in

**COMPLUDOC (Universidad Complutense de Madrid)**

<http://europa.sim.ucm.es/compludoc>

**DIALNET (Universidad de La Rioja)**

<http://dialnet.unirioja.es>

**FUENTE ACADEMICA PREMIER (Ebsco Publishing)**

<http://www.ebscohost.com>

**GEOREF (American Geological Institute)**

<http://www.agiweb.org>

**GOOGLE SCHOLAR**

<http://scholar.google.es>

**ICYT (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)**

<http://www.csic.es>

**INSPEC (The Institution of Engineering & Technology)**

<http://www.theiet.org>

**JCR (Journal Citation Reports (Thomson-Reuters))**

<http://science.thomsonreuters.com/es/productos/jcr>

**LATINDEX (Sistema Regional de Información en línea para Iberoamérica)**

<http://www.latindex.org>

**PASCAL (Centre National de la Recherche Scientifique)**

<http://www.inist.fr>

**RECYT (Fundación Española de la Ciencia y Tecnología)**

<http://recyt.fecyt.es>

**SCIENCE CITATION INDEX EXPANDED (Thomson-Reuters)**

<http://www.thomsonscientific.com>

**SCOPUS (Grupo Elsevier)**

<http://info.scopus.com>

**SUMARIS (Bibliotecas Universitarias de Catalunya)**

<http://sumaris.cbuc.es>

**TECHNOLOGY RESEARCH DATABASE (ProQuest)**

<http://www.proquest.com>

**ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY (Grupo Elsevier)**

<http://ulrichsweb.com>

### BOLETIN DE SUSCRIPCIÓN:

\*Nombre y 2 apellidos ..... Empresa .....

\* NIF / CIF ..... \*Dirección de envío suscripción .....

\*CP ..... \*Población ..... \*Provincia.....

\*Teléfono ..... Móvil ..... Fax .....

E-mail ..... Web .....

Fecha..... Fecha ..... Firma y Sello

### FORMA DE PAGO SELECCIONADA:

Transferencia  Cheque nominativo

Domiciliación bancaria

Ruego a Uds. que con cargo a cta./libreta:

--	--	--	--

Entidad

--	--	--	--

Agencia

--	--

D.C.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Oficina

Domicilio Sucursal..... Cod.Postal..... Población ..... Titular .....

Atiendan hasta nuevo aviso los recibos que presente Publicaciones DYNA SL.

Remitir este boletín de suscripción o sus datos por:

#### CORREO POSTAL:

Publicaciones DYNA SL  
Alda. Mazarredo 69 – 3º  
48009-Bilbao

#### CORREO ELECTRÓNICO:

[dyna@revistadyna.com](mailto:dyna@revistadyna.com)

#### FAX:

+34 94 423 44 61

#### PÁGINA WEB:

<http://www.revistadyna.com>  
Donde existe un formulario de suscripción

Los campos señalados con un \* son obligatorios, y por tanto necesarios para atender su petición.

En cumplimiento de lo establecido en la LOPD 15/1999, le informamos y en este sentido usted consiente, que los datos personales, que nos facilite, sean tratados y queden incorporados en los ficheros de PUBLICACIONES DYNA SL, para el envío periódico de la revista Dyna, sus datos no serán objeto de cesión alguna. En el caso de que no dé su consentimiento para el tratamiento de sus datos, será imposible prestar correctamente los servicios solicitados. Usted además consiente, el envío (incluso por medios electrónicos), de comunicaciones comerciales y publicitarias, por parte de PUBLICACIONES DYNA SL, se compromete a mantener actualizados los mismos, y podrá ejercitar los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición, dirigiéndose a PUBLICACIONES DYNA SL, C/Alameda de Mazarredo, 69, 48009 Bilbao.

No autorizo el envío por medios electrónicos de información comercial, por parte de PUBLICACIONES DYNA SL.

No deseo que mis datos sean empleados con finalidades publicitarias por parte de PUBLICACIONES DYNA SL.

# Índice

Diciembre 2011

606

DYNA hace 80 años

608

Noticias Breves

610

Sociedad e Ingeniería Industrial

612

Evolución

614

Aula DYNA

619

Noticias

621

Colaboraciones

707

Desarrollo Sostenible

709

Índices del Volumen

641



MEJORA DE LA RENTABILIDAD DE LAS PLANTACIONES DE OLIVOS MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE HUERTOS SOLARES

*YIELD IMPROVEMENT IN OLIVE TREES PLANTATIONS INSTALLING SOLAR FIELDS*

Eliás López-Alba, Angel Gómez-Moreno, Rafael López-García, Eloísa Torres-Jiménez, Pedro Casanova-Peláez

648



GESTIÓN DE LA CALIDAD TOTAL Y MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL EN LA FABRICACIÓN DE ALTO RENDIMIENTO

*TOTAL QUALITY MANAGEMENT AND TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE IN HIGH PERFORMANCE MANUFACTURING*

Raquel Sanchis, Raul Poler, Josefa Mula, David Peidro

656



RELACIONES CAUSALES EN EL MODELO EUROPEO DE EXCELENCIA

*CAUSAL RELATIONS IN THE EUROPEAN EXCELLENCE MODEL*

Fernando Tejedor-Panchón, Gonzalo Tejedor-Panchón, Aurelio Muñoz-Rubio, Rafael González-Palma, José María Portela-Núñez, Andrés Pastor-Fernández

662



DISEÑO DE COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS. CAMINO HACIA LA VIABILIDAD DE LA ENERGÍA TERMOSOLAR

*IN SEARCH OF FEASIBILITY THERMAL ENERGY USING PARABOLIC TROUGH DESIGN*

José M. Sierra-Velasco, José L. Cortizo-Rodríguez, Álvaro Noriega-González, Eduardo Rodríguez-Ordóñez, Esteban Fernández-Rico

671



EL BUS DOMÓTICO KNX, UNA ÚNICA INFRAESTRUCTURA PARA TODOS LOS SERVICIOS

*KNX BUS AUTOMATION, A UNIQUE INFRASTRUCTURE FOR ALL SERVICES*

Mohammad Hussain-Alanbari, Diego Gachet-Páez, Jaime Angulo-Zevallos

676

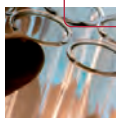


ANÁLISIS DEL JUEGO, REPETIBILIDAD DE POSICIONAMIENTO Y PRECARGA DE UN MECANISMO PARALELO

*BACKLASH, POSITIONING REPEATABILITY AND PRELOAD ANALYSIS OF A PARALLEL MECHANISM*

Ana Cristina Majarena-Bello, Jorge Santolaria-Mazo, David Samper-Carnicer, Juan José Aguilar-Martín

686



NUEVOS PROCESOS DE SEPARACIÓN BASADOS EN MEMBRANAS LÍQUIDAS IÓNICAS SOPORTADAS

*NOVEL SEPARATION PROCESSES BASED ON SUPPORTED IONIC LIQUID MEMBRANES*

Antonia Pérez-De los Ríos, Francisco José Hernández-Fernández, Anahi Ginstá-Anzola, Sergio Sánchez-Segado, Luis Javier Lozano-Blanco, Carlos Godínez-Seoane

693



EL CONTROL ACÚSTICO DE LAS ACTIVIDADES DE OCIO. ACTUACIÓN MUNICIPAL EN LA CIUDAD DE GRANADA

*ACOUSTIC CONTROL OF LEISURE ACTIVITIES. MUNICIPAL ACTION IN THE CITY OF GRANADA*

Arturo Olivares-Olivares, Raúl Manuel Trassierra-Rodríguez, Ildefonso Reyes-Adán, José Manuel Palomar-Carnicero, Rafael López-García

699



MEJORA DEL DESARROLLO DE PRODUCTOS DESDE UNA PERSPECTIVA DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO. EL CASO DE NAVANTIA

*IMPROVING PRODUCT DEVELOPMENT FROM A KNOWLEDGE MANAGEMENT BASED APPROACH. THE CASE OF NAVANTIA*

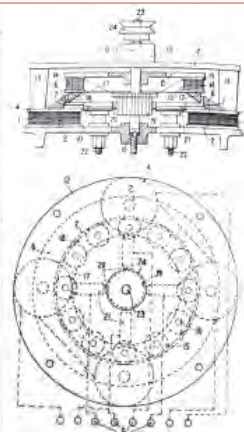
Eva Martínez-Caro, Francisco Campuzano-Bolarín, Juan Antonio Villaescusa-Chocano

## ¿EL MOTOR ELÉCTRICO DEL PORVENIR?

Expone el autor, que los pequeños motores eléctricos de gran velocidad entonces en uso, por ejemplo para gramófonos, tenían corta duración por su rápido desgaste, elevada producción de ruido y dificultad para adaptarse a distintos voltajes. Por eso propone “*el uso de motores con arrollamientos independientes del rotor y estator*”, pero de nuevo diseño mejorado “*con bobinas independientes entre sí, arrolladas sobre sus correspondientes núcleos magnéticos y dispuestas de modo que se complementen mutuamente*”. Esta disposición permitiría adaptarse a distintos voltajes “*bastando para ello variar la agrupación de las bobinas independientes*”.

La disposición mostrada en la figura permite apreciar las bobinas del estator (1) montadas sobre una base de hierro, “*que pueden conectarse por pares y en paralelo*”, y el disco del rotor “*calado sobre el árbol*” donde “*se hallan dispuestas sus bobinas (14) sobre sus correspondientes núcleos*”.

El motor descrito, junto con otras variantes para marchas lentas, se había patentado en Inglaterra por la sociedad Supra Electric Motors, Ltd.



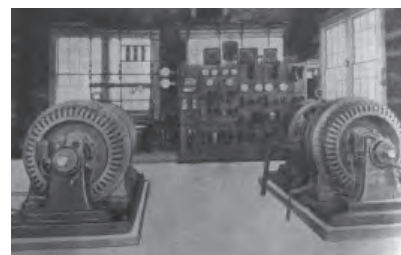
M. C.

## SUBESTACIONES AUTOMÁTICAS PARA INSTALACIONES MINERAS

Se exponen en el artículo la necesidad de abordar “*el problema de la conversión y distribución de la energía eléctrica para su utilización en la tracción de los trabajos subterráneos...principalmente en las minas de carbón*”. Considerando sus ventajas para este servicio, “*conduce naturalmente a la adopción del sistema de distribución de corriente continua, si bien se emplea con frecuencia la corriente alterna para algunas operaciones, casi siempre al aire libre*”.

Dado su avance tecnológico, presenta las características de las instalaciones norteamericanas, cuya mayoría “*utiliza corriente continua a 250 o 275 voltios*”. Los grupos usados, motor – dinamo, “*son casi siempre de pequeña capacidad, de 100 a 300 Kw., llegando solamente en casos excepcionales a 500 o 750 Kw.*”

Con abundante detalle de esquemas eléctricos, se describen los componentes para control de la subestación, para la operación automática con grupo motor – generador o con conmutatriz, según instalaciones de Westinghouse Electric, Co.



Francisco Hernández Díez

## LOS HORNOS METALÚRGICOS CALENTADOS CON CARBÓN PULVERIZADO

Comenta y discute el texto una conferencia dada en la «Société des Ingénieurs Civils de France» sobre los hornos rotativos de fusión para fundiciones de la casa Stein-Brackelsberg, que aplican quemadores de carbón pulverizado. En la operación “*después de cargado el horno, se procede al encendido con un quemador de aceite pesado y, cuando se ha obtenido una cierta temperatura, entra en acción el carbón pulverizado*”.

Tras aportar los resultados habidos en hornos de 5 toneladas con fundición gris y maleable, concluye afirmando el autor que considera más ventajoso el horno tipo «Sesci», más adecuado a los carbones españoles.

J. M. España

## NOTICIAS EN DYNA

### Nuevo rascacielos.

El mes de julio se inauguró en New York (sic) el *Empire State Building*, el último de los rascacielos y el más elevado, hasta nueva orden. Tiene 85 pisos y se termina por una torrecilla cuadrada de 200 pies de altura que, según el proyecto de los constructores constituye un mástil de amarre para los dirigibles. Sea lo que quiera, el *Empire State Building* bate, por el momento, el “record” de altura con su punta a 375 metros por encima del suelo. Hace 18 años, el *Woolworth Building* construido en el barrio Sur de New York, era para los neoyorkinos la maravilla de las maravillas con sus 60 pisos y 237 metros de altura, pero hoy ha sido sobrepasado por el *Chrysler Building* (77 pisos) y sobrepasado a su vez por el *Empire State Building*.

### Centenario.

Por una curiosa coincidencia, el centenario del descubrimiento de la inducción electromagnética hecha por **Faraday**, es también el centenario del nacimiento de **Clerk Maxwell** otro gran fundador de la moderna ciencia de la electricidad y del magnetismo.

Su fama es debida principalmente a sus famosas ecuaciones sobre el campo electromagnético que son como asegura Sir J.J.Thompson de lo más importante en el dominio de la Física.

Por su nacimiento Maxwell ha pertenecido a Edimburgo, por su personalidad a Cambridge y por su trabajo al mundo entero. Falleció a la temprana edad de 48 años.

Considerando los grandes retos de este milenio, como el hambre, el cambio climático, los desastres naturales, y en definitiva la búsqueda de un mundo de bienestar y progreso en igualdad de condiciones para todas las regiones del planeta, defendemos que la ingeniería es parte de la solución. Por ese motivo el ingeniero debe realizar su trabajo en favor del interés público, protegiendo la salud, seguridad de la sociedad y contribuyendo al desarrollo humano, pero no a cualquier precio, como con demasiada frecuencia se ha venido haciendo hasta ahora, donde ha prevalecido el desarrollo económico sobre el impacto y deterioro ambiental.

En los últimos años, prioridades como el cambio climático, el consumo responsable de materias primas, la polución del aire, la salud, el buen uso y gestión de la energía y residuos, han tomado cuerpo en la conciencia colectiva y en la política de gobiernos y administración, hablando con fuerza del concepto de desarrollo sostenible, intentando conseguir el difícil equilibrio entre el desarrollo social, económico y ambiental.

En la actualidad, en medio del *tsunami* de la crisis económica, puede parecer que conjugar las necesidades actuales de ajuste en gastos y necesidad perentoria de resultados a corto plazo, no es muy factible, y podríamos caer en la tentación de dejar de lado las cuestiones ambientalmente respetuosas; es aquí donde surge un nuevo concepto, la *eco-innovación* que bien desarrollado puede jugar a favor de todos los intereses.

Eco-innovación en sentido amplio, significa que en todas las actividades y resultados de los procesos de innovación, se incorporen criterios y pautas que mejoren significativamente la protección medioambiental y se incluyan nuevos procesos, nuevos productos o servicios, nuevos métodos gestión y nuevos modelos de negocio. El proceso de eco-innovación, que como todo proceso de innovación consiste en aplicar la creatividad e inteligencia competitiva a los resultados de I+D sobre la materia, y más concretamente en este caso, se deben contemplar en cada fase del proceso criterios ambientales, para lo que se dispone de un gran número de herramientas o metodologías, desde el *eco-diseño*, hasta el análisis del ciclo de vida o la utilización de sistemas de gestión ambiental.

La eco-innovación, además, se está convirtiendo en un nuevo mercado: así por ejemplo desde la Unión Europea se impulsan y trasladan a los países miembros programas de "*compra verde*", que tratan de introducir la variable ambiental en los procesos de decisión de compra. Para hacerse una idea del potencial de este mercado en estos momentos la *compra verde* en Europa representa más de 16% del PIB. Otra iniciativa en la que la eco-innovación presenta numerosas oportunidades de negocio, es la conocida como *Smart Cities*, en la que se utiliza a las ciudades como catalizador para integrar tecnología, talento y territorio, y en el que el concepto sostenible esta omnipresente en todas las implantaciones. Así encontramos, gestión eficiente de la energía, movilidad sostenible, introducción del vehículo eléctrico e híbrido, urbanismo inteligente, sistemas de información distribuida, utilización racional de agua de lluvia, gestión integral de residuos, entre otras muchas.

Ya en los últimos años, un nuevo paradigma que trata de abrirse paso, fue expuesto por sus autores en la publicación "*cradle to cradle*" (DYNA abril de 2011) – de la cuna a la cuna – y en el que frente a los axiomas clásicos del ecologismo, de reutilizar, reciclar, reducir, se propone un cambio de enfoque, ya que reducir el impacto ralentiza el proceso pero acabaríamos llegando al mismo final. De tal forma que la propuesta consiste en atacar los problemas de raíz: así por ejemplo en vez de reducir los consumos de energía, tratar de hacerlos innecesarios, e incluso lograr que el balance energético final sea positivo.

Se está bautizando a este enfoque como la nueva revolución industrial, y los ingenieros como profesionales capaces de transformar la sociedad, no debemos permanecer ajenos, es más, debemos ser protagonistas de ella.



## ► EL PROYECTO GoBiGas

La ciudad de Gothenburg (Suecia) está inmersa en la construcción de la primera fase de un proyecto que pretende poner en marcha a finales de 2012: una planta para la producción de 20 MW de biogás procedente de residuos forestales. Para ello utilizará una tecnología austríaca de gasificación que inyecta vapor a 850° a los residuos en lecho fluidificado.

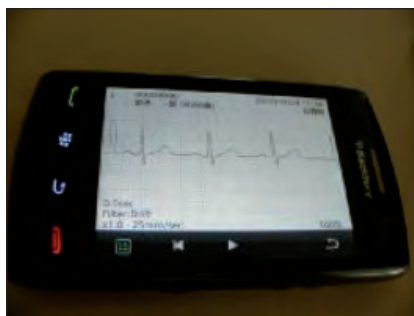
El gas obtenido, una vez eliminado el azufre y alquitranes es “metanizado” en un reactor catalítico con otro lecho fluidificado, separando posteriormente el vapor de agua, hidrógeno y dióxido de carbono que lo acompañan.

Una vez purificado, el metano se incorporará a la red de gas natural existente en el área desde los años 80. La segunda fase del proyecto, que se espera esté en marcha en 2020, será de 80 MW. Entre ambas podrán alcanzar una producción anual de 1 TWh, alrededor del 30% del consumo de la ciudad. La Agencia Sueca de la Energía y la eléctrica alemana E.ON están involucradas con el proyecto.

## ► ¿QUIÉN SE ACUERDA DEL EVI?

El 5 de diciembre de 1996 comenzó en California (EE.UU.) la distribución en régimen de leasing, del primer automóvil eléctrico moderno fabricado por GM. Era un cupé de dos puertas dotado de baterías de plomo-ácido que pesaban 1.400 kg y proporcionaban 96 km de autonomía. Se fabricaron 660 unidades de las que el primer año solo se alquilaron 288.

En 1999, como segunda generación del modelo, las baterías fueron del tipo níquel-hidruro, pesando 1.300 kg, pero con una autonomía de 257 km. A algunos de los usuarios de la primera generación se les cambiaron las baterías y a lo largo de estos años se fabricaron algunos centenares más de vehículos, de los que no todos se alquilaron. A finales de 2003 se suspendió la fabricación y la mayor parte de los no vendidos fueron desguazados, salvo algunos que terminaron en museos o centros de enseñanza. Esperemos que no ocurra lo mismo con la descomunal propuesta de tipos y modelos para automóviles eléctricos, actualmente en marcha en todos los países.



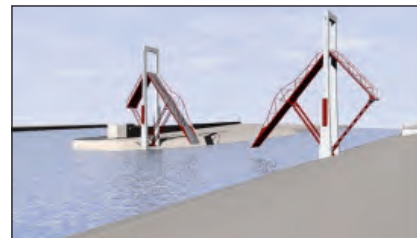
## ► APLICACIÓN CLÍNICA DE SMARTPHONES

En el Centro Médico de la Universidad de Toho (Japón) se ha establecido un sistema para que cualquier médico pueda consultar el electrocardiograma de sus pacientes utilizando su teléfono inteligente en cualquier lugar, conectándose con la base de datos del hospital. Ello ha sido posible por la creación de una nueva aplicación (MFER) para adecuar el archivo de imágenes, antes solo presentables (DICOM) en la pantalla de un ordenador a las características del teléfono.

Al mismo tiempo, tienen la posibilidad de introducir observaciones en la ficha de los pacientes y mostrarles la pantalla al diagnosticar o recetar para una mejor participación.

## ► IC Tag EMBEBIDO EN RODAMIENTOS

La empresa japonesa NTN Corp., fabricante de rodamientos ha desarrollado la técnica de situar una “etiqueta de circuito impreso” (IC Tag) embebida en ellos, recogiendo el historial de fabricación y uso, así como sus registros de calidad. Para ello practica un orificio de 4,5 mm de diámetro en uno de los laterales del anillo inferior donde coloca el dispositivo. Se pueden situar en rodamientos con diámetros exteriores mayores de unos 180 mm, dependiendo de su anchura. Ello permitirá a los usuarios de una máquina compleja conocer todos los datos de sus rodamientos sin acceder a ellos, simplemente a través de un lector RFID. Cuando estos lectores se aproximan al objeto que porta el IC Tag, las ondas son fuente de energía suficiente para que transmita la información contenida en el.



## ► PUENTE LEVADIZO SIN MECANISMOS

En la Universidad Técnica de Viena y por el TU Institut, se ha ensayado a escala 1:5 el proyecto de un puente levadizo de dos hojas para peatones y ciclistas que no precisa ni engranajes, cables o sistemas hidráulicos para su apertura.

En posición cerrada, el puente tendrá 66 m entre pilares con 100 m de longitud metálica total. Para la apertura, unos depósitos de agua colocados en lo alto de los pilares la vierten sobre contenedores deslizantes que al bajar pliegan las hojas, permitiendo el paso de los barcos y desplegándose de nuevo por vaciado de esos contenedores.



El rellenado de los depósitos se vuelve a realizar con unas bombas eléctricas que también pueden estar alimentadas por paneles solares.

## ► LA VERDAD DEL BIOCOMBUSTIBLE

El Comité Científico de la Agencia Medioambiental Europea (EEA) alerta sobre “*un serio error de cálculo*” en las ventajas proclamadas para promocionar el empleo de biocombustibles producidos de semillas alimenticias. Siempre se había asumido para el cálculo que al quemar biocombustibles se emitía un carbono igual al ya absorbido por las plantas durante su cultivo. Eso no es correcto, pues exige suponer que los terrenos utilizados no iban a soportar ningún tipo de plantaciones que también iban a absorber carbono y no ser quemadas. Además, en algunos países se ha deforestado para cultivar especies dedicadas exclusivamente a la producción de biocombustibles. La clarificación de estos conceptos en el seno de la EEA, resultará de vital importancia para el futuro, no solo de la industria productora de biocombustibles, sino para muchos países de Sudamérica y Asia, que han visto un creciente mercado para sus cultivos.



## ► EL PROYECTO PRELUDE DE SHELL

Para explotar el campo de gas natural Prelude, situado a 200 km de la costa noroccidental australiana y a 250 m de profundidad, la petrolera **Shell** construirá en los astilleros coreanos Samsung, el mayor artefacto flotante

existente hasta ahora. Con 488 m de longitud y 74 m de anchura, necesitará unas 260.000 T de acero para su construcción y será capaz de soportar ciclones hasta de fuerza 5.

Con el equipamiento previsto, no solo se extraerán los hidrocarburos sino que se llevará a cabo todo el proceso necesario para que los productos puedan trasvasarse a buques, listos para su consumo. La producción anual prevista iniciarse en 2017 será de 3,6 millones de toneladas anuales de LNG a  $-162^{\circ}$ , 1,3 de condensados y 0,4 de LPG, extendiéndose a lo largo de unos 25 años.

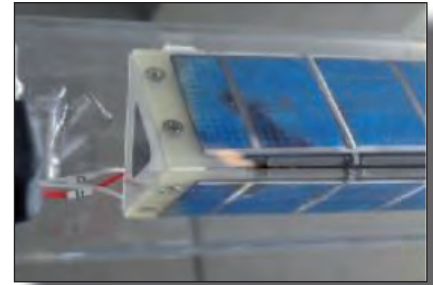
## ► LA PREVENCIÓN DE IMPACTOS

El Departamento de Transportes (DOT) americano aportará 14,9 millones de dólares a la **Universidad de Michigan** para ensayar la mejor tecnología de comunicación entre automóviles (car-to-car communication) y con la infraestructura viaria, de manera que sea capaz de prevenir y evitar muchos de los impactos que se dan actualmente.

La DOT estima como objetivo poder reducir un 80% el número de impactos actuales, suponiendo un paso futuro generalizado y comparable con los cinturones, los air-bags o los sistemas electrónicos de estabilidad. La existencia ahora del GPS y de comunicaciones eficientes por radio-frecuencia, puede complementar algunas aplicaciones ya ensayadas de sensores, laser o radar. El proyecto implicará a más de 3.000 vehículos seleccionados entre los 20.000 empleados del Centro Médico Universitario.

## ► SISTEMA PV DE GRAN RENDIMIENTO

La empresa japonesa **Smart Solar** ha presentado un sistema para concentrar la iluminación solar en paneles fotovoltaicos domésticos. Entre las distintas variantes ofrecidas se encuentra



el concentrador tipo parabólico con triple superficie generadora, de una longitud de 2.000 mm y 500 mm de anchura, capaz de generar un máximo de 150 W con una eficiencia de conversión del 20%.

Adicionalmente, el sistema incorpora un medio de refrigeración interno circulando como sifón con un líquido refrigerador de  $60^{\circ}$  de punto de ebullición, que a su vez es enfriado en un aparato exterior situado más alto que el sistema. Si se le dota de seguidor solar, Smart Solar asegura que es capaz de producir un 25% más de electricidad que los paneles convencionales.

## ► MÁS CERCA DEL BOSÓN DE HIGGS

Científicos del **LHC** comunicaron en el mes de agosto que ya habían agotado la búsqueda del bosón de Higgs en el rango medio de energías, quedando solo para localizarle, si existiera, en los rangos bajo (menos de 145 GeV) y alto (más de 466 GeV). De hacerlo, será casi con seguridad hacia finales del próximo 2012.

Aparte de la orientación de los trabajos hacia esa búsqueda, los científicos del LHC manifestaron su satisfacción por el excelente trabajo que se va desarrollando y algunos de los inesperados logros obtenidos hacia una mejor comprensión de la física de partículas. También fue noticia en septiembre, aunque no correspondiese a las investigaciones del LHC, la medición hecha en un laboratorio italiano de la velocidad de neutrinos emitidos por el LHC, que resultó ser, a falta de confirmación, superior a la de la luz.

## ► SENTENCIA OCAS

**El Supremo da la razón a nuestro Consejo General y abre la vía para que los Ingenieros Industriales, sin requerir autorización administrativa previa, actuemos como OCA. ENAC tendrá que acreditarnos sin obligarnos a disponer de medios materiales en propiedad.**

Desde que el Real Decreto 2200/1995 aprobara el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial, que regulaba el funcionamiento de los Organismos de Control Autorizado, creados al amparo de la Ley 21/1992 de Industria, nuestra profesión iba incrementando sus discrepancias conforme observábamos el desarrollo, y las realidades cotidianas que todos conocemos, del verdadero funcionamiento de estos organismos.

Hasta ese momento las tareas de inspección habían estado asignadas a los técnicos del Cuerpo de Ingenieros Industriales del Ministerio de Industria. Pero, con la introducción de los OCAs en nuestro ordenamiento, éstas se externalizaron. Al incluir dicho RD la exigencia de que estas entidades debieran contar con personalidad jurídica, realmente lo que se estaba cercenando era la posibilidad de que dichas inspecciones pudieran ser ejecutadas por Ingenieros Industriales independientes.

Situación que, como es lógico, no fue compartida por nuestra profesión, que la consideró contraria a la legislación europea de la Competencia. Desde nuestras instituciones se intentaron trasladar estas reivindicaciones, de forma constructiva, ante diferentes responsables del Ministerio de Industria. Aunque estas siempre resultaban desestimadas al llegar a la Subdirección General de Calidad Industrial, a cuyo frente, curiosamente, se ha encontrado durante todos estos años -y hasta hace unos pocos meses- el mismo responsable -paradójicamente un Ingeniero Industrial-.

Así que no nos quedó otra opción que iniciar acciones con Eurodiputados, reclamando la intervención de la Comisión Europea. Ésta iniciaría un expediente en cuyo dictamen ratificó que algunos aspectos de esta legislación española resultaban incompatibles con el Tratado de la CE, instando al Gobierno Español a su modificación. Entre ellos se encontraba el artículo 15 de la Ley de Industria que, a juicio de la Comisión, al excluir a las personas físicas, contradecía la libertad de prestación de servicios y de libre acceso a las actividades económicas en el mercado interior.

El Gobierno aprovechó la publicación de la Ley 25/2009, más conocida como Ómnibus, para modificar el art. 15 de la Ley de Industria adicionando la posibilidad de que estas actividades también pudieran ser ejecutadas por "personas naturales". Lo que le obligó a iniciar una modificación del Reglamento de los OCAs, en el que si bien se añadía que éstos podrían ser personas naturales, con el mantenimiento de una serie de requisitos conseguía que continuara siendo

inviabile el que una persona física pudieran llegar a actuar como OCA.

A la vista de que, pese a las conversaciones mantenidas y las alegaciones presentadas desde nuestro Consejo, el Ministerio decidió aprobar el RD 338/2010 en dichos términos, concluimos que la voluntad política de atender nuestras reivindicaciones era inexistente, por lo que nos vimos abocados a buscar la solución en los Tribunales de Justicia.

En concreto dos fueron las cuestiones en las que nuestros Asesores Jurídicos centraron el recurso que interpusimos contra dicho RD:

- Si bien éste contemplaba expresamente el que los OCAs pudieran ser personas naturales o jurídicas, la obligatoriedad en el cumplimiento de algunos de los requisitos también exigidos en el mismo, llevaba a que, desde nuestro punto de vista, considerásemos imposible configurar un OCA por parte de una persona física:
  - a) El que se exigiera a los OCAs acreditar una separación organizativa entre los aspectos técnicos, y los de gobierno y representación, desde nuestro punto de vista resultaba imposible de cumplir caso de tratarse de una persona física.
  - b) El que los OCAs debieran presentar un organigrama descriptivo de sus estructuras y tareas, estableciendo unos Estatutos que regularan su funcionamiento, a nuestro juicio, resultaba también completamente innecesario en el caso de encontrarse ésta configurada por una persona física.
- Por otra parte también considerábamos injustificada la exigibilidad de autorización administrativa previa a los OCAs, por considerarla contraria a la Ley 17/2009, sobre Libre Acceso a las Actividades de Servicios y su Ejercicio, y a la Ley 30/1992, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas; normas que señalan que los requisitos que supediten una actividad de servicios, no sólo deben ser proporcionados, sino que deben encontrarse justificados por una razón imperiosa de interés general.

Respecto a la primera cuestión el Tribunal Supremo ha considerado innecesario modificar la redacción del texto del RD, por cuanto argumenta que *"la exigencia de requisitos a los OCA ha de ser entendida de forma razonable y sistemática y, estando taxativamente reconocido en el art. 41 que los OCA pueden serlo tanto las personas físicas como las jurídicas, es claro que todas las exigencias posteriores hay que interpretarlas de forma compatible con tal posibilidad. En este sentido los requisitos mencionados no resultarían aplicables a los OCA constituidos por una persona física, pues no parece aplicable a tal supuesto la exigencia de contar con un separación organizativa de aspectos técnicos"*

por un lado y de gobierno y representación por otro, contar con un organigrama de su estructura y cometidos, o con unos estatutos que rijan el organismo”.

Dictamen judicial que, pese a no alterar el texto, cumple las aspiraciones de nuestro Consejo, **por cuanto resuelve la posible duda de interpretación, dejando claro que estos requisitos no serán aplicables a las personas físicas por resultar incompatibles.**

La segunda cuestión sí que ha sido plenamente estimada por el TS, que ha declarado “...al margen de la obligatoriedad de acreditación... la inaplicación de la exigencia general de autorización para los OCA”, salvo, en los completamente lógicos casos en los que ésta viniera derivada del artículo 4.5 de la Ley de Industria.

En la práctica esto significa que será suficiente con que el OCA persona física (por ejemplo, un Ingeniero Industrial) **comunique** a la Administración su intención de operar como OCA a través de una Declaración Responsable en la que manifieste “que cumple con los requisitos establecidos en la normativa vigente para acceder al reconocimiento de un derecho o facultad o para su ejercicio, que dispone de la documentación que así lo acredita y que se compromete a mantener su cumplimiento durante el período de tiempo inherente a dicho reconocimiento o ejercicio”.

Aunque la Sentencia referencia la obligatoriedad de la acreditación, no entra a analizar ni el que tenga que ser efectuada por ENAC, ni el que ésta, en el momento actual, solo tenga desarrollado el procedimiento de acreditación para entidades y no el de personas físicas. No obstante, según nuestros Asesores Jurídicos, amparándose en la definición recogida por la Directiva 2000/35/CE de “empresa” (“cualquier organización que actúe en ejercicio de su actividad independiente económica o profesional, incluso si dicha actividad la lleva a cabo una única persona”), ENAC estaría ya obligada a evaluar, con su actual procedimiento, a cualquier persona física capacitada para actuar como OCA que se lo requiriese; condición que, lógicamente, verificaría cualquier Ingeniero Industrial.

En este sentido es de destacar que, al igual que la Administración, ENAC tampoco puede imponer requisitos que no sean aplicables a personas físicas. Lo que es especialmente relevante por lo que afecta a la puesta a disposición de medios técnicos y materiales. La propia Sentencia del TS en su **Fundamento de Derecho 5 respalda la interpretación realizada por nuestro Consejo General de que la solvencia técnica pueda alcanzarse a través de medios ajenos. Y, singularmente la posibilidad de acceder a los medios materiales a través de un tercero, ya que éstos no tienen por qué ser propiedad de la persona natural**, argumentando textualmente: “sería manifiestamente desproporcionado e injustificado –a más de materialmente imposible- exigir a priori la disponibilidad

efectiva e inmediata de los medios necesarios para cualesquiera de los cometidos posibles. Una interpretación razonable de estos requisitos conduce a la conclusión de que el OCA deberá demostrar la capacidad para disponer, en su caso, de los medios necesarios para acometer las tareas concretas que vaya a desempeñar; lo que puede cumplirse mediante compromisos o acuerdos con otras entidades o profesionales. Ello supone que en muchos casos sólo contará de manera efectiva con los medios necesarios para una determinada tarea en la actividad para la que se acrediten en el momento de asumir dicha tarea”.

Lo que abre la puerta a un nuevo servicio de los Colegios Profesionales, que permitiría a los colegiados (o terceros) que desearan ejercer la actividad de OCA suscribir un contrato regulador de las condiciones de acceso al inventario de medios, propiedad de los Colegios Profesionales, de los que se pondrían a disposición de cada interesado los requeridos en el momento de asumir una tarea. Contrato que tendría que ser admitido en el proceso de acreditación por ENAC, de conformidad con la interpretación de nuestro Consejo respaldada por el TS, como aval de que dicha OCA, configurada por una persona física, se encuentra en disposición de acceder a los medios materiales necesarios en el momento de asumir dicha tarea.

**Debemos felicitarnos pues gracias a la Sentencia del Tribunal Supremo 4941/2011 de 29/06/2011 (publicada en BOE de 16/08/2011) hemos conseguido recuperar esa parte de nuestra parcela profesional de la que, durante 16 años, como técnicos cualificados independientes, se nos tuvo apartados al impedirse nuestra actuación como OCA. La situación finalmente ha sido corregida y, en el momento actual, cualquier Ingeniero Industrial tiene la posibilidad de actuar como OCA.**



Noticia publicada en El Economista

# ¿Cómo han evolucionado los temas de nuestros artículos de investigación?

El punto de vista de los autores sobre la evolución de las conclusiones expresadas en su artículo

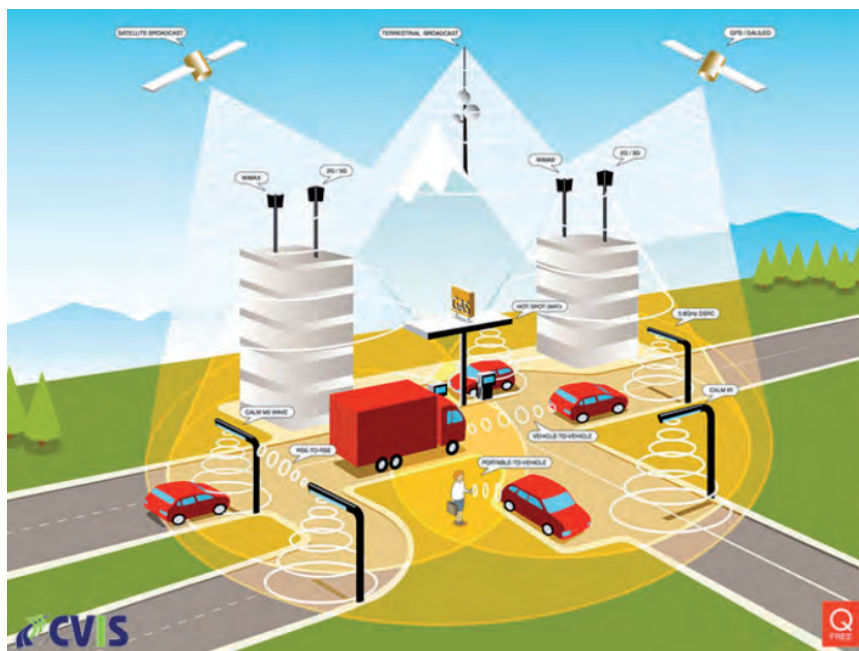
## SISTEMA DE ASISTENCIA A LA CONDUCCIÓN BASADO EN UNA RED DE COMUNICACIONES DE BAJO COSTE

Vicente Milanés-Montero (IAI-CSIC)  
Enrique Onieva-Caracuel (IAI-CSIC)  
Blas M. Vinagre-Jara (EII-Univ. de Extremadura)  
Carlos González Fernández-Vallejo (IAI-CSIC)  
Joshué Pérez-Rastelli (IAI-CSIC)  
Javier Alonso-Ruiz (IAI-CSIC)

Publicado en DYNA (abril 2010)

### RESUMEN DEL ARTÍCULO ORIGINAL

Este trabajo presenta una posible solución a una de las mayores causas de accidentes en circulación tanto urbana como en carretera: el exceso de velocidad por parte de los conductores. El sistema desarrollado se basa en la combinación de una sencilla red de comunicación de datos de sensores de bajo coste con la modificación de un vehículo comercial para manejarlo de forma automática. El sistema aquí expuesto se basa en la combinación de información sensorial proveniente de la infraestructura -sensores Zigbee- con la comunicación de esta información a los vehículos para, en función de las condiciones, adecuar la velocidad. El sistema ha sido probado en el circuito privado de pruebas del IAI-CSIC mediante un vehículo equipado con la instrumentación necesaria para llevar a cabo el control longitudinal del vehículo -pedales de acelerador y freno- de forma automática. Se han realizado tres experimentos de circulación real: una adecuación de velocidad ante una curva peligrosa, un control automático de un paso de peatones y un cruce de vehículos que muestran el buen comportamiento del sistema diseñado.



## COMENTARIO ACTUAL

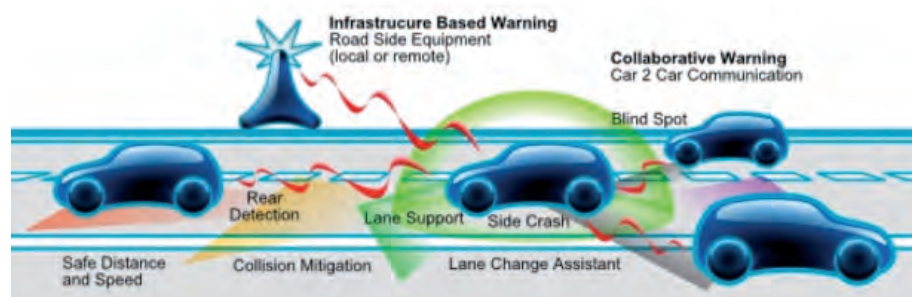
Vicente Milanés-Montero (IAI-CSIC)

El trabajo presentado consistía en la utilización de sistemas de comunicaciones inalámbricos (fundamentalmente tecnología Zigbee) para su aplicación en sistemas de ayuda a la conducción. El objetivo principal era ser capaz de actuar de manera inteligente sobre los vehículos modificando su velocidad ante situaciones de riesgo como curvas peligrosas, intersecciones sin prioridad o pasos de cebra sin visibilidad.

Los sistemas de comunicaciones inalámbricos van a jugar un papel vital en un futuro próximo en la seguridad vial. Los avances en sistemas de percepción usando cámaras, lidar/radar o ultrasonidos han ayudado de manera decisiva en los últimos años a reducir el número de accidentes en carreteras. El siguiente paso es la introducción de las comunicaciones tanto vehículo-vehículo como infraestructura-vehículo para mejorar de manera decisiva la seguridad y fluidez del tráfico. En este sentido, se está trabajando en dos líneas principales:

- 1) En primer lugar, el consorcio europeo de comunicaciones car-to-car integrado por los grandes fabricantes de automóviles (Audi, BMW, Daimler, PSA Peugeot Citroën, Renault, Volkswagen, Volvo, etc.) y en el que participa el CSIC, está tratando de desarrollar sistemas fiables que permitan ayudar a conocer con antelación las acciones a tomar por los vehículos situados en nuestro entorno cercano para reaccionar en consecuencia. Estas comunicaciones están basadas en el estándar IEEE 802.11p, que trabaja en una banda reservada para aplicaciones de automoción (5,9GHz).
- 2) En segundo lugar, y como una red auxiliar en comunicaciones con la infraestructura (señales de tráfico, semáforos, paneles luminosos, ...) trabajando a una frecuencia menor, se encuentran los sistemas que adviertan de situaciones dinámicas del tráfico como accidentes u obras en la carretera. En este campo, se está usando tecnología Zigbee gracias, fundamentalmente, a su capacidad para gestionar de manera rápida y sencilla redes de comunicaciones locales donde puedan avisar con suficiente antelación, bien a los vehículos bien a la infraestructura, sobre cambios dinámicos ocasionados.

La importancia de este campo de investigación se aprecia en la inversión que está realizando la Unión Europea en este sector con más de 80 proyectos financiados en los últimos años relacionados con comunicaciones vehículos-vehículo y vehículo-infraestructura. Sin embargo, y a pesar de la fuerte inversión, aún no se han conseguido resultados con la suficiente fiabilidad como para ser implantados en el mercado. Durante el año 2012 están previstas varias demostraciones en Europa de sistemas cooperativos basados en comunicaciones inalámbricas y se espera que para 2015 se puedan comercializar vehículos convencionales con sistemas de comunicaciones incorporados.



## AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE SOLDADURA POR FRICCIÓN “STIR”

Egoitz Aldanondo, Pedro Álvarez,  
Antonio Augusto Monaco Da Silva,  
Alberto Echeverría, Ekaitz Arruti

Centro de Investigación en Tecnologías de  
Unión Lortek (lortek-ik4)

### 1. INTRODUCCIÓN

La soldadura por fricción (*Friction Welding* o FW) de dos piezas metálicas es un antiguo proceso que se consolidó industrialmente en los años 60 y que se conseguía combinando una semifusión por fricción controlada de los materiales a unir con la presión ejercida para consolidar la unión. Se practicaba la fricción giratoria para unir ejes o piezas de revolución por sus cabezas y se aplicaba a diferentes tipos de materiales: acero, aleaciones de aluminio, de cobre... Más recientemente se ha desarrollado la fricción lineal alternativa para unir productos planos, y sobre todo para álabes para turbinas.



FW de dos ejes

El proceso *Friction Stir Welding* (FSW), nuevo paso sobre el principio anterior, fue inventado y patentado en el año 1991 en el centro británico “*The Welding Institute*” (TWI). Desde su invención despertó un gran interés debido a sus características singulares respecto a los procesos de soldadura tradicionales y el esfuerzo en investigación y desarrollo llevado a cabo a nivel internacional ha sido muy importante. En abril de 2008 se tenía constancia de 178 licencias en curso para el uso del proceso, repartidos entre la industria, institutos de investigación y universidades.

Todo el trabajo realizado en el desarrollo de la tecnología FSW a lo largo de estos casi veinte años, ha generado una serie de derivaciones o subprocesos basados en los principios básicos de tecnología FSW. Dichas derivaciones han tenido a su vez un desarrollo en función del interés que han generado y algunas, por ejemplo la derivación denominada “*Friction Stir Spot Welding*” (FSSW), se han llegado a implementar en la industria. Por otra parte, el abanico de materiales que se han unido de manera satisfactoria por FSW ha sido considerable. Aunque en sus inicios la tecnología FSW se creó trabajando con aleaciones de aluminio, posteriores desarrollos han demostrado la viabilidad de la tecnología para unir otras aleaciones metálicas tales como aceros, níquel, titanio, etc.

El desarrollo de la tecnología FSW y la capacidad de trabajar con una amplia variedad de aleaciones metálicas han llevado a la proliferación de aplicaciones industriales en diversos sectores tales como el aeronáutico, ferroviario o la automoción. A continuación pretendemos dar a conocer los principios de la tecnología FSW y sus derivaciones, las particularidades a tener en cuenta al trabajar con distintos tipos de aleaciones metálicas y algunas aplicaciones que han hecho uso de esta tecnología.

### 2. LA TECNOLOGÍA FSW: PRINCIPIOS BÁSICOS

La tecnología FSW se basa en el calentamiento por fricción y deformación plástica producidas mediante una herramienta no consumible. En la Figura 1 se muestran los principios básicos del proceso donde una herramienta rotativa es introducida en la intercara de las piezas a unir y recorre la junta generando una unión soldada. La fricción entre la herramienta y el material de las piezas a soldar produce un calentamiento que reblandece el material sin llegar a fundirlo y lo deforma en estado sólido consolidando la unión de las piezas. Por lo tanto, se trata de un proceso de deformación en caliente en estado sólido que se asemeja más a un proceso de extrusión que a un proceso de fusión-solidificación.

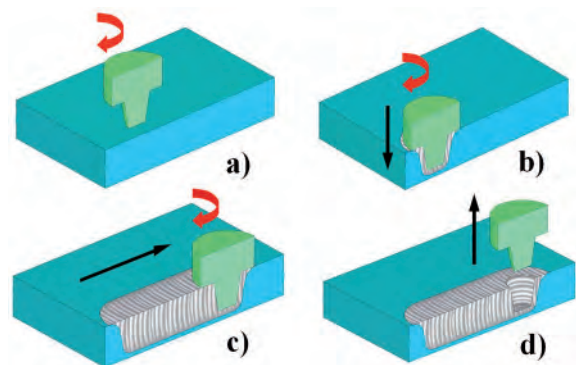


Figura 1: Esquema explicativo del proceso FSW: a) posicionamiento y rotación; b) penetración; c) avance; d) extracción.

La principal singularidad de la tecnología FSW que supone el hecho de no llegar a fundir el material y producir la unión en estado sólido acarrea ciertas ventajas que se comentan a continuación:

- La microestructura obtenida en la zona soldada es análoga a microestructuras obtenidas en procesos de extrusión de grano recristalizado muy fino. Esta microestructura característica confiere a la unión de unas propiedades mecánicas generalmente superiores a uniones soldadas producidas por técnicas por arco eléctrico tradicionales.
- Por lo tanto, problemas típicos de soldadura tales como el agrietamiento en caliente, porosidad, pérdida de elementos de bajo punto de fusión, etc. no ocurren en el proceso FSW. Debido a esto, materiales anteriormente considerados como no soldables tales como las aleaciones de aluminio 2XXX y 7XXX, (aleaciones de aluminio tratables térmicamente de alta resistencia) ampliamente utilizadas en la aeronáutica, son perfectamente soldables por FSW.
- No hay necesidad de utilizar consumibles tales como material de aporte, gases de protección... No se producen emisiones peligrosas como proyecciones, gases nocivos, etc. Además la preparación de la junta no es tan exigente como en procesos de soldadura por arco eléctrico y la limpieza de las superficies en aleaciones de aluminio es más simple, pues no hay necesidad de eliminar la capa superficial de alúmina.
- Generalmente el input energético del proceso FSW es inferior que en procesos de soldadura por arco eléctrico. Debido a esto las distorsiones y tensiones residuales de los componentes soldados son inferiores y la estabilidad dimensional aumenta.
- El consumo energético requerido en el proceso FSW es generalmente inferior al requerido por otros procesos tales como la soldadura laser o los procesos de soldadura por arco eléctrico.
- FSW es una tecnología automatizable por lo que la calidad de las uniones no depende de la habilidad de mano de obra cualificada y la repetitividad de los resultados es alta.

A su vez, la tecnología FSW también presenta ciertas desventajas:

- Al ser un proceso termomecánico, los esfuerzos generados en el proceso de soldadura FSW son grandes y es necesario sujetar los componentes a soldar firmemente mediante unos adecuados útiles de amarre. Además es necesario utilizar una máquina lo suficientemente robusta para poder transferir a la herramienta la potencia necesaria en los diferentes grados de libertad que se deben controlar durante el proceso. Dependiendo de los espesores y los materiales a soldar resulta necesario emplear máquinas hidráulicas de gran precisión de modo que la inversión en equipamiento puede ser elevada.

- La tecnología FSW requiere de ciertos automatismos o maquinaria para su ejecución y pueden existir limitaciones en casos donde el acceso a las uniones o las trayectorias de las juntas son complicadas. Para minimizar este problema se pueden emplear robots adaptados para FSW, pero esta práctica conlleva otras limitaciones en aspectos como materiales y espesores soldables.
- En el proceso básico FSW generalmente hay presencia de un agujero en el extremo final del cordón de soldadura como consecuencia de la geometría característica de la herramienta empleada.
- La tecnología FSW es especialmente complicada en el caso de aleaciones metálicas de alto punto de fusión tales como acero, titanio, níquel... En estos casos es necesario emplear herramientas especiales cuyo coste es relativamente elevado.

### 3. DERIVACIONES O SUBPROCESOS DEL PROCESO FSW

Debido al interés que generó el gran potencial de la tecnología FSW, los esfuerzos de desarrollo han sido muy importantes en los últimos años y, como consecuencia, han surgido nuevas derivaciones a partir de sus principios básicos. A continuación se detallan las derivaciones más significativas y que mayor atención han suscitado.

#### 3.1. Friction Stir Spot Welding (FSSW)

El proceso FSSW es una derivación del proceso FSW en el cual se generan uniones por puntos tal y como se puede ver en el esquema explicativo de la figura 2. Ideado por *Mazda* en el año 2003, el proceso FSSW ha demostrado el potencial suficiente para sustituir otros procesos por puntos más tradicionales tales como “Resistance Spot Welding” (RSW), “Self-Piercing Rivets” (SPR) o “Clinching” en algunas aplicaciones. Aunque, al igual que la tecnología FSW, se aplicó inicialmente a uniones de aleaciones de aluminio, desarrollos posteriores han demostrado la viabilidad del proceso FSSW para unir aceros de alta resistencia.

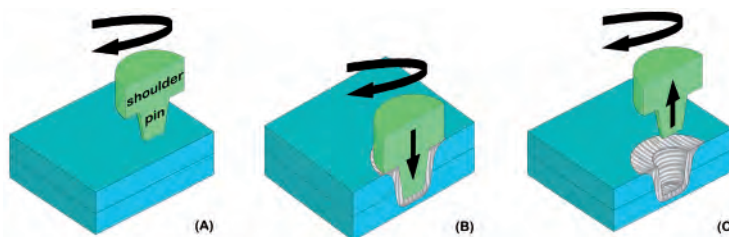


Figura 2: Esquema explicativo del proceso FSSW: a) posicionamiento y rotación; b) penetración; c) extracción.

Una de las principales desventajas del proceso FSSW es el agujero final que queda en la unión al extraer la herramienta, hecho que reduce significativamente el

volumen de material que la forma. Con el fin de aumentar dicho volumen y mejorar la resistencia mecánica de las uniones se han desarrollado una serie de derivaciones del proceso FSSW:

- **Refill FSSW:** Inventado por el Centro de Investigación GKSS alemán (Grupo *Helmholz*), combina el movimiento relativo entre la punta (“pin” en la Figura 2a) y el hombro (“shoulder” en la Figura 2a) de la herramienta para eliminar el agujero que se forma en el proceso FSSW convencional.
- **Stitch y Swing FSSW:** Ideados por *Hitachi*, estas derivaciones del proceso FSSW añaden un corto movimiento lineal de la herramienta entre las fases de penetración y extracción (Figura 2b y Figura 2c respectivamente). Debido a este movimiento adicional el volumen de material unido aumenta y, por consiguiente, la resistencia de la unión también aumenta.
- **Octaspot FSSW:** Desarrollado por la *Wichita State University* (WSU), se basa en el mismo principio que las derivaciones *Stitch y Swing FSSW* con la diferencia de que el movimiento adicional de la herramienta se da en forma de rotación en lugar de hacerlo de forma lineal.

### 3.2. Otras derivaciones de la tecnología FSW

Aunque no han tenido la repercusión e importancia de estas dos, se deben mencionar también, debido a las posibilidades que presentan respecto al proceso FSW convencional las variantes siguientes:

- **Self-reacting/bobbin tool:** El trabajo desarrollado en el diseño de las herramientas empleadas para FSW ha sido muy importante puesto que se considera que la herramienta es uno de los elementos críticos a la hora de producir uniones de calidad. Normalmente las herramientas convencionales para FSW se componen de un hombro (*shoulder* en la Figura 2a) y una punta (*pin* en la Figura 2a). El uso de este tipo de herramientas requiere del uso de un respaldo de apoyo lo suficientemente rígido que compense los grandes esfuerzos de pisado que ejerce la herramienta sobre los componentes a soldar. La tecnología *Self-reacting/bobbin tool* se distingue por el uso de una herramienta especial compuesta por dos hombros unidos por un eje que realizaría las funciones de la punta. De este modo los esfuerzos axiales son absorbidos por la herramienta y no hay necesidad de utilizar ningún respaldo de apoyo.
- **Skew-Stir:** Esta variante se basa en el uso de una punta excéntrica de la herramienta con el fin de incrementar el área de material unido y mejorar las propiedades mecánicas de las uniones. Resulta especialmente útil en uniones a solape.
- **Re-Stir:** La particularidad de esta variante es la alternancia del sentido de la velocidad de giro de la

herramienta durante la fase de avance (Figura 1c). Esta acción permite obtener uniones con tramos de propiedades ligeramente diferentes con el fin de mejorar el comportamiento a fatiga de los componentes soldados.

- **Twin-Stir:** En esta otra variante se hace uso simultáneo de dos herramientas trabajando juntas en la misma unión de modo que además de ampliar el área unida y mejorar las propiedades mecánicas de las uniones, los esfuerzos laterales generados en el proceso se compensan y se simplifica el utillaje necesario para amarrar los componentes a soldar.

### 3.3. Materiales soldables por FSW

La tecnología FSW inicialmente se ideó para aleaciones de aluminio debido al hecho de que su relativamente baja temperatura de fusión permite realizar procesos de transformación en caliente de una forma relativamente sencilla. Los materiales metálicos procesados por FSW se calientan hasta temperaturas cercanas a su punto de fusión aunque, al tratarse de un proceso en estado sólido, no llegan a alcanzarse temperaturas superiores a ese punto. Durante el desarrollo de la tecnología FSW se ha demostrado la viabilidad de trabajar con otras aleaciones metálicas además de las aleaciones de aluminio tales como acero, titanio, níquel, etc. Aún así, es necesario tener en cuenta las características y propiedades de cada aleación para adecuar la tecnología y procesar cada material de una forma exitosa.

## 4. APLICACIONES

La tecnología de soldadura FSW es la tecnología de unión más emergente actualmente y que mayor peso tiene entre la actividad científica en temas relacionados con tecnologías de unión. Además de la actividad científica, también existe una actividad industrial. Así, las primeras aplicaciones industriales de FSW se iniciaron en 1995 y desde entonces el número de aplicaciones es creciente.

La industria aeroespacial fue uno de los primeros sectores en detectar su gran potencial. *Boeing* lo ha utilizado en la fabricación de los tanques de propulsión de aluminio 2014 o en los cohetes espaciales *Delta II y Delta IV*. *Lockeed Martin* y la *NASA* han desarrollado e implementado el proceso FSW en la fabricación de los tanques externos del transbordador espacial. *Airbus*, tras un programa de aproximadamente 7 años de desarrollo ha anunciado la utilización de FSW en partes seleccionadas del *Airbus A350* y dos versiones del *A340*. En el año 2000 en Estados Unidos bajo una iniciativa de la *Air Force* se fabricaron diversos componentes para aplicaciones del departamento de defensa.

Una compañía privada de EEUU que fabrica jets de clase business, obtuvo la certificación de la administración de la aviación federal para el uso del proceso de FSW en la fabricación del jet *Eclipse 500*. En este caso se realizan uniones a solape para reemplazar remaches en la unión de



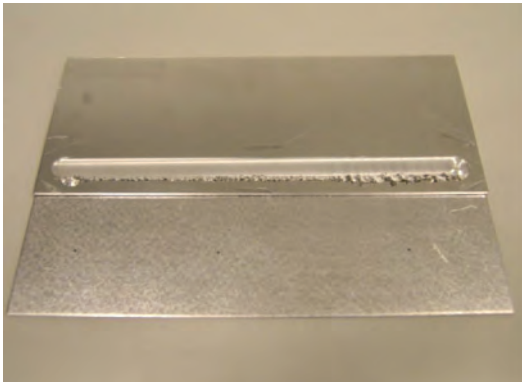


Figura 3: Chapas de aluminio y acero soldadas por FSW

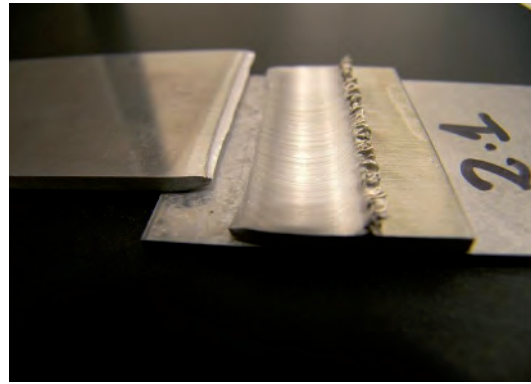


Figura 4: Fallo de la unión en la Zona Afectada Térmicamente (ZAT) del aluminio

rigidizadores internos longitudinales y circunferenciales. El equipamiento para la realización de estas uniones ha sido desarrollado por *MTS Systems Corporation*. Esta firma americana afirma haber reducido de manera considerable el tiempo de ciclo, respecto al proceso de remachado.

En cuanto a aplicaciones en automoción, *Ford* ha producido el ensamblaje del túnel de combustible del *Ford GT*, coche deportivo de la firma, utilizando la técnica de FSW. Por su parte *Mazda* ha utilizado este proceso en más de 100.000 puertas traseras de su modelo RX8.

Otro campo interesante de aplicación en la automoción y elementos de transporte es poder utilizar configuraciones multimaterial con el objeto de aligerar la estructura. En el caso de combinar acero y aluminio, su soldadura por medios que requieran una fusión del material suponen un gran desafío debido a la formación de intermetálicos frágiles. Fruto de un extenso programa de investigación interno, en colaboración con otros centros internacionales punteros en la tecnología, los demostradores realizados en LORTEK-IK4 de soldadura por FSW de aluminio con acero son muy esperanzadores (Figura 3 y Figura 4) y ya se está pensando en aplicaciones concretas dentro del sector transporte por carretera.

*Shinkansen*, que se componen básicamente de extrusiones de doble piel de aleaciones de aluminio de la serie 6XXX (aleaciones de alta resistencia de aluminio tratables térmicamente). Uno de los mayores beneficios del proceso reportado por esta firma japonesa, es la reducida distorsión del proceso y su buen acabado final. Ver en la Figura 5 las uniones realizadas en LORTEK-IK4 de perfiles extruidos.

En las construcciones marinas o navales, el número de aplicaciones para la soldadura de aluminio son numerosas. Como ejemplo, conviene citar que el ferry de aluminio más rápido del mundo, el ferry japonés *Osawara*, para transporte de pasajeros entre islas, hace un uso extensivo de la tecnología en su superestructura.

Una aplicación interesante es la fabricación de intercambiadores de calor en aluminio, debido a su alta conductividad térmica y por tanto eficiencia de intercambio. En la Figura 6 se muestra la formación de canales mediante la combinación de procesos de mecanizado y de soldadura por FSW. Estos prototipos realizados por LORTEK-IK4 han resultado ser plenamente operativos a altas presiones del fluido interior, asegurando una estanqueidad total y robusta en toda la zona soldada.

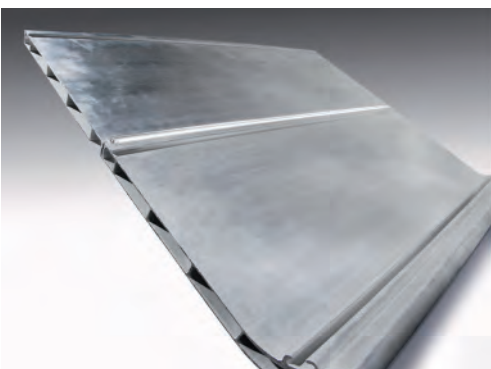


Figura 5: Perfiles extruidos soldados por FSW en LORTEK-IK4

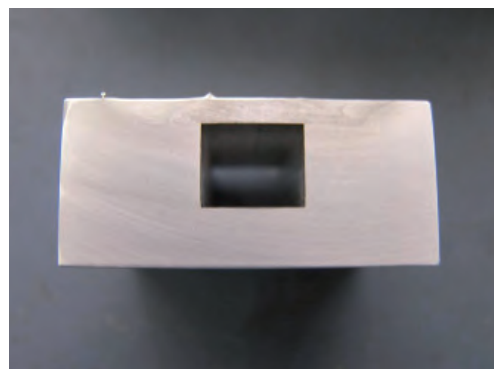


Figura 6: Canales estancos fabricados por mecanizado+FSW

Las aplicaciones en estructuras de transporte por ferrocarril, son abundantes: *Hitachi* en Japón aplica el proceso para unir los coches de los trenes de alta velocidad

## 5. CAMPOS DE DESARROLLO

Como ya se ha mencionado anteriormente en el apartado de aplicaciones, el grado de madurez tecnológica del proceso de FSW para aleaciones de aluminio es alto. En la actualidad existen diferentes frentes en los que se está trabajando a nivel de desarrollar más el proceso FSW. Los frentes más significativos son: a) extensión del proceso FSW a metales de temperatura de fusión superior al aluminio, b) Aplicación del proceso a materiales y metales disimilares y c) Desarrollo de estándares y especificaciones para el proceso FSW en aluminio.

El grado de madurez tecnológica del proceso FSW aplicado a aceros, níquel, titanio y cobre es medio, sin llegar al grado que tiene su aplicación en aleaciones de aluminio. En algunos casos, el grado de madurez es mayor que en otros, debido a los problemas intrínsecos de cada uno. De manera general se puede señalar que la mayor diferencia respecto a las aleaciones de aluminio se debe a su punto de fusión más alto y por tanto temperaturas de procesamiento más elevadas (en general la temperatura de proceso es un porcentaje de la temperatura de fusión como suele ser común en los procesos de deformación en caliente), lo que lleva a desarrollar herramientas en otros materiales. Otra diferencia importante es la menor conductividad térmica de estos materiales respecto al aluminio (el cobre es una excepción) y su influencia en un control adecuado del proceso de deformación local y flujo de material.

No queremos dejar de mencionar aquí el proceso denominado FSP que se basa en la tecnología FSW aunque en realidad no se emplea para la unión de componentes sino para modificar la microestructura y cambiar la composición del material procesado en las zonas de acción de la herramienta produciendo constituyentes con propiedades locales mejoradas. De este modo, la característica microestructura de grano fino generada en FSP abre nuevas posibilidades para producir conceptos de producto que eran impensables anteriormente.

## 6. CONCLUSIONES

En sus aproximadamente veinte años de existencia la tecnología FSW ha sido objeto de extensos estudios y desarrollos. Fruto de toda esta actividad investigadora, hoy en día la tecnología FSW es una tecnología madura en ciertos ámbitos y las aplicaciones industriales existentes en diferentes mercados son numerosas. Aún así, las posibilidades que presenta esta tecnología hacen que nuevas aplicaciones y nuevas derivaciones o subprocesos sigan apareciendo continuamente.

La tecnología FSW se desarrolló inicialmente para aleaciones de aluminio puesto que su relativamente baja temperatura de fusión permite que el procesamiento de estas aleaciones sea más sencillo. Es por ello que la mayoría de aplicaciones de la tecnología FSW se centran en este ámbito

siendo una tecnología que se encuentra en su madurez. Aún así, existen ámbitos de la tecnología FSW que se encuentran en la fase de desarrollo. Ciertos ámbitos como la soldadura FSW para aleaciones de alto punto de fusión, materiales disimilares, etc. son campos donde los investigadores están trabajando exhaustivamente por lo que los continuos avances de la tecnología y la proliferación de nuevos productos están garantizados.

Aunque la tecnología FSW se encuentra en un grado de madurez avanzado el nivel de transferencia al tejido industrial no ha sido acorde al potencial mostrado por el proceso. La falta de estándares, guías de diseño, conocimiento general del proceso o desarrolladores de la tecnología han dificultado enormemente la transferencia de la tecnología, además del alto coste del equipamiento específico para FSW. Se espera que la creación de una normativa específica para el proceso junto con la inclusión de la tecnología en programas de formación regladas sea un revulsivo que estimule la transferencia de la tecnología FSW al tejido industrial.

## PARA SABER MÁS

- [1] ASM specialty handbook: Friction Stir Welding and Processing', (ed. R.S. Mishra and M.W. Mahoney), 273-308, March 2007, Materials Park, OH, ASM International.
- [2] Friction Stir Welding and Processing V, TMS Annual Meeting, San Francisco (CA), USA, The Minerals, Metals and Materials Society, Feb 2009
- [3] Friction Stir Welding and Processing VI, TMS Annual Meeting, San Diego (CA), USA, The Minerals, Metals and Materials Society, 2011
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Friction\\_stir\\_welding](http://en.wikipedia.org/wiki/Friction_stir_welding)
- [5] LORTEK-IK4  
<http://www.lortek.es/?content=18;descripcion>
- [6] 8th International Symposium on Friction Stir Welding, (8ISFSW). Timmendorfer Strand, Lübeck, Germany 18th-20th May 2010.  
<http://www.twi.co.uk/content/fswintro.html>

28 Mayo - 2 Junio

2012

# DIÉSEL

## Un motor versátil

Fuente: Volvo Trucks



Los motores propulsados por combustible diésel han vivido un gran desarrollo durante sus 119 años de vida. Tanto es así que hoy en día, incluso el combustible que de manera coloquial llamamos diésel está comenzando a abrirse camino con alternativas que dejan menos impacto medioambiental, como el biogás y el DME (Dimetil Éter).

Se puede decir que el diésel es, en cierta medida, algo desconocido e incomprensible, y ha recibido críticas no del todo justas desde el punto de vista medioambiental. Originalmente el término diésel no tiene nada que ver con el tipo de combustible en particular, sino que describe un tipo de motor. De hecho, el inventor del motor diésel, **Rudolf Diesel**, hacía funcionar sus motores con aceite de cacahuate. Para muchos, sin embargo esta palabra se ha convertido en sinónimo del combustible fósil diésel, ya que el motor diésel puede ser propulsado con muchos y diversos combustibles, algunos de ellos, renovables. El factor común es que la ignición se produce vía compresión en vez de a través de bujías.

La razón por la que el combustible diésel se ha convertido en sinónimo del motor diésel es que, a lo largo de los años, ha sido el combustible más común para en empleado en dicho tipo de motores. Sin embargo, las demandas de la sociedad y los avances tecnológicos han propiciado investigaciones que han provocado cada vez más combustibles alternativos que pueden ser usados en el motor diésel.

**Anders Røj** es experto en combustibles en *Volvo Technology*, y explica que el combustible diésel puede ex-

# 27 BIEMH

BIENAL ESPAÑOLA  
DE MÁQUINA-HERRAMIENTA

La 27ª edición de la BIEMH será un punto de encuentro de alto nivel tecnológico y de innovación en el sector:

### REPRESENTACIÓN POR SECTORES

- MÁQUINAS HERRAMIENTA
- OTRAS MÁQUINAS
- HERRAMIENTAS PARA MÁQUINAS-HERRAMIENTA
- PIEZAS, COMPONENTES Y ACCESORIOS
- AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
- METROLOGÍA Y CONTROL DE CALIDAD
- SERVICIOS PARA EL TALLER Y LAS EMPRESAS

AFM

Machine-Tool Manufacturers'  
Association of Spain (AFM)  
Asociación Española de Fabricantes  
de Máquinas-herramienta

www.afm.es

B!  
E!  
C!  
BILBAO  
EXHIBITION  
CENTRE

EXPOSSIBLE!

traerse virtualmente de cualquier materia orgánica, siempre y cuando tenga propiedades inflamables que lo hagan apropiado para el proceso de diésel.

Hay que tener en cuenta que algunos combustibles requieren transformaciones en el motor y su equipamiento periférico. Desafortunadamente, el motor no ofrece el mismo rendimiento con todos los combustibles. Por ejemplo, el biodiésel muestra menor estabilidad y propiedades en ambientes fríos que los combustibles diésel basados hidrocarburos. Cuando la mezcla con combustible diésel es pequeña, el biodiésel ofrece buenos resultados

Dado que existe un amplio rango de combustibles alternativos, es una buena idea hacer una revisión de lo que está disponible, tanto de los combustibles que hoy en día existen como los que existirán en el futuro.

## Combustible Diésel Fósil

Lo que tradicionalmente conocemos como combustible diésel es un producto derivado del petróleo que contiene hidrocarburos. Para producir diésel el crudo se destila y después es refinado. En dicho proceso el petróleo se filtra y purifica para alcanzar los requerimientos legales de cada país.

La Unión Europea tiene tanto una directiva como una normativa CEN (cuyas siglas significan *Comité Europeo de Estandarización*) para regular los requisitos de calidad del combustible diésel. Estados Unidos generalmente adopta la norma ASTM internacional, y algunos países tienen su propia normativa.

De acuerdo con Anders Røj, el combustible diésel fósil ofrece la mayor eficacia energética desde el

principio de la extracción de petróleo hasta la combustión en el motor, lo que se conoce como “*well-to-wheel*” (es un análisis del ciclo de vida de los combustibles usados para el transporte por carretera y tiene en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub> del ciclo completo de producción de los biocombustibles, es decir, crecimiento de la planta, cosecha, transformación, gestión de residuos y utilización).

## Biodiésel

FAME, (Éteres metílicos de Ácidos Grasos) es el nombre por el que nos referimos a los biodiésel. Se pueden producir desde diferentes aceites animales o vegetales, como el aceite de colza (RME), el aceite de soja (SME) o el aceite de palma (PME). Incluso es posible que se pueda propulsar un motor diésel con un combustible obtenido del aceite de cocinar, dependiendo de en qué lugar del mundo se produzca el biodiésel.

La ventaja de los combustibles FAME es que emiten en torno a un 50-60% menos de CO<sub>2</sub> en el “*well to wheel*” en comparación con el diésel convencional y están libres de azufre. Las desventajas con que contribuyen a incrementar las emisiones de Óxido de Nitrógeno (NOx). Dentro de la Unión Europea no está permitido que el combustible diésel contenga más del 7% de FAME, dado que su alto grado de emisiones NOx son exceden los límites.

## Diésel sintético

El combustible diésel también se puede producir sintéticamente a través de la gasificación de combustibles como el carbón o el gas natural, creando un combustible que contiene menos proporciones de hidrocarburos aromáticos. Hoy en día no existe una producción significativa de diésel sintético, sin embargo las investigaciones se están dirigiendo hacia la gasificación energéticamente eficiente de la biomasa. Si este proyecto tiene éxito, el diésel sintético se puede convertir en un combustible particularmente viable para el futuro.

Las emisiones de NOx y partículas procedentes del diésel sintético son

menores que las del diésel convencional. Sin embargo, el contenido energético por litro es algo menor.

## DME (Dimetil Éter)

Uno de los combustibles diésel sintéticos que se están investigando es el conocido como DME, una aleación molecular de carbono, hidrógeno y oxígeno. Hoy en día el DME se produce a partir de gas natural, pero la empresa sueca **Chemrec** está desarrollando una planta piloto de para la producción de BioDME en **Piteå**, donde la materia prima utilizada es el licor negro, un producto altamente energético procedente de la fabricación del papel. Emite el 95% menos de dióxido de carbono que el diésel convencional y no desprende hollín. El BioDME también se puede producir a raíz de otras Fuentes de biomasa.

Como combustible diésel, el BioDME proporciona la mayor cantidad de energía por unidad de material prima. Ofrece cinco veces de autonomía de conducción por unidad de tierra cultivada que el biodiésel, por ejemplo.

## Gas Metano

El gas natural o biogas se puede utilizar como combustible para vehículos tanto en forma líquida como gaseosa. No combustiona igual que el diésel tradicional, pero si se emplea diésel fósil o biodiésel para ayudar en el proceso de combustión funciona con la misma efectividad.

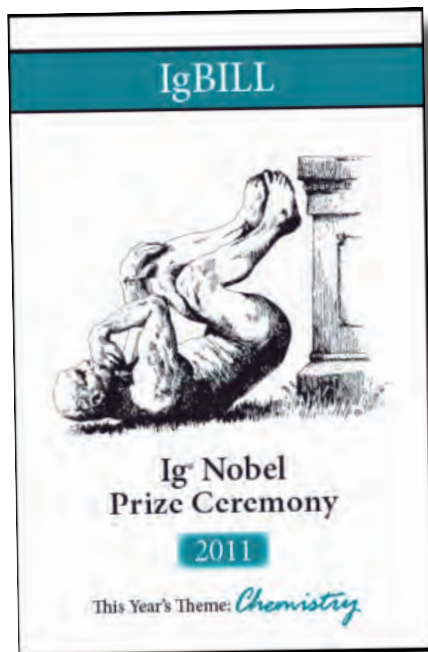
Las ventajas de los combustibles renovables para los motores diésel:

- Se obtienen de Fuentes de energías renovables (biomasa).
- Generan menos emisiones de efecto invernadero en comparación con el diésel fósil.
- Generalmente producen menos emisiones de partículas; algunos combustibles arden sin formación de hollín (DME). ■



# Los premios Ig Nobel 2011

Autor: Ignacio Fernández de Aguirre



LA ENTRADA DE ADMISIÓN A LA CEREMONIA

Desde hace algunos años, DYNA publica en estas páginas los divertidos resultados de la proclamación de los llamados **Premios Ig Nobel**, réplica humorística de los premios Nobel de la Academia de Suecia. Que nadie piense que se trata de un acto carente de prestigio o con intenciones de sarcasmo o mala educación, lleva ya veintiún años de celebración, se presenta en el *Teatro Sanders* de la *Universidad de Harvard* y acuden a recibirlo la mayoría de los nominados e, incluso, auténticos premios Nobel invitados; uno de estos últimos, descubridor del método de preparación de capas de grafeno, fue galardonado anteriormente con un *Ig Nobel*. Es una jornada de compañerismo y buen rollo entre científicos de alto nivel, pues la ciencia y la técnica no deben estar reñidas con el buen humor.

Esta vez, el acto estuvo dedicado a la química, por lo que el escenario

lucía como fondo un gran panel con la Tabla Periódica de los Elementos y, durante la presentación se interpretaron, la canción “*The Elements*” y una mini-ópera, “*Chemist in a coffee shop*” en cinco actos, repartidos a lo largo de la misma. Igualmente prestigiosos científicos intervinieron en sendas comunicaciones, denominadas 24/7, pues debían consistir en una introducción de 24 segundos y unas conclusiones finales en solamente 7 palabras que todo el mundo pudiera entender, cosa habitualmente muy complicada para los tecnólogos. Los premiados disponían de un minuto para agradecer el premio.

No debemos olvidar que, en su mayor parte, se conceden por artículos de investigación publicados en relevantes revistas científicas, después de haber sido aceptados tras una rigurosa evaluación entre pares. Los diez Premios Ig Nobel concedidos este año han tenido los siguientes temas y ganadores:

## Fisiología.

A Anna Wilkinson (UK), Natalie Sebanz (Holanda, Hungría y Austria), Isabella Mandl y Ludwig Huber (Austria) por su estudio, “No hay evidencia de bostezos contagiosos entre tortugas de pata roja (*Chelonoidis carbonaria*)”.

## Química.

A Makoto Imai, Naoki Urushihata, Hideki Tanemura, Yukinobu Tajima, Hideaki Goto, Koichiro Mizoguchi y Junichi Murakami de Japón por haber determinado la densidad ideal de un aerosol de wasabia, capaz de despertar a personas dormidas en caso de incendio o emergencia, y aplicar este descubrimiento para diseñar una alarma de wasabia. Este invento ha sido también patentado en Estados Unidos desde febrero de 2009.

Hay que advertir que la wasabia es una planta japonesa cuya raíz rallada se emplea para dar a los platos típicos,

como el *sushi*, un aroma de intenso picor nasal.

## Medicina.

A Mirjam Tuk (Holanda y UK), Debra Trampe (Holanda) and Luk Warlop (Bélgica), junto con Matthew Lewis, Peter Snyder and Robert Feldman (USA), Robert Pietrzak, David Darby y Paul Maruff (Australia), por demostrar que se toman mejores decisiones sobre unos tipos de cosas y peores sobre otros cuando se tienen fuertes deseos de orinar, con los artículos “Evacuación inhibitoria: la creciente urgencia en orinar aumenta el control sobre temas inconexos” y “Efecto de la necesidad aguda de orinar sobre la función cognitiva en adultos sanos”.

## Psicología.

A Karl Halvor Teigen de la *Universidad de Oslo* (Noruega), por su artículo, “¿Es un suspiro solamente un suspiro? Los suspiros como señales y respuestas emocionales a una tarea difícil”.

## Literatura.

A John Perry de la *Universidad de Stanford* (USA), por su artículo, “Cómo procrastinar y sin embargo conseguir que las cosas se hagan”, reeditado actualmente con el título “Procrastinación estructurada”.

Esos trabajos ofrecen el esfuerzo del autor en demostrar que hacer siempre trabajos importantes supone un medio para evitar hacer cosas aún más importantes. Señalemos que se denomina *procrastinar* al hecho, que puede ser obsesivo, de demorar continuamente la realización de cosas necesarias.

## Biología.

A Darryl Gwynne (Canadá, Australia, UK y USA) y David Rentz (Australia y USA) por descubrir que cierto tipo de escarabajos se aparean con una

# Colaboración

clase de botella de cerveza australiana, según sus artículos “Escarabajos en la botella: machos de bupresto confunden rugosidades con hembras” y “Escarabajos en la botella”.

## Física.

A Philippe Perrin, Cyril Perrot, Dominique Deviterne and Bruno Ragaru (Francia) y Herman Kingma (Holanda) por determinar la razón de que los lanzadores de disco se mareen y los de martillo no, tal como exponen en su artículo “El mareo en los lanzadores de disco está relacionado con las afecciones por movimiento originadas en el giro”.

## Matemáticas.

A Dorothy Martin (USA), que predijo el fin del mundo para finales de 1954, a Pat Robertson (USA), que

lo hizo para 1982, a Elizabeth Clare Prophet (USA), en 1990, a Lee Jang Rim (Corea) a final de 1992, a Cretonia Mwerinde (Uganda) en 1999 y a Harold Camping (USA) afirmando que sería el 6 de septiembre de 1994, actualizándolo posteriormente para el 21 de octubre de 2011, por enseñarnos que debemos ser cuidadosos siempre que realicemos afirmaciones y cálculos matemáticos.

## Paz.

A Arturas Zuokas, alcalde de Vilna (Lituania) por manifestar que el problema para resolver el aparcamiento ilegal de coches de lujo podía ser resuelto haciéndoles aplastar por un tanque acorazado. Esta propuesta se presentó con un vídeo en el sitio oficial de información local.

## Seguridad Pública.

A John Senders, de la *Universidad de Toronto* (Canadá), por llevar a cabo una serie de experimentos de seguridad vial, en los que se hacía circular al conductor por una autopista mientras un visor se situaba repetidamente ante su vista, cegándole temporalmente, como exponía en el artículo “La exigencia atencional de la conducción automovil”.

Más información sobre la ceremonia, incluyendo las diferentes actuaciones, en el sitio web de la publicación organizadora, *Annals of Improbable Research*:

(<http://www.improbable.com/ig/2011/>)

## BODEGAS MURIEL

EL CIEGO - RIOJA ALAVESA

*Bodega fundada en 1926*

*Felicidades*



Ctra. Laguardia s/n  
01340 Elciego - Alava (España)  
Tel 945 606 268 Fax 945 606 371  
[www.bodegasmuriel.com](http://www.bodegasmuriel.com)

# Reflexión tras la muerte de Steve Jobs: "Keep it simple"

Me emociona la simpleza de una cuchara de acero inoxidable, admiro la decencia de un bolígrafo "Bic Cristal", la pureza de la porcelana, la nitidez del vidrio o la elegancia de una bicicleta. No me fro de las cosas que pesan poco o brillan injustificadamente. Visitaré la Sagrada Familia de Gaudí y el Centro Guggenheim de Frank Gehry, pero a menudo me encontraréis dentro de una catedral románica, en el Pabellón de Mies Van der Rohe en Barcelona y disfrutando de la arquitectura de Alvaro Siza o Richard Meier. Esta semana, la de la muerte de Steve Jobs, pienso en esto más que nunca.

Autor: Antonio Flores de Loop Business Innovation y Competitive Network

Afortunadamente, la simplicidad no está reñida con la tecnología o la función. En los mercados de consumo la tecnología por la tecnología no tiene futuro, al igual que las complejidades gratuitas; ambas son síntomas de falta de valor real, de debilidad conceptual. "Lo sencillo, lo simple" es sinónimo de evolución real de nuestra humanidad; cuanto más sencillo y simple conseguimos que sea algo, más carga acumulada de conocimiento humano necesita: Lo podemos encontrar en forma de observación social, tecnología aplicada, cultura adaptada e investigación científica. A mayor simplicidad mayor conocimiento, mayor carga conceptual.

Siempre he defendido que los humanos no tenemos necesidades nuevas, lo que tenemos son muchas nuevas formas de satisfacer las necesidades de siempre. La tecnología, las ciencias humanas y económicas nos alimentan de nuevo conocimiento y nutren el camino hacia una constante mejora en la satisfacción de las necesidades; éstas las evolucionamos generacionalmente para traspasarlas a las generaciones futuras.

Si hacemos un análisis con cierta distancia de la evolución que como humanos tenemos a nivel general y en el consumo en particular, observaremos que llevamos registrado en nuestro cerebro el concepto de economía del

esfuerzo: La energía siempre ha sido para la humanidad lo más costoso de obtener y mantener.

Lo que nos sobrevive y perdura como humanos es aquello que tiene una carga de conocimiento, eficiencia y mejora continua en el tiempo: Difícilmente construimos algo nuevo de cero, siempre lo hacemos a partir de una plataforma que heredamos generacionalmente; nuestra misión consiste en recepcionarla y evolucionarla adaptándola al conocimiento y circunstancia de nuestra generación para dejarla de nuevo como herencia a las generaciones futuras y someterlas a un nuevo loop evolutivo; siempre aportando mayor eficiencia.

Es interesante observar este concepto de herencia del conocimiento en productos que han sobrevivido en su esencia al paso del tiempo: La bicicleta, los barcos de vela, los productos de escritura, etc. Todos ellos han conservado su esencia original que podemos reconocer desde su momento fundacional; con el transcurso del tiempo han ido evolucionando morfológicamente en una combinación de sofisticación tecnológica y simplicidad funcional. No les reconocemos autoría concreta, forman parte del patrimonio que como humanos formamos.

Otros productos o servicios han perdido en su transcurrir evolutivo su morfología inicial y han transformado su tecnología o la forma relacionarse con las personas de forma radical, pero no por ello han dejado de llevar en su ADN la carga evolutiva de

toda la humanidad precedente; de este modo entre una carta de correo postal y un email, entre montar a caballo y conducir un vehículo, todo es distinto y todo es común. Les separa la tecnología empleada y les une la eficiencia y la simplificación funcional a la que tendemos las personas en nuestro transcurrir evolutivo.

Esta gestión entre cambio tecnológico y reconocimiento conceptual y funcional heredado es fundamental para la supervivencia en el tiempo de los conceptos y los productos / servicios que de ellos se derivan. Cuando la tecnología somete al concepto y función heredada, rompemos la evolución que la sociedad ha hecho a lo largo del tiempo; pero más tarde o temprano se autorregulará llegando a una compensación entre tecnología y forma/función. Esta es la explicación de la desaparición de Nokia y el auge del iPhone. De la dictadura de la tecnología, a la naturalidad del uso.

Esta ha sido la gran virtud proyectada en toda su carrera y en todas las empresas que ha participado **Steve Jobs**: Ser y mostrarse sensible hacia el conocimiento heredado generacionalmente y evolucionarlo tecnológicamente sin sacarlo de su línea evolutiva; esta es la diferencia entre un antiguo ordenador IBM y un Macintosh.

Este es también el reto de la tecnología: Abandonar su excepcionalidad y regresar al camino de la necesidad original por la que fue concebida.

# Humor industrial

Autor: Ignacio Fernández de Aguirre

Cuando cayó en mis manos el humilde envase de este producto industrial y aprecié que la empresa fabricante (AEROXON) era alemana y proclamaba que el producto había sido “made in EU”, no pude por menos de visitar su sitio web ([www.aerixon.com](http://www.aerixon.com)) y, en primer lugar, saber de la historia de sus orígenes y de la gama de sus fabricados.



Pues bien, a principios del siglo XX, concretamente en 1910, Theodor Kaiser, un inventor de Suabia región alemana, con altas dotes de innovación, así lo dice el texto, patentó un tipo de pegamento que tenía la propiedad de no ser afectado por el calor ni por el frío, cosa que a los demás les producía reblandecimiento o endurecimiento excesivos, respectivamente. Además era almacenable hasta durante tres años sin perder sus propiedades.

¿Cuál podía ser una buena aplicación de este producto? Nada más y nada menos que en un dispositivo ya utilizado desde mediados del siglo XIX, las tiras atrapamoscas,

que era entonces el único método de preservarnos de esos molestos y, en ocasiones, dañinos insectos. Complementariamente diseñó los medios industriales de fabricación en serie de las cintas, cartuchos y lazo soporte con chincheta de fijación, que forman el equipamiento autónomo del sistema. De ese modo, un producto útil, eficaz e higiénico se ponía al alcance de todas las economías, no tardando en extenderse al mundo entero y en aparecer competidores por doquier.

Theodor Kaiser murió en 1930

y su hijo Friedrich tomó las riendas del negocio, pero la segunda guerra mundial le hizo perder las plantas fuera de Alemania y posteriormente el desarrollo del DDT y otros insecticidas hizo que la empresa tuviera que decantarse por otras ramas sanitarias también dentro de las tecnologías del control de plagas en lugares domésticos, industriales y agrícolas.

Sin embargo, a partir de la general concienciación en cuanto al cuidado medioambiental y el reconocimiento de la nocividad de varios de los insecticidas químicos tradicionales, a partir de finales de los 80, la fabricación de tiras atrapamoscas ha conocido “un



nuevo renacer” y como hace casi cien años, vuelve a exportarse a todas las partes del mundo.

AEROXON, tiene, como es lógico, un gran número de productos de distintas tecnologías para diferentes usos y dispone de plantas en varios países, pero éste es uno de los ejemplos que anima a no considerar obsoleta ninguna técnica si se conserva adecuadamente y se encuentra la oportunidad de aplicarla. No sé si sobreviven algunos de sus competidores, pero al adquirirlo fue la única marca que me ofrecieron.





## ¿Qué hace un ingeniero como tú poniendo en riesgo su futuro?

Un ingeniero se preocupa por su futuro y lo planifica con las máximas garantías. En AMIC las encontrarás. Por experiencia y por transparencia. **No podría ser de otra manera. Trabajamos sólo para ingenieros.**

Por eso te proponemos un sistema de ahorro flexible que te garantiza una alta rentabilidad e importantes desgravaciones fiscales.

**Obtendrás una rentabilidad mínima garantizada del 3,90%<sup>1</sup>**

**Aprovecha antes de fin de año y podrás desgravarte hasta un 47%<sup>2</sup> en el IRPF de 2011**

Además participarás en beneficios<sup>3</sup> y podrás reducir de tu base imponible las aportaciones realizadas hasta los límites legales. Todo ello con mínimos gastos de gestión<sup>4</sup> y posibilidad de disponer<sup>5</sup> de tu Plan antes de la jubilación.

Con el Plan de Previsión Asegurada de Amic tu futuro está seguro, pues cuenta con la solvencia de la Mutualidad de la Ingeniería, un grupo de expertos que desde 1934 velan por los intereses de los ingenieros.

**Además tenemos preparada una buena noticia para ti. Podrás obtener hasta 600€ de regalo<sup>6</sup>.**

Ponte en contacto con nosotros  
**91 278 31 74**

**ppa.amic@amic.es**

**Un asesor de AMIC te informará y ayudará a preparar tu futuro más seguro.**

**Grupo amic**



**Tan seguros como tú**

**901 12 34 12 www.amic.es**

# Repensando la Política Industrial

Autor: Nico Gaminde

El pasado julio, la *Asociación Bruegel* publicó un informe sobre la política industrial europea, que por su alto interés merece ser comentado.

*Bruegel* es una asociación sin ánimo de lucro, con sede en Bruselas, creada en 2005, que tiene como objetivo el estudio de la política económica mundial y especialmente la europea. Es uno de los grupos de opinión o *think-tank* más prestigiosos del mundo. Pertenecen a él 13 estados europeos (entre ellos España), y empresas del máximo nivel europeo y mundial. En el estudio que nos ocupa "Repensar la política industrial", realizado por tres prestigiosos autores, **Philippe Aghion**, **Julian Boulanger**, y **Elie Cohen**, analizan el estado de la política industrial europea y proponen las bases para su replanteamiento.



### CONTENIDO DEL INFORME:

A continuación se resume su contenido:

Parten de que la política industrial tiene mala reputación por adjudicaciones arbitrarias, "a dedo" y porque expone a los gobiernos a plegarse a intereses creados, distorsionando así la competencia.

Pero considera que hay tres buenas razones para replantearse una política industrial europea:

En primer lugar, **el cambio climático**: sin la intervención de los gobiernos con una política de apoyo a las tecnologías limpias, los gobiernos apoyarán por defecto tecnologías más sucias.

En segundo lugar, **un nuevo realismo post-crisis**: la complacencia en el *laissez-faire* de muchos gobiernos ha llevado a errores de inversión, impulsando sectores no dinámicos en detrimento de otros de alto crecimiento.

En tercer lugar, **China - y otras economías emergentes** - son grandes desarrolladores de políticas industriales impulsoras de crecimiento, con excelentes resultados, y Europa debe del mismo modo diseñar y dirigir las políticas sectoriales que sean favorecedoras de la competencia y, por tanto, impulsoras del crecimiento.

Si la UE quiere competir a nivel mundial, debe desarrollar una política industrial nacional y europea, adecuadamente diseñada y orientada a impulsar la redirección de la innovación y la producción. Los soportes horizontales para I+D avanzada no bastan para fomentar la transformación de la economía europea.

Aunque sigue siendo esencial una fuerte política de competencia para evitar la avidez de beneficios, favoreciendo el acceso al mercado, es igualmente necesaria una mayor activación económica por los gobiernos.

Desde los ochenta, la política industrial -subvenciones o desgravacio-

nes, créditos preferentes, acceso privilegiado a ofertas públicas con protección comercial destinada a determinadas empresas o industrias - tiene mala reputación entre académicos y asesores políticos. El principal argumento en contra es que dificulta la competencia y hace difícil a los gobiernos elegir los beneficiarios adecuados, incrementando la dependencia de los gobiernos a intereses creados.

Muchos académicos están denunciando también el peligro de las políticas de *laissez-faire* que llevan a países desarrollados a centrarse en I+D avanzada, subcontratando la fabricación a países donde los costos de mano de obra no especializada son más bajos. Países como Alemania o Japón han gestionado mejor la producción intermedia, desarrollando políticas industriales más activas, y beneficiándose más de subcontratar a otros sectores menos intensivos en capital humano.

Afirman que el debate no debería versar sobre si las políticas sectoriales están justificadas o no, sino más bien acerca de cómo tales políticas deberían diseñarse y gestionarse para complementar la política de competencia, fomentando la innovación. En especial, en ayuda sectorial dirigida a tecnologías limpias, o sectores competitivos e intensivos en empleo de alta cualificación.

### REVISIÓN DE VIEJOS ARGUMENTOS

El argumento más recurrente contra el intervencionismo industrial es que adjudica "a dedo", y que los gobiernos están poco capacitados para seleccionar las oportunidades de éxito comercial más efectivas, y que se ven atrapados por los intereses de quienes se benefician de su intervención. En realidad, sí existe riesgo de caer en el error, con selecciones arbitrarias y riesgo de dependencia.

La segunda crítica a la política industrial tradicional es que incorpora un riesgo de dependencia de los gobiernos a las grandes compañías y a la avidez de beneficios. Ha habido muchos ejemplos de generación costosa de crecimiento; recordemos la fracasada política de sustitución de importaciones de países en desarrollo en los 60 y 70.

También hay argumentos a favor de políticas sectoriales impulsoras del crecimiento, como la “difusión de conocimiento” entre empresas, aunque los críticos consideran que las empresas, al elegir su ubicación no tienen en cuenta las externalidades de conocimiento que su selección generaría para otras empresas.

Otro factor es que la existencia de imperfecciones del mercado de capitales y restricciones de crédito limitan la asignación de inversión a nuevos sectores. Cuando funciona bien se produce un fuerte impulso, como ocurrió con los sectores de TIC y de biotecnología en USA. Pero los mercados financieros incompletos o subdesarrollados coartan esa reasignación, justificando la intervención estatal.

En el campo empírico, el estudio más convincente de apoyo de la política industrial apropiada es el de **Nunn y Treffler** de 2010. Su análisis indica que los objetivos adecuadamente designados (intensivos en empleo cualificado) impulsan el crecimiento, no sólo en el sector subvencionado, sino también en el país en conjunto.

## LO QUE DICE LA EVIDENCIA

Mientras que el punto de vista tradicional tiende a ver en oposición las políticas industriales y de competencia, en realidad se pueden apoyar mutuamente, y a la vez son complementarias y sustitutorias. Abogan por la intervención orientada hacia áreas en las que la competitividad e innovación juegan un papel clave, gestionadas de modo que competitividad e innovación se complementen. Examinan el efecto de la intervención sectorial en cinco áreas, en las que puede verse cómo se produce “difusión de conocimientos” que actualmente no se internalizan

adecuadamente por empresas y sectores privados:



## A - Cambio tecnológico orientado: el caso de la innovación verde

El primer argumento es que, bajo condiciones de *laissez-faire*, la dependencia de la cultura de innovación lleva a las empresas a innovar en la mala dirección. La innovación *limpia* es un caso significativo: como consecuencia de la “difusión de conocimiento”, en ausencia de intervención, la innovación tiende a sesgarse hacia tecnologías sucias existentes.

**Aghion** y otros estudiaron en 2010 los datos de patentes de la industria de automoción en diferentes países europeos, para determinar la correlación entre los flujos de patentes de tecnologías limpias o sucias, las ayudas de estado, el historial de patentes en tecnologías limpias y sucias, y los términos de interacción entre el precio de los combustibles y el resto de variables.

Comprobaron que los precios altos impulsan a las empresas hacia patentes limpias, y que la innovación limpia se correlaciona positivamente cuando su historial es de patentes limpias, y negativamente cuando es de sucias. Las empresas con historial de innovación *sucia* tienden a continuar su línea, mientras las empresas con un historial de innovación *limpia* tienden a conti-

nuar desarrollando tecnologías limpias.

Esta dependencia del historial, combinada con el predominio histórico de la innovación sucia, supone que en ausencia de intervención del gobierno, las economías tenderán a la innovación *sucia* con efectos indeseables socialmente. Consideran que el *laissez-faire* llevará a desastres medioambientales, cayendo la calidad ambiental por abajo de los niveles de posible regeneración. Por lo tanto, es necesaria la intervención del gobierno para reorientar el cambio tecnológico hacia la innovación.

Esto puede lograrse por medio de una política horizontal que asigne créditos de CO<sub>2</sub> o tasas de emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo **Aghion** y otros muestran que el costo económico de la transición hacia el desarrollo limpio puede reducirse si la intervención pública combina una intervención cruzada de impuestos sobre CO<sub>2</sub> con subvenciones directas. Son necesarios los dos instrumentos porque también hay dos externalidades a tratar, la medioambiental y la del conocimiento.

## B- Política sectorial para compensar el insuficiente desarrollo financiero

Una segunda justificación para la intervención sectorial es que, aunque algunos sectores muestren alto potencial de crecimiento y, a través de la difusión del conocimiento, producen efectos altamente positivos sobre el resto de la economía. Las restricciones de crédito limitarán el acceso de capital a esos sectores. Particularmente, las empresas de alta tecnología tienen a menudo niveles bajos de activos tangibles, lo que les hace más difícil el acceso al crédito, porque sus activos intangibles, no pueden proporcionar la garantía que facilitaría el acceso al crédito. Este efecto es más fuerte en economías menos avanzadas financieramente, donde los créditos bancarios constituyen el primer canal de financiación empresarial.

Su posición es que la política sectorial de apoyo a la innovación es más impulsora del crecimiento de la econo-

mía en conjunto en países menos desarrollados financieramente.

Para comprobar esta hipótesis, estudiamos las exportaciones de productos y servicios de la UE15 de 1992 a 2008. Se estudió, para 15 países de la Unión Europea, la correlación de la cuota de exportaciones por país, con la ayuda sectorial y el desarrollo financiero, y se comprobó una mayor correlación positiva entre la ayuda del Estado y la cuota de mercado de exportaciones y que, en los países menos desarrollados financieramente, la ayuda de estado es más efectiva en el impulso a la exportación.

Los resultados confirman que la idoneidad de la intervención sectorial es más fuerte para las empresas que tienen crédito más restringido. En realidad, la restricción de crédito impide el uso eficiente de recursos hacia actividades con mayor crecimiento potencial, especialmente en actividades con alto potencial de acción de la economía.

### **C- La política sectorial es mejor cuando está descentralizada**

La objeción de que la política industrial puede originar ayudas arbitrarias es menos aplicable cuando está más descentralizada, ya que en el peor caso cada región elegirá su líder, lo que generará varias empresas distintas que reciban ayuda del Estado. El estudio de correlación entre la cuota de subvenciones y la actividad económica en nivel regional o local en 12 países europeos desde 1995 a 2008, confirma que cuanto más se descentralizará la ayuda su efecto es más positivo sobre las exportaciones y la innovación del país.

### **D- La política sectorial trabaja mejor cuando se aplica a sectores más competitivos**

Los defensores de la política industrial se oponen a la política liberal porque esta impide apoyar a empresas tractoras. Contrariamente, los partidarios de la competencia consideran que las ayudas son inefectivas.

Desde luego, la efectividad depende del diseño de la política industrial,

que debería orientarse a sectores, no a firmas determinadas. Los estudios realizados demuestran que las ayudas bien gestionadas inducen a varias firmas a actuar en un sector, y que cuanto más competitivos sea este, se impulsa más las empresas hacia la innovación. Como los datos europeos eran insuficientes, estudiaron las empresas industriales chinas y comprobaron que cuanto más competitivo es un sector son más positivas las ayudas de estado, mientras que en sectores de bajo grado de competencia produce efectos negativos. Esto refuerza la idea de que las políticas industriales y de competencia deben ser complementarias.

### **E- La política sectorial trabaja mejor cuando las subvenciones están menos concentradas**

Finalmente, los estudios de correlación de los mismos autores muestran que la interacción entre la ayuda de estado y la competencia en el sector es más positiva cuando la ayuda de estado está menos concentrada. De hecho, la medida en que la ayuda sectorial de estado puede ser impulsora de crecimiento depende significativamente en cómo se gestiona la ayuda sectorial. Especialmente, la ayuda sectorial que impulsa la productividad integral del sector, no centrada en un pequeño número de empresas, es más impulsora de crecimiento que la más concentrada.

## **REORIENTACIÓN DE LA POLÍTICA PÚBLICA EUROPEA**

El informe sugiere que la discusión sobre el papel y legitimidad de las políticas industriales deberían ser reexaminadas por los prescriptores, en particular en la *Unión Europea*. En primer lugar, hay que orientar la ayuda sectorial de estado a dirigir la producción y la innovación hacia tecnologías verdes, con apoyo a políticas orientadas a sectores intensivos en conocimiento. En segundo lugar, la ayuda de Estado no debería ser opuesta a la competitividad, sino que más bien es complementaria de la competitividad del mercado.

La orientación de los cambios que deberían realizarse sobre esta base en

la estructura de la política industrial es la siguiente:

No se propone reducir el poder de las autoridades de la competencia, y se considera necesario un conjunto de vigilantes de la dirección nacional y europea, que impidan favorecer a las empresas ya implantadas, y estimulen la renovación, con desaparición y creación de empresas, y éste es el papel fundamental de la política de competencia. Se recomienda una actuación menos legalista y más basada en variables económicas y que permita las ayudas de estado adecuadas.

La Comisión europea reconoce ya la importancia de un enfoque sectorial en su estrategia de innovación, y en su comunicación de octubre de 2010 se propone aclarar qué tecnologías deben ser ayudadas, buscando las que resulten claves y tengan mayor efecto social. Considera tecnologías clave la biotecnología industrial, nanotecnología, materiales avanzados, fotónica, micro y nano electrónica, y estableció criterios para la selección de sectores e iniciativas específicas.

Sin embargo, la ayuda sectorial por estados miembros la siguen considerando un riesgo para la integración, y siguen siendo reticentes a las ayudas de estado.

Contra este escenario, el informe considera que la Comisión debería estar menos sesgada contra las ayudas de estado, y que al mismo tiempo debe establecer nuevas y claras guías para la distribución y gestión de las ayudas. En especial, debería dirigirse a sectores intensivos en conocimiento y muy competitivos y centrarse en el, mejor que en una o varias empresas preseleccionadas.

Considera que lo mejor es que la ayuda sectorial a nivel europeo sea soportada en los presupuestos europeos, y que las ayudas de los países miembros tienen el riesgo de financiar sólo a unas pocas empresas en los sectores de costos fijos elevados, con tendencia a favorecer a los ya implantados, y que algunos tienen un sesgo contra la ayuda a empresas de capital extranjero.

En segundo lugar, el análisis sugiere que la intervención sectorial de-

bería promover la competencia entre empresas para acceder a ayudas evitando cláusulas que favorezcan a los ya implantados sobre las condiciones de cada sector la ayuda debería ser en el europeo nacional o regional, procurando que las empresas beneficiarias sean start-ups innovadoras, PYMES, o empresas implicadas en desarrollar los mercados en economías en desarrollo.

En tercer lugar las autoridades europeas subestiman el peligro de una especialización en I+D avanzada y servicios, subcontratando lo demás a economías emergentes. Muchos académicos recomiendan el modelo alemán, en el que también se apoya la puesta en marcha industrial de la innovación. En este área se desarrollan conocimientos y se produce gran difusión del conocimiento. Si no se actúa de este modo se perderá competitividad con otros países que aplican esa política.

## CONCLUSIONES

Consideran que el cambio climático, la reciente crisis financiera, y el nuevo predominio chino del mercado mundial, exigen reconsiderar el papel de la política industrial europea y su diseño.

Creen firmemente en la importancia de la competitividad del mercado de productos y la liberalización del

comercio para impulsar la innovación y el crecimiento, especialmente en la UE. Su revisión del papel y diseño de la política industrial se debe orientar a reforzar más que a mitigar el impacto de la política de competencia, y a proporcionar vías útiles para las autoridades europeas de la competencia.

En primer lugar, proponen criterios para intervención sectorial adecuada, teniendo en cuenta especialmente el grado de intensidad de conocimiento y el grado de competencia dentro del sector.

En segundo lugar, se posicionan a favor de la intervención orientada a potenciar las tecnologías limpias.

En tercer lugar, apoyan una más adecuada gestión de la política industrial para hacerla más competitiva y más innovadora. Proponen que la ayuda sectorial debería favorecer no sólo a una empresa en particular del sector, sino que debería proporcionarse en términos iguales a cualquier empresa del sector en cuestión.

Finalmente, proponen una actuación de las autoridades de competencia menos legalista y más pragmática, basada en datos, cuando analicen el coste-beneficio de la ayuda sectorial.

En conjunto, el debate no debería centrarse a favor o en contra de la política industrial, que está siendo aplicada en cualquier caso de una forma

u otra por muchos países del mundo. Más bien, el tema debería centrarse en cómo evitar errores de primer orden a través de una política mejor diseñada y gestionada.

## BREVE COMENTARIO SOBRE EL INFORME

Aunque no es muy contundente, probablemente por su dependencia de los miembros de la asociación, estados y grandes empresas, el informe se aparta de la política neoliberal subordinada a la libertad de mercados, y apuesta por una firme política industrial orientada al crecimiento y la competitividad. Es deseable y necesario que siguiendo esta línea y, de acuerdo con las opiniones mucho más firmes de los premios Nobel **Stiglitz y Krugman**, y de **Stern** y otros autores de la *London School of Economics*, se ponga en práctica una decidida política industrial europea con ayudas programadas de estado a la industria en niveles europeo estatal y regional, que permita afrontar los retos del cambio climático, la crisis financiera y la competencia de China y otros países emergentes. En este campo debe tener un lugar destacado la aportación de nuestra profesión de ingeniería industrial.



El informe puede encontrarse en <http://bruegel.org/publications/publication/566-rethinking-industrial-policy/>

# EL RECORRIDO DE UN CLICK: Análisis total de la cadena de valor del "spam".

Fuente: Universidad de California

Un grupo liderado por analistas informáticos de las Universidades de California, han realizado recientemente un estudio en profundidad sobre un fenómeno presente de forma continua en el universo de mensajería electrónica: los conocidos como "spam", mensajes basura o no deseados.

Los anuncios o propuestas difundidas a través del "spam" son un negocio, que ha generado aparte de una gran irritación, una industria "anti-spam" multimillonaria, que no consigue más que seguir auto-alimentándose. Falta, en general, un conocimiento sólido de las estructuras de este fenómeno y, por eso, la mayor parte de las intervenciones "anti-spam" se dirigen a una sola faceta de su cadena de valor, por ejemplo, al filtrado de mensajes, a crear listas negras de URLs, a eliminar sitios de internet, etc.)

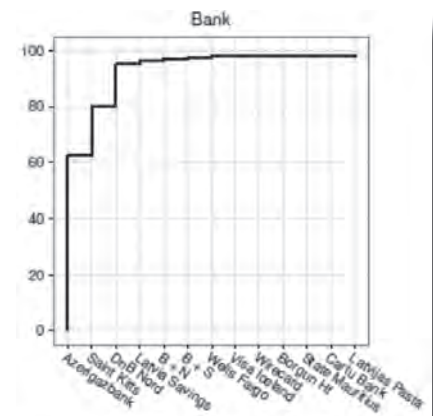
El estudio en cuestión ha realizado un análisis holístico que cuantifica el completo abanico de recursos empleados para monetizar los correos "spam" (nombres, alojamientos, pagos y cumplimiento), utilizando datos referentes a tres meses sobre diferentes "spam", amplio seguimiento a las infraestructuras de nombres y alojamientos y más de 100 compras en sitios anunciados a través de "spam". Se han pasado es-

tos datos a las organizaciones que se ocupan de estas materias y utilizado para caracterizar las correspondientes propuestas de intervención defensiva en cada eslabón de su cadena de valor. Sobre todo, se ha hecho evidente que existe una concentración importante en esta cadena de valor: el 95% de los anuncios "spam" para venta de productos farmacéuticos, reproducciones y software, se monetizan a través de los servicios mercantiles de solo un puñado de bancos.

A título de ejemplo concreto, esquematizado en la imagen, se presenta el ciclo de compra de un producto farmacéutico a través de uno de esos medios. Un 27 de octubre, desde un emisor de "spam" se recibió y estudió un correo titulado *VIAGRAR Official Site*. El mensaje incluía una imagen de productos farmacéuticos para aumentar la potencialidad masculina y sus precios correspondientes, así como la posibilidad de conexión. Cuando se pulsaba dirigía directamente al usuario al dominio asociado (*medicshopnerx.ru*), registrado por REGRU-REG-RIPN (a.k.a.reg.ru) ese mismo mes de octubre. El servidor que facilitaba el nombre del servicio residía en **China**, mientras que el alojamiento se hallaba en un servidor de **Brasil**. Si el usuario continúa el ciclo, recibe un contenido de la tienda *Pharmacy Express*, asociada al programa farmacéutico basado en

## Rusia.

Después de seleccionar un producto y pulsar "checkout", la tienda redirige al usuario al portal de pago *payquickonline.com*, esta vez en un servidor con dirección en **Turquía**, que acepta el envío, el email de contacto y la información de pago, facilitando un número de confirmación de pedido. A continuación remite un correo confirmando el pedido, número de seguimiento y una dirección de contacto para preguntas del cliente. El banco que emitió la tarjeta de crédito del usuario transfirió el importe al banco que lo ingresa, en este caso el *Azerigazbank Joint-Stock Investment Bank* de Baku (**Azerbaijan**). Diez días más tarde, el producto llegó en un sobre acolchado, con indicación postal de haber sido remitido por un proveedor llamado PPW con dirección en Chennai (**India**).



Bancos involucrados en cobro de compras hechas en anuncios "spam"

Los autores estiman que los datos obtenidos por su estudio pueden facilitar el diseño de las intervenciones necesarias y ofrecen la evidencia de que la etapa de pagos es, con mucho, la más concentrada del sistema y sobre la que sería de actuación más efectiva para la intervención pública en los países occidentales. ■



Infraestructura de una particular cadena de valor, desde el anuncio, pasando por las etapas de realización.

NOTA: Se puede acceder al estudio completo en el vínculo: [http://www.revistadyna.com/dyna/documentos/noticiasweb/20110831\\_spam.pdf](http://www.revistadyna.com/dyna/documentos/noticiasweb/20110831_spam.pdf)

# La velocidad de los neutrinos

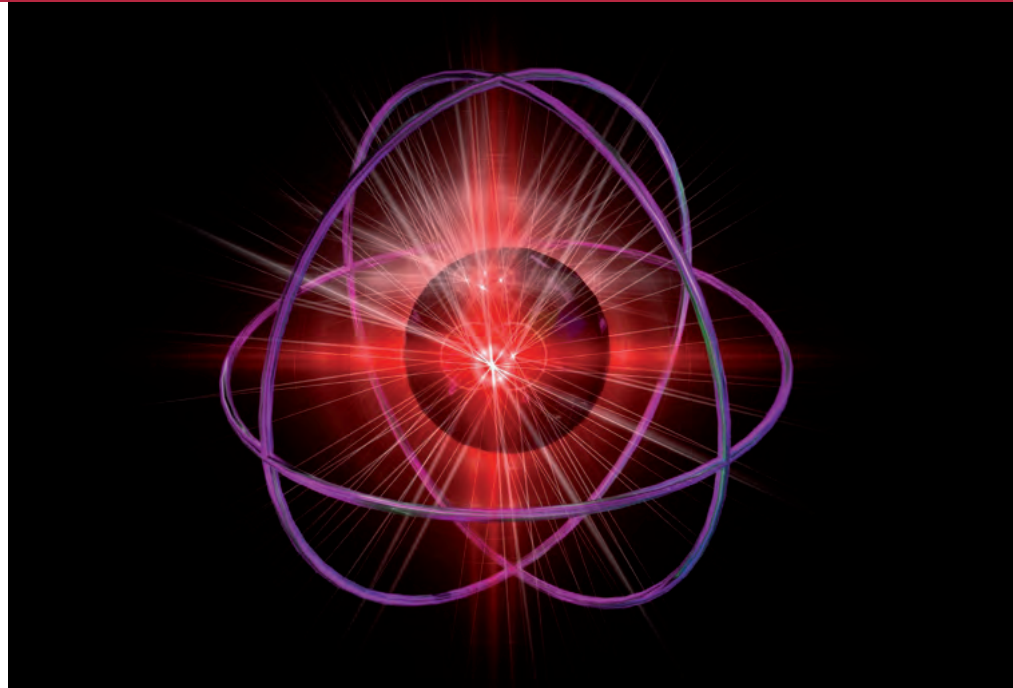
Autor: José Ignacio Latorre  
Catedrático de Física Teórica

La colaboración OPERA ha anunciado un resultado sorprendente: los neutrinos podrían viajar a una velocidad superior a la de la luz (<http://arxiv.org/abs/1109.4897>).

No es fácil digerir una noticia de este calado. Por una parte, la Teoría de la Relatividad Especial de **Albert Einstein** postula que la velocidad de la luz no puede ser rebasada. Si una partícula con masa viaja más rápidamente que la luz, la Teoría de la Relatividad Especial podría quedar en entredicho.

Durante los últimos días han aparecido un centenar de propuestas teóricas para acomodar el resultado de la colaboración OPERA dentro y fuera del marco de lo que se denomina el Modelo Estándar. Las ideas más sencillas consideran al neutrino como un taquión, pero las consecuencias de esta idea no se adaptan a otras medidas ya realizadas. Otra opción es aceptar la violación de la simetría Lorentz que crea la base de la Relatividad Especial. Sin embargo, también existen numerosas medidas que hacen muy difícil que esta solución sea correcta.

Pero debemos entender que lo más importante no es viajar más o menos rápidamente que los fotones que componen la luz. Lo relevante es comprender que toda teoría física se basa en un postulado básico que consideramos inviolable: causalidad. Nuestra teorías son causales, es decir, establecen la relación entre una causa y su efecto. Por ejemplo, un electrón interactúa con otro emitiendo un fotón que porta esa interacción. El efecto que realiza el primer electrón sobre el segundo se demora lo que tarde el fotón en viajar entre ambos. Por eso la velocidad de la luz establece una relación de orden causa-efecto. Si un electrón viajase más rápidamente que la luz, violaría el principio de causalidad. En un lenguaje



je más coloquial, causalidad implica que un hijo no puede matar a su madre antes de nacer.

El experimento OPERA debe ser respetado y analizado de forma estricta. Para poder medir la velocidad de los neutrinos es necesario establecer con muchísima precisión la distancia entre el lugar donde se emiten los neutrinos y el lugar donde se detectan a 730 km de distancia. También es necesario tener relojes perfectamente sincronizados en ambos lugares. Para determinar las posiciones y tiempos de forma precisa se utiliza el sistema GPS. Pero existen muchas correcciones sutiles que deben hacerse.

Una corrección a hacer, entre muchas otras, es la correcta sincronización del GPS con el detector. La señal de GPS se recibe sobre la superficie de la Tierra, pero el detector está bajo tierra. Al pasar la señal de un lugar a otro se debe utilizar aparatos electrónicos intermedios. Los desajustes de tiempo que produce esta electrónica son del orden de 10000ns. Es necesario afinar la estimación de estos tiempos hasta los 10ns, dado que el resultado presen-

tado es que los neutrinos llegan unos 60ns antes de que lo haría la luz.

Este problema es un ejemplo de posible error sistemático infravalorado. No se trata de un error estadístico que se elimina aumentando la estadística. Si para cada evento cometemos un error de estimación en el cálculo de la sincronización de relojes, todos los resultados son incorrectos. La lucha contra todos los errores sistemáticos es la pesadilla de todo físico experimental.

Es sano, pues, ser escéptico ante los resultados anunciados por Opera. Otros experimentos anteriores habían anunciado un posible efecto similar, pero las medidas de la supernova 1987A descartaron que los neutrinos viajasen más rápidos que los fotones. Este tipo de situaciones no es infrecuente en Ciencia. En esta ocasión, la consecuencia teórica de la observación y una cierta magnificación mediática han levantado más revuelo de lo habitual. Pero los hechos científicos no dependen del impacto mediático, son absolutos y tienen toda la paciencia de la eternidad para esperar que la humanidad los comprenda.

# Estudio de los accidentes laborales en la industria minera y en la construcción en España en la última década

Autores: Modesto Freijo-Alvarez, Lluís Sanmiquel-Pera, Joaquín Edo-Tomás y Carla Vintró-Sánchez de la Universidad Politécnica de Cataluña



El sector de la construcción en España ha sido uno de los más dinámicos de la economía española entre el año 2000 y el año 2007. Así, en el año 2004 se crearon 106.500 nuevos puestos de trabajo en el sector, casi una cuarta parte (23%) de todos los empleos creados en España. Entre el año 2000 y 2007, fue habitual que la suma de viviendas que se construían en España anualmente superase el número de viviendas que se construían en el conjunto de Alemania, Francia y Reino Unido.[1].

En el período estudiado 2000-2009 trabajaron en el sector de la construcción 2.000.000 de personas aproximadamente, lo que representó un 10% del total de la población ocupada,

y el 7,3% del producto interior bruto [2]. El número de accidentes con baja en jornada laboral fueron 284.230.

En cuanto a la minería, el número de trabajadores empleados en el período considerado fue de unos 600.000 y el número de accidentes de 100.177.

En el estudio se han hecho servir 98.590 accidentes no mortales en minería y 2.248.301 no mortales en la construcción, así como 121 accidentes mortales en minería y 2.605 accidentes mortales en construcción, una vez excluidos los *in itinere* tanto en el análisis de los no mortales como en los mortales [3].

En la comparación de las jornadas no trabajadas por lesiones no mortales y mortales se ha encontrado que los trabajadores de la minería tienen mayor riesgo de perder jornadas trabajadas, (1,88; IC 95%: 1,86-1,89) casi el doble que las jornadas perdidas en la construcción, con el consiguiente coste económico [4].

La ocupación laboral en las minas siguió aproximadamente el mismo ciclo que la ocupación laboral en la construcción, adelantándose el primero en un año, puesto que la máxima ocupación laboral en las minas fue en el año 2006 y en la construcción el año 2007. A partir de estos dos años la ocupación empieza a disminuir en los 2 sectores.

El Índice de Incidencia de lesiones no mortales por cada 100.00 trabajadores ha ido disminuyendo en los dos sectores, pasando en el sector de la construcción de 129 en el año 2000 a 64 en el 2009 y en el sector minero se redujo a la tercera parte, pasando de 243 en el año 2000 a 78 en el 2009.

El riesgo relativo (RR) de sufrir una lesión no mortal por accidente de trabajo en los diez años estudiados, nos indicó que fue mayor en los trabajadores de las minas, reduciéndose año a año, pasando de 1,88 (IC 95%;1,85-1,91) en el año 2000 a 1,22 (IC 95%; 1,18-1,26) en el 2009. Igual ha pasado con el riesgo relativo de sufrir una lesión mortal por accidente laboral, que fue siempre mayor en el sector de la minería, pasando de ser casi el triple en el año 2000 con un riesgo relativo de 2,90 (IC 95%; 1,98-4,30) a casi igual que en la construcción de 1,07 (IC 95%;0,34-3,35) en el 2009.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Educación. El sector de la construcción en España. Disponible en Web: [www.educacion.es/exterior/ro/es/materiales](http://www.educacion.es/exterior/ro/es/materiales)
- [2] Servicio de estudios e investigación. Informe sobre el sector de la construcción. Madrid: INSHT 2002. Disponible en: [www.insht.es/Observatorio/Contenidos/EstudiosTécnicos/SectorConstr/Informe%20construcci%C3%B3n%202002.pdf](http://www.insht.es/Observatorio/Contenidos/EstudiosTécnicos/SectorConstr/Informe%20construcci%C3%B3n%202002.pdf)
- [3] Gobierno de España. Ministerio de Trabajo e Inmigración. Accidentes en jornada de trabajo con baja, según gravedad, por sector y rama de actividad. Disponible en: <http://www.mtin.es/estadisticas/anuario2001/HTML/ATE/ate04.html>
- [4] López-Lasaola R. “¿Es rentable la prevención?”. *Dyna Ingeniería e Industria*. 2008. Vol.83-2, p.119-122



# Despliegue de las Redes Inteligentes (SMART-GRID). Su impacto en Silicon Valley

Fuente: COLLABORATIVE ECONOMICS

En junio de 2010 se fundó el *Silicon Valley Smart Grid Taskforce* por la Ciudad de San José (California), el Grupo de Liderazgo del *Silicon Valley* y la empresa energética *PG&E*, con el objetivo de aunar los esfuerzos de la industria, del sector público, de entidades sin ánimo de lucro y de la universidad, para educar a la población sobre el significado de la tecnología de redes inteligentes y su importancia para la sostenibilidad a largo plazo y el desarrollo económico.

En un informe publicado en octubre, asegura que el despliegue nacional de las redes inteligentes transformará el sistema energético de electricidad, aumentará la eficiencia de la energía, creará demanda sobre tecnología de redes, facultará a los consumidores a través de la información, elección y control y llevará a nuevas demandas para un amplio campo de las tecnologías de la información. Por eso estima que el *Silicon Valley* y, en general, el área de la *Bahía de San Francisco*, con una alta concentración de empresas y centros de investigación expertas en esos temas, está muy bien posicionada

para ser líderes en el desarrollo y despliegue de esa tecnología.

Desde 1995, el empleo en los sectores que trabajan para redes inteligentes aumentó un 129%, mientras que el empleo total lo hizo solamente un 8%. Los sectores referidos son:

- Productos para la gestión y la eficiencia energéticas.
- Almacenaje de energía.
- Generación de energía distribuida.
- Distribución y transmisión de electricidad.

Del empleo citado, un 50% suponen puestos de trabajo de fabricación. La tendencia posterior a esa fecha, también indica que el área indicada se recupera mejor que el resto del estado y de la nación.

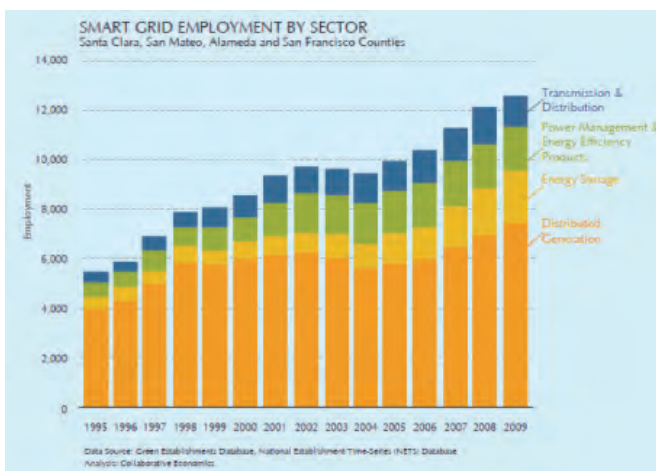
Con la introducción de los nuevos medios de comunicación, medición y gestión a la red convencional, se mejora la fiabilidad y flexibilidad del sistema y se abren nuevos caminos para incrementar la eficiencia energética y reducir el negativo impacto medioambiental. Así por ejemplo:

- Las aplicaciones domésticas o en otro tipo de edificaciones permiten a los consumidores vigilar el

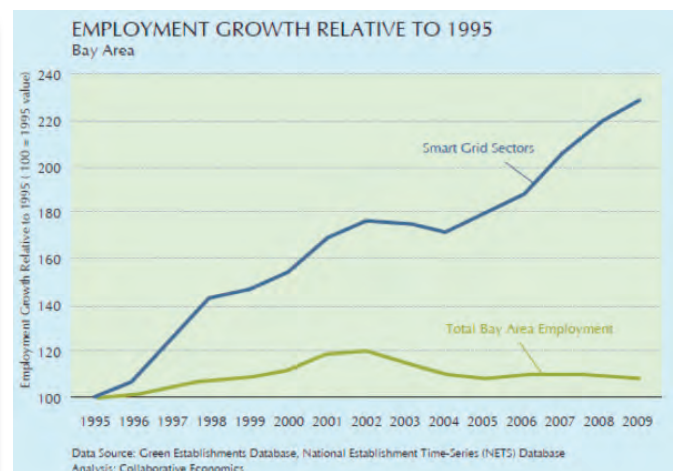
consumo, equilibrar la potencia y derivar actividades fuera de las horas punta.

- Se optimiza la calidad de la energía suministrada mediante aplicaciones de gestión por medio de sensores y programas que anticipan los problemas reduciendo costos de irregularidades o apagones.
- Se gana seguridad ante ataques físicos o cibernéticos a las redes.
- Se adapta mejor al eventual incremento de la generación distribuida y al almacenaje, facilitando la integración de fuentes renovables y suavizando las puntas de demanda.
- Se crean nuevos productos y servicios ayudando al consumidor a conseguir mejores precios.
- El medioambiente se beneficia de la mayor eficiencia del consumo energético y se reduce la necesidad de disponer de plantas reserva para atender posibles picos de demanda.

Aunque el sector de la Generación Distribuida supone casi el 60% del empleo en toda la tecnología *smart-grid* de la *Bahía de San Francisco*, los puestos de I+D preferentes están en el Almacenaje de Energía (un 66%).



Empleo en tecnología smart-grid por sectores en el área del estudio

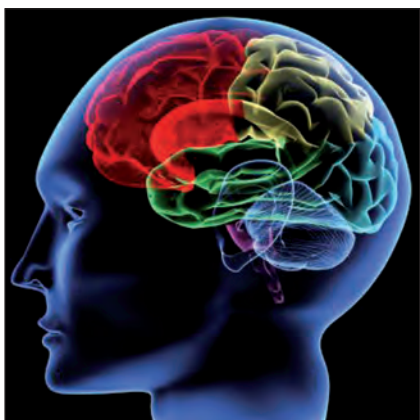


Crecimiento relativo del empleo con base en 1995 en el área de la Bahía de San Francisco

Para ampliar información: [http://www.coecon.com/Reports/GREEN/SmartGridSiliconValley\\_OCT2011.pdf](http://www.coecon.com/Reports/GREEN/SmartGridSiliconValley_OCT2011.pdf)

# El cerebro, máquina de creencias

Autor: Ismael Pérez Fernández



Vivimos en una sociedad tremendamente dependiente de la ciencia y de la tecnología, miremos donde miremos nos encontramos con ellas. En esta época hija de la ilustración la ciencia está por doquier, pero al mismo tiempo lo pseudo-científico y lo irracional andan a sus anchas.

Si nos fijamos encontramos que cada campo de la ciencia tiene su correspondiente pseudociencia, por ejemplo, la astronomía tiene como lastre a la astrología, la química en pleno siglo XXI todavía tiene a la alquimia, los biólogos tienen que aguantar las absurdas pretensiones de los creacionistas, la medicina científica tiene el lastre de las mal llamadas “medicinas alternativas”. ¿Cómo es posible que los humanos seamos capaces de crear teorías científicas sobre el origen del Universo y al mismo tiempo creer en algo tan irracional como la astrología? La respuesta a esta cuestión puede ser compleja, pero parte de la misma se encuentra en nuestros cerebros. Como bien ha indicado el neurólogo **Oliver Sacks**, el cerebro es una máquina de creencias.

El cerebro es un buscador de patrones insaciable, de hecho, encuentra patrones cuando los hay y cuando no

los hay. Imaginémosnos que estamos en la selva hace millones de años y entre la vegetación vemos lo que parece ser la cara de algún tipo de depredador, caben dos opciones, que haya un depredador o que no, si lo hay y nuestro cerebro lo reconoce podremos ponernos a cubierto antes de que sea demasiado tarde, si no hay ningún depredador y salimos corriendo no habremos perdido nada. Pero si cometemos el error al revés, es decir, si hay un depredador y nuestro cerebro no es capaz de reconocer el patrón que percibe como el rostro del depredador, no huiremos y probablemente lo paguemos con nuestra vida. El encontrar patrones tiene una clara ventaja evolutiva, aunque al mismo tiempo nos haga ver rostros en las nubes, o en las paredes de una casa de **Belmez**.

Pero no sólo buscamos patrones y los encontramos donde no los hay, sino que además les asignamos una intencionalidad, como si algo o alguien estuviera provocando ese patrón. Un sencillo ejemplo nos servirá para explicarlo. Probablemente en alguna ocasión tenías prisa por llegar a algún sitio e inexplicablemente todos los semáforos se han puesto uno detrás otro en rojo, automáticamente tienes la sensación de que algo o alguien está detrás de este complot para que no llegues a tiempo. Primero ves un patrón donde no lo hay, ya que los semáforos simplemente siguen el comportamiento para el que han sido programados y después le asignas una intención como si algún agente ¿el Universo, Dios...? estuviera causando intencionadamente ese patrón que has percibido.

Las causas de las creencias irracionales no acaban ahí. La investigación en psicología ha puesto de relieve la colección de sesgos cognitivos que tenemos, los cuales nos impiden valorar la información de forma correcta cuando ésta nos llega. Por ejemplo, existe el efecto **Forer**, según el cual ante una

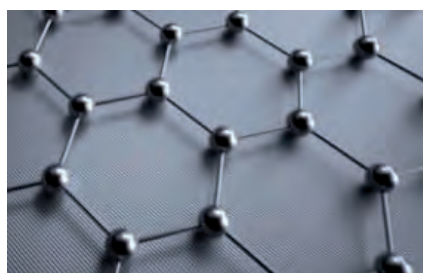
descripción muy vaga y general de nuestra personalidad nosotros la interpretamos como una descripción muy precisa y adecuada a nosotros. Cuando alguien afirma que su vidente le advino cosas, realmente lo que estamos viendo funcionar es el efecto Forer. Otro sesgo que se ha descubierto consiste en que todos tenemos la tendencia adoptar las creencias y el comportamiento de la mayoría del grupo del que formamos parte. Además está el sesgo más importante, el sesgo de confirmación, que consiste en que todos, absolutamente todos, aceptamos las pruebas que apoyan nuestras creencias previas pero desestimamos, obviados o acomodamos las pruebas que contradicen esas creencias.

Todo esto nos hace susceptibles de creer cualquier cosa por extraña y disparatada que sea. Se suele argumentar que las creencias son algo privado. Es cierto que cada uno cree lo que cree por buenas o malas razones, pero al mismo tiempo, todos nos comportamos en base a lo que creemos, lo que sabemos y lo que creemos que sabemos, es decir, las creencias tienen también una dimensión pública. Conocer nuestras limitaciones y sesgos nos ayudará a encontrar qué creencias son falsas y/o peligrosas, lo cual cada vez se hace más perentorio para poder vivir en una sociedad tremendamente compleja.



# España logra el primer puesto europeo en exportar grafeno

Fuente: Spain Technology



El *grafeno* puede llegar a ser el sustituto del silicio en chips de los sistemas informáticos. España es el primer exportador europeo de este material

y varias empresas nacionales como **Graphenea** y **Avanzare** están revolucionando el mercado. El grafeno es un material extremadamente fino, resistente, impermeable, flexible y transparente que permitirá fabricar textiles, calzado y ordenadores cien veces más rápidos que los actuales, y que consuman cien veces menos de energía. Y es que los electrones dentro del grafeno se mueven casi a la velocidad de la luz, y apenas sin resistencia, por lo que supone una revolución similar a la utilización del plástico, ya que estará en muchas aplicaciones y productos.

España está muy bien posicionada tanto en la investigación, como en la producción de este material por parte de las empresas. De hecho, España es el primer exportador de grafeno de Europa, sobre todo, a Asia.

Graphenea, empresa española productora de grafeno, detalla que este material de lámina de átomos de carbono es único en cuanto a sus propiedades y permite avanzar en campos como el almacenamiento de energía o la electrónica.

A caballo entre un metal y una sustancia semiconductor, el grafeno combina una serie de características que, todas juntas, no se habían visto nunca en ningún material, y eso permite muchas aplicaciones. Con él se hacen transistores, las bases de los ordenadores, mucho más veloces y que disipen menos calor. Además, la empresa española afirma que con él se podrán hacer baterías de móviles que se carguen en segundos y que tengan mayor duración.

Avanzare es otra empresa española productora de este material. Asegura que con el grafeno habrá zapatos, textiles y polímeros para la automoción o la aeronáutica.

Neumáticos más duraderos o asientos térmicos para los coches son otros de los productos que aparecerán en el mercado basados en el grafeno. ■

## RODMAN FABRICACIÓN DE MATERIAL ELÉCTRICO

### AVISADORES ACÚSTICOS INDUSTRIALES

ELECTRONICOS		ELECTROMAGNÉTICOS		
SE-206	SEE-207 I	ZPI / ZEPI	Z-1 C I	ZE-1 C I
APLICACIONES: TIMBRE DE PUERTA, PARA FABRICAS, ESCUELAS, ETC...				
SE-600	SE-707 I	T-10/T-15 / T-23		S -67-CI
		TIMBRES		
APLICACIONES: GRÚAS, EMERGENCIAS, AVISOS DE INCENDIOS, TOROS, MONTACARGAS, ASCENSORES, ETC				
POTENTES TIMBRES DE CAMPANA Y MOTORIZADOS				

### AVISADORES ACÚSTICOS DOMÉSTICOS

DD-2	DD1	ZD-1	DD-3
APLICACIONES: DING-DONG GRAVE PARA ENTRADAS EN VIVIENDAS, DESPACHOS Y TIENDAS		APLICACIONES: ZUMBADOR ACCESO TIENDAS, VIVIENDAS	APLICACIONES: SIN CABLES PORTATIL
DING-DONG AGUDO PARA VIVIENDAS			

### AVISADORES LUMINOSOS

XENON	INCANDESCENCIA	LEDS	
AL-1	AL-2	AL-3	AL-L
APLICACIONES: AEROPUERTOS, ANTENAS, GRÚAS, ETC...		APLICACIONES: OBRA, VIAS PÚBLICAS, AEROPUERTOS, BALIZAS...	

### RELÉS Y DETECTORES DE MOVIMIENTO

CDS-24	DM-10	DMT	DMP	CM5	RF-10
APLICACIONES: LUCES DE PASILLOS, ESCALERAS, ALUMBRADO PÚBLICO, ASEOS, ALMACENES, PARKINGS, ESCAPARATES, TIENDAS, ETC...					

### AVISADORES ESPECIALES

SLA	Z-2TL
NUEVOS PRODUCTOS	
AVISADOR ACÚSTICO LUMINOSO AUTÓNOMO	ZUMBADOR C.A. INTERMINENTE LUMINOSO TELEFÓNICO

### DISTRIBUIDOR EN ALMACENES DE MATERIAL ELÉCTRICO

SOLICITE CATÁLOGO GENERAL

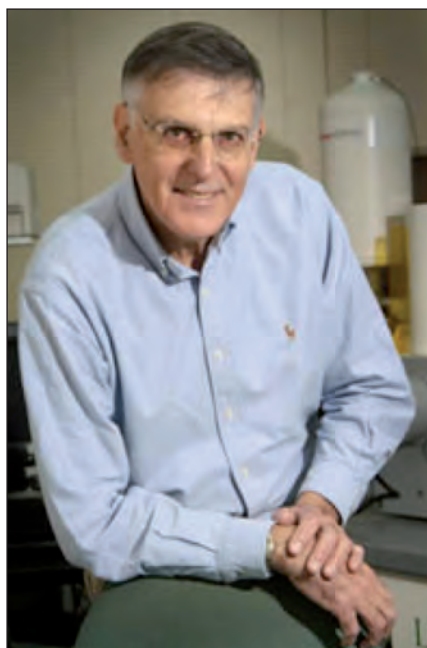
FABRICACIÓN DE MATERIAL ELÉCTRICO

[www.rodman-elect.com](http://www.rodman-elect.com)

# Dan Shechtman, premio Nobel de Química 2011

Descubridor de los “quasicristales”

Autor: Ignacio F. de Aguirre



Prof. Dan Shechtman

Todos sabemos que en la mayor parte de los materiales, y especialmente en los metálicos, los átomos están rígidamente ordenados formando redes de estructuras uniformes y características de cada elemento o aleación. Llamamos cristales elementales a estas formas geométricas estructurales que mantienen su cohesión por las fuerzas de atracción atómica y que se manifiestan en forma de las propiedades de resistencia, ductilidad, dureza, etc., correspondientes a cada uno, pero siempre, según se creía, de una forma completamente periódica.

El Prof. **Dan Shechtman** descubrió en 1982 una nueva estructura atómica estudiando la de una aleación aluminio-manganeso enfriada rápidamente. En lugar de cristales ordenados en una estructura regular, el material respondía a un modelo no repetitivo. A partir de ese hallazgo se han descubierto posteriormente otros tipos de “quasicristales”. Incluso en 1992, la *Unión Internacional de Cristalografía* cambió la definición de cristal para tener en cuenta estos descubrimientos.

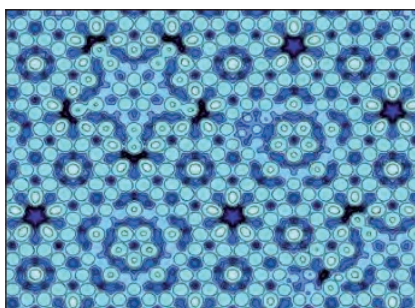
El Prof. Shechtman nació en 1941 en Tel-Aviv y pertenece al *Instituto Technion* israelí, aunque realiza estancias en diferentes laboratorios universitarios americanos. Precisamente durante una de ellas en la *Universidad Johns Hopkins*, es cuando detectó la llamada “fase icosaédrica” en aleaciones de aluminio, abriéndole el campo de estudio hacia los citados “quasicristales”. También trabaja en la nucleación de finas láminas de diamante obtenidas por el método CVD (*Chemical Vapor Deposition*).

En opinión del Prof. Shechtman, desde su descubrimiento, muchos

investigadores obtienen continuos nuevos materiales casi-periódicos. Sus propiedades eléctricas, ópticas, de dureza, de no adherencia o de transparencia a la luz son diferentes a las habituales. Afirma que una de las primeras experiencias de aplicación fue su uso como revestimiento hecho con plasma sobre freidoras: a diferencia del teflón que se rompe por raspado y puede ser perjudicial para la salud, este recubrimiento es muy resistente, aunque no pudo aplicarse en la práctica porque se destruye con la sal. Lo que sí ha podido realizarse es el refuerzo superficial de aceros endurecidos por precipitación, de manera que resulten extremadamente resistentes a la dislocación y a la corrosión: por ejemplo en cuchillas de afeitado o en herramientas quirúrgicas.

Otra aplicación posible, según el premiado, sería con micro esferas de materiales casi-cristalinos embebidas en plástico. Esto permitiría obtener piezas muy ligeras y al mismo tiempo resistentes al desgaste, incluso en el caso de engranajes. Como también suelen ser malos conductores del calor protectores similares serían buenos aislantes ante elevadas temperaturas. Entre los muchos metales que se utilizan en la práctica, podrán obtenerse aleaciones de este tipo con múltiples aplicaciones aun por descubrir.

Hasta en la naturaleza parece haberse formado este tipo de cristalizaciones, como en la *icosaédrita*, mineral que responde a la composición  $Al_{63}Cu_{24}Fe_{13}$ , localizado recientemente en Rusia. ■



Quasicristales en una aleación de plata y aluminio

# Aceleradores de partículas: una visión general

Autor: Josu Eguía de TEKNIKER-IK4

## INTRODUCCIÓN Y USOS

Desde que fueron concebidos a principios del siglo XX, los aceleradores de partículas se han convertido en la herramienta más efectiva, compleja y fascinante para estudiar las características de la materia a nivel atómico, y han contribuido al avance de la Física como pocas otras invenciones. Sin embargo, y para un público no especialista, en sí mismos permanecen como grandes desconocidos y sus objetivos, principios de funcionamiento, tipos y usos no son un tema habitual de la divulgación científica, más concentrada en disciplinas y campos más accesibles para el profano. Para paliar este déficit, habría que empezar por señalar que los aceleradores de partículas son dispositivos que se valen de campos electromagnéticos para acelerar partículas cargadas. En puridad, únicamente el campo eléctrico es capaz de incrementar la velocidad, y por tanto la energía, de una partícula cargada, mientras que el campo magnético se limita a alterar la dirección del movimiento de la carga. Sin embargo, y como ya veremos, es necesario el concurso de ambos a fin de obtener las prestaciones más espectaculares de un acelerador. La acele-

ración de las cargas puede darse hasta un rango de energía bajo, del orden de decenas de eV[1], como en el caso del tubo catódico de electrones que forma el núcleo de las TV más habituales a finales del siglo XX. A medida que se incrementa la energía, las partículas aceleradas encuentran utilidad campos científicos y aplicaciones industriales más exigentes. Sin embargo, es a energías altas, superiores a 500 keV (referencia de los años 20) o 1 GeV (referencia más actual), donde aparecen las aplicaciones más espectaculares y fascinantes de los aceleradores, ligadas a la física de partículas. Por ello, el presente artículo se centra principalmente en los aceleradores de alta energía, en sus tipos y aplicaciones, pese a que constituyen menos del 1% de los cerca de 26.000 aceleradores instalados en el mundo. En cuanto al resto, de energías medias y bajas, aproximadamente un 44% de los se utiliza en radioterapia, un 41% en implantación de iones en materiales (sobre todo en la industria del semiconductor y electrónica), un 9% en procesos de transformación industrial y un 4% en la industria biomédica y otras aplicaciones biológicas.

La clasificación de los aceleradores se podría realizar según criterios muy distintos (geometría, aplicación etc.), pero la forma más útil y la que permite

entender su evolución histórica se basaría en clasificar a los aceleradores por la técnica empleada para generar el campo acelerador. En paralelo, se podría completar esta información haciendo referencia al uso del acelerador, con lo que se cubrirían las dos cuestiones básicas: cómo funciona y para que se utiliza. Con este esquema, y con someras pinceladas acerca de la física del acelerador, es posible obtener una visión general suficiente para un técnico.

La primera gran división distingue entre los aceleradores *electrostáticos* y los aceleradores con campos *electromagnéticos oscilantes*. En el primero de ellos, el campo eléctrico, de valor, dirección y sentido constantes, es creado entre dos electrodos mediante la aplicación de un potencial. Una partícula cargada introducida en el espacio entre electrodos se acelera y recorre la distancia entre los mismos, adquiriendo una energía dependiente del potencial aplicado y su propia carga. Dos exponentes muy consolidados de este tipo de aceleradores son los aceleradores **Van de Graaf** y los aceleradores del tipo **Cockcroft & Walton**, cuyos nombres se deben a los científicos responsables de la invención a finales de los años veinte y comienzos de los treinta. En España,

[1] La unidad de energía electronvoltio (eV), es la que adquiere un electrón cuando es acelerado por un voltio de diferencia de potencial, equivaliendo a unos  $1,6 \cdot 10^{19}$  julios. La correspondencia relativista entre masa y energía hace que pueda calcularse su equivalencia como masa aplicando la fórmula de Einstein  $E = m \cdot c^2$

Algunos de sus múltiplos son:

1 kiloelectronvoltio (keV) =  $10^3$  eV

1 megaelectronvoltio (MeV) =  $10^3$  keV =  $10^6$  eV

1 gigelectronvoltio (GeV) =  $10^3$  MeV =  $10^9$  eV

1 teraelectronvoltio (TeV) =  $10^3$  GeV =  $10^{12}$  eV

1 petaelectronvoltio (PeV) =  $10^3$  TeV =  $10^{15}$  eV

1 exaelectronvoltio (EeV) =  $10^3$  PeV =  $10^{18}$  eV

# Colaboración

el Centro Nacional de Aceleradores (CNA), sito en Sevilla, está equipado con versiones de alta energía de estos dos tipos de acelerador (potenciales de 3MeV para el primero y 1 MeV para el segundo).



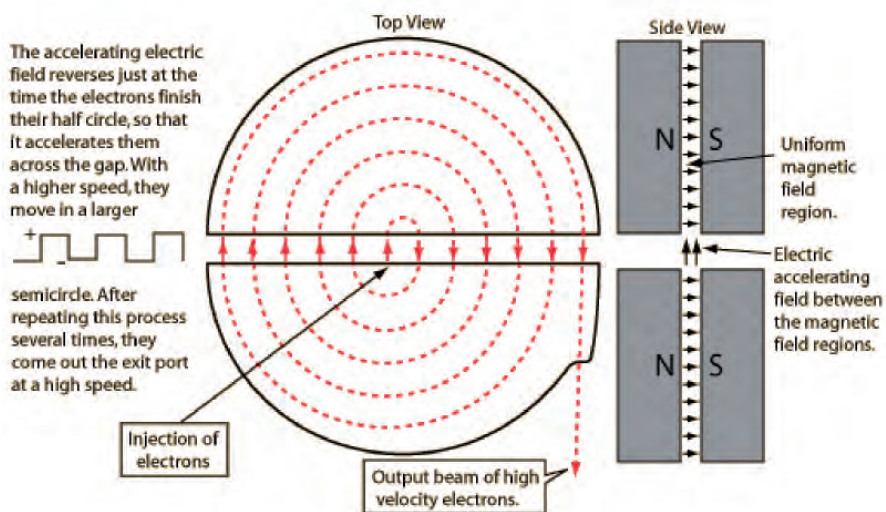
Ciclotrón CNAs

Los aceleradores *electrostáticos* son útiles en muchas aplicaciones y los casos y disciplinas en las que son de gran importancia no dejan de crecer. Así, se usan habitualmente en medicina nuclear, el análisis de muestras utilizando técnicas PIXE (*Particle Induced X-ray emission*) en el estudio de materiales o en el perfilado profundo en estudios de física de estado sólido. En menor grado, se han llegado a utilizar como espectrómetros de masas en estudios geológicos y astroquímicos. Incluso es posible obtener neutrones de las partículas cargadas por el acelerador para realizar estudios de cristalografía en Física de la Materia Condensada.

## Años 30

Sin embargo, tal y como se ha dicho previamente, la física de partículas precisa de energías mucho más altas que las obtenibles mediante un acelerador electrostático y hay mejores formas de conseguir un haz de electrones de alta energía, con lo que, ya desde los años 30, se han desarrollado aceleradores de campos electromagnéticos oscilantes y de alta energía para cubrir estas necesidades.

En primero de ellos es el *Ciclotrón*, el primer acelerador circular, que le valió el Nobel de Física a **Ernest O. Lawrence** en el año 1939, pese a que el desarrollo es de comienzos de



Esquema del Ciclotrón

Imagen: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

los treinta. Se trata de dos cavidades de vacío unidas entre sí en forma de "D" y separadas por un pequeño *gap*. El campo magnético producido por un potente electroimán mantiene a las partículas moviéndose en círculo, y cada vez que la partícula atraviesa el *gap* sufre una aceleración debida a un campo eléctrico pulsado a alta frecuencia que actúa en el citado hueco. De esta forma, la partícula traza una espiral que se aleja del centro a medida que se acelera, hasta que tiene suficiente energía para abandonar las cavidades y se produce la extracción del haz. Se entiende por tanto que cuanto mayor sea la energía de extracción deseada para las partículas, mayor ha de ser el radio de la cavidad y el propio ciclotrón, al necesitar la espiral más espacio para evolucionar.

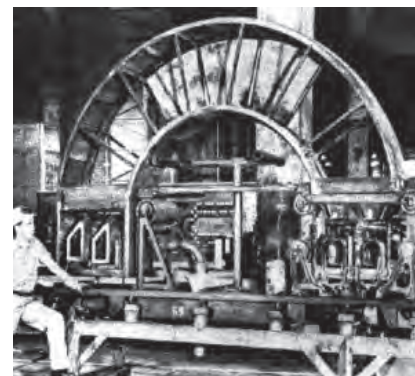
Su evolución fue el *Sincrociclotrón*, que automáticamente ajustaba la frecuencia de los pulsos del campo eléctrico para compensar una serie de efectos relativistas que sufre la partícula a energías superiores a los 20 MeV.

Durante la década de los años treinta, los ciclotrones se utilizaron para la investigación de los efectos deuterón – núcleo y para descubrir muchos isótopos en multitud de elementos. Aún hoy se utilizan para la producción de isótopos, si bien cada

vez se destinan más a la protonterapia para el tratamiento del cáncer, entre otras aplicaciones.

## Años 40

En el año 1943, El propio E.O. Lawrence utilizó una variante del ciclotrón llamada *Calutrón* para la separación de isótopos radiactivos de uranio a fin de obtener el material explosivo para las bombas atómicas, dentro del *Proyecto Manhattan*. Ni que decir tiene que tuvo éxito en su misión.



Calutrón

Imagen: <http://www.hcc.mnscu.edu>

En paralelo, en 1940 **Donald Kerst** desarrolló el *Betrón*, un acelerador de partículas circular específico para electrones. Debido a su poca masa, el concepto del *sincrociclotrón* no podía

compensar los efectos relativistas que aparecen a energías más altas, con lo que fue necesario un cambio de concepto. Se trata básicamente de un enorme transformador, equipado con una cámara de vacío circular en el interior de su bobinado secundario. Mientras el campo magnético mantiene a las partículas girando, la corriente alterna del primario crea fuerzas electromotrices en el secundario que aceleran los electrones. Sin embargo, al igual que el ciclotrón, perdía eficiencia y efectividad a altas energías.

Esquema de Betatrón

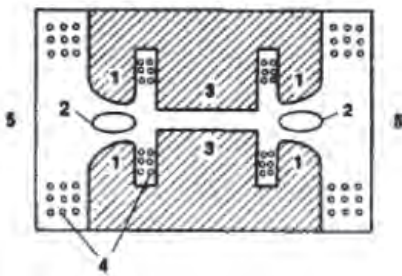


Imagen: The Free Dictionary

El haz de electrones de alta energía es muy útil en física de partículas. Si se hace incidir sobre un metal, el haz de electrones funciona como fuente de rayos gamma o rayos X para aplicaciones industriales y médicas.

## Años 50

En los años cincuenta se da una cascada de innovaciones en el diseño de los aceleradores, que lleva a continuas mejoras y un número rápidamente creciente de aceleradores instalados en el mundo. La innovación principal es el desarrollo del *Sincrotrón*<sup>1</sup>. En este acelerador, tanto el campo magnético que hace girar las partículas como el campo eléctrico que las acelera varían y se adaptan al haz, lo que trae dos efectos importantes. Se superan los efectos relativistas que limitaban la energía de la partícula en anteriores aceleradores y desaparecía la espiral presente hasta entonces, con

lo que la trayectoria de las partículas se convierte en una circunferencia de diámetro prácticamente constante. La máxima energía viene determinada por el momento en que la radiación sincrotrón emitida por la partícula (toda partícula cargada sometida a una aceleración emite energía en forma de onda electromagnética) es igual a la energía inyectada, con lo que no queda energía sobrante para la aceleración. Aún hoy, el concepto sincrotrón es la base de la aceleración a altas energías de las partículas, y son los aceleradores más numerosos del mundo. En muchas ocasiones, la introducción de una partícula en un sincrotrón no se puede hacer a baja energía/velocidad, con lo que es necesario realizar una aceleración previa en algún otro acelerador. Para esta función, la solución más socorrida es el empleo de aceleradores *lineales*, los LINACS (ver más abajo).



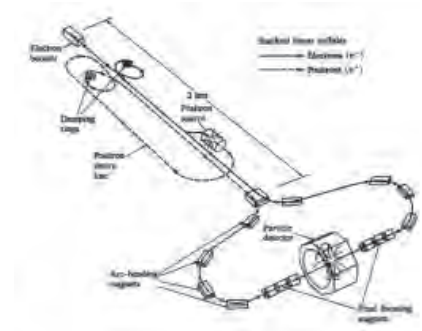
Sincrotrón

Imagen: es.wikipedia.org

Algunas variaciones del sincrotrón son el *Bevatron* (6,2 GeV), que dio lugar al descubrimiento del antiprotón y el antineutrón, el *Cosmotrón*, que dio lugar a la producción de mesones y al descubrimiento de las partículas V, el *Sincrofasotrón* o el *sincrotrón específico para protones*. A día de hoy, los sincrotrones se utilizan principalmente como fuente de rayos X de aplicación en el estudio de materiales. El año 1983 en el *Laboratorio Nacional de Aceleradores Fermi*, cerca de **Batavia**, Illinois, USA, un sincrotrón aceleró un protón hasta energías superiores a 1 TeV (Trillón/Teraelectrovoltio) con lo

que se convirtió en el acelerador más poderoso de la historia.

Otra de las innovaciones de los años cincuenta es el citado concepto de acelerador *lineal* (LINAC), un acelerador que renuncia a la estructura espiral o circular de los aceleradores primigenios y que realiza la aceleración en un conducto recto (lineal) de longitud finita definida. La energía máxima que se le puede dar a la partícula viene definida por la intensidad del campo eléctrico que se puede conseguir y la longitud del acelerador, dado que renuncia a confinarlo en un anillo hasta la extracción. Sin embargo, la diferencia en el principio acelerador hace que presente algunas diferencias que en algunas aplicaciones se tornan en ventajas y que han llevado a los aceleradores lineales a vivir un momento del esplendor con posterioridad a su invención en la década de los cincuenta, donde únicamente se empleaban como inyectores de los *sincrotrones*.



Esquema de acelerador lineal de Stanford

Imagen: SLAC

## Años 60 y posteriores

En las décadas siguientes se produce la expansión y mejora de los aceleradores, su ampliación para energías superiores y un verdadero florecer de variantes, instalaciones y aplicaciones. Pero al margen de esto, en la década de los sesenta tenemos que señalar que se produce el desarrollo de lo que hoy en día se conoce como Aceleradores de *Blanco Fijo*. En estos aceleradores, el objeto al que se destina el haz acelerador está en la propia instalación como un sistema fijo, con lo que la utilización del acelerador queda muy definida.

<sup>1</sup> Bolufer-Mayans P. "EL SINCROTRON ALBA" DYNA Ingeniería e Industria. Septiembre 2009. Vol. 84-6 p.481-484



LHC

Image: <http://scienceblogs.com>

## COLISIONADORES

Entre los Aceleradores de *Blanco Fijo* se encuentran los muy famosos *Colisionadores*. Algunas investigaciones en física de partículas requieren no solo de partículas con alta energía sino de la colisión entre partículas de alta energía; por supuesto, estas partículas no tienen por qué ser la misma. De esta forma, un sincrotrón se podría utilizar para acelerar y acumular estas partículas antes de que choquen en el interior del conducto. Se les llama entonces *Storage Rings*, y funcionan como *Colisionadores* o *Colliders*.

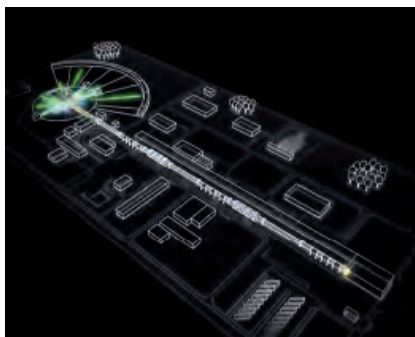
Los colisionadores revelaron el efecto **Touschek**, las interacciones electrón – positrón, el decaimiento  $\beta$ , y pueden servir para corroborar las teorías físicas actuales en su búsqueda del *Bosón de Higgs*, en el famoso LHC, entre otras aplicaciones.

Además de los *colisionadores*, los Aceleradores de *Blanco Fijo* se pueden utilizar para la producción de iones, radiactivos o no, si el haz se hace incidir sobre un convertidor, lo que provoca una cascada de neutrones que puede desencadenar una reacción de fisión en un átomo y la producción, por tanto, de átomos (iones) más pequeños a partir del original. El uso de esos iones puede ser muy variado, siendo el principal el uso como en aplicaciones biológicas y médicas. Para estos usos, lo habitual es el empleo de LINACS, aceleradores lineales de energías medias.

## ACCELERATOR DRIVEN SYSTEMS

Esta aplicación es uno de los primeros ejemplos de lo que se ha venido en llamar *Accelerator Driven Systems* (ADS), *Sistemas Activados por Ace-*

*leradores*, donde el acelerador es una herramienta, un desencadenante o una fuente necesaria para un proceso industrial, científico o experimental no directamente ligado con la física de partículas. Otro de los casos de aplicación de un ADS que está empezando a estudiar y probar se basa en la habilidad que tienen las partículas de alta energía para alterar la materia con la que chocan para transmutar residuos nucleares, cuya problemática es sobradamente conocida. Se están desarrollando LINACS que atacan residuos nucleares a fin de transformarla (transmutarla) en una especie o sustancia menos peligrosa, más tratable o más adecuada para su gestión.



Fuente de neutrones por espalación

Y no podemos acabar esta breve reseña sin mencionar una aplicación particular que ha sido de importancia reciente en el mapa español de instalaciones científicas. Una de las instalaciones más exitosas gobernadas por un acelerador de partículas son las *Fuentes de Neutrones por Espalación*. Las fuentes de neutrones de gran flujo tradicionales utilizaban, como producto primario, los neutrones residuales de una reacción de fisión nuclear, con lo que se basaban en reactores e instalaciones nucleares muy similares a las empleadas con fines energéticos. Un ejemplo de este tipo de instalación es el *Institute Laue-Langevin*, (ILL) sito en **Grenoble**, Francia. Debido a los riesgos asociados a la propia instalación, a la problemática de los residuos y a muchos otros de diversa índole, la comunidad científica y las naciones han avanzado en pos del abandono de

estas instalaciones y la sustitución de las mismas por otras basadas en principios más limpios y seguros. En este sentido, la espalación es la vía más prometedora. Una partícula que golpee un metal pesado puede, bajo ciertas condiciones, liberar neutrones de forma controlable, a fin de ser utilizados en investigación. Sobre este principio en el mundo se han proyectado instalaciones y fuentes de neutrones para cubrir la demanda de neutrones por parte de los investigadores. De esta forma, Europa disponía de una Fuente de Neutrones (y muones) por Espalación de pulso corto, de nombre *ISIS*, en el *Rutherford Appleton Laboratory* de **Oxford**, en el Reino Unido. Esta instalación, si bien válida, plenamente operativa y moderna, no cubre las demandas de los científicos. Por su parte, los Estados Unidos de Norteamérica acaban de inaugurar la *Spallation Neutron Source* (SNS) en **Oakridge**, Tennessee, como gran instalación de neutrones a nivel nacional. De la misma forma, China está trabajando en el trabajo de diseño y construcción de la futura *Chinese Spallation Neutron Source* (CSNS). De esta forma, Europa dio un paso al frente y optó por construir una gran fuente de neutrones por espalación de pulso largo, la ESS, *European Spallation Source*. España se postuló como sede de esta instalación, que finalmente fue adjudicada a **Lund**, en Suecia. Sin embargo, tanto los laboratorios como la industria española se encuentran actualmente trabajando a favor del desarrollo de la citada ESS que está, de este modo, actuando como tractor de los desarrollos en aceleradores en España.

Se ha tratado, por tanto, de dar unas pinceladas acerca de la historia de los aceleradores, de su evolución, principios de funcionamiento y tipos, sin olvidar la forma en que han servido al avance de la ciencia la tecnología y, por qué no decirlo, del propio ser humano. Son una herramienta fascinante, con más futuro que pasado, una herramienta que nos habla de la naturaleza de la materia y de la propia historia del universo, tan ligada a la de la materia y la energía.



# Mejora de la rentabilidad de las plantaciones de olivos mediante la implantación de huertos solares



Elias López-Alba\*  
Angel Gómez-Moreno\*  
Rafael López-García\*  
Eloisa Torres-Jiménez\*  
Pedro Casanova-Peláez\*\*

Ingeniero Industrial  
Ingeniero Industrial  
Doctor por la Universidad de Jaén  
Doctor por la Universidad de Jaén  
Doctor por la Universidad de Jaén

UNIVERSIDAD DE JAÉN. EPS.

\*Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera y \*\*Dpto. de Ingeniería Electrónica y Automática.  
Campus Las Lagunillas, Edif. A3 - 23071 Jaén. Tfno: +34 953 212862. elalba@ujaen.es

Recibido: 13/06/2011 • Aceptado: 05/07/2011

## Yield improvement in olive trees plantations installing solar fields

### ABSTRACT

• The improvement of economic profitability is field of work in all disciplines. The agrarian areas could be more profitable through the implementation of solar fields and it would be an alternative to increase the benefits. The implementations of solar tracking systems increase the production of electric energy compared with the fix systems. The present study develops a technique of integration of solar tracking systems in an olive field, evaluating the optimal distribution to avoid shadows between them and eliminate the minimum trees. A viability study is developed and it could be concluded that installing solar tracking systems, an economical improvement can be achieved. The technique can be extended to other trees plantation allocated on a particular geographic area.

• **Key words:** Solar fields, solar tracker, olive tree plantation, Profitability

### RESUMEN

La mejora de la rentabilidad económica es objeto de estudio en todas las disciplinas. Las plantaciones agrícolas podrían ser más rentables mediante la implantación de huertos solares y sería una alternativa para mejorar el rendimiento económico de estas. La incorporación de sistemas de seguimiento solar incrementa la producción de energía eléctrica con respecto a los sistemas fijos. En el presente estudio se desarrolla una técnica de integración de dichos huertos, aplicándolo a una plantación de olivos y se evalúa la distribución óptima evitar las sombras entre ellos y eliminar las mínimas plantas de las explotaciones. Además se realiza un estudio de viabilidad mediante el cual se concluye si la instalación de sistemas con seguimiento solar produce una mejora económica. La técnica puede ser potencialmente aplicada a cualquier tipo de plantación arbórea situada en cualquier zona geográfica.

**Palabras Clave:** Huerto Solar, Seguidor Solar, Plantación de Olivos, Rentabilidad.

### 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se cuestiona la rentabilidad del monocultivo del olivo tradicional debido a los precios actuales del producto final, la gran competencia con plantaciones superintensivas que reducen los costes de producción [1] o la desaparición de las ayudas económicas establecidas. Por lo tanto, la supervivencia de estas explotaciones olivareras está condicionada a la innovación. Una solución para mejorar la rentabilidad de estas plantaciones podría ser el usar el terreno de la plantación para la instalación de huertos solares de forma que se pudiera producir energía eléctrica.

El auge de la investigación en las energías renovables ha desarrollado los huertos solares como una forma de generación de energía eléctrica en régimen especial utilizando células solares fotovoltaicas [2]. Además, en los últimos años se han desarrollado sistemas de seguimiento solar de dos ejes, que son estructuras móviles que permiten desplazar las placas fotovoltaicas conforme a la trayectoria seguida por el sol [3], mejorando el rendimiento frente a los mecanismos fijos [4] y pudiendo obtener una producción de energía adicional entre el 25% y el 40%

dependiendo de la zona geográfica donde se encuentren instalados.

La superficie oleícola mundial es de 11 millones de hectáreas, de las que aproximadamente 2.5 millones se localizan en España. De esta superficie, 1.5 millones se concentran en Andalucía, estando dedicadas a la obtención de aceituna para almazara 1.4 millones y a la obtención de aceituna de mesa 100.000 ha. El cultivo del olivar se orienta hacia la producción de aceite de oliva, principalmente, en las provincias de Jaén y Córdoba.[5]

En el presente estudio se analiza la posibilidad de implantar seguidores de dos ejes en plantaciones tipo de la provincia de Jaén (entre 123 y 200 olivos /ha), para ello se tendrán en cuenta una serie de variables como las condiciones meteorológicas de la zona, distribución de los olivos en las explotaciones y distribución geométrica de los mecanismos de los seguidores solares fotovoltaicos. Además, se realiza una evaluación económica del rendimiento final de la plantación tras la introducción de seguidores eliminando un número determinado de árboles, comparándolo con la producción agraria solamente o bien el rendimiento económico que se obtiene de huertos solares donde sólo se utilicen paneles fijos o seguidores móviles.

Finalmente, se concluye que realizando un diseño apropiado y teniendo en cuenta la finalidad de la plantación (agraria y energética), permitiéndose en ella las labores propias para el mantenimiento de las plantas y la producción se puede conseguir una convivencia de ambas explotaciones minimizando el impacto de una sobre otra y por lo tanto maximizando el beneficio en cada una de ellas.

## 2. INTEGRACIÓN DE LOS HUERTOS SOLARES EN EL OLIVAR

### 2.1 EXPLOTACIONES OLIVARERAS EN LA ACTUALIDAD

Las plantaciones de olivos en su forma tradicional, están realizadas dejando un espacio significativo entre plantas, cuyo sistema de plantación se denomina al marco real o a tresbolillo. El 94% de las explotaciones tienen menos de 130 olivos/ha, y el 6% restante tienen menos de 200 olivos/ha. [6], si bien la media actual en otros lugares donde existen explotaciones olivareras está entre 200 y 300 olivos/ha [7]. Con estos datos se pueden calcular las distancias medias entre plantas para una explotación común de la provincia de Jaén donde las plantaciones tienen la configuración descrita.

Como se puede ver en la Figura 1, las distancias de separación serán entre 7m (200 olivos/ha) y 9m (130 olivos/ha). Al mismo tiempo hay que tener en cuenta, para los cálculos, la envergadura de las plantas, que se estima en 3.5m de diámetro siendo el centro la base del tronco [6]. De la ubicación geométrica de las plantas descrita y para la ubicación de un seguidor que está compuesto de dos partes,

una torre (de 4 metros de altura) y la vela (dimensiones 7m x 12m) [3], es necesario la eliminación de algunas plantas.

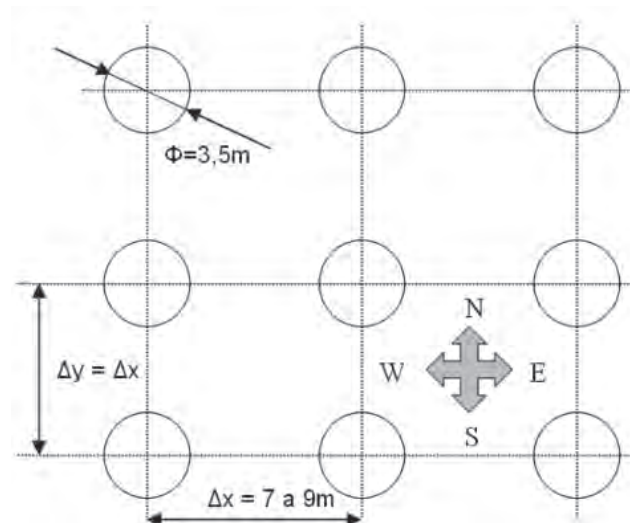


Fig. 1: Esquema de plantación común de olivos en Jaén

Otro aspecto importante a la hora de instalar un huerto solar es la orografía del terreno, así como su orientación, debido a que la radiación incidente instantánea recibida del sol a nivel del suelo varía dependiendo de las diferentes latitudes y altitudes en la que se encuentre. Jaén tiene una latitud de 37.46 N y una altitud de 549 m y hay unas 600.000 ha de olivar, el 25% de la superficie está sobre una pendiente inferior del 10 % que se traduce en inclinaciones del terreno por debajo de 5°, siendo el área utilizable para la implementación de huertos solares unas 150.000 ha [7]. Del resto de superficie se estima que al menos la cuarta parte está con la orientación óptima mostrada en la figura 1 (ladera sur) que representan unas 112.500 ha. Este aspecto es importante a la hora de evitar las sombras entre las superficies de los distintos seguidores ya que en caso contrario reducirían la producción de energía eléctrica considerablemente. Además, hay otras superficies de olivar que se encuentran entre 10° y 20° de pendiente, que sería el límite para no ser necesaria una inversión adicional en las estructuras de los mecanismos, sin tener en cuenta estas últimas, el área potencial de implantación de huertos solares en la provincia de alrededor de 250.000 ha.

Realizando un análisis de los dispositivos fotovoltaicos existentes en el mercado y adaptables a este tipo de explotaciones los hay de superficie de captación cuadrada y rectangular y con áreas entre 50 y 140 m<sup>2</sup> [8-11]. Se seleccionan dos superficies características (de 8.5mx8.5m y 15.2x8.9m) y se evalúan en las explotaciones con las densidades de plantación indicadas anteriormente.

## 2.2. ALGORITMO DE CÁLCULO DE CAPTACIÓN Y GENERACIÓN DE ENERGÍA

Seguidamente se evalúa la ganancia, que representa la captación energética, y producción energética de las configuraciones seleccionadas (con un espaciado entre plantas de 7m y 9m, Figura 1). Inicialmente se evalúa la radiación incidente sobre superficie horizontal a través de una base de datos adecuada, como Censolar [12]. Estos datos serán evaluados para instalaciones fijas con máxima captación (inclinación de 30° en Jaén [4]) y con seguimiento a dos ejes. Debido a las dos componentes de radiación que se obtienen, directa, que es la que incide en el seguidor formando un determinado ángulo con respecto a la normal a este, y difusa, que es la que recibe el seguidor de las direcciones celestes, se utilizan diferentes métodos para aproximar su incidencia en superficies inclinadas, estos son los modelos isotrópos y anisótropos. Duffie y Beckman (1991) utilizan esta metodología [13]. Se utilizan modelos para el análisis de las componentes de la radiación horizontal y la variación de ésta a lo largo de día, y después la radiación incidente para superficies inclinadas [14-17]. Se calcula la radiación incidente en función de un año tipo. Las pérdidas existentes son atribuidas a: restricciones de seguimiento y geometría (pérdidas mínimas del 1%), debido a las altas temperaturas que alcanzan en las placas solares se producen pérdidas de eficiencia de los equipos eléctricos respecto a la disposición fija (alrededor del 5%) [4], si bien la mayor fuente de pérdidas es la generación de sombras entre los distintos elementos y será la que condicione las distancias entre los distintos mecanismos, (entre el 2% y el 6% de la energía máxima captada [18]), que presenta unas pérdidas menores que las obtenidas por captación con inclinación fija, que supone entre el 3% y el 8% como mínimo.

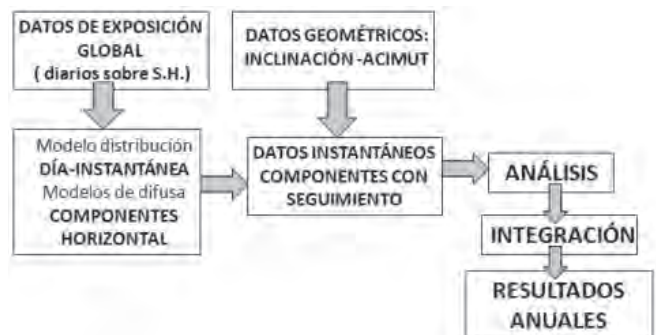
Los seguidores solares fotovoltaicos de dos ejes, producen mayor cantidad de energía eléctrica que las instalaciones fijas y el coste de la instalación y mantenimiento es superior, pudiendo dejar de ser económicamente rentables al aparecer las pérdidas por sombras entre mecanismos. El seguidor de dos ejes basado en el mecanismo de biela manivela consiste en un dispositivo cinemático para el seguimiento solar con accionamiento hidráulico, permitiendo el giro en el plano acimutal y cenital. Figura 2. El conjunto se componen de cuatro apartados fundamentales: el sistema de giro para el plano acimutal (base), la estructura del mecanismo (torre y vela), el sistema de movimiento en el plano cenital, el sistema de control y el sistema de accionamiento.



Fig. 2 a) Imagen de la parte frontal de un seguidor de dos ejes. b) Imagen de la parte trasera.

Para decidir cómo repercuten las disposiciones y distancias entre los seguidores al tener en cuenta las sombras entre ellos, se precisa de unas consideraciones geométricas muy exhaustivas, teniendo que evaluar todos los posibles obstáculos externos existentes, para lo cual se utilizan procedimientos geométricos [19]. Para ello se establece el algoritmo de la Figura 3, evaluando lo que sucede considerando una determinada geometría del seguidor de forma instantánea y después integrando los resultados. Este análisis considera la mejora en la captación solar que se obtiene al evaluar diferentes disposiciones, relaciones ancho-largo (H-L) de la superficie útil captadora de los sistemas de seguimiento y distancias de separación entre los mismos. En el algoritmo mostrado en la Figura 3, se considera el terreno llano, que como se indicó anteriormente era la mayor parte de la superficie de cultivo del olivo en la provincia de Jaén. Además, cabe destacar que las sombras de las propias plantas sobre las superficies colectoras se superponen a las de los elementos adyacentes, teniendo menor importancia.

Evaluando geoméricamente las posiciones en las peores condiciones (invierno debido a la menor altura solar), las distancias entre plantas no suponen pérdidas adicionales significativas sobre las que los propios seguidores efectúan entre sí.



a



b

Fig.3: Algoritmo para cálculo de captación y generación de energía: a) Procedimiento general; b) Procedimiento de análisis

Dada una orientación, la elección del tipo de malla, cuadrada o diagonal, dará lugar a diferentes proyecciones de sombras en el captador objeto de estudio, para ello se realiza el modelo posicionando el seguidor en el centro y

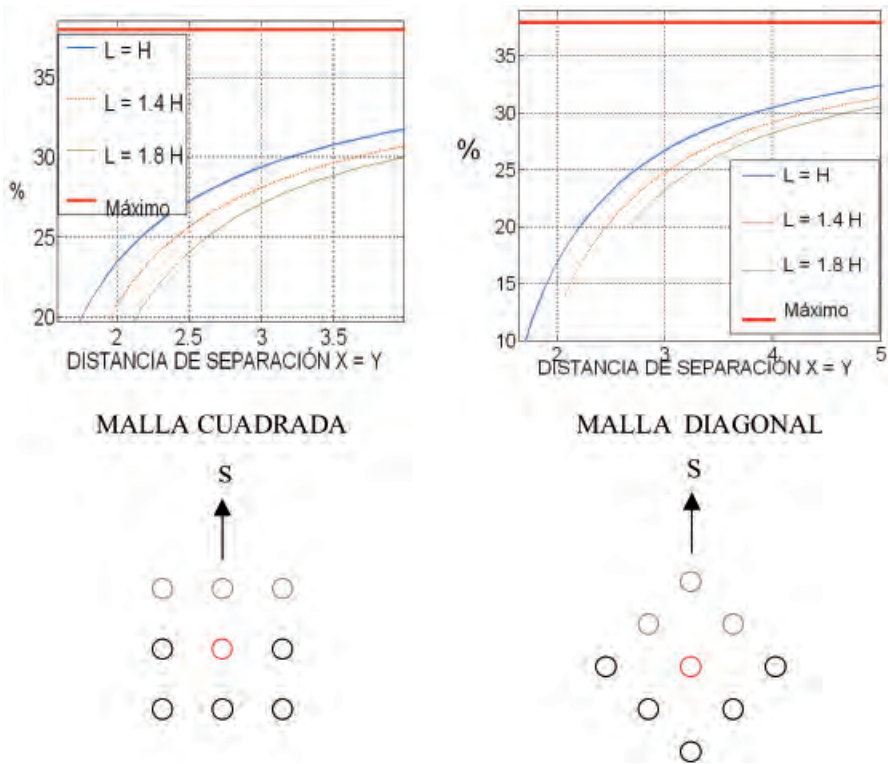


Fig. 4: Ganancia energética solar anual respecto a la máxima con inclinación fija, en función de la separación entre seguidores y tipo de malla, en Jaén

se analiza el efecto de las sombras de seguidores colindantes según el tipo de malla, obteniéndose el porcentaje de ganancia energética dependiendo de la separación entre seguidores con respecto a la ganancia máxima que es un 38% y en función de la geometría del panel. Figura 4, [20].

Finalmente, en el estudio se realizará el análisis de las posibles interacciones con las labores del campo, evaluando qué aspectos deben tenerse en cuenta para una posible modificación geométrica y de control de los sistemas predeterminados.

### 3. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN

#### 3.1. EVALUACIÓN DE LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA

La energía anual captada en Jaén es de 5.2 MJ/m<sup>2</sup> sobre superficie horizontal [12], entre 5.67 y 5.85 GJ/m<sup>2</sup> para inclinación fija de máxima captación (30° en Jaén) y entre 7.38 y 8.06 GJ/m<sup>2</sup> para seguimiento sin restricciones, según sea el modelo de radiación difusa utilizado; isotrópico o anisótropo. Los modelos isotrópicos consideran la acción de la radiación difusa de manera menos precisa obteniendo resultados inferiores de captación de entorno al 3% [21], sin embargo el cálculo en los modelos anisótropos de la componente difusa de la radiación es más aproximada incluso siendo bastantes aceptables los resultados de producción eléctrica de sistemas con seguimiento en latitudes similares a la de nuestro país [16,22].

En lo que respecta a las sombras, se evalúa qué ganancia adicional se tiene respecto a una superficie inclinada para una altura unitaria H=1m de superficie colectora y diferentes anchuras L (m). La Figura 5 presenta estos resultados, considerando un modelo anisótropo donde la máxima ganancia es del 38% anual sobre superficie fija y su cálculo se realiza de forma anual,

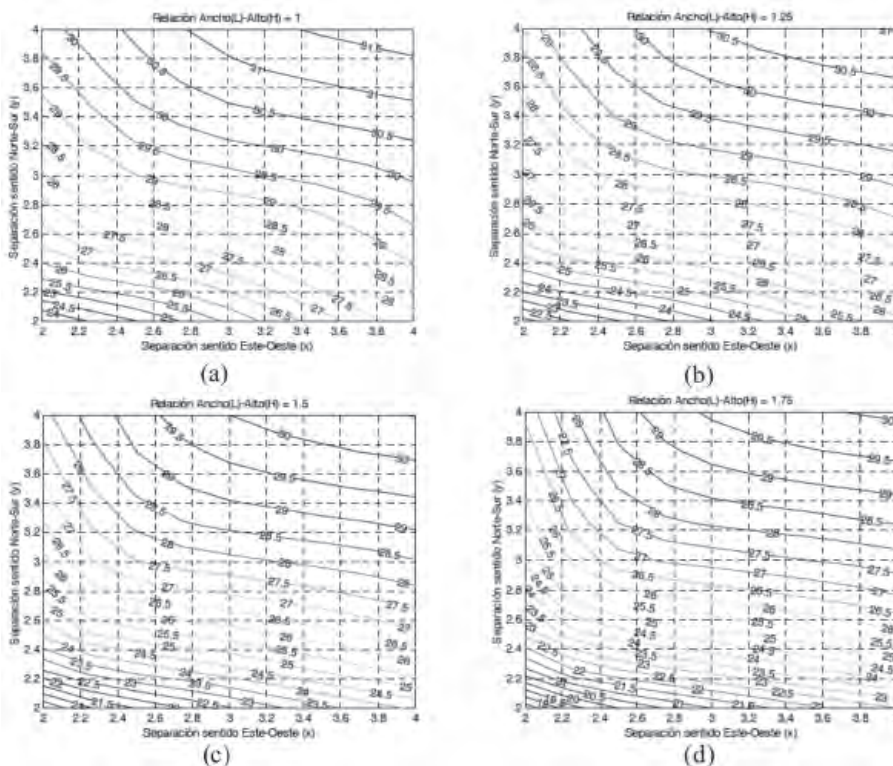


Fig. 5: Ganancias de captación (%) de sistema de seguimiento respecto a superficie fija considerando sombreado entre elementos (máxima ganancia 38%): a) Relación ancho-alto=1; b) Relación ancho-alto=1.25; c) Relación ancho-alto = 1.5; d) Relación ancho-alto=1.75.

siendo el eje de abscisas y ordenadas las distancias de separación, teniendo en cuenta la anchura del panel, entre los seguidores.

Con estas configuraciones, y considerando la posición inclinada para la captación, todas ellas pueden ser integradas en una explotación, eliminando un número de plantas mínimo. Así los sistemas más pequeños se puedan integrar prácticamente en todas las fisionomías, mientras que los sistemas más grandes sólo permiten su integración en explotaciones con menor densidad de plantación.

En la Figura 6, se puede ver el esquema de la disposición genérica de los seguidores dentro de la plantación, y en la Tabla 1 se indican los resultados para diferentes unidades y configuraciones de la plantación. Los resultados en ambos casos son muy similares.

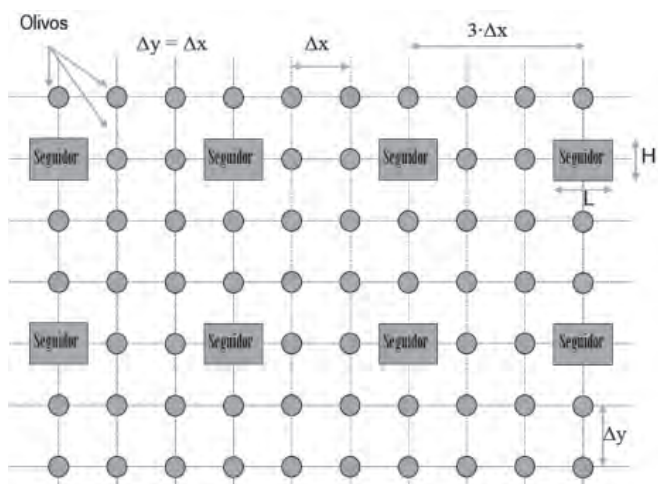


Fig. 6: Configuración de la explotación integrada

Finalmente, se concluye con los análisis en ambos tipos de plantaciones y para dos geometrías distintas del panel solar, que para que la instalación sea rentable frente a otra con inclinación fija, el sobrecoste de inversión debe ser inferior a

ese margen de entre el 19 y 21% que es la ganancia adicional tras el estudio de sombras entre seguidores móviles, Tabla 1.

A modo experimental se ha realizado una instalación de 50 kWp compuesta por tres seguidores de dimensiones 13m x 7m. Figura 7.



Figura 7: Huerto solar en fase experimental

### 3.2. ESTUDIO DE VIABILIDAD

A continuación se presenta el estudio de viabilidad, para ello se tienen en cuenta los resultados de la energía producida en las situaciones de seguidores con superficie inclinada y con seguimiento introducidos en plantaciones de olivos (Tabla 1). La reducción de ingresos debido a la eliminación de plantas se estima a partir del número de olivos eliminados (entre el 12% y 13%) dependiendo de las dimensiones de los seguidores y su posición, la rentabilidad total por hectárea debido a la producción de aceituna es de 1104.25 € [23]. La ganancia económica debido a la instalación de los paneles, será calculada dependiendo de las condiciones de la potencia de la instalación siendo 0.4 €/kWh para huertos solares de menos de 100Kwp y de 0.2 €/kWh para instalaciones mayores de 100Kwp, de acuerdo con las cifras establecidas en el RD 436/2004 [24]. Conviene aclarar que las actualizaciones normativas posteriores han venido a incrementar el importe de la retribución, mejorando

Energías anuales	Plantación 7m x 7m	Plantación 9m x 9m
Energía captada sobre superficie horizontal	5,2 GJ/m <sup>2</sup>	
Ganancia de energía captada con inclinación fija de 30° sobre superficie horizontal	9,1 a 12,4%	
Ganancia de energía captada con seguimiento sin restricciones. Frente a superficie inclinada a 30°	30 – 38%	
Energía captada con restricciones	7- 7,36 GJ/m <sup>2</sup>	7-7,37 GJ/m <sup>2</sup>
Energía eléctrica producida con inclinación fija a 30°	173 – 178 kWh/m <sup>2</sup>	
Energía eléctrica producida con seguimiento (ganancia % sobre superficie inclinada fija)	206 – 217 kWh/m <sup>2</sup> (19 – 21%)	
Dimensiones seguidor del ejemplo	8,5m x 8,5m	15,2m x 8,9m
Número de olivos efectivos por ha.	200	123
Número de olivos efectivos arrancados por ha. (%)	25 (12%)	16 (13%)

Tabla 1: Resultados para diferentes soluciones características

	Inclinación 30°		Con Seguimiento	
Precio de Venta	0,4 €/kWh	0,2 €/kWh	0,4 €/kWh	0,2 €/kWh
Ganancia económica	664 €/m <sup>2</sup> año	332 €/m <sup>2</sup> año	798 €/m <sup>2</sup> año	399 €/m <sup>2</sup> año
Coste de Mantenimiento	33,2 €/m <sup>2</sup> año	16,6 €/m <sup>2</sup> año	39,9 €/m <sup>2</sup> año	19,95 €/m <sup>2</sup> año
Inversión Potencia Instalada	5,2 €/Wp		5,824 €/Wp	
TIR (25 años)	13,52%	5,57%	14,58%	6,26%

Tabla 2: Estudio de viabilidad

en consecuencia la rentabilidad del proyecto aquí analizado [25].

Los costes de mantenimiento están estimados a partir de la explotación experimental introducida y comentada en el texto en el apartado 3.1. Además esos costes están contractados con las instalaciones realizadas por empresas del sector. El mantenimiento de las instalaciones es del 5% de la ganancia de energía, y la inversión de la instalación con seguimiento es un 12% debido a los elementos mecánicos y del control para su funcionamiento que llevan en comparación con los sistemas fijos [3]. El resto de los elementos son comunes para ambas disposiciones. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

El TIR obtenido a 25 años supone un 1% de incremento de la disposición de los paneles con seguimiento frente a los que tienen una inclinación de 30°, así pues el tiempo de retorno de la inversión es de 11 años para los paneles con inclinación frente a los 10 años de los paneles con seguimiento.

### 3.3. ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD CON LAS LABORES DEL CAMPO.

Seguidamente se analizan las limitaciones de estos sistemas en las explotaciones sobre las que se ha desarrollado el estudio, abarcando las limitaciones propias de los seguidores, así como los problemas generados tras su instalación sobre el desarrollo normal de las labores del campo.

- Profundidad: las labores tradicionales en el terreno se realizan con profundidades máximas de 20cm. Debido a las implantaciones de los seguidores, se tendrá en cuenta en las nuevas plantaciones que la profundidad en la preparación del suelo será mayor, debido a la necesidad de labores de subsolado y drenajes, y la misma estructura de los mecanismos, por lo tanto el cableado debe instalarse al menos a 1.5 m de profundidad.
- Disposición del cableado. Debido a que bajo la copa del olivo es donde se propagan las raíces de las plantas, los cables se deben de instalar por el centro de las calles, llevando cables de uno a otro elemento hasta la zona o punto de evacuación de energía a la red.
- Incompatibilidades entre las labores y los giros y altura del seguidor. Al realizar determinadas labores, los mecanismos deben quedar inmóviles y

en posición horizontal. De esta forma, la superficie colectora quedarán a una altura similar o superior a las copas de los árboles y no interferirán en las labores del campo.

- Altura de los seguidores para que no hagan sombras a los árboles. La pequeña diferencia de altura entre el centro de gravedad de estos dispositivos y las copas de los árboles no interfiere en sombras significativas en aquellos. Si bien puntualmente sí aparecen sombras importantes, la mayor parte del día los árboles quedan libres de sombreado alguno.

Estos dos últimos apartados se asocian también a la estrategia de seguimiento. Para evitar interacciones con sistemas de anchuras elevadas, la posición horizontal debe adquirirse una vez el sistema esté orientado al sur. Al contrario, al comenzar el día, primero debe adquirirse la inclinación oportuna, para después buscar el acimut necesario. Cuando se desarrollen tareas del campo, deben quedar inmóviles y en horizontal. La generación eléctrica disminuye en esos periodos, pero se evitan posibles accidentes y deterioros de los equipos y plantas. Finalmente, los elementos de control, generación y transformación eléctricos están integrados en cada elemento seguidor, por lo que no interaccionan en absoluto con las labores del campo

## 4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha estudiado la viabilidad de la instalación de paneles solares en superficies arbóreas, eliminando el menor número de plantas posibles y valorando sus posibles interacciones con las labores agrarias cotidianas.

La instalación de paneles solares con seguimiento frente a los de inclinación fija mejora la rentabilidad, para demostrar esto último se ha realizado un estudio sobre las pérdidas de ganancia energética provocadas por las sombras que se originan entre los paneles y que dependen de las distancias que separen a estos en la plantación.

El estudio de viabilidad en dos plantaciones tipo de 7m x 7m y 9m x 9m y considerando los paneles solares de 8.5m x 8.5m y 15.2m x 8.9m, muestra que la tasa interna de retorno (TIR) para paneles con seguimientos es de 10 años frente al de los seguidores fijos que es de 11 años así pues la solución más conveniente sería la instalación con seguimiento ya que el tiempo de retorno de la inversión es 1 año menos. La

mejora de la rentabilidad de las plantaciones es posible al mismo tiempo que se puede desarrollar el trabajo agrícola que se realiza en la actualidad (apartado 3.3).

El análisis realizado es generalista, pudiéndose obtener resultados más precisos haciendo una particularización para la plantación y las características técnicas de los paneles a emplear y su eficiencia energética.

Así mismo el estudio se podría extrapolar a otro tipo de plantaciones distintas a las del olivar, si bien requeriría un análisis de la disposición de las plantas, y de la interacción con las labores agrícolas a desarrollar.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al proyecto del Plan Propio de apoyo a la investigación de la Universidad de Jaén titulado 'Desarrollo y optimización mecánica de un sistema de seguimiento solar de dos ejes para el aprovechamiento energético del olivar jiennense' (RFC/PP 2006).

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sánchez-Martínez JD, Gallego-Simón VJ, Araque-Jiménez E. "El monocultivo olivarero jiennense: ¿del productivismo a la sostenibilidad?", *Boletín de la A.G.E.* 2008. Vol. 47 p. 245-270.
- [2] Abella MA, Chenlo F. "Sistemas Fotovoltaicos Conectados a red. Estimación de la Energía Generada", *Era Solar.* 2006. Vol.132 p. 52-67.
- [3] Palomar JM, Casanova-Peláez P, Díaz-Garrido FA et al. "Nuevo sistema de seguimiento solar de dos ejes basado en mecanismo biela manivela". *Dyna Ingeniería e Industria.* 2009. Vol. 84, nº 8 p. 671-680.
- [4] Díaz FA, Cruz-Peragón F, Carazo-Álvarez JD, et al. *Justificación energética para sistemas solares con seguimiento en dos eje.*, Proceedings of the II International Congress of Energy and Environment Engineering and Management. Badajoz. 2007. p. 51. ISBN 8496560457.
- [5] Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- [6] Anónimo, "Datos Estadísticos del Olivar en la Provincia de Jaén". *Asociación Española de Municipios del Olivo.* 2001.
- [7] Barranco D, Fernández-Escobar R, Rallo L. "El cultivo del olivo". 3ª Edición. *Mundi-Prensa y Junta de Andalucía.* 1999. ISBN: 84-89802-48-03
- [8] Mecasolar. 2008. [www.mecasolar.com](http://www.mecasolar.com) [última consulta 13/jun/2011]
- [9] Solener. 2008. [www.solener.com](http://www.solener.com) [última consulta 13/jun/2011]
- [10] Solaritd. 2008. [www.solaritd.com](http://www.solaritd.com) [última consulta 13/jun/2011]
- [11] Proenersol Seguidores. 2008. [www.proenersolseguidores.es](http://www.proenersolseguidores.es)
- [12] Anónimo, "Valores medios de irradiación solar sobre superficie horizontal". *Centro de Estudios de la Energía Solar.* Sevilla, 1993.
- [13] Duffie JA, Beckman WA. *Solar engineering of thermal processes.* 3ª Edición. Wiley, NewYork (US). 2006. p928. ISBN: 13-978-0-471-69867-8.

- [14] Liu BYH, Jordan RC. "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation", *Solar Energy.* 1960. Vol. 4 p.1-19.
- [15] Collares-Pereira M, Rabl A. "The average distribution of solar radiation-Correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values", *Solar Energy.* 1979. Vol.22, p. 155-164
- [16] Reindl D T, Beckmann WA, Duffie JA. "Evaluation of hourly tilted surface radiation models", *Solar Energy.* 1990. Vol. 45 p. 9-17
- [17] Feuermann D, Zemel A. "Validation of models for global irradiance on inclined surfaces", *Solar Energy.* 1992. Vol. 48 (1) p. 59-66
- [18] Gordon JM, Kreider JF, Reeves P. "Tracking and stationary flat plate solar collectors: yearly collectible energy correlations for photovoltaic applications", *Solar energy.* 1991. Vol. 47 (4) p. 245-252.
- [19] Appelbaum J, Bany J. "Shadow effect of adjacent solar collectors in large scale systems", *Solar Energy.* 1979. Vol. 23 p. 497-507.
- [20] Gómez Moreno A, Casanova-Peláez PJ, Palomar J M, et al. *Estimación analítica de pérdidas de captación debido a sombras en huertos solares con sistemas mecánicos de seguimiento.* Actas del XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar.Vigo. 2008. Vol. 2, p. 907-912. ISBN: 978-84-612-4470-6.
- [21] Kambezidis, HD, Psiloglou BE, Gueymard C. "Measurements and models for total irradiance on inclined surface in Athens, Greece", *Solar Energy.* 1994. Vol. 53 (2) p. 177-185.
- [22] Hay JE. "Calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces", *Solar Energy.* 1979. Vol 23 p.301-307.
- [23] Costes de producción en el Olivar Jiennense. Diputación Provincial de Jaén. Turismo y Desarrollo Local Sostenible.
- [24] España. Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Boletín Oficial del Estado, 27 de marzo del 2004
- [25] España. Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Boletín Oficial del Estado, 26 de junio del 2007

# Gestión de la calidad total y mantenimiento productivo total en la fabricación de alto rendimiento



Raquel Sanchis  
Raul Poler  
Josefa Mula  
David Peidro

Ingeniera de Organización Industrial  
Doctor Ingeniero Industrial  
Doctora Ingeniera de Organización Industrial  
Doctor Ingeniero de Organización Industrial

Universidad Politécnica de Valencia. Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP). Pl. Ferrándiz y Carbonell, 2 - 03801 Alcoy (Alicante). Tfno: +34 963 828423.  
rpoler@cigip.upv.es

Recibido: 17/03/2011 • Aceptado: 05/09/2011

## Total quality management and total productive maintenance in high performance manufacturing

### ABSTRACT

#### • Introduction

This study compares the implementation's degree of the different methods of the advanced manufacturing practices: Quality Management and Total Productive Maintenance in high performance industrial plants and standard ones to analyze which methods of both practices are correlated with high performance manufacturing.

#### Material and methods

Based on previous rounds of the international research: "High Performance Manufacturing", a set of questionnaires was developed to perform quantitative analysis of the current situation of industrial plants in Europe, Asia and America in the sectors of machinery, electronics and automotive which conforms the third round of the international research on HPM. The industrial plants' sample distinguished two types: High Performance Manufacturing Plants and Standard Performance Manufacturing Plants. The study used the data provided by 179 plants of the total of 265 participant plants owing to the fact that 86 industrial plants were not classified by the previous types.

#### Results

The tests carried out provide an overview of which methods related to Quality Management and Total Productive Maintenance present a higher differentiation in the degree of implementation between high performance and standard performance industrial plants. An analysis of the different countries and sectors of the study was performed. Those methods more implemented in industrial plants classified as high performance ones, are those that confer a competitive advantage, although it should be noted that performance is not only a function of the methods analyzed in this study, but also depends on other manufacturing practices of the High Performance Manufacturing model.

#### Discussion

The methods of process control, customer focus and involvement, and supplier partnership are the techniques most correlated with high performance, as the high performance manufacturing industrial plants have a higher degree of its implementation. Those plants that have also implemented maintenance support show a superior performance than plants that do not consider such an implementation.

- **Keywords:** Advanced Production Practices, Total Quality Management, Total Productive Maintenance, High Performance Manufacturing, World Class Manufacturing.

### RESUMEN

#### Introducción

En este estudio se compara el grado de implementación de diferentes métodos de las prácticas de Gestión de la Calidad y Mantenimiento Productivo Total en diversas plantas industriales, clasificadas como de alto rendimiento o rendimiento estándar, con el objetivo de analizar cuáles son los métodos de ambas prácticas más correlacionados con la fabricación de alto rendimiento.

#### Material y métodos

A partir de dos rondas anteriores del proyecto internacional *High Performance Manufacturing* (HPM), se desarrollaron un conjunto de cuestionarios que sirvieron para realizar el análisis cuantitativo de la situación actual de las plantas industriales de Europa, Asia y Estados Unidos de los sectores de maquinaria, electrónica y automoción en lo que acabó siendo la tercera ronda internacional HPM. La muestra de plantas industriales distinguía dos tipologías: Plantas de Alto Rendimiento (PAR) y Plantas de



Rendimiento Estándar (PRE). El estudio utilizó la información proporcionada por 179 plantas del total de 265 plantas participantes debido a que 86 plantas industriales no fueron clasificadas según su tipología en PAR y PRE.

### Resultados

Las comparativas desarrolladas ofrecen una visión de cuáles son los métodos de Gestión de la Calidad y Mantenimiento Productivo Total en los que existe una mayor diferenciación en el grado de implementación entre plantas industriales de alto rendimiento y de rendimiento estándar. También, se realiza un análisis de los diferentes países del estudio y sectores. Aquellos métodos más implantados en las plantas industriales clasificadas como de alto rendimiento son los que confieren una ventaja competitiva, aunque cabe destacar que el rendimiento no sólo es función de los métodos analizados en el presente estudio, sino que también depende de otras prácticas del modelo de Fabricación de Alto Rendimiento.

### Discusión

Los métodos de control de procesos, orientación al cliente y asociación con proveedores son las técnicas más correlacionadas con el alto rendimiento, ya que las plantas industriales de alto rendimiento tienen un mayor grado de implementación de los mismos. Aquellas plantas que también poseen mantenimiento de apoyo implantado presentan un mayor rendimiento que las plantas que no lo consideran.

**Palabras clave:** Prácticas Avanzadas de Producción, Gestión de la Calidad Total, Mantenimiento Productivo Total, Fabricación de Alto Rendimiento, Fabricación de Clase Mundial.

## 1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la competencia mundial en plantas industriales desvela la necesidad de desarrollar capacidades de producción que permitan a las organizaciones una ventaja competitiva sostenible sobre sus competidores. Se precisa de la habilidad para adaptarse a las necesidades de los clientes y a los requerimientos cambiantes del entorno. Por ello, una mayor focalización en la gestión de los procesos de fabricación pretende contribuir en el incremento del rendimiento de la fabricación. Schroeder y Flynn (2001) definen la Fabricación de Alto Rendimiento (HPM, *High Performance Manufacturing*) también conocida como Fabricación de Clase Mundial (WCM, *World Class Manufacturing*), como un conjunto integrado de procesos diseñados para alcanzar una ventaja competitiva mundial sostenible por medio de la mejora continua de la capacidad de fabricación. La mejora continua implica la utilización de prácticas avanzadas de producción. El modelo actual de HPM abarca diferentes prácticas avanzadas como: *Justo a Tiempo (JIT, Just In Time)*, *Gestión de la Calidad Total (TQM, Total Quality Management)*, *Gestión de los Recursos Humanos*, *Mantenimiento Productivo Total (TPM, Total Productive Maintenance)*, *Sistemas de Información*, *Estrategia de*

*Fabricación*, *Desarrollo de Nuevos Productos*, *Gestión de la Cadena de Suministro* y *Gestión de la Tecnología* (Schroeder y Flynn, 2001; Forza y Salvador, 2001).

El presente artículo se centra en el estudio de la relación existente entre la HPM y los métodos de TQM y TPM en plantas industriales de Europa, Asia y Estados Unidos. La naturaleza industrial de las plantas incluye tanto a *Plantas de Alto Rendimiento (PAR)* como *Plantas de Rendimiento Estándar (PRE)*. Las PAR son plantas que tienen implementadas y demostradas las mejores prácticas avanzadas del sector. Son aquellas plantas líderes y referentes en sus procesos productivos, que poseen una ventaja competitiva probada así como la capacidad de absorber cambios de la mejor manera para incrementar sus posibilidades de permanecer en los mercados (local, nacional e internacional).

TQM es un sistema integrado de fabricación dirigido a mejorar continuamente y mantener productos y procesos de calidad mediante la gestión empresarial, los recursos humanos, proveedores y clientes con el fin de alcanzar e incluso superar las expectativas y necesidades de los clientes (Hackman y Wageman, 1995; Powell, 1995; Cua, McKnoe y Schroeder, 2001).

El modelo HPM, que está relacionado con los principios de la Producción Ajustada, engloba la práctica avanzada de TQM, que se centra en los siguientes métodos de gestión de la calidad total (Ishikawa, 1985; Juran y Gryna, 1988): (i) *participación de proveedores en el proceso de calidad*, (ii) *participación de clientes*, (iii) *control de procesos*, (iv) *énfasis en los procesos*, (v) *orientación al cliente*, (vi) *TQM conectada a clientes*, (vii) *satisfacción de los clientes*, (viii) *enfoque amplio organizativo*, (ix) *prevención*, (x) *planificación estratégica de la calidad*, (xi) *mejora continua y aprendizaje*, (xii) *limpieza y organización* y (xiii) *retroalimentación*.

TPM se define como un programa de fabricación diseñado principalmente para maximizar la efectividad de los equipos de fabricación en toda su vida útil a través de la participación y motivación de todos los recursos humanos de la empresa (Nakajima, 1988). Espolita-Carreño (2000) afirmaba que “*donde quiera que existan activos físicos, se generan actividades de restauración consecuencia de las averías, y ello ocasiona costes de reparar, indisponibilidad de los equipos y riesgos de daños a personas, a las cosas y al medio ambiente*”. Por ello, se precisa de un programa de fabricación diseñado principalmente para garantizar y controlar la disponibilidad de los equipos productivos y la calidad del producto terminado a un costo mínimo (Galar-Pascual et al., 2010). Los métodos de TPM, también considerados como característicos de la Producción Ajustada, que han sido analizados en el presente estudio son los que se detallan a continuación (Ohno, 1988 y Denis, 2002): (i) *mantenimiento autónomo*, (ii) *mantenimiento preventivo*, (iii) *mantenimiento de apoyo* y (iv) *equipos de mantenimiento*.

La HPM usa TQM y TPM como medios para controlar y mejorar el proceso de producción con el fin de satisfacer

las necesidades de los clientes y así ganar una ventaja competitiva (Flynn, Schroeder y Flynn, 1999), además de eliminar defectos y reducir la reelaboración de productos, ayudando a mejorar la calidad y la entrega de dichos productos y servicios (Cua, McKnoe y Schroeder, 2001). Rodriguez-Darnes (2000) afirma que la calidad de los procesos está unida al buen funcionamiento de la maquinaria con lo cual la gestión de calidad de los procesos junto al mantenimiento productivo hace que los equipos funcionen eficaz y eficientemente obteniendo productos de calidad alta.

El presente estudio internacional tiene como objetivo, por una parte, diseminar a la industria en general las conclusiones obtenidas en el estudio que servirán:

- Como autoevaluación del estado *AS IS* de las plantas industriales participantes para así poder analizar su estado respecto a las plantas de su mismo sector y país, y poder realizar comparativas de su rendimiento con otras plantas industriales de otros sectores y otros países. Se trata de mostrar a las plantas cuáles son los métodos de TPM y TQM que mayoritariamente están implantados en las PAR y que no lo están en las PRE. Dichas diferencias pueden dar una orientación de qué métodos están más correlacionados con el alto rendimiento y por ello, su implantación puede llevar a las plantas a obtener una ventaja competitiva respecto a aquellas plantas que no tienen dichos métodos establecidos. Al final del estudio, las plantas participantes recibieron un informe comparativo.
- Basándose en el análisis anterior, las plantas industriales podían extraer conclusiones interesantes acerca de su estado y de cuáles podrían ser las directrices que debían seguir para maximizar su rendimiento y de esta forma definir su estado *TO BE*.

Por otra parte, se pretende que los resultados del estudio HPM se difundan en el ámbito académico para contribuir al desarrollo colectivo de la investigación a nivel internacional.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio está enmarcado dentro de la tercera ronda del proyecto internacional sobre HPM para la creación de una base de datos intercontinental. La primera ronda se realizó en los años 80 y tan sólo abarcó a plantas industriales de los sectores de maquinaria, electrónica y automoción de diferentes regiones de los Estados Unidos. En dicha ronda no había una definición de los perfiles de los encuestados, aunque comprendió desde mano de obra directa hasta la gerencia de las plantas industriales. Las cuestiones planteadas englobaban tanto aspectos cualitativos como cuantitativos sobre el entorno, principales productos, organización, recursos humanos, gestión de la calidad total, sistemas de información, JIT, estrategias de fabricación, desarrollo de tecnologías, y mejora y rendimiento.

La segunda ronda del proyecto internacional HPM se realizó durante los años 90 y en ella se incrementó el número

de países participantes, ya que plantas industriales de Japón, Estados Unidos, Reino Unido, Alemania e Italia fueron encuestadas. Los sectores analizados fueron los mismos que en la primera ronda y que en el presente estudio: maquinaria, electrónica y automoción. Se definió de forma concisa los perfiles de los encuestados que fueron 26 y se analizaron 2544 aspectos cualitativos y cuantitativos sobre la temática anterior.

	Primera Ronda	Segunda Ronda	Tercera Ronda (actual)
<b>Año</b>	80s	90s	2000s
<b>Países</b>	Estados Unidos	Japón, Estados Unidos, Reino Unido, Alemania e Italia	Alemania, Austria, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Finlandia, Italia, Japón y Suecia
<b>Sector</b>	Automoción, Maquinaria y Electrónica		
<b>Número de plantas</b>	45	164	265
<b>Encuestados</b>	Varios	26	21
<b>Cuestiones</b>	Aspectos cualitativos y cuantitativos		
<b>Temática analizada</b>	Entorno, principales productos, organización, recursos humanos, gestión de la calidad total, sistemas de información, JIT, estrategias de fabricación, desarrollo de tecnologías, y mejora y rendimiento.		Justo a Tiempo (JIT) y Teoría de Restricciones (TOC), Gestión de la Calidad Total (TQM), Gestión de los Recursos Humanos (RRHH), Mantenimiento Productivo Total (TPM), Sistemas de información (TIC), Estrategia de Fabricación, Desarrollo de Nuevos Productos (NPD), Gestión de la Cadena de Suministro (SCM) y Tecnología (Tec.).

Tabla 1: Resumen de las rondas del estudio internacional HPM

Los datos utilizados se recogieron como parte de la tercera ronda del proyecto: “*High Performance Manufacturing (HPM)*” (Fabricación de Alto Rendimiento), que se basó en las experiencias obtenidas en las dos rondas anteriores, así como en una revisión extensa de la literatura relevante sobre HPM y fue llevado a cabo por un equipo de investigadores de diversas universidades de los Estados Unidos, Europa y Asia. El equipo español del estudio estaba formado por grupos de investigación de cuatro universidades: *Universidad de Sevilla, Universidad Politécnica de Valencia, Universidad Complutense de Madrid y Universidad Pública de Navarra*, abarcando todas las zonas geográficas del país. La metodología utilizada es correlacional dentro del estudio no experimental sobre HPM, ya que trata de visualizar cómo se relacionan o vinculan diversos fenómenos entre sí, es decir se evalúa el grado de relación entre dos variables y en este caso el estudio analiza el grado de implementación de los métodos TQM y TPM

y la relación que dichos métodos tienen en el rendimiento de las plantas industriales (distinguiendo dos tipologías de plantas industriales: PAR y PRE). La información fue recogida mediante cuestionarios en 265 plantas industriales. Para analizar la fiabilidad, validez y consistencia interna, se realizaron diferentes pruebas estadísticas y no estadísticas como el alfa de Cronbach (1951), la medida de fiabilidad conceptual de Fornell y Larcker (1981), el análisis del factor confirmatorio y correlaciones, pares entre otras.

La muestra de plantas industriales distinguía dos tipologías: *Plantas de Alto Rendimiento (PAR)* y *Plantas de Rendimiento Estándar (PRE)*. En España no existe ninguna base de datos que recoja las principales PAR en el área de producción/operaciones. Por ello, y tras un profundo análisis, se acordó usar como fuente de identificación de las PAR, el *directorío Duns*, que considera estas plantas como las principales en España por volumen de facturación. Se escogió la muestra de forma aleatoria simple del 35% de las primeras plantas del listado *Duns*. Además, cabe destacar que dichas plantas también aparecen catalogadas como líderes por otras fuentes (*Revista de Manutención y Almacenaje, Price Waterhouse Coopers, Industry Week*). La identificación de las PRE incluyó el 65% restante del listado de *Duns*. Además se utilizaron otras fuentes de información como: *AETIC, AFM, DBK, Europages, Fábricas de España, Gulame, Kompas, SERNAUTO, SABI* y *Thomas Global Register*, para la determinación de las PRE. A nivel internacional, la distinción de ambas tipologías de plantas se realizó clasificando las PAR como aquellas plantas que habían recibido un reconocimiento público en forma de premios internacionales utilizando listados de prestigiosas revistas como *Shingo Prize Award, Deming Prize e Industry Week Best Plants Award*. El presente estudio recogió la información de 265 plantas participantes de Alemania, Austria, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Finlandia, Italia, Japón y Suecia, aunque tan sólo se utilizó la información proporcionada por 179 plantas del total debido a que las plantas industriales alemanas, austriacas y suecas no fueron clasificadas según su tipología en PAR y PRE.

A las plantas que manifestaron su interés en participar en el estudio, se les distribuía un conjunto de 21 cuestionarios para que fueran cumplimentados por empleados de diferente nivel organizativo y con diversas funciones, siendo éstos: 10 directores de diferentes áreas (planta, producción, contabilidad, recursos humanos, control de producción, calidad, sistemas de información, materiales (inventario), procesos y desarrollo de productos), 6 supervisores de planta y 5 operarios.

Finalmente, se procedió a la codificación (para asegurar la confidencialidad) y entrada de la información en la base de datos HPM y al análisis de los resultados.

Detalles adicionales de los procedimientos de recopilación de datos se puede encontrar en Huang et al. (2008); y Sanchis et al. (2009 y 2010). Cerca del 60 % de las plantas industriales españolas contactadas decidieron participar en el estudio y suministraron la información

pertinente mediante la cumplimentación de los cuestionarios para su análisis (Ortega, 2007).

### 3. RESULTADOS

El modelo actual de HPM engloba diferentes tipos de prácticas avanzadas. En el presente estudio se analiza el grado de implementación de las prácticas avanzadas de producción de TQM y TPM tanto en PAR como en PRE, con el fin de cuantificar el rendimiento global de las diferentes plantas y comparar ambos tipos, quedando fuera del ámbito de este artículo el estudio y análisis del grado de utilización de otras prácticas avanzadas del modelo HPM. Se puede encontrar información adicional sobre estudios del proyecto HPM que analizan las diferentes prácticas en Bozarth et al. (2009), que analizan la gestión de la cadena de suministro; Hallgren y Olhager (2009), que exploran las estrategias de fabricación y Ortega et al. (2009), que estudian las prácticas de estrategias de fabricación y tecnología. La Tabla 2 recoge diferentes promedios de una serie de medibles económicos y de capacidad que evidencian las diferencias entre las PAR y las PRE.

Medible	PAR	PRE	% PAR vs PRE
Valor de las ventas por producción anuales (€ 000)	532.391	283.140	+88%
Costes de fabricación anuales (€ 000)	307.289	232.626	+32%
Porcentaje de los costes de fabricación = mano de obra directa (%)	11,96%	17,42%	-31%
Porcentaje de los costes de fabricación = Materiales (%)	70,58%	63,67%	+11%
Porcentaje de los costes de fabricación = Gastos generales (%)	17,46%	18,90%	-8%
Porcentaje de los materiales procedentes de fuera de la empresa	77,00%	86,00%	-10%
Porcentaje de los materiales procedentes de fuera del país	28,50%	25,70%	+11%
Valor de los inventarios (promedio anual) = Productos terminados (€ 000)	9.064	4.783	+89%
Valor de los inventarios (promedio anual) = trabajo en proceso (€ 000)	9.073	4.844	+87%
Valor de los inventarios (promedio anual) = Materias primas (€ 000)	25.851	6.758	+283%
Inversión neta en planta y equipo (€ 000)	56.730	44.179	+28%
Inversión anual en instalaciones y equipo (€ 000)	19.357	7.673	+152%
Número anual de horas de operación de la planta	4.167	3.495	+19%
Número de personal temporal empleado	507	281	+80%
Número de personal fijo empleado	469	316	+48%
Tiempo de ciclo total (días)	30	33	-9%
Tiempo medio de entrega (días)	39	30	+30%
Porcentaje de órdenes entregadas a tiempo	91%	88%	+3%
Espacio utilizado por la planta (metros cuadrados)	634.780	82.598	+669%

Tabla 2: Comparativa de promedios de medibles económicos y de capacidad entre PAR y PRE

Como se deriva de la comparativa anterior, si bien las PAR arrojan un tamaño medio mayor, la muestra de PRE se compone de empresas de un tamaño suficiente para minimizar

la influencia de dicha característica. Además, los costes de fabricación de mano de obra directa son en general menores en las PAR, lo que podría deberse a la implementación en sus plantas de prácticas avanzadas de producción, y a que su porcentaje de pedidos entregados a tiempo es ligeramente superior respecto a las PRE.

Los cuestionarios de cada planta fueron agregados para obtener las valoraciones definitivas sobre cada uno de los métodos de las prácticas de TQM y TPM. Se realizaron diferentes análisis estadísticos con la finalidad de averiguar la relación existente entre la implementación de determinados métodos de TQM y TPM y el rendimiento de las plantas. Se definieron 4 niveles para la agrupación de la escala relativa al grado de implementación de los métodos de cada práctica según la media de los valores +/-1 de desviación típica definiendo 3 puntos de corte. El nivel 1, es aquel en el que las empresas poseen un grado bajo de implementación, en el nivel 2, el grado de implementación es medio, y los niveles 3 y 4 muestran los grados de implementación altos y muy altos, respectivamente. Centrándose en el nivel 4, en el cual el grado de implementación de los métodos de TQM y TPM es el más alto, se calcularon las diferencias porcentuales entre PAR y PRE, lo cual ofrece una visión de en qué métodos existe una mayor diferencia entre su grado de implementación entre ambos tipos de plantas. Las Figs. 1 y 2 muestran dichas diferencias.

Se puede observar como las PAR poseen un grado de implementación de los métodos TQM superior a las PRE. Los métodos de TQM de control de procesos, orientación al cliente, asociación con proveedores y TQM conectada con los clientes, son las técnicas más correlacionadas con el alto

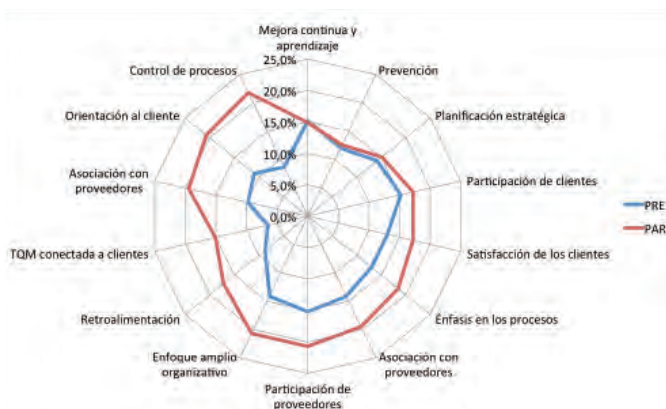


Figura 1: Resultados comparativos entre PAR y PRE de métodos de TQM

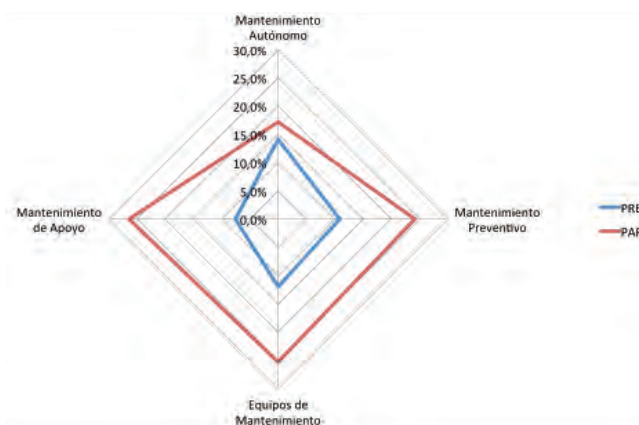


Figura 2: Resultados comparativos entre PAR y PRE de métodos de TPM

		Corea del Sur	España	EEUU	Finlandia	Italia	Japón
TQM	Limpieza y organización			B	B		
	Mejora continua y aprendizaje			C			
	Orientación al cliente				A		
	Participación de clientes		A				
	Satisfacción de los clientes	C				C	
	Retroalimentación	B					A
	Enfoque amplio organizativo						B
	Prevención						
	Control de procesos	A					C
	Énfasis en los procesos			A			
	Asociación con proveedores				A	B	
	Participación de proveedores en el proceso de calidad				B	C	
	Planificación estratégica de la calidad		B			A	
	TQM conectada a clientes		C				
TPM	Mantenimiento Autónomo	B	C		C		C
	Mantenimiento Preventivo	A	B	C	B	C	B
	Mantenimiento de apoyo		A	A	A	A	A
	Equipos de Mantenimiento	C		B		B	

Tabla 3: Ranking de los métodos de TQM y TPM según los diferentes países del estudio

rendimiento, mientras que no existen diferencias significativas en los métodos de mejora continua y aprendizaje, prevención y planificación estratégica de la calidad. Por tanto, cabe destacar que estos tres últimos métodos son utilizados con el mismo grado de implementación entre las diferentes plantas.

En el caso de la práctica avanzada de TPM, el grado de implementación del método de mantenimiento de apoyo es el que en mayor medida se diferencia entre las PAR y PRE, aunque también cabe destacar que existen diferencias significativas en los métodos de mantenimiento preventivo y equipos de mantenimiento. El grado de implementación del mantenimiento autónomo es muy similar tanto en PAR como en PRE.

Con el objetivo de identificar diferencias entre las empresas en los diferentes países del estudio, se realizó una comparativa entre las PAR y PRE de los métodos de TQM y TPM cotejando la información de los métodos implementados. Tal y como se ha comentado anteriormente, los datos de los cuestionarios fueron clasificados en 4 niveles. El nivel 1, es aquel en el que las empresas poseen un grado bajo de implementación, en el nivel 2, el grado de implementación es medio, y los niveles 3 y 4 muestran los grados de implementación altos y muy altos respectivamente de métodos TQM y TPM. En la comparativa por países, el objetivo es contrastar las diferencias existentes entre PAR y PRE en el nivel 4 (mayor grado de implantación). En la Tabla 3 se muestra el ranking de los métodos de TQM y TPM en los que existen mayores diferencias en su nivel de implementación entre PAR y PRE, según los países participantes. El valor A significa que es el método que mayores diferencias presenta en el grado de implementación

en el nivel 4 entre PAR y PRE, seguido de los valores B y C.

Como se puede observar, el método de TPM más ampliamente utilizado por las PAR de casi todos los países participantes es el de mantenimiento de apoyo, mientras que en el caso de los métodos de TQM, existe una gran dispersión en el grado de implementación de los diferentes métodos según los países del estudio.

Respecto a la dimensión sectorial (Tabla 4), se observa que la ventaja competitiva de las PAR en los sectores de la electrónica y maquinaria se debe principalmente al método de TQM de retroalimentación, mientras que en el caso del sector de automoción, el alto rendimiento de las plantas de Clase Mundial se debe a su orientación al cliente. Y, en relación con los métodos de TPM, casi todos los sectores presentan que el mantenimiento de apoyo es el método que ofrece una mayor correlación con la HPM.

Con objeto de comprobar para qué métodos de TQM y TPM las dos muestras de PAR y PRE presentan medias diferenciadas, se aplicó la prueba de Levene para la igualdad de varianzas y la prueba T para la igualdad de medias obteniendo que los métodos para los que se aprecia una diferencia en las medias coinciden con el análisis comparativo anterior.

Se realizaron también las mismas pruebas estadísticas para los diferentes medibles de rendimiento de las plantas industriales, estudiando las diferencias de rendimiento entre PAR y PRE, obteniendo que las medidas de rendimiento en negrita y subrayadas de la Tabla 5 son las que presentan mayores diferencias.

Las medidas de rendimiento que mayores diferencias presentan entre PAR y PRE son la *innovación de los productos y el apoyo al cliente*. Ambas medidas están muy relacionadas con los métodos de TQM y TPM, que también presentan una gran diferenciación entre PAR y PRE. Desde la perspectiva de calidad, dichos métodos son de orientación al cliente y TQM conectada con clientes, cuyo objetivo es dirigirse hacia el cliente para conocer sus necesidades y de esta forma desarrollar productos innovadores que cumplan sus requisitos. Desde la perspectiva del mantenimiento, los métodos que mayores diferencias en el grado de implementación presentan entre PAR y PRE son: *mantenimiento de apoyo y equipos de mantenimiento*. Estos últimos se centran en equipos multi-funcionales expertos en estudiar la viabilidad de los equipos para la fabricación de nuevos productos innovadores que satisfagan las necesidades de los clientes y que, por tanto, contribuyan a las medidas

		Automoción	Electrónica	Maquinaria
TQM	Limpieza y organización			
	Mejora continua y aprendizaje			
	Orientación al cliente	A	C	
	Participación de clientes			
	Satisfacción de los clientes	C		
	Retroalimentación		A	A
	Enfoque amplio organizativo			
	Prevención			
	Control de procesos	B	B	
	Énfasis en los procesos			C
	Asociación con proveedores			
	Participación de proveedores en el proceso de calidad			
	Planificación estratégica de la calidad			B
TQM conectada a clientes				
TPM	Mantenimiento Autónomo	C	C	
	Mantenimiento Preventivo	B	B	C
	Mantenimiento de apoyo	A	A	B
	Equipos de Mantenimiento			A

Tabla 4: Ranking de los métodos de TQM y TPM según los diferentes sectores del estudio: Au (Automoción), E (Electrónica) y M (Maquinaria).

Medidas de rendimiento	Prueba T para la igualdad de medias						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
						Inferior	Superior
Fabricación por unidad de coste	1,76	153	0,08	0,23202	0,13160	-0,02798	0,49201
<b>Conformidad con las especificaciones del producto</b>	2,55	161	<b>0,012</b>	0,28345	0,11131	0,06364	0,50327
<b>Rendimiento en el tiempo de entrega</b>	2,57	161	<b>0,011</b>	0,33554	0,13037	0,07810	0,59299
Entrega rápida	0,63	162	0,532	0,08333	0,13314	-0,17958	0,34625
<b>Flexibilidad en los cambios en el mix de productos</b>	2,46	159	<b>0,015</b>	0,28684	0,11672	0,05632	0,51736
<b>Rotación de inventarios</b>	2,31	156	<b>0,022</b>	0,31346	0,13563	0,04555	0,58137
Ciclo de vida (desde las materias primas hasta la entrega de productos)	1,71	156	0,089	0,20032	0,11723	-0,03125	0,43189
Velocidad en la introducción de nuevos productos en la planta	1,93	158	0,056	0,27500	0,14258	-0,00660	0,55660
<b>Capacidad y rendimiento de los productos</b>	2,15	159	<b>0,033</b>	0,25864	0,12060	0,02046	0,49682
<b>Lanzamiento a tiempo de nuevos productos</b>	2,29	156	<b>0,024</b>	0,31987	0,13995	0,04343	0,59631
<b>Innovación de los productos</b>	2,98	157	<b>0,003</b>	0,43354	0,14549	0,14618	0,72091
<b>Apoyo y servicio al cliente</b>	2,64	162	<b>0,009</b>	0,35476	0,13447	0,08921	0,62031

Tabla 5: Prueba T para la igualdad de medias de las diferentes medidas de rendimiento

de rendimiento anteriores. La *conformidad con las especificaciones del producto* y el *lanzamiento a tiempo de nuevos productos* son otras medidas de rendimiento que están alineadas con los métodos de TQM y TPM mencionados arriba y que mayores diferencias presentan en cuanto a la tipología de plantas industriales.

Las medidas de rendimiento según el país y sector siguen la misma tendencia observada en el análisis anterior y están alineadas a las diferencias entre el grado de implementación de los métodos de TQM y TPM entre PAR y PRE.

#### 4. DISCUSIÓN

El análisis realizado muestra que existen diferencias significativas entre el grado de implementación de métodos TQM y TPM entre la diferente tipología de plantas industriales. Dichas diferencias varían según el sector analizado siendo más relevantes en el sector de la automoción y la electrónica y muy escasas en el sector de la maquinaria, lo cual da a entender que las plantas industriales de los dos primeros sectores poseen una implementación mayor de ciertos métodos de TQM y TPM y esto impacta directamente en su mayor rendimiento de fabricación frente a aquellas que no poseen ciertos métodos implantados o los tiene en menor medida y por ello su rendimiento es inferior. Dichas diferencias también varían según el país estudiado, siendo Corea del Sur y Estados Unidos los que presentan un mayor porcentaje de diferenciación en términos absolutos en el grado de implementación de los métodos de TQM,

entrando Italia también en el ranking de diferenciación para los métodos de TPM.

Por todo ello, cabe destacar que las plantas industriales correlacionadas con el alto rendimiento suelen tener altos niveles de implementación de los métodos de control de procesos, orientación al cliente, asociación con proveedores y TQM conectada con clientes (TQM) así como el mantenimiento de apoyo (TPM), hecho que no presentan las plantas industriales estándares.

Por último, señalar que también se encuentran diferencias significativas en las variables de rendimiento por sectores, encontrando mayores diferencias en el sector de la automoción, seguido del sector de la electrónica y siendo casi inexistentes en el sector de maquinaria. Las diferencias en los medibles de rendimiento siguen la misma tendencia que el grado de implementación de métodos TQM y TPM, aunque cabe destacar que en el presente estudio tan sólo se ha estudiado el impacto de dos prácticas avanzadas de producción y los medibles de rendimiento también son función del grado de implementación de otras prácticas avanzadas de producción del modelo actual de HPM como serían por ejemplo *Justo a Tiempo*, *Gestión de los Recursos Humanos*, *Sistemas de Información*, *Estrategia de Fabricación*, *Desarrollo de Nuevos Productos*, *Gestión de la Cadena de Suministro* y *Gestión de la Tecnología*. Por ello, un análisis combinado de la implantación de todas las prácticas ofrecería una mejor visión de su impacto en el rendimiento de las plantas y de las diferencias observadas entre las PAR y las PRE.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido parcialmente financiado por el Proyecto DPI2006-05531 "HPM Project-Spain: Proyecto para la Manufactura de Alto Rendimiento (High Performance Manufacturing)" del Ministerio de Educación y Ciencia. Dirección General de Investigación y por el Proyecto P08-SEJ-03841 "HPM-Manufactura de Alto Rendimiento. Cuarta Ronda Internacional" de la Junta de Andalucía.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Abdallah AB, Matsui Y. "JIT and TPM: Their Relationship and Impact on JIT and Competitive Performances". *Actas del 9th International Asian-Pacific Decision Sciences Conference* [en línea]. 2007 [consulta: 4 mayo 2009], p.1-16. Disponible en World Wide Web: <[http://as.nida.ac.th/resource/asconf\\_resource/apdsi2007/papers/Final\\_129.pdf](http://as.nida.ac.th/resource/asconf_resource/apdsi2007/papers/Final_129.pdf)>
- Bozarth CC, Warsing DP, Flynn BB et al. "The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance". *Journal of Operations Management*. 2009. Vol.27 p.78-93
- Cronbach L. J. "Coefficient Alpha and the internal structure of tests". *Psychometrika*. 1951. Vol. 16, p.297-334
- Cua KO, McKnoe KE, Schroeder RG. "Relations between implementation of TQM, JIT and TPM and manufacturing performance". *Journal of Operations Management*. 2001. Vol.19 p.675- 694
- Dennis P. *Lean Production Simplified: A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System*. 1ª Edición. New York: Productivity Press, 2002. 224p. ISBN: 978-1563272622
- Espolita L. "¿Qué mantenimiento debemos hacer?" *DYNA Ingeniería e Industria*. 2000. Vol.75 p.49-54
- Flynn BB, Schroeder RG, Flynn E.J. "World Class Manufacturing. An Investigation of Hayes and Wheelwright's Foundation". *Journal of Operations Management*. 1999. Vol.17 p. 249-269
- Fornell C, Larcker D.F. "Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error." *Journal of Marketing Research*. 1981. Vol. 18, p. 39-50.
- Forza C, Salvador F. "Information flows for high-performance manufacturing". *International Journal Production Economics*. 2001. Vol.70 p. 21-36
- Galar-Pascual D, Berges-Muro L, Royo-Sanchez J. "La Problemática de la Medición del Rendimiento en la Función Mantenimiento." *DYNA Ingeniería e Industria*. Junio 2010. Vol. 85-5 p.429-438
- Hackman JR, Wageman R. "Total Quality Management: empirical, conceptual, and practical issues". *Administrative Science Quarterly*. 1995. Vol.40-2 p. 309-342
- Hallgren M, Olhager J. "Lean and agile manufacturing: external and internal drivers and performance outcomes". *International Journal of Operations & Production Management*. 2009. Vol.29-10 p. 976-999.
- Huang X, Kristal MM, Schroeder R.G. "Linking learning and effective process implementation to mass customization capability". *Journal of Operations Management*. 2008. Vol.26 p. 714-729
- Ishikawa Karoru. *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. 1ª Edición. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985. 240p. ISBN: 978-0139524332
- Juran Joseph Moses, Gryna Frank. M *Juran's Quality Control Handbook*. 4ª Edición. New York: McGraw-Hill, 1988. 1774p. ISBN: 978-0070331761
- Nakajima, Seiichi. *Introduction to TPM: total productive maintenance*. 1ª edición. Cambridge: Productivity Press, 1988. 129p. ISBN: 978-0915299232
- Ohno Taiichi. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. 1ª edición. Portland: Productivity Press, 1988. 152p. ISBN: 978-0915299140
- Ortega-Jiménez CH. "Interrelación Estrategia de Operaciones-Tecnología y su Impacto sobre el Rendimiento de Producción: Análisis Empírico Sectorial en el Proyecto HPM Internacional". Directores: Domínguez-Machuca JA, Garrido-Vega P. Universidad de Sevilla, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, 2007
- Ortega CH, Machuca JAD, Garrido P, et al. "Manufacturing Strategy and Technology Interaction: Fit Line & Impact". *Actas del 20th Annual Conference of Production and Operation Management Society*, [en línea]. 2009 [consulta: 6 mayo 2009], p. 795-849. Disponible en World Wide Web: <<http://www.pomsmeetings.org/ConfProceedings/011/FullPapers/011-0795.pdf>>
- Powell TC. "Total Quality Management as competitive advantage: a review and empirical study". *Strategic Management Journal*. 1995. Vol.16-1 p. 15-27
- Rodríguez-Darnes P. "Participación de Mantenimiento en la Competitividad Industrial" *DYNA Ingeniería e Industria*. Febrero 2000. Vol. 75-1 p.10-16
- Sanchis R, Poler R, Mula J, et al. "Análisis del impacto de la Gestión de la Calidad Total en la Fabricación de Alto Rendimiento." En: *Actas del 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management - XIII Congreso de Ingeniería de Organización, (Barcelona-Terrassa, 2-4 Septiembre 2009)*, v.l. 2009. p. 1762- 1770. ISBN: 978-84-7653-388-8
- Sanchis R, Poler R, Mula J, et al. "Análisis del Impacto del Mantenimiento Productivo Total en la Fabricación de Alto Rendimiento." En: *Actas del 4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management - XIV Congreso de Ingeniería de Organización, (Donostia- San Sebastián, 8 -10 Septiembre 2010)*, v.l. 2010. p. 1177- 1186. ISBN: 978-84-95809-79-7
- Schroeder Roger, Flynn Barbara. *High Performance Manufacturing-Global Perspectives*. 1ª edición. New York: Wiley, 2001. 320p. ISBN: 978-0471388142

# Relaciones causales en el Modelo Europeo de Excelencia



Fernando Tejedor-Panchón\*  
Gonzalo Tejedor-Panchón\*  
Aurelio Muñoz-Rubio\*\*  
Rafael González-Palma\*\*  
José María Portela-Núñez\*\*  
Andrés Pastor-Fernández\*\*

Ingeniero Industrial  
Ingeniero Técnico Industrial  
Doctor por la Universidad de Cádiz  
Dr. en CC. Físicas  
Ingeniero de Organización Industrial  
Doctor por la Universidad de Cádiz

\* Sinergy. Concejal Francisco Ballesteros, 4. 41018 Sevilla. Tfno: +34 954577998. tejedor@sinergy.es

\*\* Universidad de Cádiz. Escuela Superior de Ingeniería. C/ Chile, 1-11002 Cádiz.  
Tfno: +34 956 015142

Recibido: 10/02/2011 • Aceptado: 05/09/2011

## Causal relations in the European Excellence Model

### ABSTRACT

• The EFQM Model is widely used by organizations as a reference to guide its management, in pursuit of excellent results for its stakeholders. However, this model has not been formulated based on empirical studies, and does not explain the causal relationships between its criteria, so it is necessary to confirm its validity and to explore these relationships. Structural Equation Models are a statistical technique that is particularly suited to the study of the interrelationships between the various criteria that structure the EFQM Model, and the causal relationships between them, so that model users can have a greater control of the results for each stakeholder.

The results of this study confirm the relationships among the criteria of the Model, and provide information on relevant influences that impact the results for each of the stakeholders.

• **Keywords:** EFQM Model, Structural Equation Modeling (SEM), Total Quality Model (TQM), Enabler Criteria, Performance Criteria.

### RESUMEN

El Modelo EFQM es ampliamente utilizado por las organizaciones como referencia para orientar su gestión, en la búsqueda de resultados excelentes para sus grupos de interés. Sin embargo, este modelo no ha sido formulado tomando como base estudios empíricos y no explicita las relaciones causales entre sus criterios componentes, por lo que se hace necesario confirmar su validez y explorar dichas relaciones. Los Modelos de Ecuaciones estructurales constituyen una técnica estadística que se adapta especialmente bien al estudio de las interrelaciones entre los distintos criterios que estructuran el Modelo EFQM y de las relaciones causales entre éstos, de forma que los usuarios del modelo puedan disponer de un mayor control sobre los resultados para cada grupo de interés.

Los resultados de este estudio confirman las relaciones entre los criterios del modelo y aportan información sobre las influencias relevantes para la obtención de resultados para cada uno de los grupos de interés.

**Palabras Clave:** Modelo EFQM, Modelos de Ecuaciones Estructurales,

Calidad Total, Criterios Agentes, Criterios Resultados.

### 1. INTRODUCCIÓN

Para alcanzar el éxito a largo plazo, las organizaciones necesitan disponer de bases fundamentadas que permitan orientar su gestión al logro de este fin. Los principios de las teorías de gestión que originalmente se denominaron como *Calidad Total* (TQM) proporcionan las bases para una gestión orientada al éxito a largo plazo y son el fundamento para modelos que han evolucionado hacia el concepto de excelencia en la gestión, como el *Modelo Europeo de Excelencia* o *Modelo EFQM*. Este modelo aporta una visión global de la gestión de las organizaciones, orientada a proporcionar resultados equilibrados para todos sus grupos de interés.

El Modelo EFQM [1] postula que “los resultados excelentes en el Rendimiento general de una Organización, en sus Clientes, Personas y en la Sociedad en la que actúa, se logran mediante un Liderazgo que dirija e impulse la Política y



Estrategia, que se hará realidad a través de las Personas, las Alianzas, los Recursos y los Procesos”. Aunque el modelo EFQM se ha revisado en 2010, su estructura y principios se mantienen.

La Fig. 1 representa el Modelo EFQM, en el que los aspectos de la gestión de las organizaciones, denominados “Criterios Agentes” serían los causantes de los resultados para cada grupo de interés (denominados “Criterios Resultados” en el Modelo).

Sin embargo, aunque el Modelo asume principios generalmente aceptados en el campo de la gestión de la calidad total, la formulación del Modelo EFQM no obedece a estudios empíricos, y las relaciones causales que asume entre los “Criterios Agentes” y “Criterios Resultados” no se explicitan detalladamente en su formulación [2-3].



Figura 1: Modelo EFQM

Algunos estudios han analizado la relación entre el conjunto de los Agentes y el conjunto de los Resultados [4], o las relaciones entre los propios criterios Agentes [5-8].

El presente estudio tiene por objeto profundizar en el análisis de las interrelaciones entre los distintos Criterios Agentes y cada uno de los Criterios Resultados, identificando los criterios agentes sobre los que debería centrar sus esfuerzos una organización si desea mejorar los resultados para un determinado grupo de interés.

Para ello se utilizarán técnicas estadísticas aplicadas sobre las puntuaciones alcanzadas por una muestra de organizaciones evaluadas en base al Modelo EFQM.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS. METODOLOGÍA

Los Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM) constituyen un marco general para el análisis estadístico de las relaciones entre distintas variables. Sus orígenes se encuentran en técnicas como el análisis “path”, desarrollado por Stewal Wright [9]. Su propósito, de acuerdo con Ullman [10], es permitir “el examen de un conjunto de relaciones entre una o más variables independientes, y una o más variables dependientes”. Las variables pueden ser, a su vez, variables

medidas o variables latentes. Las variables medidas, también llamadas variables observadas o indicadores, son variables que pueden ser observadas y medidas directamente. Las variables latentes son variables que no pueden ser observadas directamente, y tienen que ser inferidas a partir de sus efectos en las variables observadas. Las variables latentes reciben también el nombre de constructos (sociología), factores (análisis factorial) o variables no observadas

Esta técnica se adapta bien al análisis de la estructura del Modelo EFQM, ya que éste incluye una metodología para puntuar el grado de excelencia alcanzado en cada uno de los subcriterios en los que se estructura cada Criterio del Modelo EFQM. Si consideramos los Criterios del Modelo como variables latentes, pueden utilizarse las puntuaciones de cada subcriterio relacionado como indicadores del grado de excelencia alcanzado en dicho Criterio.

El estudio se ha basado en las puntuaciones correspondientes a 168 evaluaciones de candidaturas presentadas al Premio Andaluz a la Excelencia en sus convocatorias de 2002 y 2003, y al Premio Vasco a la Calidad de Gestión (Q Plata y Q Oro) en sus convocatorias en los años 2001, 2002 y 2003.

La metodología de evaluación utilizada se basa en el esquema lógico REDER (Resultados, Enfoque, Despliegue, Evaluación y Revisión). En el proceso de evaluación de estos premios de excelencia, cada organización candidata presenta una memoria de actividades y resultados en la que describe cómo está tratando cada uno de los subcriterios agentes y qué resultados está alcanzando para cada uno de los subcriterios Resultados. Utilizando como base esta memoria cada subcriterio se puntúa de 0 a 100 mediante una matriz de valoración. De acuerdo a esta matriz, en los subcriterios agentes, se valora el enfoque con el que se trata

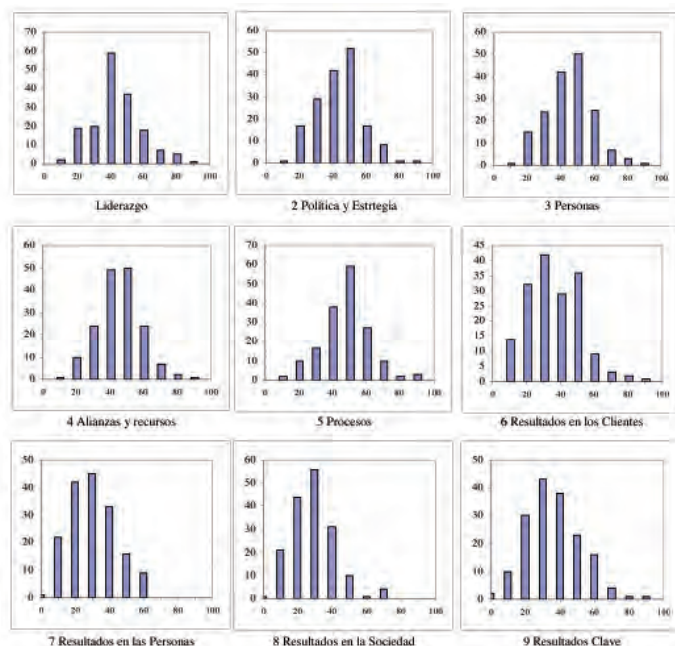


Figura 2: Distribución de las puntuaciones del estudio por Criterio del Modelo EFQM

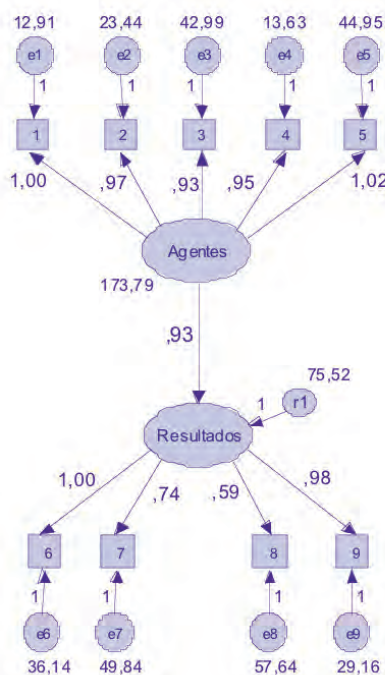
de alcanzar los resultados planificados, cómo se despliega este enfoque, cómo se evalúa y revisa el enfoque de acuerdo a su efectividad y cómo se mejora el enfoque mediante la innovación y el aprendizaje. En los subcriterios resultados se valora su magnitud en cuanto a lo satisfactorio de los rendimientos y la solidez de las tendencias, el cumplimiento de objetivos propios, la comparación con los resultados de otras organizaciones y el grado de causalidad entre los enfoques y los resultados. Así mismo se evalúa el grado en que los resultados abarcan todas las áreas relevantes.

La Fig. 2 muestra distribución de las puntuaciones por criterio de las evaluaciones utilizadas en el estudio.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La hipótesis fundamental del Modelo EFQM postula que la excelencia en los agentes causa la excelencia en los resultados. El modelo básico de la Fig. 3 se ha construido para analizar mediante modelos de ecuaciones estructurales la relación entre una variable abstracta que representa la

Modelo 02  
Variables Latentes Agentes-Resultados  
Unstandardized estimates



Indices de Ajuste:

CMIN/df=2,930  
GFI=,878  
CFI=,773  
RMSEA=,107 [.080 - ,136]  
ECVI=,684 [.549 - ,864]

Figura 3: Modelo Básico

excelencia alcanzada en el conjunto de los agentes, y una variable abstracta que representa la excelencia alcanzada en el conjunto de los resultados. El comportamiento de estas variables puede ser observado utilizando como indicadores las puntuaciones alcanzadas en sus respectivos criterios.

Para evaluar el grado de ajuste global del modelo se han elegido diversos índices de bondad de ajuste. Los valores de los índices de bondad de ajuste del Modelo 02, y los criterios de evaluación de estos índices se resumen en la Tabla 1.

Índice	Modelo 02	Criterio de evaluación
CMIN/DF	2,930	Valores de 3 o menores indicarían un ajuste aceptable
GFI	0,878	Por convención debe ser mayor o igual a 0.90 para aceptar el modelo.
CFI	0,773	Por convención valores iguales o superiores a 0.90 indican un ajuste aceptable
RMSEA	0,107	Por convención valores menores o iguales a 0.08 indican un ajuste adecuado
ECVI	0,684	Utilizado para comparar modelo, cuanto menor es el valor, mejor es el ajuste

Tabla 1: Índices de ajuste del Modelo Básico

Algunos índices no superan los valores de corte convencionalmente aceptados para considerar un buen ajuste, aunque el valor de CMIN/df estaría en el límite del rango considerado aceptable por Kline [12] al ser inferior a 3, y el intervalo de confianza para RMSEA tiene como límite inferior 0,08, que coincide con el valor de corte para considerar el modelo adecuado.

	Coficiente Estructural (no estandarizado)	Estimación	P	
Resultados	<---	Agentes	0,93	<0,001

Tabla 2: Relación entre Agentes y Resultados en el Modelo Básico

La Tabla 2 muestra que el análisis del Modelo Básico estima un valor de 0,93 para el coeficiente estructural entre ambas variables (estimaciones no estandarizadas), lo cual confirmaría que, efectivamente, la actuación sobre el conjunto de los agentes tiene una influencia relevante sobre el conjunto de los resultados.

Beltrán [13] también encuentra una relación significativa entre el conjunto de los agentes y el conjunto de los resultados del Modelo EFQM utilizando un modelo de ecuaciones estructurales que incluye un número superior de variables endógenas. Esta conclusión justificaría la estrategia que han adoptado numerosas organizaciones al centrar sus esfuerzos en mejorar la excelencia de su gestión como medio para mejorar el conjunto de sus resultados.

Sin embargo, la utilidad del Modelo EFQM como herramienta de gestión dependerá también de su capacidad para permitir a las organizaciones mantener un grado de control sobre los resultados para cada grupo de interés, de forma que si una organización pretende, por ejemplo, mejorar sus resultados en los clientes, necesitaría conocer sobre qué criterios agentes deberá actuar preferentemente, concentrando sus esfuerzos y recursos de la forma más eficiente. Para explorar estas relaciones se han analizado diversos modelos, desde el más general, que considera las interrelaciones de todos los agentes con todos los resultados, pasando por modelos que consideran las relaciones directas de liderazgo o política y estrategia con los resultados, hasta llegar al modelo de la Fig. 4, que es el que muestra un mejor ajuste a los datos, con relaciones significativas y coherentes con la teoría.

Coefficiente Estructural (estandarizado)	Estimación	P
R. Personas	<--- Personas	0,702 0,004
Cientes	<--- Procesos	0,247 0,014
Cientes	<--- R. Personas	0,741 0,004
Resultados	<--- Recursos	0,312 0,009
Sociedad	<--- Recursos	0,727 0,004
Resultados	<--- Clientes	0,693 0,004

Tabla 3: Relaciones en el Modelo Detallado

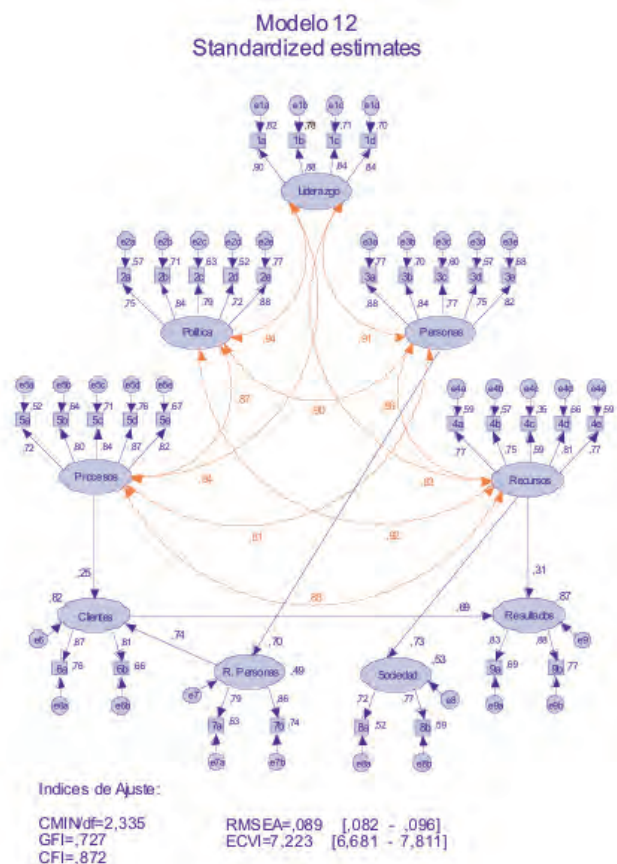


Figura 4: Modelo Detallado

La Tabla 3 muestra los coeficientes estructurales que representan el impacto de las distintas causas sobre cada variable, y que se han estandarizado para poder comparar su importancia relativa sobre dicha variable.

Los resultados en los clientes muestran una influencia relevante sobre los resultados clave, con un coeficiente estructural de 0,69, superior al 0,31 que presenta la gestión de recursos y alianzas.

A su vez, el impacto de los resultados en las personas sobre los resultados en los clientes es determinante, con un coeficiente de 0,74 frente al 0,25 de la gestión de los procesos.

De acuerdo a estas conclusiones, si una organización pretende mejorar la excelencia de sus resultados clave no sólo deberá mejorar la gestión de sus alianzas y recursos, sino que deberá centrar sus esfuerzos prioritariamente en mejorar los resultados en los clientes. Para ello deberá a su vez mejorar la gestión de los procesos y, fundamentalmente, los resultados en las personas.

La importancia de la satisfacción del personal en cuanto a su influencia en la satisfacción del cliente, y a través de éste en los resultados financieros, ha sido establecida en numerosos estudios [14-23]. Igualmente, la influencia de los procesos en la satisfacción del cliente ha sido observada en diversas investigaciones, si bien la relación se suele asociar principalmente al impacto de la variabilidad de los procesos en la insatisfacción del cliente [24-25].

Sin embargo, el modelo analizado explica únicamente el 49% de la varianza de los resultados en las personas como consecuencia directa de las actividades de gestión de las personas. Esto indicaría que los elementos del Modelo EFQM, con las relaciones analizadas, dejarían por explicar casi la mitad de la varianza en los resultados en las personas, que se debería a factores externos o relaciones no contemplados en este modelo.

Puede construirse un modelo alternativo teniendo en cuenta el concepto *Service-Profit* [26], que propone un modelo que liga el servicio con los resultados financieros a través de una cadena de relaciones:

- La rentabilidad y el crecimiento están estimulados primordialmente por la lealtad del cliente.
- La lealtad es un resultado directo de la satisfacción del cliente.
- La satisfacción está ampliamente influenciada por el valor de los servicios proporcionados al cliente.
- El valor es creado por empleados satisfechos, leales, y productivos.
- La satisfacción de los empleados deviene primordialmente de las políticas y de los servicios de soporte internos, que permiten a los empleados proporcionar resultados a los clientes.

En coherencia con esta propuesta, el modelo de la Fig. 5 contempla tanto el impacto de las actividades de Gestión de las Personas, como la posible influencia de la gestión de los Procesos en los Resultados en las Personas.

Coeficiente Estructural (estandarizado)		Estimación	P	
Sociedad	<---	Recursos	0,71	0,004
R. Personas	<---	Personas	0,222	0,135
R. Personas	<---	Procesos	0,181	0,207
R. Personas	<---	Sociedad	0,523	0,004
Cientes	<---	Procesos	0,188	0,121
Cientes	<---	R. Personas	0,779	0,004
Resultados	<---	Recursos	0,28	0,023
Resultados	<---	Cientes	0,718	0,004
Correlación		Estimación	P	
Liderazgo	<-->	Politica	0,937	0,004
Liderazgo	<-->	Personas	0,904	0,004
Liderazgo	<-->	Procesos	0,839	0,004
Liderazgo	<-->	Recursos	0,833	0,004
Personas	<-->	Procesos	0,797	0,004
Politica	<-->	Recursos	0,92	0,004
Politica	<-->	Personas	0,892	0,004
Recursos	<-->	Procesos	0,876	0,004
Personas	<-->	Recursos	0,849	0,004

Tabla 4: Relaciones en el Modelo Alternativo

También se ha explorado el posible impacto de los resultados en la sociedad sobre los resultados en las personas, teniendo en cuenta el concepto de salario social [27] en relación al reconocimiento o prestigio en el entorno derivado de la imagen de la organización.

Los índices de ajuste de este modelo mejoran ligeramente con respecto al anterior, tal como puede apreciarse en la Tabla 6. Así mismo, la varianza explicada de los resultados en las personas aumenta hasta un 68%.

No obstante, en la Tabla 4 puede observarse que las correlaciones entre los criterios agentes son muy altas, por lo que sería verosímil pensar que comparten un factor causante común. La exploración de un modelo alternativo, en el que la única variable independiente fuera el liderazgo de la dirección, permite llegar a la propuesta del modelo de la Fig. 6, cuyos resultados se describen en la Tabla 5.

Coeficiente Estructural (estandarizado)		Estimación	P	
Politica	<---	Liderazgo	0,945	0,003
Recursos	<---	Politica	0,925	0,005
Sociedad	<---	Recursos	0,718	0,005
Personas	<---	Politica	0,915	0,008
Procesos	<---	Politica	0,889	0,009
R. Personas	<---	Personas	0,202	0,089
R. Personas	<---	Procesos	0,201	0,153
R. Personas	<---	Sociedad	0,528	0,005
Cientes	<---	Procesos	0,179	0,121
Cientes	<---	R. Personas	0,787	0,006
Resultados	<---	Recursos	0,285	0,014
Resultados	<---	Cientes	0,718	0,005

Tabla 5: Relaciones en el Modelo con una variable exógena

Este modelo proporciona índices de ajuste ligeramente peores a los modelos que consideran cada criterio agente como variable independiente. No obstante, la diferencia es muy pequeña, como para rechazar la hipótesis de que el liderazgo de la Dirección es la única variable realmente independiente.

En este sentido, algunos trabajos que han analizado las relaciones entre los criterios agentes [5-8] concluyen que éstos no se gestionan de manera independiente.

La Tabla 6 resume los índices de bondad de ajuste alcanzados para cada uno de los modelos de relaciones entre subcriterios considerados.

Índice	Modelo 12	Modelo 20	Modelo 27
CMIN/DF	2,335	2,266	2,282
GFI	0,727	0,735	0,729
CFI	0,872	0,879	0,876
RMSEA	0,089	0,087	0,088
ECVI	7,223	7,034	7,087

Tabla 6: Índices de bondad de ajuste de los modelos

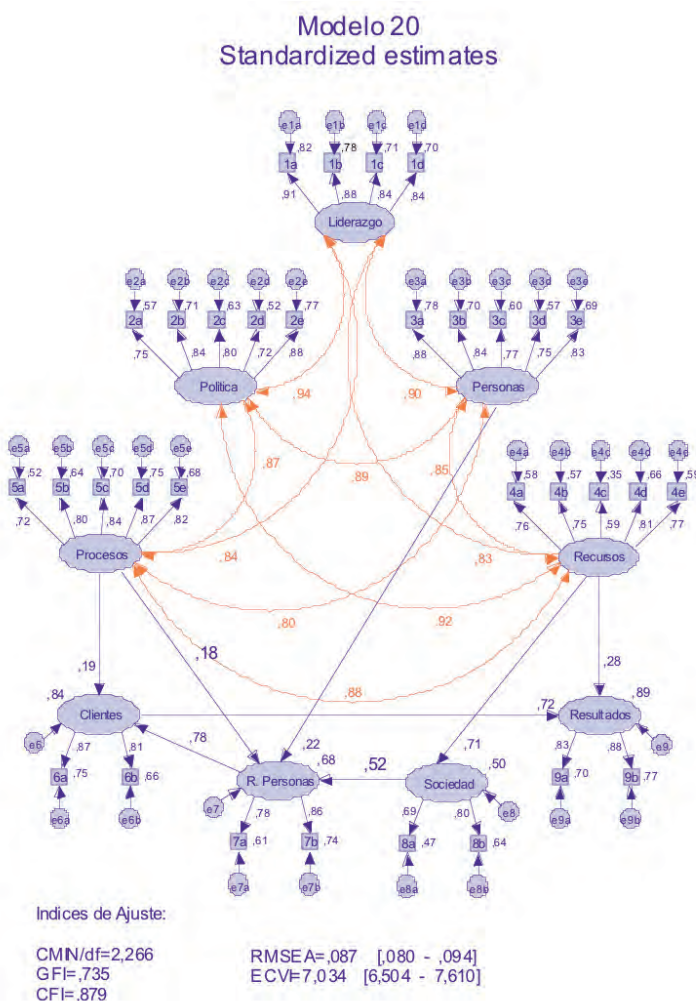


Figura 5: Modelo Alternativo

Modelo 27  
Standardized estimates

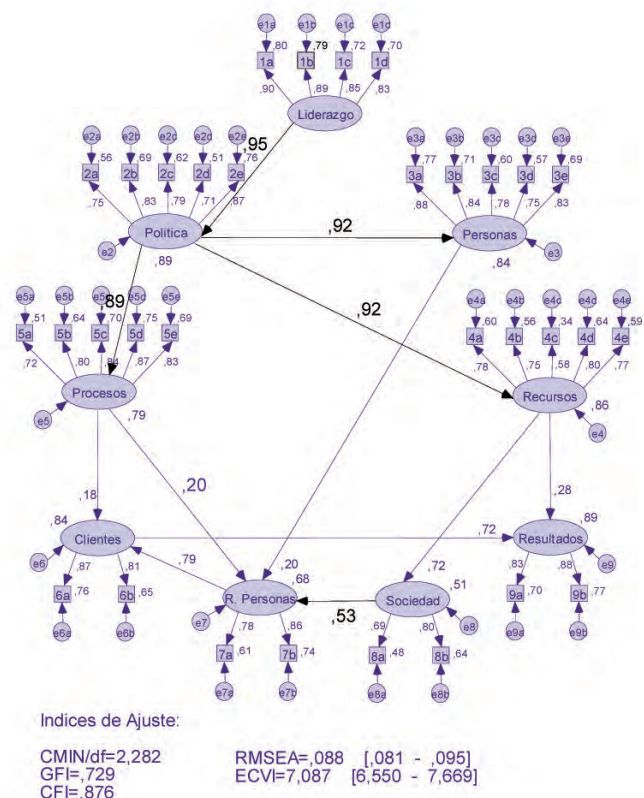


Figura 6: Una única variable exógena

#### 4. CONCLUSIONES

La hipótesis fundamental del Modelo EFQM postula que la excelencia en los agentes causa la excelencia en los resultados. Los resultados de este estudio muestran que, efectivamente, la actuación sobre el conjunto de los agentes tiene una influencia relevante sobre el conjunto de los resultados.

Esta conclusión justificaría la estrategia que han adoptado numerosas organizaciones al centrar sus esfuerzos en mejorar la excelencia de su gestión como medio para mejorar el conjunto de sus resultados.

Sin embargo, la utilidad del Modelo EFQM como herramienta de gestión dependerá de su capacidad para permitir a las organizaciones mantener un grado de control sobre los resultados para cada grupo de interés, de forma que si una organización pretende, por ejemplo, mejorar sus resultados en los clientes debería conocer sobre qué criterios agentes debería actuar preferentemente, concentrando sus esfuerzos y recursos de la forma más eficiente.

En este sentido, el análisis de la estructura del Modelo EFQM muestra que, si una organización pretende mejorar la excelencia de sus resultados clave no sólo deberá mejorar la gestión de sus alianzas y recursos, sino que deberá centrar

sus esfuerzos prioritariamente en mejorar los resultados en los clientes. Para ello deberá, a su vez, mejorar la gestión de los procesos y, fundamentalmente, los resultados en las personas.

En este sentido los resultados en las personas se ven influenciados por la gestión de las personas, la gestión de los procesos y por los resultados en la sociedad. La influencia de los resultados en la sociedad puede ser interesante como justificación de los esfuerzos realizados por las organizaciones en materia de responsabilidad social corporativa.

Por otra parte, se observa que las correlaciones entre los criterios agentes son muy altas, por lo que sería verosímil pensar que comparten factor causante común. El análisis de un modelo alternativo en el que la única variable independiente es el liderazgo de la dirección proporciona índices de ajuste similares a los modelos que consideran cada criterio agente como variable independiente.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Eupan Foundation for Quality Management Modelo EFQM de Excelencia, 2003.
- [2] Kanji GK, Kanji S. "Business Scorecard". *Total Quality Management*. 2002, Vol. 13, No. 1.
- [3] Westlund AH. *Is there a correlation between business excellence and financial performance*. Lucerne: Presentation at the EFQM Forum 2001, 10-12 October 2001.
- [4] Beltrán I et al. *La estructura de interrelaciones entre los Criterios del Modelo EFQM de Excelencia*. 2004.
- [5] Dijkstra. "An empirical interpretation of the EFQM framework". *Journal of work and organizational ps 1 hology*. 1997, Vol. 6, p.321-34.
- [6] Eklidsen K. "Identifying the vital few using the European Foundation for Quality Management Model". *Total Quality Management*. 1998, Vol. 9, p. 592-595.
- [7] Eklidsen D. "A causal model for employee satisfaction". *Total Quality Management*. 2000, Vol. 11, p.1081-1094.
- [8] Kristensen E. "Benchmarking Excellence". *Measuring Business Excellence*. 2001, Vol. 5, p.19-23.
- [9] Wright S. "Correlation and causation". *Journal of Agricultural Research*, (1921), 20, p. 557-587.
- [10] Ullman JB. *Structural equation modelling (In:Using Multivariate Statistics, Third Edition, B.G. Tabachnick and L.S. Fidell, Eds.)*. Harper Collins College Publishers. New York, NY.1996.p. 709-819.
- [11] Browne MW. "Asymptotically Distribution-Free Methods for the Analysis of Covariance Structures". *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*. 1984, Vol. 37, p.62-83.
- [12] Kline RB. *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: The Guilford Press, 1998.
- [13] Beltrán I et al. *La estructura de interrelaciones entre los Criterios del Modelo EFQM de Excelencia*, 2004.
- [14] Reichheld F. *The Loyalty Effect: The Hidden Force Behind Growth, Profits and Lasting Value*, Harvard Business School Press, Boston, MA, 1996.
- [15] Sasser et Schlesinger. Randy Brooks, "Why Loyal Employees and Customers Improve the Bottom Line," *Journal for Quality & Participation* (March 2000).
- [16] Zeithaml VA. "Service quality, profitability, and the economic worth of customers: what we know and what we need to learn". *Journal of the Academy of Marketing Science*. 2000, Vol. 28 No. 1, p. 67-85.
- [17] Koska MT. "High quality care and hospital profits: is there a link?". *Hospitals*. 5 March 1990, p. 62-63.
- [18] Nelson E., Rust R.T. Zahorik, A., et al. "Do patient perceptions of quality relate to hospital financial performance?". *Journal of Healthcare Marketing*. December 1992, p. 1-13.
- [19] Aaker D, Jacobson R. "The financial information content of perceived quality". *Journal of Marketing*. May 1994, Vol. 58, p. 191-201.
- [20] Anderson EW, Fornell C, Lehmann DR. "Customer Satisfaction, Market Share, and Profitability: Findings from Sweden". *Journal of Marketing*, 1994, Vol 58, p.53-66.
- [21] Buzzell R, Gale B. *The PIMS Principles: Linking Strategy to Performance*, The Free Press, New York, NY. 1987.
- [22] Hallowell R. "The relationship of customer satisfaction, customer loyalty and profitability: an empirical study". *International Journal of Service Industry Management*. 1996, Vol. 7 No. 4, p. 27-42.
- [23] Fornell C. "A national customer satisfaction barometer: the Swedish experience". *Journal of Marketing*. Vol. 56, January, pp. 6-21. 1992.
- [24] Frei FX, Harker PT, Hunter L. *Inside the Black Box: What Makes a Bank Efficient, Working Paper*, Wharton Financial Institutions Center, The Wharton School, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA. 1997.
- [25] Tsiriklitsis N, Heineke J. "The impact of process variation on customer dissatisfaction: evidence from the U.S. domestic airline industry". *Decision Sciences*. 2004.Vol 35 N1.
- [26] Heskett JL, Jones TO, Loveman, Gary W et al. "Putting the Service-Profit Chain to Work". *Harvard Business Review*, March/April, 1994.
- [27] HAY Group 2002. *Gestión del talento*.

# DISEÑO DE COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS.

## Camino hacia la viabilidad de la energía termosolar



José M. Sierra-Velasco  
José L. Cortizo-Rodríguez  
Álvaro Noriega-González  
Eduardo Rodríguez-Ordóñez  
Esteban Fernández-Rico

Dr. Ingeniero Industrial  
Dr. Ingeniero Industrial  
Dr. Ingeniero Industrial  
Dr. Ingeniero Industrial  
Dr. Ingeniero Industrial

Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón. Campus de Gijón.  
Edificio Departamental Oeste, 5 - 33203 Gijón. Tfn: +34 985 182420.  
jmsierra@uniovi.es

Recibido: 17/05/2011 • Aceptado: 07/11/2011

## *In search of feasibility Thermal Energy using Parabolic Trough Design*

### ABSTRACT

- This article describes a collaborative activity between faculty members from the Mechanical Engineering Department of the University of Oviedo and engineers from the TERMOPOWER company to develop a prototype of a parabolic trough that allowed the company to acquire the know-how required for the industrial development of this type of equipment that allows them to enter the solar market, with a design based on technical and economic criteria. It identifies all the critical design elements, the interception factor and its influence on the parabolic trough's efficiency. We describe the loads to be considered, wind speed, deformation criteria and methodology used. This paper shows how simulation software, 3D modeling and finite element calculation play a crucial role nowadays in looking for optimal design. It also shows how the interception factor is affected by reflector misalignment or tracking errors.
- **Keywords:** Solar thermoelectric, parabolic trough collector, prototypes, 3D modeling, mechanism simulation.

### RESUMEN

En este artículo se describe una colaboración Universidad-Empresa, llevada a cabo entre profesores del área de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oviedo e Ingenieros de la empresa *TERMOPOWER*. Esta colaboración ha desarrollado un prototipo de colector cilindro-parabólico, que permite a la empresa adquirir el conocimiento necesario para el desarrollo industrial de este tipo de equipamientos e introducirse en el mercado termosolar, con un diseño que aúne criterios técnicos y económicos.

Se identifican todos los elementos críticos en el diseño, y su influencia en el factor de interceptación y en la eficiencia del equipo. Se analiza en detalle la influencia en el factor de interceptación de errores de seguimiento o de desalineación del reflector. Se describen las cargas a considerar, velocidades de viento, deformaciones admisibles y metodología de cálculo utilizada.

Se muestra como el software de simulación, modelado 3D y cálculo por elementos finitos, cumple una función imprescindible hoy día de cara a un diseño de detalle óptimo.

**Palabras clave:** Energía solar termoelectrica, colectores cilindro-parabólicos, prototipos, modelado 3D, simulación de mecanismos.

### 1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, ha habido una apuesta de los gobiernos de los países desarrollados para fomentar el desarrollo de las energías alternativas, entre otras la energía solar termoelectrica basada en el empleo de Colectores Cilindro-Parabólicos (CCP). En Noviembre de 2010, España era el primer productor mundial de ENERGÍA TERMOSOLAR, con 432 MW de potencia instalada, y las empresas de nuestro país lideraban los proyectos en este sector a nivel internacional. Sin embargo, en el actual contexto de crisis internacional se hace más importante aún cumplir los objetivos planteados en el año 2000, que

preveían la necesidad de disponer de un mercado competitivo que permitiese en el horizonte del 2020 comercializar esta energía a un precio del 0,04 €/kWh (Geyer, 2000), ver Figura 1, a fin de garantizar así la libre competitividad de esta energía en los mercados, sin necesidad de subvenciones estatales.

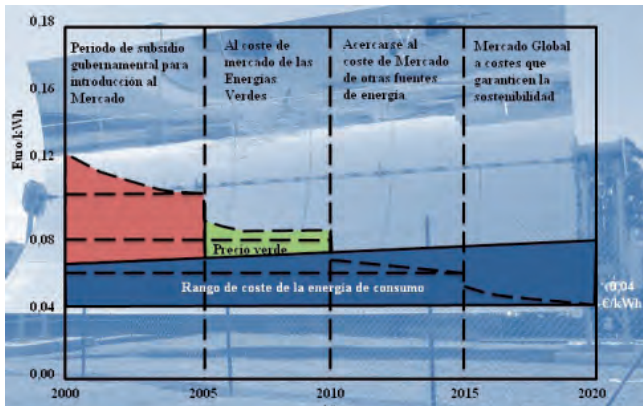


Fig.1: Evolución del coste de la energía solar termoeléctrica

En la actualidad el coste de generación eléctrica con estas tecnologías está aún entre los 0,15 a 0,18 €/kWh para las centrales basadas en tecnología de colectores cilindro-parabólicos, (Abánades-Velasco et al, 2010).

En el mundo, las zonas donde este tipo de generación de energía eléctrica está teniendo mayor crecimiento se concentra en tres áreas, EEUU, MENA (Middle East and North Africa) y España. En un futuro muy próximo otros países como India, China y Australia serán también mercados importantes.

En el norte de África y Oriente Medio se ha comenzado por instalaciones de Ciclo Combinado de gas integrado con energía solar (ISCC). En EE.UU. y España (ver Figura 2) las plantas son básicamente solares. La mayoría de las plantas son de tecnología cilindro-parabólica.

EVOLUCIÓN DEL SECTOR EN ESPAÑA, Potencia en MW							
REGIÓN	AÑO	2006	2008	2009	2010	>2011	TOTAL
ANDALUCÍA		11	50	120	167	5.423	5.771
ARAGÓN						565	565
CASTILLA LEÓN						300	300
CASTILLA LA MANCHA				50	100	853	1.003
CATALUÑA						80	80
C. VALENCIANA						50	50
EXTREMADURA					200	2.250	2.450
MADRID						62	62
MURCIA				2	30	500	532
<b>TOTAL</b>		<b>11</b>	<b>50</b>	<b>172</b>	<b>497</b>	<b>10.083</b>	<b>10.813</b>

Fig.2: Evolución del sector en España. Fuente (Fresneda - IDAE, 2009)

En este entorno, las cifras que se mueven en este tipo de plantas son una referencia importante más a tener en cuenta.

En la actualidad se construyen plantas termosolares basadas en colectores cilindro-parabólicos de 50 MW y la tendencia de futuro es ir a instalaciones de más de 200 MW de potencia (Fresneda-García, 2009). Para este tamaño, se necesita una superficie de unos 500.000 m<sup>2</sup> y unos 93 km de colectores cilindro-parabólicos. Por tanto, los objetivos evidentes para reducir costes y acercarse a los 0,04 €/kWh de coste de energía planteados, pasan por mejorar el diseño de los colectores cilindro-parabólicos en busca de una reducción de costes de fabricación y montaje, mayor fiabilidad y durabilidad de los mismos. Para ello, se puede actuar sobre los siguientes factores:

- Mayor precisión óptica y de seguimiento.
- Disminución de pérdidas de calor.
- Mayor simplicidad de fabricación.
- Disminución de pesos y costes.
- Mejora de la rigidez por torsión y flexión estructural bajo cargas de viento.
- Reducción del número de componentes
- Mejora de la resistencia a la corrosión.

Habría otros factores a considerar, si bien los más importantes desde el punto de vista del diseño de un colector cilindro-parabólico son los enumerados.

## 2. COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS (CCP)

Se describe a continuación un colector cilindro-parabólico y su función.

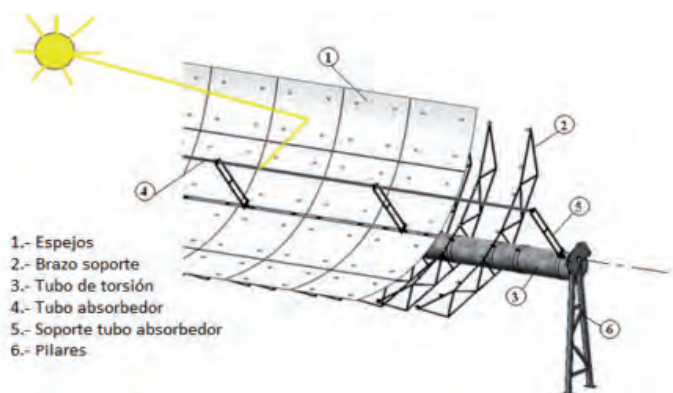


Fig.3: Módulo de colector cilindro-parabólico

Básicamente, un módulo de colector cilindro-parabólico (CCP), ver Figura 3, está constituido por una estructura, que hace de soporte de los reflectores (normalmente espejos de vidrio), que conforman una superficie parabólica, en cuyo foco se sitúa, mediante unos soportes articulados, un tubo absorbedor. La radiación solar es reflejada por los espejos hacia el foco calentando dicho tubo, por el que circula un fluido (en la actualidad, aceite), que es calentado entre unas

temperaturas que habitualmente oscilan de 293°C a 391°C aproximadamente. La estructura soporte de cada módulo apoya en dos pilares en sus extremos y va unida a la siguiente mediante uniones atornilladas.

La longitud de colectores necesaria para incrementar la temperatura del fluido calo-portador en el rango de temperaturas de trabajo normalmente utilizadas, (293°C a 391°C aprox.) se conoce como “lazo”. Utilizando colectores con una apertura o ancho de parábola de 5,77 m. y una distancia focal de 1,71 m, se llega a una longitud de lazo próxima a los 600 m, constituido por cuatro unidades con accionamiento propio, conocidas por su terminología en inglés como “Solar Collector Assembly” (SCA), de unos 148,5 m, ver Figura 4. Dicha longitud se consigue con 12 módulos simples alineados, 6 a cada lado de una torre central con un accionamiento único. La estructura soporte gira respecto de su eje longitudinal, para hacer el seguimiento del sol a lo largo del día de este a oeste.



Fig. 4: Tramo central de un SCA con torre de accionamiento

## 2.1. ESTADO DE LA TÉCNICA

Se van a revisar ahora los componentes básicos de un CCP y las opciones y tendencias de la industria tras las experiencias de los últimos años.

### 2.2.1. Reflectores

La mayoría de las plantas en funcionamiento emplean como reflectores espejos de vidrio. Dos de las compañías que suministran estos espejos tienen su sede en Asturias, *Saint Gobain Cristalera Española* y *Rioglass Solar*. Ambas comercializan un espejo templado de 4 mm de espesor, garantizan una reflectancia especular del 94 %, y en la actualidad están consolidados frente a otras opciones para los reflectores como pueden ser espejos de aluminio, (se puede citar ALMIRR del grupo Alucoil), que tienen una reflectancia especular menor que el vidrio, (del 87,5 %), pero a cambio garantizan mayor resistencia lo que mejora su manipulación sin peligro de rotura. Finalmente hay una tercera opción, un film reflectante, de muy bajo espesor (0,1 mm), que se pega a un sustrato de aluminio y alcanza valores de reflectancia especular del 94 %, igual que los espejos de vidrio, Reflec Tech es un fabricante que ha instalado su film en un campo solar en EEUU y lo ha tenido funcionando por más de 20 años ya. También Alanod Solar, una compañía alemana suministra un film, de entre 0,3 a 0,4 mm de espesor, con una reflectancia especular próxima al 93 %.

En este elemento, hay también varias empresas desarrollando e investigando nuevos productos, con dos

objetivos claros: alta reflectividad especular y durabilidad. En este momento, la tendencia generalizada es emplear reflectores de vidrio.

### 2.2.2. Tubo absorbedor

Hasta la fecha, todas las centrales SEGS (*Solar Electric Generation Systems*) han utilizado aceite como líquido calo-portador. A medio plazo, se trabaja en la generación directa de vapor (Montes-Pita, 2008), pero esto presenta problemas técnicos en el diseño de los tubos absorbedores aún sin resolver. Estos tubos, ver Figura 5, están constituidos por un tubo de acero por el que circula el aceite, con un recubrimiento exterior especialmente desarrollado para aumentar la capacidad de absorción de radiación y minimizar la emitancia. Además este tubo de acero va dentro de otro de vidrio exterior y, entre ambos, se hace el vacío para reducir al mínimo las pérdidas de calor.



Fig. 5: Tubo absorbedor

En la actualidad hay dos grandes fabricantes que monopolizan el mercado, una empresa alemana (*SHOTT Solar*) y una israelí (*Solel Solar System Ltd*).

Es este un componente caro, que se suministra en largos de 4,060 m. (una central de 50 MW, utiliza unos 22.000 tubos). En la actualidad se estudian posibles alternativas, con diseños novedosos que reduzcan los costes de fabricación y comienzan a surgir otros competidores. Hoy en día las investigaciones se centran en nuevos recubrimientos que permitan operar en temperaturas por encima de los 550 °C. También es objeto de estudio el empleo de otros fluidos calo-portadores

### 2.2.3. Estructura

La principal discusión existente hasta ahora enfrenta dos posibles diseños para la estructura (ver Figura 6). Por un lado, el diseño de estructura espacial de celosía, con la que se fabricaron las primeras instalaciones y que tiene múltiples variantes, empleando perfiles laminados de tubo (redondo, cuadrado, rectangular), incluso perfiles tubulares de aluminio sin soldaduras. Por otro lado, está el diseño de tubo de torsión, que, en nuestra opinión, posiblemente sea la opción de futuro, por ser más rígido a la torsión y flexión, y de más sencilla fabricación y montaje. Esta es la opción por la que se ha decidido *TERMOPOWER*.





Fig. 6: Izquierda: Estructura con tubo de torsión. TERMOPOWER.  
Derecha: Estructura de celosía espacial.

En la actualidad, los espejos de vidrio tienen pegada por la parte posterior de los mismos cuatro placas cerámicas con una tuerca roscada embutida que sirve de sistema de fijación a la estructura del CCP, siendo en este punto donde durante el montaje se pueden absorber pequeños defectos de fabricación de la estructura.

Se verifica también que el centro de gravedad del conjunto montado coincida con su eje de giro. Así, el conjunto estará perfectamente equilibrado y el mecanismo de accionamiento no tendrá que vencer pares distintos a los debidos a las cargas de viento y al de fricción en los cojinetes debido al peso propio.

#### 2.2.4. Torre de accionamiento y pilares

En la Figura 7 se pueden ver referenciadas las dos unidades tipo en las que se agrupan los CCP en las plantas termosolares, el "SCA" y el "lazo".

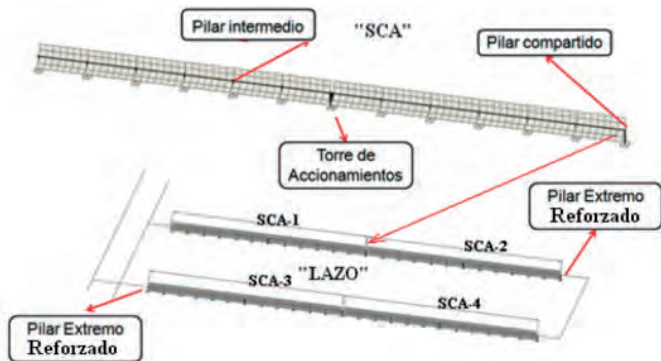


Fig. 7: Posición de los distintos tipos de sustentación en un lazo (4x1SCA).

Como sistemas de accionamiento para el movimiento de giro de la línea de colectores de un SCA, se han empleado hasta la fecha tres tipos de accionamientos: a) basados en un motorreductor, b) basados en actuadores hidráulicos rotativos, dos cilindros hidráulicos que mueven una cremallera que a su vez engrana y hace girar un piñón, y c) mediante dos cilindros hidráulicos lineales que accionan un balancín al que se articulan estos sobre dos orejetas desfasadas.

Teniendo en cuenta que el movimiento de giro para el seguimiento del sol es muy lento que en condiciones de viento por encima del óptimo de servicio, exigen pares importantes,

la precisión de movimiento y los costes de mantenimiento, el mecanismo más robusto que parece imponerse en el mercado es el de orejetas desfasadas, (ver Fig. 8).

Sin embargo, el control de los cilindros no es sencillo ni económico. Esto hace que con frecuencia se produzca la rotura de las cabezas de los cilindros en campo. Por ello, se hace necesario revisar el diseño de los equipos empleados en la actualidad.

Los problemas aparecen debido a que:

- Los dos cilindros se mueven en todo su recorrido a velocidades distintas.



Fig. 8: Orejetas desfasadas

- En partes del recorrido de giro del CCP, los cilindros pueden estar trabajando ambos a tracción o a compresión, o bien uno a tracción y otro a compresión simultáneamente.
- Existen varias posiciones de "punto muerto", dónde el cilindro afectado ha de pasar de estar trabajando a tracción a estar trabajando a compresión.

Una vez construido el primer prototipo de torre de accionamiento con el sistema de orejetas desfasadas, teniendo conocimiento de los problemas de rotura existentes en campo y con la experiencia del desarrollo del control electrohidráulico del sistema, se planteó un nuevo desarrollo, absolutamente innovador y que evita todos los problemas enumerados en el sistema actualmente utilizado por la mayoría de los fabricantes.

El sistema diseñado (ver Fig. 9), está basado en un mecanismo de doble cuadrilátero articulado, accionado de nuevo por dos cilindros hidráulicos, pero que ahora no funcionan por sectores, ni pasan por puntos muertos a lo largo del recorrido, según el giro sea horario o anti-horario. Un cilindro se alarga mientras el otro se acorta a lo largo de todo el recorrido y casi con las mismas velocidades, esto simplifica el control y evita la posibilidad de rotura del anterior diseño.

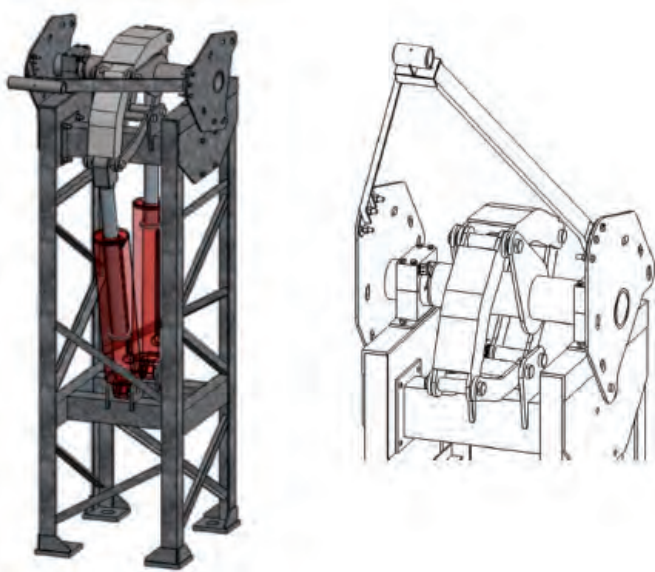


Fig. 9: Nueva torre de accionamiento basada en un mecanismo de doble cuadrilátero.

**2.2.5. Soportes del tubo absorbedor: Heat Collection Element (HCE)**

El tubo HCE es un elemento singular en este tipo de instalaciones, ya que su posición, cuando está en funcionamiento, debe estar situada en el foco de la parábola a fin de aprovechar la radiación solar reflejada en los espejos. Por su interior circula el líquido calo-portador (aceite). El tubo HCE, como ya hemos dicho, viene suministrado en tramos de 4.060 mm de longitud y cada tramo se une por soldadura al siguiente. Esta operación se realiza en campo, una vez la estructura con los espejos del colector ha sido apoyada sobre pilares o torre de accionamiento.

Por otro lado, el fluido calo-portador alcanza a la entrada al lazo 293°C y luego en la longitud del lazo incrementa ésta hasta la temperatura de salida, aprox. 391°C. Estos incrementos de temperatura hacen que el tubo HCE experimente un incremento de longitud considerable, que debe ser absorbido por los soportes (ver Fig. 10).

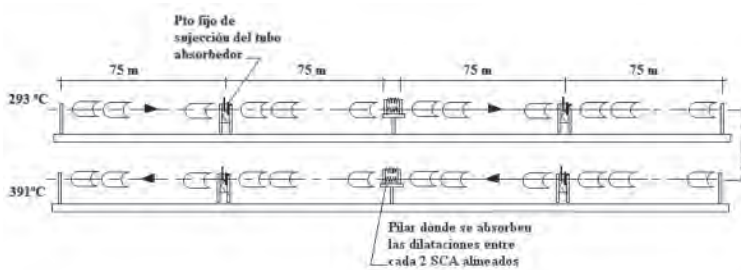


Fig. 10: Torres de accionamiento y pilares compartidos en un lazo, formado por 4 SCA de aprox. 150 m cada uno.

Como se ha indicado los tubos HCE se unen entre sí por soldadura. En la torre de accionamiento de cada SCA hay un soporte al que se suelda el primer tramo de tubo HCE y desde ese punto hacia cada lado, hay una longitud (exactamente de  $4060 \cdot 3 \cdot 6 = 73.080$  mm) de tubo HCE, las dilataciones

en cada tramo de tubo HCE continuo de los ocho tramos existentes por lazo (4 SCA), variarán ligeramente entre sí. Entre cada SCA, hay un pilar compartido, que aloja un dispositivo para compensar las variaciones de longitud al final de cada tramo de SCA con el contiguo. También en los extremos de los dos SCA que van en paralelo para formar el lazo, existe un sistema que compensa de nuevo estas diferencias de longitud.

Se requiere un estudio preciso, para determinar el ancho en los puntos de fijación en cada torre de accionamiento (diferente en cada torre de las cuatro que hay por lazo), y para fijar la posición sobre cada tubo de torsión del CCP en que han de ir soldados los tres soportes que lleva cada uno. Dicha posición no ha de variar de un tubo de torsión a otro, de modo que todos sean iguales e intercambiables (ver Fig. 11).

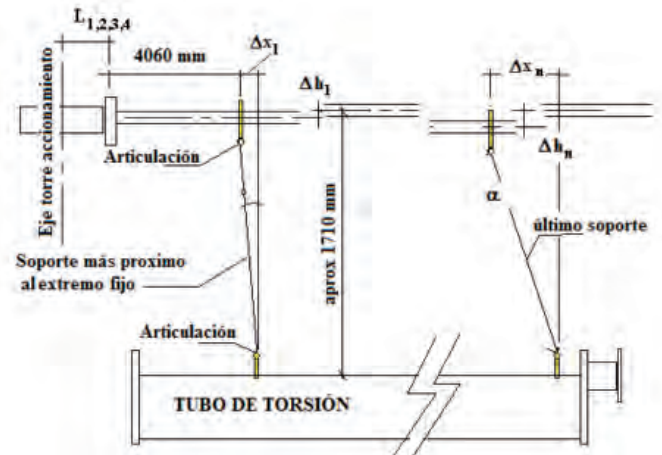


Fig. 11: Debido a las dilataciones térmicas, los soportes de HCE van con distintas inclinaciones

Los soportes de HCE son unas barras articuladas en ambos extremos, en su unión al tubo de torsión y en su unión al tubo HCE. Su longitud y posición sobre el tubo de torsión deberán estar convenientemente calculadas, para que teniendo en cuenta las dilataciones térmicas que experimenta el tubo HCE, este quede situado en el foco teórico a la temperatura de funcionamiento.

**2.2.6. Seguimiento solar**

El rendimiento de un CCP depende, entre otros factores, de la precisión con que el CCP está correctamente orientado según el vector solar que indica la posición del sol en cada momento. Existen métodos de cálculo del vector solar muy precisos, pero también muy costosos y lentos computacionalmente hablando. La referencia es el *Multiyear Interactive Computer Almanac* (MICA).

Para solventar este problema se han desarrollado algoritmos que aproximan el vector solar con suficiente precisión y cuyo coste computacional es muy bajo (Blanco-Muriel et al, 2001), (Grena, 2008). La precisión de estos algoritmos debe ser elevada ya que el rendimiento del CCP

es muy sensible a pequeñas desalineaciones respecto al vector solar teórico y ocasiona que parte de la energía solar incidente se desaproveche.

Dentro del desarrollo del proyecto se han utilizado redes neuronales para modelizar y predecir el vector solar con una precisión del orden del algoritmo desarrollado en el *Ente Nazionale Energie Alternative* (ENEA, Laboratorio Italiano de referencia en temas de energías alternativas) y un orden de magnitud mayor que la del algoritmo desarrollado por técnicos de la *Plataforma Solar de Almería* (PSA) y un coste computacional un orden de magnitud menor que el de ambos.

### 3. HERRAMIENTAS DE DISEÑO

Para el desarrollo y la validación del proyecto, se ha empleado software y técnicas de diseño y cálculo de máxima potencialidad en el campo de la ingeniería actual.

#### Software de simulación cinemática y dinámica.

Este software se ha utilizado fundamentalmente para el estudio y optimización de los mecanismos en la torre de accionamientos: posición, esfuerzos, carrera necesaria de los cilindros, etc.

#### Software de modelado Sólido 3D (diseño paramétrico).

Todos los modelos estudiados, han sido modelados en 3D, mediante software que permite posteriormente pasar a planos de fabricación y listas de materiales, así como editar los modelos en formatos estándar, que nos permitan posteriormente realizar un análisis por elementos finitos (FEM).

#### Software de Cálculo estructural.

Para la comprobación estructural del colector, se ha empleado software de cálculo espacial en 3D, por métodos matriciales de rigidez (ver Figura 12, modelo de colector). En aquellos elementos donde este software no da suficiente información, por ejemplo en los soportes de tubos de vacío y cartelas soldadas al tubo de torsión, unión de las placas

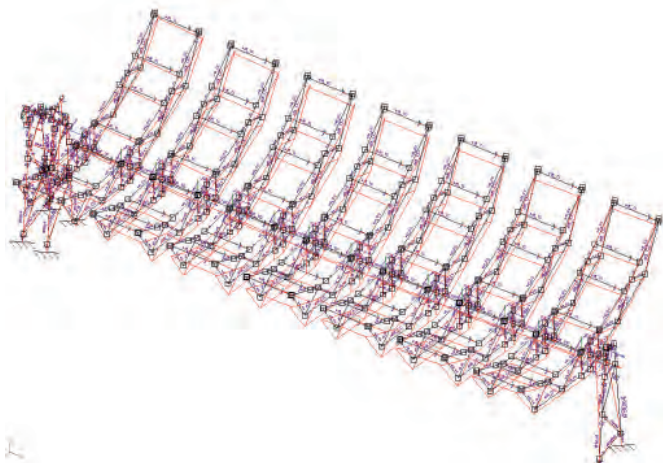


Fig. 12: Deformaciones sobre estructura, pilar intermedio y torre de accionamiento.

extremas al tubo de torsión, etc., se recurre a un software de cálculo por elementos finitos, que permite analizar en detalle este tipo de elementos.

#### Software para circuitos hidráulicos.

El circuito electrohidráulico de control para el seguimiento del sol ha sido implementado previa simulación con software y, utilizando un banco de ensayo, se ha podido probar previamente sobre un prototipo de laboratorio el adecuado comportamiento del sistema diseñado.

#### Software de Cálculo por elementos finitos.

En algunos puntos singulares del CCP es conveniente un estudio en detalle empleando software de cálculo por elementos finitos. Así es interesante analizar las uniones soldadas de las placas finales del tubo de torsión y del tubo que hace de eje de giro entre dos colectores contiguos o también las cartelas soldadas al tubo de torsión donde articulan los soportes del tubo absorbedor (ver Fig. 13).

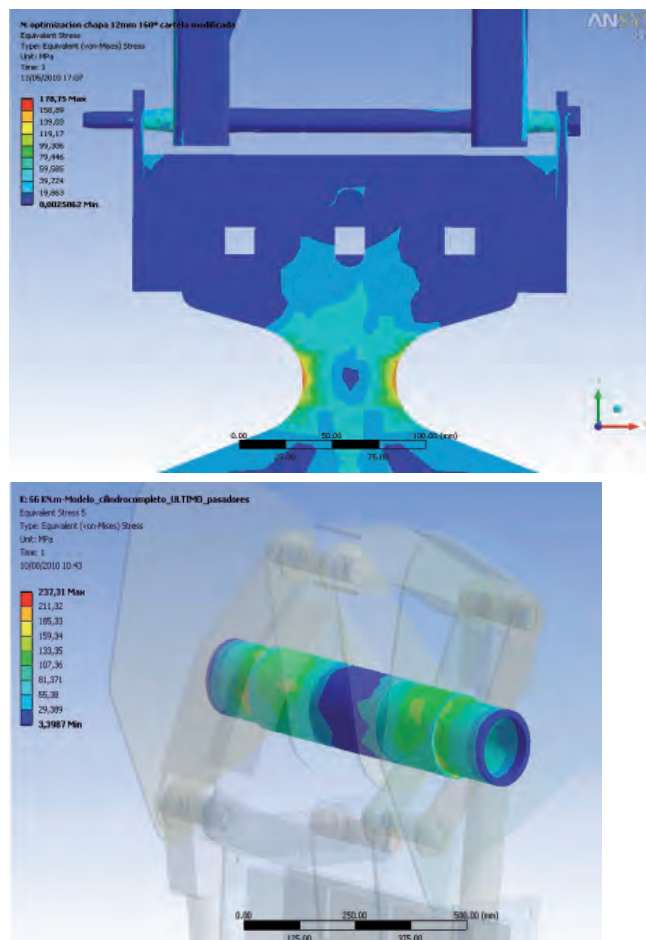


Fig. 13: Tensiones en soporte de tubo HCE y eje de accionamiento

Cuando se aborda un proyecto de desarrollo de un nuevo producto, es evidente que no se puede quedar en los prototipos virtuales, aún con toda la información que nos dan, antes de sacar una serie de fabricación o introducir el

producto en el mercado. En este caso, se construyó un primer prototipo para ensayo en el laboratorio, por un lado, del tubo de torsión y del sistema de amarre de los brazos de celosía que soportan los espejos al tubo de torsión, y por otro, de los propios brazos de celosía, para poder realizar ensayos bajo carga, medir deformaciones, y valorar aspectos como rigidez, manejabilidad, facilidad de fabricación, tolerancias de fabricación esperadas, control necesario en el proceso de montaje final, etc.

#### 4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

La exigencia viene en este momento de la necesidad de optimizar el diseño para reducir los costes de fabricación y montaje, manteniendo las características mecánicas del conjunto que permitan garantizar el adecuado posicionamiento de la parábola respecto del tubo HCE, de forma que se tenga la necesaria eficiencia térmica del conjunto en funcionamiento (Geyer M, 2002).

El equipo se calcula para diferentes emplazamientos, teniendo en cuenta la normativa correspondiente. En este caso se toma como referencia el EUROCODIGO II y el Código Técnico de la Edificación Parte II: DB SE-AE, Acciones en la Edificación (actualizado en BOE de 25 enero de 2008), para definir las acciones a tener en cuenta en el cálculo en función de los distintos emplazamientos posibles. En él se definen:

- Acciones gravitatorias
- Sobrecargas de uso
- Sobrecargas de nieve
- Acciones del viento
- Acciones térmicas
- Acciones sísmicas

Dentro de las cargas mencionadas a considerar en el diseño, un rol muy importante lo tienen las cargas de viento, en este prototipo se han considerado las situaciones de carga que se presentan en la Tabla 1.

Es importante reseñar aquí, que no existe una normativa específica para este tipo de máquinas y, debido a su peculiar

Nivel	Condiciones de operación
1	En cualquier posición se minimizarán las deformaciones del colector de forma que el factor de interceptación ha de ser tan elevado como sea posible bajo un viento de operación inferior a 7 m/s.
2	Ante vientos de tipo medio, hasta 14 m/s, las deformaciones hacen disminuir el factor de interceptación de forma gradual.
3	Transición entre condiciones de operación normales y situación de supervivencia, el accionamiento debe ser capaz de llevar a la posición de supervivencia al colector con vientos entre 14 y 21 m/s.
4	Posición de reposo ante viento de supervivencia (+30° sobre la vertical), definidos por velocidad de 31,3 m/s. Tensiones dentro de tolerancia.

Tabla 1: Condiciones de operación relacionadas con la velocidad del viento.

forma (superficie cóncava de los espejos), y a la variación de la posición a lo largo del día, se hace necesario de cara al planteamiento de las hipótesis de cálculo, un estudio de la variación de la presión del viento para las distintas posiciones del CCP. En este punto se sugiere utilizar valores obtenidos de ensayos en túnel de viento (Hosoya et al., 2008), o bien obtener los valores para nuestro propio colector de un ensayo similar.

Este tipo de ensayos, permite validar los estudios realizados mediante software de análisis de dinámica de fluidos computacional y completar el estudio analizando diferentes situaciones tanto de posición del CCP, como de viento.

#### 5. FACTOR DE INTERCEPTACIÓN

##### 5.1. CONSIDERACIONES DE CÁLCULO

El diseño del CCP, el proceso de fabricación y el montaje del mismo es determinante en la eficiencia óptica final del conjunto. Se considera en este sentido que las características ópticas son independientes de la temperatura (Güven y Bannerot, 1986a).

Se define la eficiencia óptica del colector como el cociente entre la energía que llega a la superficie del tubo absorbedor (receptor) y la que llega a la superficie reflectante del colector. Esta eficiencia óptica depende de:

- Propiedades de los materiales.
  - La transmitancia del vidrio.
  - La absorbancia de la superficie del absorbedor.
  - La reflectancia de la superficie del colector.

- El factor de interceptación.

El factor de interceptación  $\gamma$  es la fracción de la radiación reflejada en el colector que incide en la superficie de absorción del receptor. Contiene los efectos de todos los errores ópticos y a su vez depende de:

- Las dimensiones del colector.
- Los errores en el ángulo de la superficie de espejo parabólico.
- La dispersión del haz de radiación solar.

Güven y Bannerot (Güven y Bannerot, 1986b) clasifican los errores ópticos en:

- Aleatorios:
- Errores en la pendiente
  - Imperfecciones en la superficie del reflector
  - Errores en el transitorio de seguimiento

Estos errores se agrupan en un parámetro  $\sigma$

No aleatorios:

- Errores en el perfil de la superficie reflectante debidos a la distorsión
- Errores sistemáticos en el seguimiento
- Desalineación sistemática del reflector respecto al eje geográfico del colector
- Error en la colocación del receptor respecto al reflector

Estos errores se agrupan en dos parámetros:

Error de seguimiento  $\beta$  [°]

Desalineación del reflector  $(d_r)_y$  [mm]

Los tres parámetros indicados ( $\sigma$ ,  $\beta$ ,  $d$ ) se combinan con:

Diámetro del tubo de absorbedor:  $D$

Ratio de concentración geométrico:  $C = A_\alpha / A_\gamma$

Donde  $A_\alpha$  el área de apertura de la parábola (normal al eje de la parábola) y  $A_\gamma$  el área del receptor por unidad de longitud ( $\pi \cdot D$ ), para producir parámetros universales para todas las geometrías de colector. Estos parámetros universales son:

Error universal aleatorio universal [rad],  $\sigma^* = \sigma \cdot C$

Error universal no aleatorio debido a errores angulares [rad],  $\beta^* = \beta \cdot C$

Error universal no aleatorio debido a descolocación del receptor y del perfil del reflector [rad]

$$d^* = (d_r)_y / D$$

### 5.2. ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE INTERCEPTACIÓN

El factor de interceptación se puede calcular en función del semiángulo de apertura de la parábola ( $\psi$ ) y de los tres errores universales con el código suministrado por **Güven y Bannerot**, que se reproduce a continuación, y que permite obtener el factor de interceptación resolviendo la Ecuación (1) utilizando MATLAB®.

$$\gamma = \frac{1 + \cos \Psi_{mm}}{2 \sin \Psi_{mm}} \int_0^{\Psi_{mm}} \left[ \operatorname{erf} \left\{ \frac{\sin \Psi_{mm} (1 + \cos \Psi) (1 - 2d^* \sin \Psi) - \pi \beta^* (1 + \cos \Psi_{mm})}{\sqrt{2} \pi \sigma^* (1 + \cos \Psi_{mm})} \right\} \right. \\ \left. - \operatorname{erf} \left\{ \frac{\sin \Psi_{mm} (1 + \cos \Psi) (1 + 2d^* \sin \Psi) + \pi \beta^* (1 + \cos \Psi_{mm})}{\sqrt{2} \pi \sigma^* (1 + \cos \Psi_{mm})} \right\} \right] \frac{d\Psi}{(1 + \cos \Psi)} \quad (1)$$

En estos cálculos intervienen magnitudes geométricas del colector ( $\psi$ ,  $C$  y  $D$ ) pero también los parámetros que definen a los errores ( $\sigma$ ,  $\beta$  y  $(d_r)_y$ ) que deben conocerse ya que afectan en gran medida al factor de interceptación. A continuación, se indican (tabla 2) las características principales del colector de **TERMOPOWER** (Kearney DW, 2007).

A partir de estos datos, se puede calcular el semiángulo de la parábola ( $80,3^\circ$ ) y el ratio de concentración geométrico ( $30,61$  ó  $26,24$  respectivamente para los diámetros del tubo absorbedor  $60$  y  $70$  mm).

Si para el parámetro que mide los errores aleatorios, se utilizara el valor estimado,  $\sigma = 0,0064$ , (Brooks M J, 2005)

adecuado para colectores de alta tecnología, se puede ver como varía el factor de interceptación  $\gamma$  cuando varían  $\beta^*$  y  $d^*$  con un tubo absorbedor de diámetro  $70$  mm. El valor máximo del factor de interceptación es de  $0,98$  y se produce cuando los errores universales  $\beta^*$  y  $d^*$  son nulos.

Para ver con más detalle la influencia de los errores en el factor de interceptación  $\gamma$  se representa en la Figura 14 su variación cuando la desalineación del reflector  $(d_r)_y$  varía entre  $0$  y  $15$  mm y para los valores  $0,1^\circ$  y  $0,2^\circ$  grados sexagesimales del error de seguimiento  $\beta$ , considerando un diámetro de tubo absorbedor de  $70$  y  $60$  mm.

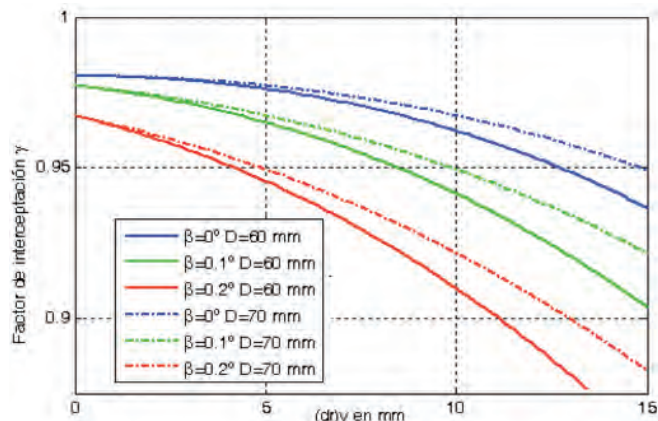


Fig. 14: Variación del factor de interceptación  $\gamma$  función de  $(d_r)_y$ ,  $\beta$  y  $D$ .

También se representa en la Fig.15 la variación del factor de interceptación  $\gamma$  cuando la desalineación del reflector  $(d_r)_y$  toma los valores constantes de  $0$ ,  $3$  y  $10$  mm y el error de seguimiento  $\beta$  varía entre  $0^\circ$  y  $0,8^\circ$ .

Si se observa la variación del factor de interceptación  $\gamma$  con  $\beta$  o  $(d_r)_y$ , cuando el otro error óptico está fijo, se puede

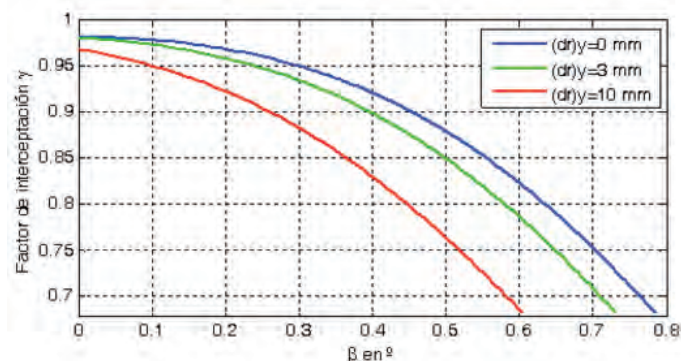


Fig. 15: Variación del factor de interceptación  $\gamma$  función de  $(d_r)_y$  y  $\beta$

Característica	CCP TERMOPOWER	Característica	CCP TERMOPOWER
Tipo de Estructura	Tubo de torsión	Área de Apertura (espejos) (SCA)	~ 824 m <sup>2</sup>
Distancia Focal	1.710 mm	Tipo de espejo	Vidrio Templado
Apertura	5.770 mm	Peso de estructura y apoyos por m <sup>2</sup> de área de apertura	~ 20 kg/m <sup>2</sup> de apertura
Longitud por módulo	12 m	Longitud por SCA	~ 150 m
Accionamiento	Hidráulico-Cuadrilátero		

Tabla 2: Características del colector

ver que el valor del factor de interceptación es muy sensible al error de seguimiento mientras que es más tolerante a los errores de desalineación del reflector. De esta última afirmación se extrae la enorme importancia de disponer de sistemas de seguimiento de elevada precisión, para determinación del vector solar y accionamientos de elevada precisión y mínimas holguras.

Finalmente, para el colector desarrollado por *TERMOPOWER*, el factor de interceptación se puede estimar considerando los siguientes errores ópticos:

- Geometría del espejo (garantía del fabricante, medición laser): 5 mrad.
- Error de posición del HCE en montaje Z y X:  $\pm 1,5$  mm.
- Errores de geometría de la estructura montada antes de espejos: 1 mrad.
- Error angular de los SCEs para formar un SCA: 1,5 mrad.
- Dispersión disco Solar Sun Shape (3.5): 2,23 mrad.

Considerando estos errores (sin errores de seguimiento), el factor de interceptación obtenido es  $\gamma = 0,9927$  (99,27 %).

Si además consideramos ahora:

- Error electrónica del accionamiento: 0,23 mrad.
- Error seguimiento discontinuo: 1 mrad.
- Error torsión en el seguimiento: 2,7 mrad.

Con todos los errores enumerados, el factor de interceptación obtenido es  $\gamma = 0,9757$  (97,57 %).

Estos valores habrán de ser verificados experimentalmente, en el primer SCA instalado, con medios de fabricación y montaje adecuados.

## 6. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista del equipo diseñado, el empleo de una estructura basada en tubo de torsión, de fácil fabricación, con muy buenas características mecánicas, unido a los brazos de celosía que proporcionan gran rigidez al conjunto una vez fijados al tubo de torsión y a los espejos, dando como resultado un diseño sencillo y robusto. Todo ello con pocos elementos, lo que facilita el montaje garantizando unas tolerancias estrechas y un buen comportamiento a deformación por flexión y torsión.

Se plantea un nuevo diseño de la torre de accionamientos basada en un mecanismo de cuadrilátero articulado, que reduce mucho la complejidad del control electrohidráulico de las actuales torres, e impide la rotura de los cilindros por un fallo en el control como sucede en la actualidad.

Se muestra de forma detallada como calcular el factor de interceptación del colector.

Desde la finalización del proyecto, la empresa ha continuado trabajando en el producto y ha finalizado un diseño que ya comercializa con sus socios industriales, y del cual se ha instalado un primer SCA de prueba. Sobre dicho SCA, técnicos del Centro de Investigaciones Energéticas,

Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) han medido el factor de interceptación (obteniendo resultados coherentes con los cálculos teóricos indicados en este artículo) y realizarán futuros estudios y comprobaciones de eficiencia.

## 7. AGRADECIMIENTOS

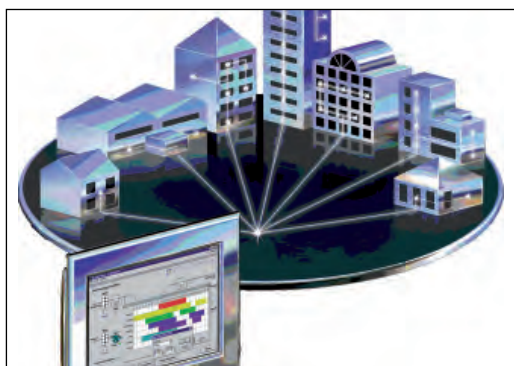
Este artículo es producto de una colaboración Universidad-Empresa y no hubiera sido posible sin la decisión y apoyo de personas con una vocación empresarial, comprometidas con el desarrollo y la innovación. Nuestro agradecimiento a D. Felipe Requejo Monso (Ingeniero Industrial - CEO) y a D. Javier Requejo Sigüenza (Ingeniero en Telecomunicación - MOB) de *Termopower*. (Parque tecnológico de Asturias, P-46, 2ª Planta/ 33428, Llanera)

El proyecto aquí presentado, se ha realizado desde Septiembre de 2009, por un periodo de un año, entre personal del Área de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oviedo, e ingenieros de la empresa *TERMOPOWER* y ha contado con financiación pública, a través de un proyecto CDTI de Referencia IDI – 20090762.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Abánades-Velasco A, Bernardos-Rodríguez E, López-Paniagua Ignacio et al. "Energía solar termoelectrica. Tecnología y desarrollos". *DYNA Ingeniería e Industria*. Octubre 2010, Año 85 N° 7 p. 563-574
- [2] Blanco-Muriel M, Alarcón-Padilla D, López-Moratalla T et al. "Computing the solar vector". *Solar Energy* 2001. Vol. 70-5, p. 431-441.
- [3] Brooks MJ. "Performance of parabolic trough solar collector". Director: Harms TM. University of Stellenbosch, February 2005.
- [4] Fresneda-García A. "Energía solar termoelectrica, situación actual". En: *Jornadas técnicas-energía solar termoelectrica (Madrid, 13 de mayo de 2009)*. Disponible en: [http://www.ifema.es/ferias/genera/ponencias09/06/Amparo\\_Fresneda\\_IDAE.pdf](http://www.ifema.es/ferias/genera/ponencias09/06/Amparo_Fresneda_IDAE.pdf)
- [5] Geyer M. "EUROTrough Progress and "NEXTrough, Opportunities for an Euro-American Trough Alliance". En: *Trough Meeting SUNLAB (Madison, USA, June 18, 2000)*. Disponible en: [www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/geyer\\_eurotrough.pdf](http://www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/geyer_eurotrough.pdf)
- [6] Geyer M, Lüpfert E, Osuna R, et al. "EUROTROUGH - Parabolic Trough Collector Developed for Cost Efficient Solar Power Generation". En: *11th Int. Symposium on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Technologies (Zurich, Switzerland, September 4-6, 2002)*. Disponible en: [www.1000friendsofflorida.org/Solar/EuroTrough\\_Paper2002.pdf](http://www.1000friendsofflorida.org/Solar/EuroTrough_Paper2002.pdf)
- [7] Grena R. "An algorithm for the computation of the solar position". *Solar Energy* 2008. Vol. 82 p. 462-470.
- [8] Güven H, Bannerot RB. "Determination of error tolerances for the optical design of parabolic troughs for developing countries". *Solar Energy*. 1986. Vol. 36 n° 6 p. 535-550
- [9] Güven H, Bannerot RB. "Derivation of universal error parameters for comprehensive optical analysis of parabolic troughs". *Journal of Solar Energy Engineering*. 1986. Vol. 108 p. 275-281
- [10] Hosoya N, Peterka JA, Gee RC, Kearney D. "Wind Tunnel Tests of Parabolic Trough Solar Collectors". Subcontract Report NREL/SR-550.32282 May 2008
- [11] Kearney DW. "Parabolic Trough Collector Overview". *Parabolic Trough Workshop 2007 at the National Renewable Energy Laboratory*, Golden CO. Disponible en: [http://www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/2007/kearney\\_collector\\_technology.pdf](http://www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/2007/kearney_collector_technology.pdf)
- [12] Montes-Pita M J, "Análisis y propuestas de sistemas solares de alta energía que emplean agua como fluido calorífero". Directores: Abánades-Velasco A, Sánchez-González M. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, 2008.

# El bus domótico KNX, una única infraestructura para todos los servicios



Mohammad Hussain-Alanbari  
Diego Gachet-Páez  
Jaime Angulo-Zevallos

Doctor Ingeniero Industrial  
Doctor Ingeniero en Telecomunicaciones  
Doctor Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID. ESP. Calle Tajo, s/n - 28670 Villaviciosa de Odón ( Madrid).  
Tfno: +34 912 115611. alanbari@uem.es

Recibido: 04/02/2010 • Aceptado: 09/05/2011

## KNX bus automation, a unique infrastructure for all services

### ABSTRACT

• To transfer control of all data management components of buildings require a system components communicate through a common language. The control system is called KNX.

Through the transmission media (twisted pair, radio frequency, power line or IP / Ethernet) KNX, communicate with various devices, both sensors and actuators, to control building management equipment for all applications: lighting, blinds, security systems, energy management, heating, ventilation and air conditioning, signaling and monitoring systems, interfaces to services and building control systems, remote control, measurement, audio / video, etc. All these functions can be controlled, monitored and signaled via a uniform system without the need for additional control centers.

• **Key words:** Konnex, KNX, Control buses, Process Control, Home Automation.

### RESUMEN

Para transferir datos de control de todos los elementos de gestión de edificios se requiere de un sistema que permita a los componentes comunicarse a través de un lenguaje común: este sistema de control se llama KNX.

A través del medio de transmisión (par trenzado, radio frecuencia, línea de fuerza o IP/Ethernet) de KNX, se comunican los distintos dispositivos - tanto sensores como actuadores - para el control de equipamiento de gestión de edificios en todas las aplicaciones posibles: iluminación, persianas, sistemas de seguridad, gestión energética, calefacción, sistemas de ventilación y aire acondicionado, sistemas de supervisión y señalización, interfaces a servicios y sistemas de control de edificios, control remoto, medición, audio / video, etc. Todas estas funciones pueden ser controladas, supervisadas y señalizadas utilizando un sistema uniforme sin la necesidad de centros de control adicionales.

**Palabras clave:** Konnex, KNX, Control de buses, Control de proceso, Domótica.

### 1. INTRODUCCIÓN

Si se intentase hacer una foto al conjunto de “redes/buses” existentes en la actualidad, se verían tres grandes bloques, más o menos homogéneos y en movimiento. El primer bloque de foto, el que más borroso saldría (debido a la gran velocidad a la que avanza) y que, por otro lado, también sería el más homogéneo de los tres, es el bloque correspondiente a las redes de voz/datos/video.

En otro plano de esta foto, se podría distinguir otros dos bloques mucho menos homogéneos que el primero y cuya velocidad de avance también es menor: estos dos bloques serían los buses de control industrial, divididos entre los destinados propiamente a plantas y procesos industriales, y los destinados al control de edificios o buses domóticos/inmóticos.

Con esto no se quiere dar la falsa idea de que los buses industriales o domóticos no avanzan en su desarrollo o implantación. Si se comparan los unos con los otros, se pueden apreciar claras diferencias de implantación, desarrollo y costes, entre los unos y los otros. Y esto, claro está, afecta a que en la foto aparezcan más nítidos y menos homogéneos.

## 2. LA EVOLUCIÓN DEL KNX

¿Qué es lo que hace avanzar rápida y homogéneamente a una tecnología? La estandarización y el nivel de apertura de la misma: es decir, se necesitan sistemas abiertos y estandarizados para que el desarrollo e implantación de éstos sea amplio y rápido; en el grupo de los buses de control domótico, se tiene un claro ejemplo de este tipo de movimientos, el KNX.

El KNX es un bus de control orientado a la automatización de edificios con una amplia implantación en Europa. Esto se debe principalmente a dos motivos, el primero y más importante, es que nació como un estándar abierto y esto, no cabe duda, tiene enormes ventajas. El segundo es un ejemplo del claro apoyo de las instituciones y de la industria. Pero este no ha sido un proceso ni rápido ni sencillo, fue en 1985 auspiciado por el programa *EUREKA* [1] y [2] (atribuida al matemático griego Arquímedes), cuando surgiera el proyecto *Integrated Home Systems*, que posteriormente fue retomado en 1989 dentro del programa *ESPRIT* (*European Strategic Program for Research and Development of Information Technology*). Éstos fueron los primeros pasos que se dieron en Europa para la obtención de un estándar abierto en el mundo de la automatización. De estos tempranos movimientos surgió el *EHS* (*European Home System*), sistema generado por un grupo cerrado de empresas. Pero junto a esta iniciativa poco a poco surgieron el *Batibus* y en 1990 promovido por la *EIBA* (*European Installation Bus Association*) el *EIB* (*European Installation Bus*). Conscientes de la situación a la que nos enfrentábamos, la industria y los organismos de normalización europeos comprendieron que todos estos movimientos deberían converger en un único sistema que aunara lo mejor de los tres existentes. Así se propició el nacimiento del sistema *KONNEX* (*KNX*), este estándar se basa en la tecnología *EIB* (coordinador de esta integración), y complementa sus funcionalidades añadiendo nuevos medios físicos a dicho estándar y los modos de configuración de *BatiBUS* y *EHS* (sistemas en desuso). Parece evidente que, por fin, en el mundo de los buses de control se empiezan a tener las cosas claras. Simplemente hay que fijarse en la implantación y desarrollo del protocolo IP para saber cómo hacer las cosas.

Existen multitud de fabricantes que desarrollan dispositivos basados en tecnología *KNX*, todos ellos son perfectamente compatibles y se configuran con un software común. El *KNX* es un bus de control orientado a la automatización de viviendas y edificios, al que también se le puede sacar partido en otros entornos. Dentro del ámbito de la automatización de edificios, la amplia gama de dispositivos desarrollados por los numerosos fabricantes que trabajan con *KNX*, permite dar respuesta a todas las necesidades de automatización de los diferentes subsistemas presentes en los edificios, tanto de nueva construcción como en edificios ya en funcionamiento.

## 3. EL ESCENARIO

Pero, ¿qué sucede cuando se pretende aportar una respuesta global al enfrentarse a un entorno complejo? Es decir, al plantearse un escenario en el cual el cliente se demanda la automatización de un entorno con multitud de servicios, y cada uno de muy distinta índole. Un ejemplo de este tipo de escenarios puede ser un hotel. En un hotel, se tienen unas elevadas necesidades de automatización. Al centrarse en los elementos que más comúnmente se suelen gestionar mediante un bus de control domótico como *KNX* se podría enumerar lo siguiente: para automatizar la iluminación del hotel, otra opción será completar este control de la iluminación con la automatización de persianas o incluso implementar un sistema de seguimiento solar; además, se podría completar el control de las persianas del hotel con la vigilancia ejercida por una estación meteorológica que sea capaz de proteger determinados elementos del hotel frente a las inclemencias climatológicas.

Otro de los elementos tradicionalmente controlados por este tipo de buses es la climatización del hotel. Existen distintos modos de climatizar un edificio, y, gracias al gran número de fabricantes que desarrollan dispositivos de control para el bus *KNX*, se dispone de dispositivos de control *KNX* para todos estos modos de climatización como se ve en Fig. (1). Se puede encontrar un sistema de climatización basado en *Fan Coil*, (sistema de acondicionamiento y climatización de tipo mixto, que resulta ventajoso en edificios donde es preciso economizar el máximo de espacio) para lo que se utilizará reguladores de *Fan Coil* *KNX*. También se pueden controlar suelos radiantes mediante electroválvulas, radiadores utilizando electroválvulas o válvulas de 3 vías, y no se debe olvidar de los secuenciadores de calderas *KNX*. A todo esto, hay que sumar los termostatos digitales o analógicos que deben estar convenientemente distribuidos por todo el hotel.

Continuando con la implantación del bus de control domótico en el hotel, se pasará al apartado de seguridad, que comprende la seguridad técnica y la seguridad de los bienes y de las personas. Para el control de la seguridad técnica, se instalarían sensores de fuga de gas, sensores de fuga de agua y detectores de humo. Estos dispositivos estarían conectados lógicamente, mediante el bus, con electroválvulas que cerrarían los conductos de gas y agua, si se detecta fuga; en el caso de detección de incendio, el sistema sería capaz de activar alarmas sonoras, luminosas y de enviar avisos a través de la red telefónica. En cuanto a las seguridades de los bienes y las personas, se instalarían detectores de presencia, detectores de rotura de cristales, controles de accesos a habitaciones y a zonas de servicios del hotel, etc.

El continuo desarrollo de dispositivos de control, permite que se pueda controlar mediante el bus elementos tan diversos como la grifería del hotel. Esto abre toda una amplia gama de posibilidades, como diseñar sistemas para el control de la legionelosis, detección temprana de averías, facturación por consumo de agua, limpieza de los baños en función del uso y no en función de turnos, etc.



No se pueden olvidar tampoco los dispositivos de control de cargas y monitorización de consumo eléctrico, de gran utilidad para el ahorro de costes en la explotación del hotel. Es importante resaltar la existencia de software que permite la gestión y monitorización de todos los dispositivos de control instalados. La interrelación de todos los dispositivos conectados mediante el bus permite la creación de escenas, es decir, se pueden generar configuraciones de los distintos entornos del hotel en función de los gustos o preferencias de los clientes. Se puede, por ejemplo, configurar la apertura de las persianas de la habitación a la hora que el cliente desee despertarse por la mañana, el cliente puede disfrutar de una temperatura de confort del agua en la ducha sin necesidad de estar regulándola. También es posible asociar a un pulsador escenas configuradas por el propio cliente, de tal forma que las pueda activar con solo pulsar un botón o entrar en la habitación.

Es posible que la habitación se encuentre a una determinada temperatura e intensidad luminosa, que las persianas se desplacen hasta una posición en concreto y que se activen sistemas audiovisuales, cuando el cliente desee ver una película. De este modo, cuando un cliente habitual realice una reserva en el hotel, tendrá asociado un perfil que se cargará en los distintos dispositivos de control instalados en la habitación objeto de la reserva. Así, se personalizará al máximo los servicios prestados por el hotel con unos costes mínimos, fidelizando a los clientes. La funcionalidad de escenas también puede ser aplicada a otros espacios del hotel, como por ejemplo, se puede incrementar el confort de los clientes configurando escenas para el bar del hotel, el restaurante, las salas de reuniones o de conferencias, con lo que se mejoraría la oferta diferenciándose de la competencia y ampliando los potenciales clientes del hotel más allá de los clientes que desean realizar simples pernoctaciones.

Con una funcionalidad tan simple, consecuencia del bus de control, se podrá ampliar la oferta del hotel hacia las convenciones de empresas, con unos servicios de calidad incrementando los ingresos con un coste mínimo, aumentando así los beneficios en la explotación del hotel.

Pero las sinergias generadas por un bus de control van más lejos. La gestión y monitorización de todos los dispositivos instalados permiten la detección temprana de averías, que implican un ahorro de costes y un incremento de la satisfacción de los clientes, ya que se podrá resolver las averías antes de que el cliente las padezca. Al disponer en tiempo real y de forma remota de numerosos parámetros de las distintas estancias del hotel, se podrá atender de una forma más rápida y eficaz las incidencias reportadas por los clientes. Ya no será necesario enviar a personal de mantenimiento para comprobar si la queja de un cliente es real (ejemplo hace mucho frío en la habitación), porque se dispondrá de los valores exactos de temperatura, luminosidad, etc. De esta forma únicamente se empleará recursos cuando sea estrictamente necesario y se reducirá notablemente el tiempo y el coste empleado en la resolución de incidencias, lo que de nuevo incrementa la satisfacción de los clientes y reduce

los costes de explotación.

El bus de control también permite obtener numerosos datos de consumo, hábitos de los clientes, etc. El estudio de estos datos permitirá ampliar, mejorar y personalizar la oferta de servicios prestada por el hotel, pudiendo incluso ofrecer paquetes hoteleros en los que una parte se facture en función de los recursos consumidos por el cliente.

Parecen evidentes las ventajas que puede aportar un bus de control, ¿son éstas todas las necesidades que plantea un entorno complejo como el de un hotel?, éstas son las necesidades que se pueden cubrir utilizando un bus de control. Pero ¿qué pasa con las comunicaciones, las nuevas formas de ocio multimedia, la video-vigilancia, etc.? Este tipo de servicios son soportados por otra tecnología y, por lo tanto, por otro tipo de infraestructura.

Recuerde la foto que se comentaba al principio del artículo, se está ingresando en el bloque más homogéneo (por la integración tecnológica), y más dinámico (por la velocidad a la que se produce la integración de redes y servicios), es decir, en el mundo de las comunicaciones IP. Un hotel puede absorber un variado grupo de usuarios, con distintas necesidades de comunicaciones y ocio. Para dar respuesta a estas exigencias se dispone de infraestructuras versátiles y eficientes capaces de ofrecer los servicios más heterogéneos compartiendo gran cantidad de dispositivos/infraestructuras.

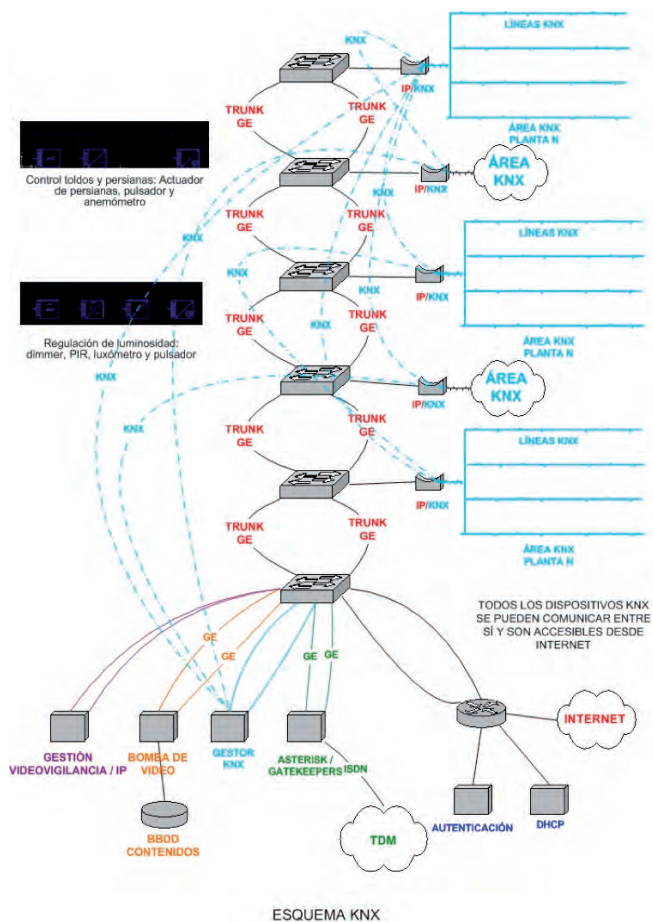


Figura 1: Esquema KNX

Hoy en día, la integración de redes y servicios en el mundo de las telecomunicaciones permite ofrecer todos los servicios anteriormente comentados utilizando el protocolo de comunicaciones IP y una infraestructura común.

Para demostrar las ventajas de la integración de redes y servicios, se explicará de forma sencilla cómo sería la infraestructura que se debería montar y cuáles son los servicios que se podría prestar en el escenario en el que se encuentra. Todos estos servicios, como se viene explicando, estarían soportados por una infraestructura común. El *backbone* [3] (principales conexiones troncales de Internet) de esta red de datos estaría compuesto por un *switch* (dispositivo de conmutación que permite el control de distintos equipos) instalado en cada planta, éstos estarían conectados entre sí por dos enlaces *Gigabit Ethernet*, de tal forma que existe redundancia. Los *switches* deben tener los puertos necesarios para cubrir los servicios de cada planta. En una sala técnica en el sótano se tendría otro switch donde conectar el router de salida a Internet y las máquinas que se necesita para prestar los diferentes servicios.

Los clientes del hotel, desde cada habitación, podrán disfrutar de servicio de Internet inalámbrico, VoIP (servicio de Voz por IP) y video bajo demanda. Cada habitación tendrá reservada un puerto físico en el switch de la planta en la que se encuentre, desde este puerto irá un cable físico hasta la habitación del cliente, donde se instalará un CPE (*Customer Provided Equipment*) con capacidad inalámbrica y puertos suficientes para prestar los servicios indicados y otros que se pudieran implementar en el futuro.

Para prestar servicio de Internet, se debe instalar un router con salida a Internet y conectarlo a un puerto del switch del sótano, luego se configuraría una VLAN (Red de Área Local Virtual) de datos para poder separar el tráfico de datos del resto de los servicios. El servicio de VoIP se puede prestar de distintas formas, una de ellas es utilizando un servidor con un software de código abierto como *ASTERISK*, que maneja distintos protocolos como SIP (Session Inicialización Protocolo), H.323, IAX (Protocols), etc. Este software permite establecer comunicaciones basadas en VoIP, con todas las ventajas que ello implica, y también permite implementar numerosos servicios para los clientes del hotel con un coste mínimo.

Se puede, por ejemplo, implementar la función “no molestar”, “transferencia” cuando está ocupado o cuando no contesta, etc. Así como llamada en espera, colas de llamadas, contestador automático (pudiendo enviar los mensajes por e-mail o sms), operadora automática, conferencias, recepción de faxes, grabación de llamadas, listín telefónico, sistemas prepago, etc. Ejecutando en un servidor el software *ASTERISK* podemos utilizar otros dispositivos como los *gatekeepers* (elementos que controlan el acceso a algo a través de una puerta) que tienen unas funcionalidades similares. Al igual que en el caso del servicio de datos/Internet, se configuraría otra VLAN para el servicio de VoIP, por la que llevaría el tráfico de VoIP hasta el puerto del CPE de la habitación destinataria de esta comunicación.

Evidentemente en ese puerto se conectaría un teléfono IP que es el principal dispositivo utilizado y específicamente diseñado para su uso en VoIP, y que permite realizar una comunicación utilizando una red IP ya sea mediante red de área local (LAN) o a través de Internet.

En cuanto al servicio de video bajo demanda, se debe instalar un servidor de vídeo, en la que se almacenaría los contenidos que se ofrecen a los clientes y el software que gestiona este tipo de servicios. Este servidor de video, estaría conectado al switch de la sala técnica, teniendo de esta forma conectividad con todas las habitaciones del hotel y con Internet. A través de Internet, el hotel podría actualizar los contenidos contratados a un proveedor de contenidos. Al igual que en los otros dos servicios comentados anteriormente, se configuraría una VLAN para este tipo de servicio IPTV (*Internet Protocol Television*), y en el puerto del CPE de cada habitación destinado a este servicio, se conectaría un (STB) (*Set Top Box*)(dispositivo que se conecta a una televisión y una fuente) y a éste, una TV. De esta forma el cliente podría disfrutar en su habitación de todas las posibilidades del video bajo demanda, reproducción, pausa, rebobinado, adelanto de la película, etc.

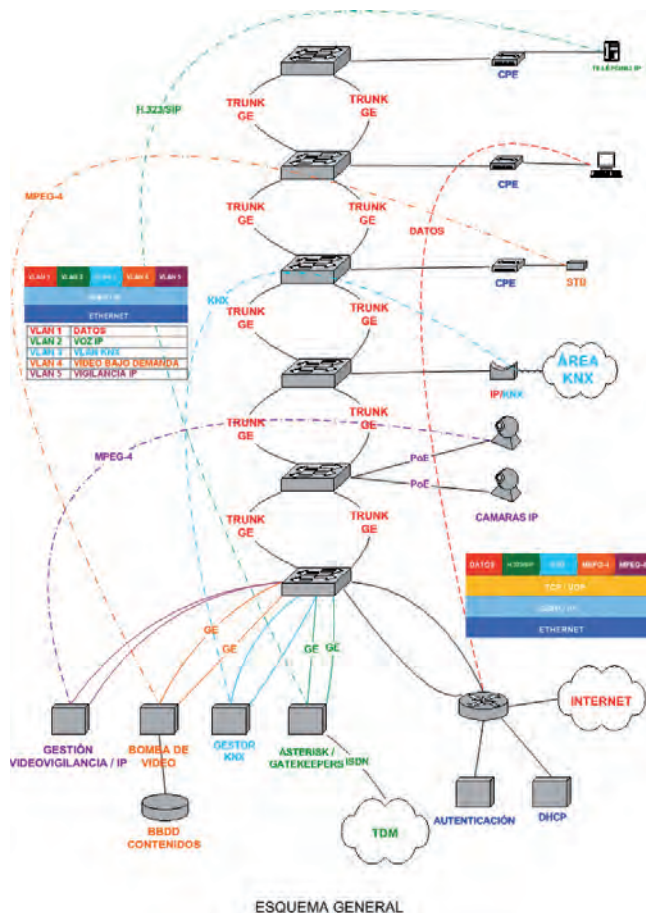
Utilizando esta misma infraestructura, se puede implementar en el hotel un nuevo servicio de seguridad que en estos momentos está emergiendo con fuerza, la video vigilancia IP. Es la evolución del conocido CCTV (Video vigilancia con cámaras), pero con tecnología IP. Para prestar este servicio, hay que instalar módulos con puertos PoE (*Power over Ethernet*), y desde estos puertos cablear hasta los puntos en los que se necesite instalar las cámaras. Utilizando puertos PoE, se ahorra costes de instalación y cableado ya que por el mismo cable se envía los datos y la alimentación de la cámara. Como en los otros servicios, configuraremos otra VLAN para separar el tráfico de vigilancia IP y se conectará al switch de la sala técnica un servidor con el software que permita la gestión de este servicio. De esta forma es posible vigilar el hotel desde cualquier punto del mismo, o desde cualquier punto del mundo conectado a Internet.

Como ya se mencionó al comienzo, el CPE que se instala en cada habitación del hotel, está dimensionado de tal forma que quedan puertos libres que se utilizarían para prestar cualquier nuevo servicio que apareciese en el futuro. Para ello solamente se debe configurar otra VLAN y conectar al switch de la planta baja la máquina con el software que gestione este tipo de servicio. Estas son las ventajas de la integración de redes y servicios. Por ejemplo, se puede implementar nuevas formas de ocio multimedia, permitiendo a los clientes disfrutar de videojuegos (para el que le gusten) en su habitación, revelado de fotografía digital, etc.

Pero todavía es posible ir más lejos en la optimización de la infraestructura IP del hotel, de todos los servicios y redes comentados, nos falta integrar la red de control KNX en la infraestructura IP. La red de control, o bus de control KNX, como se ve en Fig. (2) se puede distribuir asignando un área KNX a cada planta del hotel, para posteriormente conectar cada área a la red IP mediante *Gateway* (red que

permite o controla el acceso a otro ordenador o red) KNX/IP. De esta forma, se utilizará la red IP como una pasarela de alta velocidad entre las distintas áreas KNX de la instalación de control del hotel. Esto implicaría también que se puede acceder a los distintos dispositivos y funcionalidades de la red KNX desde cualquier PC conectado a Internet.

Figura 2: Esquema de control general



#### 4. CONSECUENCIAS DE LA ESTANDARIZACIÓN Y APERTURA

La integración de redes y servicios acometida en las redes de telecomunicaciones durante los últimos años, ha sido una revolución tecnológica propiciada en gran medida por la estandarización y apertura de los protocolos utilizados. Las ventajas [4] y [5] de dichos movimientos son claras y las operadoras llevan años renovando las infraestructuras de red para aprovecharlas. La absorción de las innovaciones y cambios tecnológicos en este tipo de empresas es muy rápido, hace menos de 3 o 4 años que las comunicaciones de datos iban por una red, las de voz por otra y de la TV por otra diferente. Y en estos momentos gracias a la estandarización y apertura del protocolo IP, se puede ofrecer a los clientes paquetes de servicios integrados de voz, Internet y TV utilizando una única infraestructura. En estos momentos existen multitud de empresas desarrollando productos basados en el mismo

protocolo, con lo que es posible beneficiarse de la economía de escala. Es más fácil y más barato encontrar profesionales formados en esta tecnología, los precios de los equipos son mucho más competitivos y lo más importante, todo el mundo conoce el camino a seguir.

Por otro lado, observando los buses de control industrial, se puede observar numerosos estándares propietarios, y la consecuencia directa es el no poder aprovechar las ventajas de la economía de escala. Pero esta no es la única desventaja: entre otras, hay que destacar la incertidumbre que genera en los potenciales clientes. No hace muchos años existían en el mercado multitud de buses de control industrial, en estos momentos solo dos, *Interbus* y *Profibus*, acaparan cerca del 70 % del mercado y ahora irrumpe con fuerza Ethernet I/P [6] (*Industrial Protocol*). La “guerra de los buses” parece encontrarse en un punto de inflexión con la irrupción de Ethernet I/P, pero solo el tiempo nos sacará de dudas, mientras tanto, iniciativas como KNX son movimientos que seguramente el mercado tendrá en cuenta, como se ve en la Fig. (2).

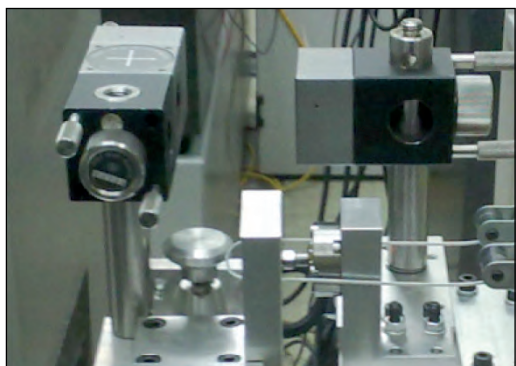
#### 5. CONCLUSIONES

Es necesario e importante aplicar el Protocolo KNX para los Proyectos de Automatización de Edificaciones y Viviendas. Con el protocolo de comunicación KNX se asegura que estos proyectos se ejecuten de una manera eficiente. La protección del medio ambiente y el ahorro de costos y energía son las consecuencias de aplicar KNX. Con KNX se logra integrar y controlar todos los sistemas pre-existentes en un edificio, CCTV, Control de Accesos, Sistemas de Intrusión, Alarmas Técnicas, Control de Señales de Ingreso De La Red, control de cargas, medición de variables eléctricas, etc.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] EIBA "Técnica de Proyectos en Instalaciones con EIB. Principios Básicos" Twinhouse, Neerveldstraat, 105 B-1200, Bruselas (Bélgica), 1º edición ( 2000), pag. 9 – 99.
- [2] EIBA "Técnica de Proyectos en Instalaciones con EIB. Principios Básicos" Twinhouse, Neerveldstraat, 105 B-1200, Bruselas (Bélgica), 4º edición ( 2000), pag. 19 – 27.
- [3] JOURNAL KNX "La Nueva Generación de Dispositivos KNX" (2008), pag. 18–19.
- [4] <http://www.zennio.com/> (4-feb-2011)
- [5] <http://www.knx.org/es/> (4-feb-2011)
- [6] [http://es.wikipedia.org/wiki/Bus\\_de\\_Instalaci%C3%B3n\\_Europeo](http://es.wikipedia.org/wiki/Bus_de_Instalaci%C3%B3n_Europeo) (4-feb-2011)

# Análisis del juego, repetibilidad de posicionamiento y precarga de un mecanismo paralelo



Ana Cristina Majarena-Bello  
Jorge Santolaria-Mazo  
David Samper-Carnicer  
Juan José Aguilar-Martín

Dr. Ingeniero Industrial  
Dr. Ingeniero Industrial  
Ingeniero Industrial  
Dr. Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Centro Politécnico Superior. C/María de Luna, 3 – 50018 Zaragoza.  
Tfno: +34 976 761000. majarena@unizar.es

Recibido: 02/02/2011 • Aceptado: 09/05/2011

## *Backlash, positioning repeatability and preload analysis of a parallel mechanism*

### ABSTRACT

- Given to the complexity of mathematical models in parallel mechanisms, a previous analysis of system characteristic errors is necessary. This paper determines backlash and positioning repeatability of a two rotary degrees of freedom parallel mechanism and analyses the needed preload to increase system accuracy. Firstly, the specialized bibliography in the design and characterization of mechanisms based on parallel kinematic is reviewed. In the majority of the analysed studies, errors such as backlash are absorbed by the kinematic model without characterizing components or analysing which is the most determining system errors. Subsequently, the methodology used for the characterization of the positioning system components is presented. To do this, procedures and devices used for each measuring system are described, and the different measurement systems such as optical lineal sensors, laser interferometer and inductive probes, are presented. Results obtained show that actuator backlash errors are around 45  $\mu\text{m}$  having an error deviation of 3  $\mu\text{m}$ . The application of a contraction preload on the spherical ball joint allows us to obtain a backlash lesser than 3  $\mu\text{m}$  and, therefore, to increase the positioning system accuracy. Finally, the two degrees of freedom parallel mechanism intended to be used in metrology applications and machining tool processes, has been characterized by means of a coordinate measuring machine. The mechanism characterization developed will allow us to determine geometric parameters in the mechanism calibration phase, as well as to develop, subsequently, correction procedures according to the needed preload to increase system accuracy.
- Keywords:** Parallel mechanism, backlash, repeatability, actuator, spherical ball joint, preload, measuring system.

### RESUMEN

Debido a la complejidad existente en el desarrollo de los modelos matemáticos de los mecanismos paralelos, es necesario realizar un análisis previo de los errores característicos del sistema. En este trabajo se determina el juego y la repetibilidad de posicionamiento de un mecanismo paralelo de dos grados de libertad giratorios, y se analiza la precarga necesaria para aumentar la precisión del sistema. Inicialmente se revisa la bibliografía especializada en el diseño y caracterización de mecanismos basados en cinemática paralela. En la mayoría de los estudios analizados, los errores como el juego son absorbidos por el modelo matemático sin caracterizar los componentes ni analizar cuáles de los errores del sistema son los

más determinantes. Posteriormente se presenta la metodología utilizada para la caracterización de los componentes del sistema de posicionamiento. Para ello, se describen los procedimientos y los utillajes utilizados para cada equipo de medida y se comparan los diferentes sistemas de medición utilizados como sensores ópticos lineales, interferómetro láser y palpadores inductivos. Los resultados obtenidos muestran errores de juego del actuador en torno a los 45  $\mu\text{m}$  con una desviación del error de 3  $\mu\text{m}$ . La aplicación de una precarga a contracción sobre la rótula esférica permite obtener un juego menor de 3  $\mu\text{m}$  y, de esta manera, mejorar la precisión del sistema de posicionamiento. Finalmente se ha caracterizado el mecanismo paralelo de dos grados de libertad, diseñado para aplicaciones de

metrología y procesos de máquina-herramienta, utilizando una máquina de medir por coordenadas. La caracterización desarrollada del mecanismo permitirá determinar los parámetros geométricos en la fase de calibración del mismo, así como desarrollar, posteriormente, procedimientos de corrección en función de la precarga necesaria para aumentar la precisión del sistema.

**Palabras clave:** Mecanismo paralelo, juego, repetibilidad, actuador, rótula esférica, precarga, sistema de medición.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos en el diseño de robots es obtener elevada precisión en el posicionamiento del efector final del mecanismo. Tradicionalmente se han desarrollado numerosos robots para muy diversas aplicaciones en la industria naval, aeronáutica o automovilística [1]. Debido a los grandes avances en el hardware y software utilizado en el sistema sensorial y de control, los investigadores han desarrollado nuevos mecanismos para sectores como el de medicina [2] o construcción y procesos de máquina-herramienta [3].

Los mecanismos paralelos son mecanismos de cadena cerrada que se caracterizan porque la plataforma móvil está unida a la placa fija o base mediante dos ó más cadenas cinemáticas independientes.

En los últimos años numerosos investigadores se han centrado en el diseño y desarrollo del modelo cinemático de los mecanismos paralelos debido a las ventajas que ofrecen como alta rigidez [4] y capacidad de soportar velocidades y cargas elevadas [5,6]. Por el contrario, el modelo cinemático directo es difícil de obtener en los mecanismos basados en cinemática paralela y, en general, este problema tiene más de una solución. Otro de los aspectos a tener en cuenta es el análisis de las singularidades del sistema, el cual debe resolverse específicamente para cada topología [7-9]. La zona de trabajo es limitada y su cálculo no es sencillo, ya que la posición y orientación están fuertemente acopladas [4,10]. En [11] puede encontrarse una amplia revisión de los mecanismos de cinemática paralela.

La determinación y el modelado de los errores no geométricos, como el juego, no es una tarea fácil. Por ello, en algunos trabajos se incluyen únicamente los parámetros geométricos, como en el trabajo desarrollado por Gong [12], donde se desarrolla un método de calibración mediante cinemática inversa que separa la influencia de los errores debidos a los parámetros geométricos, de los debidos a los no geométricos, con objeto de optimizar los parámetros geométricos mediante una calibración estática tradicional y modelar y corregir dinámicamente los no geométricos. Sin embargo, este método no es sistematizable. Algunos autores [13] desarrollan modelos no geométricos para predecir y compensar estos errores, pero suelen ser modelos

independientes de los modelos geométricos, difíciles de implementar y que no permiten conocer la influencia de cada componente no geométrica por separado, por lo que es mucho más frecuente añadir parámetros para compensar estos errores en el modelo geométrico [14]. Estos últimos métodos son muy laboriosos debido principalmente a la complejidad del modelo y no siempre consiguen mejorar la precisión del mecanismo. Además, en ocasiones, pueden incorporar errores en la resolución del mismo, como por ejemplo, en el caso en el que el modelo incorpora funciones discontinuas para la representación de errores como el juego.

Existen escasos trabajos en los que se caractericen este tipo de errores y se determine la repetibilidad de posicionamiento. Müller [15] desarrolló un manipulador paralelo plano redundante y controló la precarga para evitar el juego durante el movimiento del mecanismo. Para ello, consideró la generación de precarga interna en el esquema de control del mecanismo y optimizó la función objetivo, de manera que, el nivel de precarga necesario esté asegurado y se minimicen las fuerzas del actuador totales. En [16] se presentó el modelo inverso para manipuladores paralelos redundantes y se utilizó el pretensado para evitar el juego, controlando las fuerzas del mecanismo. Ropponen [17] introdujo en el modelo cinemático los errores de posición de las articulaciones, los errores de los actuadores y el juego, y analizó la relación existente entre los errores de desplazamiento de las articulaciones, los errores del actuador (debidos a error de las lecturas y juego) y la precisión del efector final de una plataforma de Stewart.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una metodología para la caracterización del juego y repetibilidad de un mecanismo de cinemática paralela que complemente a los procedimientos de optimización de diseño e identificación de parámetros cinemáticos para aumentar la precisión del mismo. La metodología desarrollada permite analizar, compensar y corregir el juego del mecanismo antes de realizar la identificación de los parámetros geométricos del proceso de calibración. Este procedimiento simplifica considerablemente el modelado del sistema, ya que no es necesario incorporar funciones matemáticas complejas para modelar el juego del mecanismo.

En primer lugar, se caracterizan los componentes del sistema, comparando sistemas de medición como sensores ópticos lineales, interferómetro láser y palpadores inductivos. La caracterización de las rótulas esféricas permite determinar la precarga necesaria para disminuir el juego de dichos componentes. En segundo lugar, se analiza el comportamiento del mecanismo completo aplicando la precarga calculada para reducir el juego de las rótulas y se utilizan sensores ópticos lineales para corregir el juego de los actuadores. Finalmente, el conocimiento de la influencia de los errores permitirá su consideración en el proceso de calibración del mecanismo, así como el desarrollo de modelos de corrección que permitan incrementar la precisión del sistema completo.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El sistema de posicionamiento desarrollado consta de dos grados de libertad (GDL) (azimut y elevación), basado en cinemática paralela, para un sistema de medición sin contacto. Dicho sistema está formado por dos unidades de posicionamiento con dos cámaras de visión cada una. Una de las cámaras posee alta resolución para la captura de la imagen y la otra es de menor resolución para realizar el seguimiento del objeto a medir. El sistema de posicionamiento consta de una base fija, una plataforma móvil y dos actuadores que se hallan unidos a la base y a la plataforma mediante rótulas esféricas de alta precisión. Se han incorporado dos sensores ópticos lineales de alta precisión para mejorar la precisión del sistema. Los utillajes diseñados para la colocación de la regla del sensor lineal reducen el error de *Abbe* del sistema de medición. La Fig. 1 muestra una unidad de posicionamiento del sistema de medición. La optimización de este diseño y el desarrollo del modelo cinemático se puede consultar en [18]. En este trabajo se obtuvieron los parámetros geométricos de diseño óptimos correspondientes a los anclajes de las rótulas para alcanzar los giros de azimut y elevación deseados ( $\pm 45^\circ$  y  $\pm 30^\circ$  respectivamente), minimizar las dimensiones del mecanismo y obtener la máxima resolución posible para unos componentes determinados.

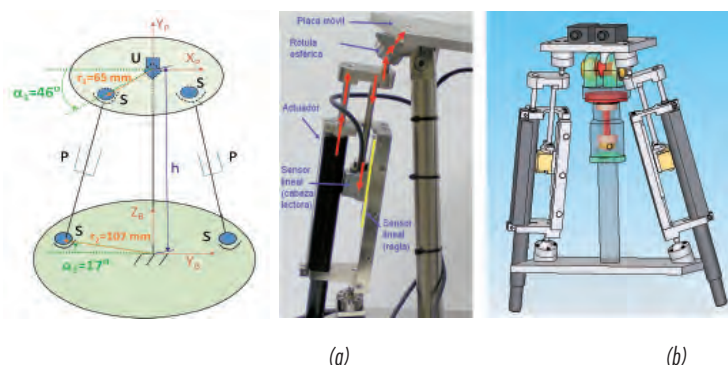


Fig. 1: Unidad de posicionamiento del sistema de medición: (a) Parámetros de diseño (b) Diseño del mecanismo

En la Fig. 1(a) se muestra la geometría óptima de este mecanismo donde  $r_1$  y  $r_2$  corresponden a los radios desde el centro de la plataforma superior (móvil) y la base (fija), respectivamente, a las rótulas esféricas,  $\alpha_1$  es el ángulo que forman el eje  $-X_p$  y la línea que une el centro de la rótula esférica con el origen del sistema de referencia  $P$  y  $\alpha_2$  es el ángulo que forman el eje  $-Y_B$  y la línea que conecta la rótula esférica con el origen del sistema de referencia  $B$ . Las articulaciones esféricas, universales y prismáticas se han denotado por  $S$ ,  $U$  y  $P$  respectivamente. El mecanismo diseñado posee una altura,  $h$ , de 307 mm y una masa total de 5.68 kg sin considerar la masa de las cámaras de visión. El conjunto placa superior y cámaras de visión posee una masa de 2.7 kg.

Uno de los requisitos necesarios para obtener precisión en el posicionamiento del sistema es la caracterización

del mecanismo para poder conocer su comportamiento. A continuación se describe la caracterización de los componentes de la plataforma (actuadores y rótulas) y se muestra el ensayo realizado para caracterizar el mecanismo completo.

### 2.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PLATAFORMA

Los GDL pasivos de un mecanismo introducen juego en el posicionamiento del sistema. La aplicación de una precarga disminuye el juego, pero aumenta la fricción de las articulaciones. En [19], Cash analiza el comportamiento frente a fricción, juego y rigidez de diferentes tipos de articulaciones. En las articulaciones de contacto deslizante, la aplicación de cargas para eliminar el juego implica un aumento en la fricción de la articulación. Sin embargo, las articulaciones de contacto de giro pueden ser precargadas para minimizar el juego sin aumentar drásticamente la fricción, al mismo tiempo que incrementan la rigidez en los GDL restringidos.

En el mecanismo diseñado la carga final del sistema de posicionamiento no es elevada (en torno a 3 kg), por lo que se han escogido rótulas esféricas y actuadores lineales. A continuación se describe el procedimiento de caracterización utilizado para cada uno de estos componentes. Los ensayos se han realizado en un ambiente controlado a  $20^\circ\text{C}$  y humedad relativa del 50%.

#### 2.1.1. Determinación del juego y repetibilidad del actuador

En el sistema desarrollado se han utilizado dos actuadores lineales con un rango de trabajo de 0 a 75 mm y precisión de  $\pm 8 \mu\text{m}$ . Para realizar la caracterización del actuador se han realizado dos ensayos. En el primero de ellos, se ha utilizado un sensor óptico lineal para la captura de datos. La regla del sensor lineal posee un coeficiente de dilatación térmico de  $0.1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  y ofrece una precisión de  $\pm 1 \mu\text{m}$ . En el segundo ensayo, las mediciones se han realizado mediante un interferómetro láser de  $0.02 \mu\text{m}$  de resolución y  $\pm 1.5 \mu\text{m}$  de precisión para la medición de distancia lineal.

##### a) Utilización del sensor lineal

En el ensayo realizado para determinar el juego del actuador se ha fijado la regla del sensor a la carcasa del actuador y se ha colocado la cabeza lectora del sensor solidaria al vástago móvil del actuador, como se muestra en la Fig. 1(b). Inicialmente se ha realizado una inicialización del mismo y un desplazamiento de 50 mm para asegurar el paso por la marca de referencia del sensor lineal, punto en el cual se realiza reset en el sensor. Seguidamente, se describen dos trayectorias para abarcar toda la zona de trabajo del actuador desplazándose en ambos sentidos.

##### b) Utilización del interferómetro láser

Para la determinación del juego y repetibilidad del actuador mediante el interferómetro láser se diseñaron unos

utillajes adicionales como se muestra en la Fig. 2. Estos utillajes se colocaron en una guía fija en la que se aloja un carro. El carro puede deslizarse sobre la guía en una única dirección. Uno de los espejos del interferómetro se colocó solidario a la guía fija y el segundo espejo se fijó al carro móvil para poder observar el desplazamiento relativo entre ellos. A su vez, uno de los extremos del actuador se colocó solidario a la guía fija y el otro extremo se fijó al carro móvil.

El procedimiento utilizado para realizar el ensayo consistió en una inicialización previa del actuador a su posición de calibración. Las posiciones programadas distaban 10 mm entre sí. El rango de estudio fue de 10 a 70 mm y se realizaron cinco ciclos completos de ida y vuelta.

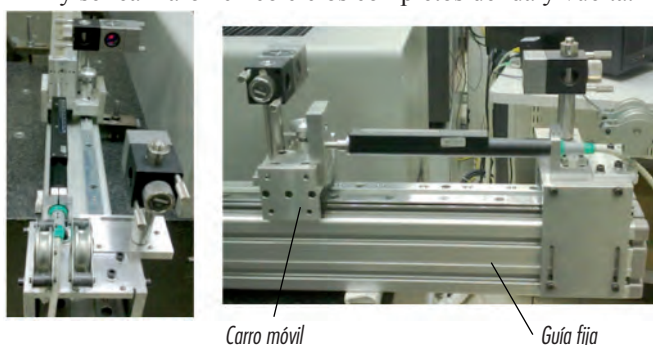


Fig. 2: Utillajes fabricados para la determinación del juego y repetibilidad del actuador mediante el interferómetro láser

### 2.1.2. Determinación del juego de la rótula esférica

Las rótulas esféricas de alta precisión elegidas permiten unir las cadenas cinemáticas que contienen a los actuadores a la base y a la plataforma. Estas rótulas poseen un ángulo de oscilación de  $\pm 30^\circ$ . El análisis del juego de la rótula esférica se realizó para distintas precargas a contracción. La Fig. 3 muestra los utillajes utilizados para la realización del mismo. En este ensayo se ha caracterizado el comportamiento de la rótula esférica midiendo con el interferómetro láser y con dos palpadores inductivos de repetibilidad  $0.1 \mu\text{m}$ . Uno de los palpadores inductivos está en contacto con la guía fija y el segundo palpador está en contacto con el carro móvil. La colocación de los espejos del interferómetro es la misma que la detallada en el ensayo anterior.

Para la realización del ensayo se coloca un extremo de la rótula esférica solidario a la guía fija y el otro extremo solidario al carro móvil. Inicialmente se efectúa una fuerza de contracción sobre la rótula y se mide la distancia entre los dos extremos de la misma. Se efectúa una fuerza de tracción y se mide la nueva distancia. La diferencia entre las dos mediciones nos proporcionará el juego de la rótula. Finalmente se colocan diferentes precargas a compresión en el carro móvil y se repite el proceso descrito para cada una de ellas.

### 2.1.3. Determinación del juego y repetibilidad del conjunto rótula esférica y actuador

El paso siguiente fue el análisis del juego y repetibilidad

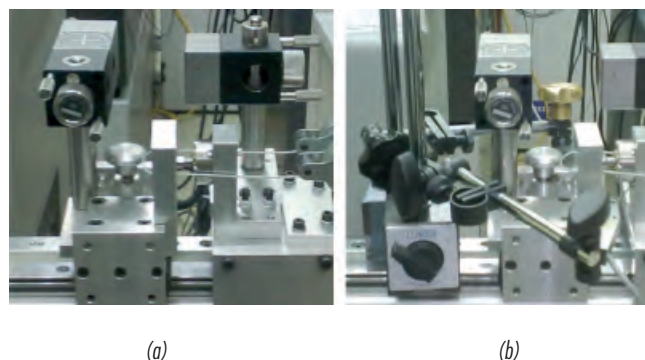


Fig. 3: Utillajes fabricados para la determinación del juego de la rótula esférica: (a) Medición con el interferómetro láser (b) Medición con palpadores inductivos

del conjunto rótula y actuador unidos. En la Fig. 4 se pueden observar los utillajes desarrollados para su realización.

Inicialmente se realizó un ensayo sin precarga que consistía en la inicialización del actuador a su posición de elongación cero. Se eliminó el juego en el sentido de contracción del mismo y se realizó el reset en el interferómetro láser, realizando desplazamientos con incrementos de 10 mm. Posteriormente se repitió el ensayo aplicando una precarga inicial al sistema rótula esférica y actuador para eliminar el juego de los componentes.

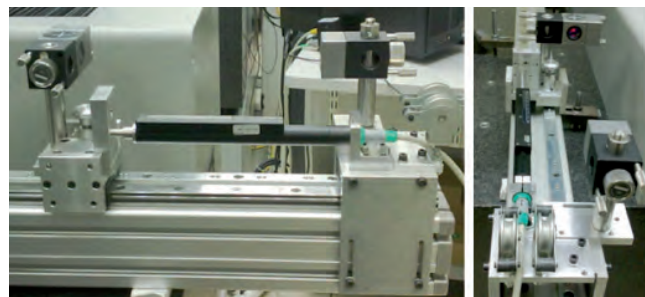


Fig. 4: Utillajes fabricados para la determinación del juego del sistema rótula esférica y actuador mediante el interferómetro láser

Una vez caracterizados los componentes del sistema se realizó el montaje de la plataforma y se caracterizó el sistema completo como se detalla a continuación.

## 2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA PLATAFORMA

La caracterización de la plataforma se ha realizado mediante el ensayo de determinación del juego y repetibilidad utilizando una máquina de medir por coordenadas (MMC) con precisión en torno a los  $2 \mu\text{m}$ .

Previamente se han fijado tres esferas patrón sobre la superficie de la plataforma, como se muestra en la Fig. 5(a).

Para cada posición de análisis se ejecuta el orden de mover los actuadores mediante el programa de control y se transmite a los actuadores el orden de movimiento para posicionar a la plataforma en la posición deseada. En ese momento se obtiene la lectura de los sensores lineales,  $L_{1\_encoder}$  y  $L_{2\_encoder}$ , y se realiza la medición de las esferas

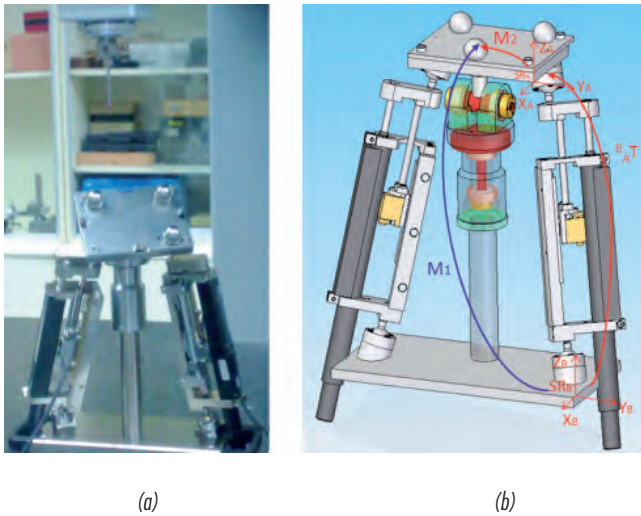


Fig. 5. Determinación del juego y repetibilidad de la plataforma: (a) Medición de las tres esferas. (b) Matriz de transformación que expresa los centros de las esferas en el  $SR_B$ .

patrón mediante la MMC. Esta medición permitirá hallar los centros de las esferas patrón respecto del sistema de referencia global B, situado en la base [ver Fig. 5(b)], obteniendo la posición y orientación de la plataforma respecto del sistema de referencia B. Las coordenadas medidas respecto del  $SR_B$ ,  $D_{medidas} = [x, y, z, a, b, g]$ , se pueden calcular fácilmente utilizando la matriz de transformación, como se detalla en la Ecuación 1:

$${}^B_A T = M_1 \cdot M_2^{-1} \quad {}^B_A T \quad (1)$$

donde  $M_2$  es la matriz de transformación que permite expresar el sistema de referencia de las esferas,  $SR_E$ , respecto del  $SR_A$  (sistema de referencia solidario a la placa móvil) y  $M_1$  es la matriz de transformación que permite expresar el sistema de referencia de las esferas,  $SR_E$ , respecto del  $SR_B$ .

Se han realizado mediciones de la posición de las tres esferas situadas en la placa móvil de la plataforma para 25 posiciones distribuidas en la zona de trabajo.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PLATAFORMA

##### 3.1.1 Determinación del juego y repetibilidad del actuador

El ensayo descrito en el apartado 2.1.1 se ha realizado cinco veces para analizar la repetibilidad del actuador. La Fig. 6 muestra los resultados obtenidos.

Como se puede observar, el error aumenta a medida que se incrementa la elongación del actuador. Sin embargo, la desviación para cualquier valor de elongación medida por el sensor lineal está por debajo de  $1 \mu m$  -en el caso de incremento de la elongación (ida)- y por debajo de  $2 \mu m$  -en el caso de decremento de la elongación (vuelta)-, por lo que el error cometido debido al actuador podrá ser fácilmente corregido.

Los resultados obtenidos con ambos ensayos son muy similares. El juego promedio al medir con el interferómetro láser es de  $45 \mu m$  (únicamente  $1.7 \mu m$  superior al obtenido por el sensor lineal). Esta diferencia puede deberse al propio error de los sistemas de medición o al pequeño error de *Abbe* cometido en la medida del interferómetro. Los sistemas de medición utilizados, sensor lineal e interferómetro láser, permiten determinar el error del actuador. Aunque estos errores medios y máximos son elevados, la caracterización realizada y la incorporación de los sensores ópticos lineales al mecanismo permitirán corregirlos.

La desviación obtenida en el ensayo realizado con el sensor lineal es ligeramente menor que la obtenida mediante el interferómetro láser. Esta diferencia es menor de  $1 \mu m$  (ver Tabla 1).

	ida sensor	ida interf.	vuelta sensor	vuelta interf.
media (mm)	-0.0731	-0.0688	-0.0290	-0.0230
desviacion (mm)	0.0007	0.0025	0.0012	0.0016
máx  Error  (mm)	0.1578	0.1311	0.1114	0.0931

Tabla 1: Comparación de la desviación obtenida en el actuador mediante el interferómetro láser y el sensor lineal

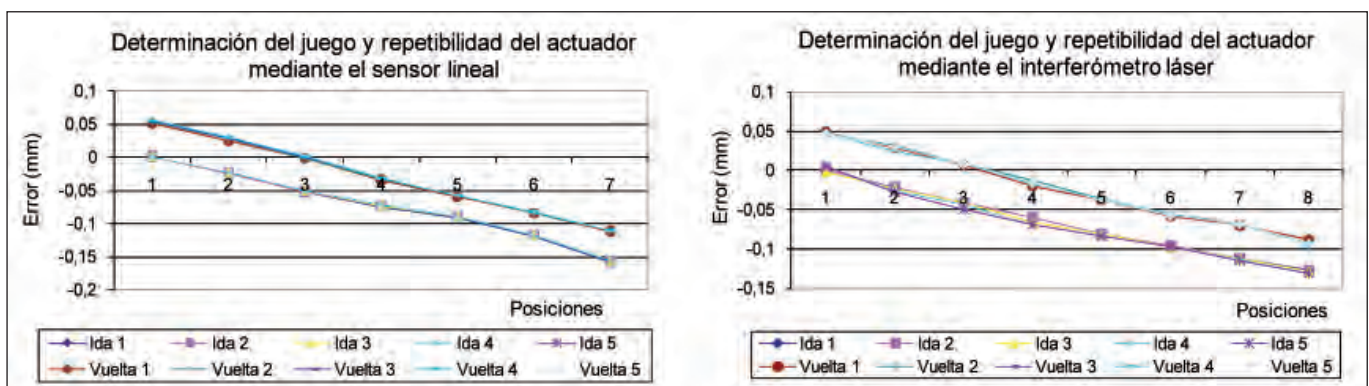


Fig. 6. Determinación del juego y repetibilidad del actuador



### 3.1.2. Determinación del juego de la rótula esférica

La Fig. 7 muestra los resultados obtenidos en el ensayo realizado para determinar el juego de la rótula esférica para distintas precargas, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 2.1.2. El juego obtenido antes de aplicar la precarga es de 10.3  $\mu\text{m}$  en la medición realizada con el interferómetro láser y de 6.6  $\mu\text{m}$  al medir con los palpadores inductivos. En las posiciones en las que la precarga es pequeña o nula, la repetibilidad obtenida es muy baja y el juego es máximo. Sin embargo, a medida que se aplica precarga el juego disminuye. Se puede observar que para precargas superiores a 2.4 Kg., el juego se mantiene constante con un valor entre 2 y 3  $\mu\text{m}$ , para la medición realizada con los palpadores inductivos, y entre 5 y 6  $\mu\text{m}$  para la medición realizada con el interferómetro láser. Esta diferencia puede ser debida a pequeños errores de Abbe en la medición realizada mediante el interferómetro láser.

A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que aplicando una precarga inicial de 2.4 Kg. en la plataforma se eliminaría considerablemente el juego de las rótulas.

### 3.1.3. Determinación del juego y repetibilidad del conjunto rótula esférica y actuador

En esta sección se muestran los resultados obtenidos en el ensayo para determinar el juego y la repetibilidad del conjunto rótula esférica y actuador, descrito en el apartado 2.1.3. Para ello, se ha utilizado el interferómetro láser y el sensor lineal. Ambos sistemas de medición ofrecen resultados muy similares, como se muestra en la Fig. 8.

Si se analiza la desviación en el error cometido por el sistema rótula y actuador (ver Tabla 2), se puede observar que la desviación máxima tiene lugar en el sentido de incremento de la elongación del actuador, con valores aproximados de 7.1 y 6.3  $\mu\text{m}$  en la medición realizada por el sensor lineal y el interferómetro láser, respectivamente. En la trayectoria en la que se decreta la elongación del actuador, los dos sistemas de medición difieren en sus medidas, pero siguen obteniéndose valores en el mismo orden de magnitud (1.4 y 3.1  $\mu\text{m}$  para la medición realizada por el sensor lineal y el interferómetro láser, respectivamente).

El paso siguiente consistió en la precarga inicial del sistema rótula esférica y actuador para eliminar el juego de los componentes. Se aplicó una precarga de valor 2.4 Kg., ya que ésta es la precarga a partir de la cual se elimina el juego del sistema, como se analizó en el apartado 3.1.2.

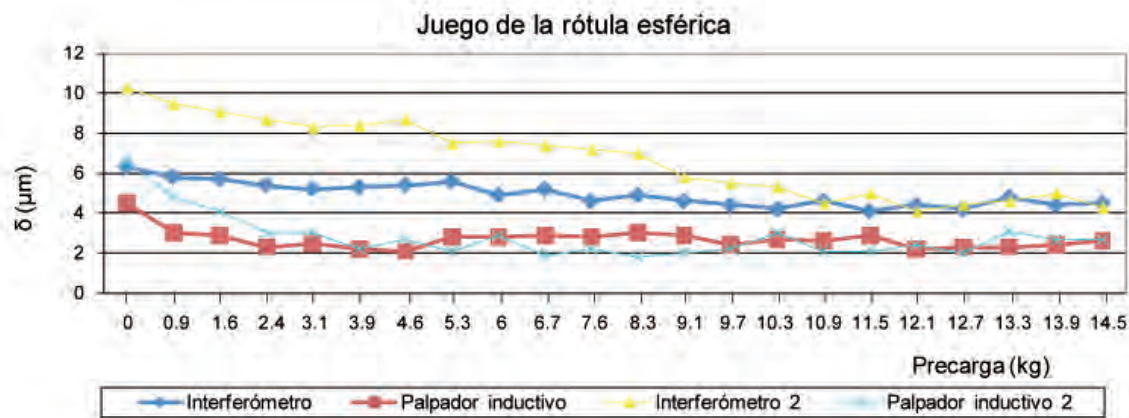


Fig. 7: Determinación del juego de la rótula esférica

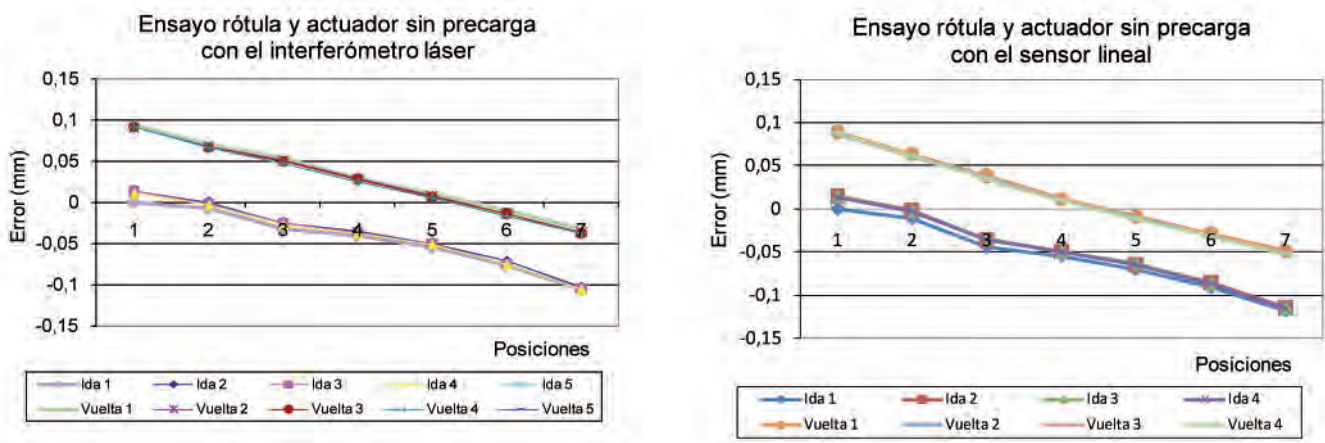


Fig. 8: Determinación del juego y repetibilidad del sistema rótula esférica y actuador mediante el interferómetro láser y el sensor lineal sin precarga

		Posiciones							
		1	2	3	4	5	6	7	
Sensor	ida	Media (mm)	0.0105	-0.0048	-0.0357	-0.0509	-0.0658	-0.0873	-0.1160
		Desviación (mm)	<b>0.0071</b>	0.0044	0.0068	0.0026	0.0030	0.0026	0.0021
		Máx.  Error  (mm)	0.0147	0.0112	0.0439	0.0547	0.0703	0.0911	0.1191
Sensor	vuelta	Media (mm)	0.0876	0.0614	0.0360	0.0107	-0.0107	-0.0303	-0.0508
		Desviación (mm)	0.0011	<b>0.0014</b>	0.0014	0.0011	0.0012	0.0014	0.0013
		Máx.  Error  (mm)	0.0888	0.0635	0.0379	0.0115	0.0120	0.0318	0.0522
Interf.	ida	Media (mm)	0.0091	-0.0034	-0.0277	-0.0376	-0.0518	-0.0749	-0.1052
		Desviación (mm)	<b>0.0063</b>	0.0031	0.0030	0.0022	0.0022	0.0020	0.0014
		Máx.  Error  (mm)	0.0138	0.0075	0.0319	0.0404	0.0549	0.0768	0.1067
Interf.	vuelta	Media (mm)	0.0915	0.0675	0.0499	0.0276	0.0071	-0.0139	-0.0364
		Desviación (mm)	0.0017	0.0023	0.0026	0.0020	0.0024	<b>0.0031</b>	0.0025
		Máx.  Error  (mm)	0.0940	0.0708	0.0534	0.0291	0.0104	0.0173	0.0388

Tabla 2: Comparación de la desviación obtenida por el sensor lineal y el interferómetro láser en el sistema rótula esférica y actuador para cada posición medida

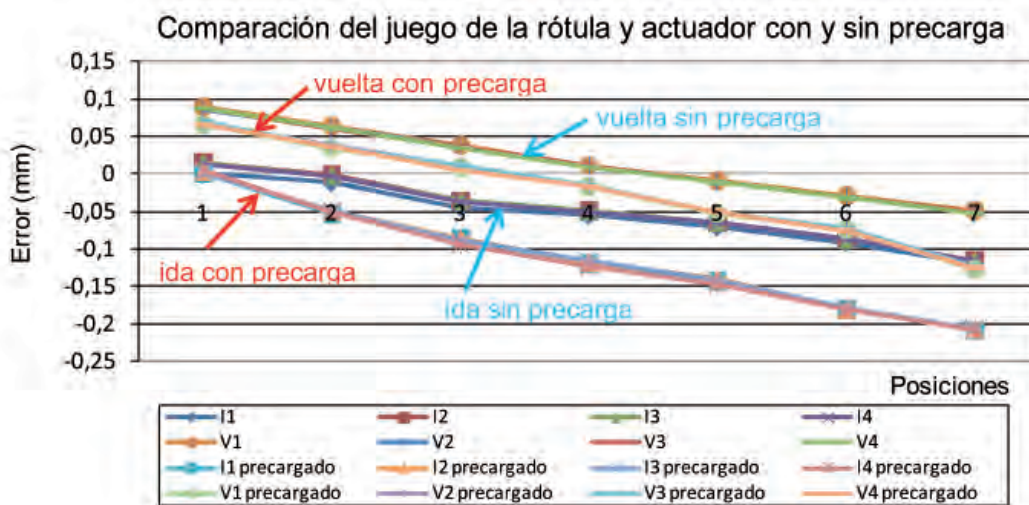


Fig. 9. Determinación del juego y repetibilidad del sistema rótula esférica con y sin precarga mediante el sensor lineal

La Fig. 9 compara los resultados obtenidos antes y después de la aplicación de la precarga en la medición realizada con el sensor lineal. En las primeras posiciones, correspondientes a pequeñas elongaciones del actuador, el juego disminuye como cabía esperar. Sin embargo, a medida que nos acercamos a la zona donde el actuador se encuentra en posiciones más alejadas, el juego aumenta. Este comportamiento puede deberse a movimientos de flexión del actuador. Sin embargo, la repetibilidad mejora considerablemente, lo que permitirá desarrollar modelos de corrección en la caracterización de la plataforma. La Tabla 3 muestra los valores máximo, mínimo y promedio del juego obtenido para los dos sistemas de medición empleados. Se puede observar que al colocar la precarga en el sistema rótula y actuador, el juego aumenta. Sin embargo, comparando las Tablas 2 y 4 (desviaciones sin aplicar precarga y con precarga, respectivamente), se puede observar que la desviación máxima mejora considerablemente, obteniendo valores máximos de desviación de 3.3  $\mu\text{m}$  con precarga, frente a 7.1  $\mu\text{m}$  sin precarga en el caso del sensor lineal y 4.6  $\mu\text{m}$  frente a 6.3  $\mu\text{m}$  en el caso del interferómetro.

	Sin precarga		Con precarga	
	Interf. Láser	Sensor lineal	Interf. Láser	Sensor lineal
Juego máx (mm)	0.0824	0.0771	0.1663	0.1519
Juego mín (mm)	0.0589	0.0552	0.0732	0.0624
Juego promedio (mm)	0.0693	0.0649	0.1305	0.1173

Tabla 3: Comparación del juego obtenido en el sistema rótula esférica y actuador mediante el interferómetro láser y el sensor lineal con y sin precarga

### 3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA PLATAFORMA

Una vez caracterizados los componentes del sistema, se realiza el montaje de la plataforma y se caracteriza el sistema completo. La Fig. 10 muestra la desviación obtenida en el ensayo de juego y repetibilidad de la plataforma (descrito en el apartado 2.2) para diferentes trayectorias definidas por los ángulos  $\varphi_1$  (azimut) y  $\varphi_2$  (elevación). Cada posición viene representada por el valor  $[\varphi_1, \varphi_2]$ .

En las trayectorias representadas en las Fig. 10(a), 10(b) y 10(e) el ángulo de elevación permanece constante para cada posición de la plataforma y el ángulo de azimut varía en el intervalo  $[-40, 40]$  con incrementos de  $20^\circ$  de una posición a la siguiente, describiendo de esta forma movimientos horizontales. En las trayectorias representadas en las Fig. 10(c) y 10(d) el ángulo que permanece constante es el ángulo

		Posiciones						
		1	2	3	4	5	6	7
ida sensor	media (mm)	0.0022	-0.0500	-0.0886	-0.1190	-0.1428	-0.1800	-0.2070
	desviación (mm)	0.0018	0.0014	<b>0.0033</b>	0.0014	0.0012	0.0011	0.0021
	máx  Error  (mm)	0.0048	-0.0484	-0.0857	-0.1164	-0.1398	-0.1793	-0.2052
vuelta sensor	media (mm)	0.0671	0.0360	0.0089	-0.0158	-0.0506	-0.0740	-0.1243
	desviación (mm)	0.0018	0.0014	<b>0.0033</b>	0.0014	0.0012	0.0011	0.0021
	máx  Error  (mm)	0.0691	0.0374	0.0114	-0.0143	-0.0498	-0.0731	-0.1227
ida interf.	media (mm)	0.0023	-0.0521	-0.0859	-0.1129	-0.1365	-0.1779	-0.2063
	desviación (mm)	0.0025	0.0019	<b>0.0046</b>	0.0030	0.0031	0.0006	0.0019
	máx  Error  (mm)	0.0045	-0.0500	-0.0823	-0.1103	-0.1334	-0.1772	-0.2039
vuelta interf.	media (mm)	0.0727	0.0436	0.0230	0.0021	-0.0344	-0.0610	-0.1177
	desviación (mm)	0.0012	0.0014	<b>0.0039</b>	0.0020	0.0016	0.0009	0.0021
	máx  Error  (mm)	0.0744	0.0452	0.0261	0.0043	-0.0331	-0.0600	-0.1152

Tabla 4: Comparación de la desviación obtenida en el sistema rótula esférica y actuador, mediante el interferómetro láser y el sensor lineal con precarga

de elevación, por lo que la plataforma realiza movimientos verticales.

A partir de los resultados obtenidos se puede deducir que las posiciones cercanas a la posición inicial ( $\varphi_1=0, \varphi_2=0$ ) son las que presentan menor juego y las posiciones alejadas de ella son las que muestran mayor juego.

La Tabla 5 muestra las desviaciones obtenidas en algunas de las trayectorias verticales ( $\varphi_1=cte$ ) y horizontales ( $\varphi_2=cte$ ), respectivamente, del ensayo de caracterización de la plataforma. La desviación máxima es muy similar en ambos casos, con valores de 2.3 y 2.9  $\mu m$ . Estos resultados corroboran los análisis previos realizados para el sistema rótula esférica y actuador con precarga a compresión, donde se pudo predecir una desviación en torno a los 3  $\mu m$ .

El paso siguiente es el análisis del error cometido en el posicionamiento de la plataforma. La Fig. 11 muestra los

máximo de la plataforma es de 0.88 mm y el error medio es de 0.42 mm.

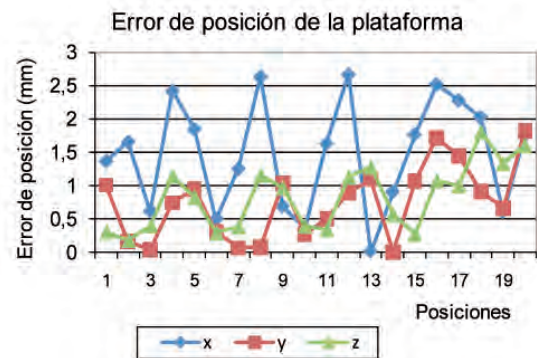


Fig. 11: Representación del error cometido en el posicionamiento de la plataforma: Componentes del error de posición

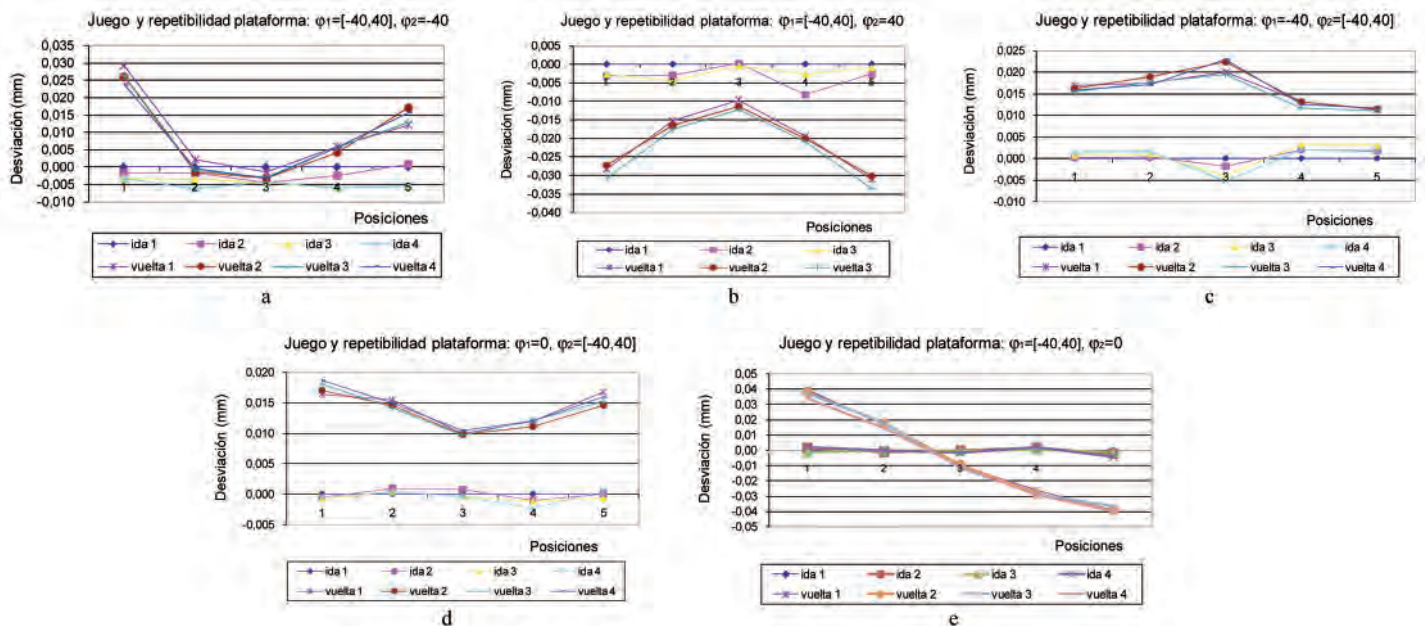


Fig. 10: Determinación del juego de la plataforma mediante la MMC: (a) Trayectoria  $\varphi_1=[-40^\circ, 40^\circ], \varphi_2=40^\circ$  (b) Trayectoria  $\varphi_1=[-40^\circ, 40^\circ], \varphi_2=40^\circ$  (c) Trayectoria  $\varphi_1=40^\circ, \varphi_2=[-40^\circ, 40^\circ]$  (d) Trayectoria  $\varphi_1=0^\circ, \varphi_2=[-40^\circ, 40^\circ]$  (e) Trayectoria  $\varphi_1=[-40^\circ, 40^\circ], \varphi_2=0^\circ$

Trayectoria vertical	Posiciones (j = -40°)	ida	Media (mm)	0.0006	0.0008	-0.0027	0.0018	0.0017
			Desviación (mm)	0.0007	0.0007	<b>0.0023</b>	0.0014	0.0013
Máx.  Error  (mm)	0.0015	0.0017	0.0052	0.0033	0.0031			
Posiciones (j = 0°)	ida	Media (mm)	0.0161	0.0178	0.0212	0.0126	0.0114	
		Desviación (mm)	0.0006	0.0008	<b>0.0017</b>	0.0007	0.0002	
Máx.  Error  (mm)	0.0169	0.0189	0.0229	0.0131	0.0116			
Posiciones (j = 0°)	vuelta	Media (mm)	-0.0004	0.0004	0.0000	-0.0011	0.0000	
		Desviación (mm)	0.0003	0.0004	0.0006	<b>0.0009</b>	0.0005	
Máx.  Error  (mm)	0.0007	0.0010	0.0008	0.0023	0.0006			
Trayectoria horizontal	Posiciones (j = -40°)	ida	Media (mm)	0.0176	0.0148	0.0100	0.0118	0.0157
			Desviación (mm)	<b>0.0010</b>	0.0006	0.0003	0.0005	0.0010
Máx.  Error  (mm)	0.0187	0.0155	0.0105	0.0121	0.0168			
Posiciones (j = -40°)	vuelta	Media (mm)	-0.0021	-0.0028	-0.0033	-0.0036	-0.0025	
		Desviación (mm)	0.0016	0.0026	0.0022	<b>0.0029</b>	0.0034	
Máx.  Error  (mm)	0.0033	0.0062	0.0045	0.0060	0.0055			
Posiciones (j = 0°)	ida	Media (mm)	0.0264	-0.0001	-0.0028	0.0055	0.0145	
		Desviación (mm)	<b>0.0022</b>	0.0016	0.0009	0.0009	0.0024	
Máx.  Error  (mm)	0.0293	0.0022	0.0032	0.0060	0.0171			
Posiciones (j = 0°)	vuelta	Media (mm)	0.0006	-0.0002	-0.0004	0.0012	-0.0018	
		Desviación (mm)	0.0015	0.0005	0.0007	0.0010	<b>0.0017</b>	
Máx.  Error  (mm)	0.0020	0.0009	0.0013	0.0021	0.0041			
Posiciones (j = -40°)	ida	Media (mm)	0.0374	0.0168	-0.0101	-0.0280	-0.0384	
		Desviación (mm)	<b>0.0024</b>	0.0016	0.0008	0.0014	0.0013	
Máx.  Error  (mm)	0.0397	0.0179	0.0112	0.0294	0.0394			
Posiciones (j = -40°)	vuelta	Media (mm)	-0.0019	-0.0024	0.0000	-0.0036	-0.0012	
		Desviación (mm)	<b>0.0017</b>	0.0022	0.0004	0.0042	0.0013	
Máx.  Error  (mm)	0.0031	0.0044	0.0004	0.0082	0.0026			
Posiciones (j = 0°)	ida	Media (mm)	-0.0288	-0.0164	-0.0111	-0.0202	-0.0316	
		Desviación (mm)	<b>0.0018</b>	0.0012	0.0013	0.0007	0.0017	
Máx.  Error  (mm)	0.0308	0.0176	0.0123	0.0209	0.0335			

Tabla 5: Desviación en las trayectorias verticales ( $\varphi_j = cte$ ) del ensayo de caracterización de la plataforma

### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado la metodología utilizada para la caracterización de una plataforma de 2-GDL giratorios que permite aumentar la precisión del mecanismo simplificando considerablemente el modelado cinemático del mismo.

Se ha determinado el juego de los componentes -actuador y rótula esférica- mediante diferentes sistemas de medición como un sensor óptico lineal, interferómetro láser y palpadores inductivos. Se ha calculado la precarga a contracción que permite disminuir el juego de la rótula esférica en torno al 40%. Además, la aplicación de dicha precarga mejora considerablemente la repetibilidad y la desviación del error, lo que permitirá mejorar la precisión en la etapa de calibración.

En el mecanismo desarrollado por Ropponen [17] se obtuvo un error en las componentes x e y en torno a 2 mm y el error obtenido en la componente z era inferior. Sin embargo, en el análisis de nuestro mecanismo, el error se produce principalmente en el eje z. Esta diferencia puede ser debida a la modelización realizada del mecanismo.

Para caracterizar la plataforma se ha aplicado la precarga calculada y se han utilizado las lecturas de los sensores lineales para corregir el juego de los actuadores, mejorando considerablemente la precisión del mecanismo. El error de posición medio de la plataforma, después de realizar la calibración del sistema, es de 0.42 mm.

La metodología desarrollada permite alcanzar elevada precisión de posicionamiento; si bien el costo inicial es más elevado en comparación con otros métodos, debido a la necesidad de utilizar sistemas de medición de precisión,

este procedimiento permite compensar y corregir errores no geométricos como el juego. Mediante la caracterización desarrollada, las posteriores fases de modelado y calibración disminuyen su complejidad considerablemente, evitando posibles fuentes de error en la resolución de estos modelos, como por ejemplo, la incorporación de funciones discontinuas para la consideración del juego de los componentes del mecanismo.

Otro de los aspectos a considerar es el tiempo necesario para la aplicación de esta metodología frente a los métodos tradicionales. Inicialmente se deben diseñar y fabricar los utillajes, y posteriormente se deben realizar los ensayos para la caracterización de los componentes. Aunque el tiempo de desarrollo es alto, una vez sistematizada la metodología dicho tiempo se reduce considerablemente. En los métodos tradicionales no se realiza esta etapa de caracterización. Sin embargo, el tiempo necesario para el modelado del mecanismo suele ser mayor que el requerido para la aplicación de la metodología desarrollada, ya que o bien se deben incorporar este tipo de errores en el modelo cinemático -lo que da lugar a un complejo problema de alto coste computacional que suele introducir errores en su resolución- o bien deben desarrollarse independientemente modelos no geométricos que consideren estos errores, cuya resolución se realiza habitualmente mediante métodos de calibración dinámica.

La caracterización del sistema de posicionamiento para aplicaciones de metrología y procesos de máquina-herramienta, es fácilmente generalizable a otros mecanismos paralelos de precisión que contengan actuadores y rótulas esféricas. La metodología desarrollada permite caracterizar los distintos componentes del mecanismo. De esta manera, se puede introducir la corrección en cada cadena cinemática en función del tipo de rótulas de dicha cadena. Debido a las características del modelado de los mecanismos de cinemática paralela, en los que el modelo se obtiene mediante lazos de unión independientes -de la placa móvil a la placa fija- a través de las distintas cadenas del mecanismo, la caracterización de cualquier mecanismo paralelo se realizaría considerando el mecanismo como un sistema modular de n cadenas cinemáticas e introduciendo la corrección de cada cadena.

Como conclusión de este trabajo, la metodología desarrollada permite caracterizar el error para conocer y trazar su influencia en la precisión final del mecanismo, lo que permite implementar la corrección en el modelo cinemático en cuanto a repetibilidad de posicionamiento y juego. Los parámetros no geométricos, como el juego, provocan errores no repetibles, que introducen incertidumbre en el posicionamiento del mecanismo, por lo que deben ser caracterizados y corregidos antes de ser introducidos en el modelo. De lo contrario, la identificación de dichos parámetros dependerá del valor inicial de todos los parámetros del modelo. El conocimiento previo de estos errores permite corregirlos o utilizar estos valores como valores iniciales en el procedimiento de identificación de parámetros. De

esta manera, se obtienen modelos de calibración mucho más sencillos donde no es necesario introducir complejas funciones para el modelado de estos errores, minimizando los errores de cálculo numérico y disminuyendo la incertidumbre en la precisión del mecanismo y el coste computacional en la resolución del modelado y calibración del sistema.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pérez-Turiel J, Fraile-Marinero JC, Perán-González JR. "Aplicaciones de la robótica: últimas tendencias y nuevas perspectivas". *DYNA Ingeniería e Industria*. Abril 2002. Vol.77-3 p. 61-68.
- [2] Amat J. "Posibilidades y perspectivas de la robótica en la medicina". *DYNA Ingeniería e Industria*. Septiembre 1996. Vol.71-6 p. 59-61.
- [3] Hernández-Martínez E, López-Cajún C, Jáuregui-Correa J. "Calibration of Parallel Manipulators and their Application to Machine Tools. A State of the Art Survey". *Ingeniería. Investigación y Tecnología*. Junio 2010. Vol.11-2 p. 141-154.
- [4] Yang GL, Chen IM, Chen WH et al. "Kinematic design of a six-DOF parallel-kinematics machine with decoupled-motion architecture". *IEEE Transactions on Robotics and Automation*. Octubre 2004. Vol.20-5 p. 876-884.
- [5] Aracil R, Saltaren RJ, Sabater JM et al. "Robots paralelos: Máquinas con un pasado para una robótica del futuro". *Revista iberoamericana de automática e informática industrial (RIAI)*. Enero 2006. Vol.3-1 p. 16.
- [6] Aracil R, Saltarén R, Sabater JM et al. "Robots trepadores de estructura paralela. Aplicación al mantenimiento de palmeras". *DYNA Ingeniería e Industria*. Febrero 2000. Vol.75-1 p. 55-59.
- [7] Merlet JP. "Determination of the Orientation Workspace of Parallel Manipulators". *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. Junio 1995. Vol.13-2 p. 143-160.
- [8] Gosselin C, Angeles J. "Singularity Analysis of Closed-Loop Kinematic Chains". *IEEE Robotics and Automation*. Junio 1990. Vol.6-3 p. 281-290.
- [9] Gosselin C. "Determination of the Workspace of 6-Dof Parallel Manipulators". *Journal of Mechanical Design*. Septiembre 1990. Vol.112-3 p. 331-336.
- [10] Stan SD, Maties V, Balan R. *Workspace optimal design of a 2 DOF micro parallel robot using genetic algorithms and simulated annealing optimization methods*. Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics and Automation: 5-8 Agosto 2007. p. 1108.
- [11] Majarena AC, Santolaria J, Samper D et al. "An Overview of Kinematic and Calibration Models Using Internal/External Sensors or Constraints to Improve the Behavior of Spatial Parallel Mechanisms". *Sensors*. Noviembre 2010. Vol.10-11 p. 10256-10297.
- [12] Gong C, Yuan J, Ni J. "Non geometric error identification and compensation for robotic system by inverse calibration". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Marzo 2000. Vol.40 p. 2119-2137.
- [13] Ahmad S. "Analysis of robot drive train errors, their static effects and their compensations". *IEEE Journal of Robotics and Automation*. Abril 1988. Vol.4(2) p. 117-128.
- [14] Caenen A. *Internal preload control of redundantly actuated parallel manipulators-backlash avoiding control*. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation: 18-22 Abril 2005. p. 948.
- [15] Müller A. *Internal preload control of redundantly actuated parallel manipulators-backlash avoiding control*. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation: 18-22 Abril 2005. p. 948.
- [16] Müller A, Maisser P. "Generation and application of prestress in redundantly full-actuated parallel manipulators". *Multibody System Dynamics*. Julio 2007. Vol.18-2 p. 259-275.
- [17] Ropponen T, Arai T. *Accuracy analysis of a modified Stewart platform manipulator*. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation: 21-27 Mayo 1995. p. 521.
- [18] Majarena AC, Santolaria J, Samper D et al. "Spatial resolution-based kinematic design of a parallel positioning platform". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Julio 2010, doi: 10.1007/s00170-010-2878-x.
- [19] Cash M, Bruch D, Jahn B et al. *Practical considerations of joint friction and backlash in large ground-based telescope secondary optic positioning systems*. Proceedings of SPIE: Julio 2008. p. 70181T.

# Nuevos procesos de separación basados en membranas líquidas iónicas soportadas



Antonia Pérez-De los Ríos

Francisco José Hernández-Fernández

Anahi Ginestá-Anzola

Sergio Sánchez-Segado

Luis Javier Lozano-Blanco

Carlos Godínez-Seoane

Dra. Universidad de Murcia

Dr. Universidad de Murcia

Ingeniera Química

Dr. Ingeniero Químico

Dr. Ingeniero Industrial

Dr. Ciencias Químicas

Universidad Politécnica de Cartagena. Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental, Campus La Muralla, C/ Doctor Fleming, s/n - 30202 Cartagena. Tfno: +34 968 325548. antonia.perez@upct.es

Recibido: 31/01/2011 • Aceptado: 05/07/2011

## Novel separation processes based on supported ionic liquid membranes

### ABSTRACT

• Supported liquid membranes have been recognized as an effective method for selective separation of compounds in a variety of processes.

However, industrial application is still limited, mainly due to their limited operational stability. The use of ionic liquids as liquid phase in this type of membrane has made it possible to obtain more stable supported liquid membranes due to the almost negligible vapor pressure of these new solvents, its high viscosity and the ability to minimize its solubility in surrounding phases by proper selection of the cation and anion constituting the ionic liquid. In addition, the ability to modulate the properties of ionic liquids by varying the cation and anion constituent of the same enables the design of supported liquid membranes more suitable for every application, which has opened up a whole range of potential applications. This article presents a review of current status of this new membrane technology, with particular emphasis on methods of preparation, the operational stability of the same and some of the most representative of this technology such as the separation of organic compounds and mixtures of gases.

• **Keywords:** supported liquid membrane, ionic liquid, selective separation.

### RESUMEN

Las membranas líquidas soportadas han sido reconocidas como un método efectivo para la separación selectiva de compuestos en una gran variedad de procesos.

Sin embargo, su aplicación industrial es todavía limitada, debido principalmente a su limitada estabilidad operacional. El uso de líquidos iónicos como fase líquida en este tipo de membranas ha hecho posible la obtención de membranas líquidas soportadas más estables gracias a la presión de vapor casi despreciable de estos nuevos disolventes, a su elevada viscosidad y a la posibilidad de minimizar su solubilidad en las fases circundantes mediante la adecuada selección del catión y el anión constituyente del líquido iónico. Además, la posibilidad de modular las propiedades de los líquidos iónicos variando el catión y anión constituyente del mismo permite el diseño de membranas líquidas soportadas más adecuadas para cada aplicación concreta, lo cual ha abierto todo un abanico de aplicaciones potenciales. En este

artículo se presenta una revisión del estado actual de esta nueva tecnología de membranas, haciendo especial hincapié en los métodos de preparación, la estabilidad operacional de las mismas y en algunas de las aplicaciones más representativas de esta tecnología tales como la separación de compuestos orgánicos y de mezclas de gases.

**Palabras clave:** membrana líquida soportada, líquido iónico, separación selectiva.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los métodos empleados tradicionalmente en la industria química para la separación selectiva de compuestos han sido la cristalización, la destilación fraccionada y la extracción con disolventes. La mayor parte de estos métodos requieren altos consumos de energía y/o dan lugar a grandes cantidades de residuos de disolventes. Algunos datos pueden ilustrar esta afirmación, por ejemplo, el consumo de energía

de la industria química supone el 34% del consumo de energía mundial y la cantidad total de residuos generados en la Unión Europea es de 350 millones de toneladas/año de residuos no peligrosos y de 62 millones de toneladas/año de residuos peligrosos. En este contexto, los procesos de separación basados en la tecnología de membranas han sido reconocidos como una alternativa prometedora para conseguir una gestión más eficiente de los recursos, ya que no requieren altos consumos de energía para su operación, pueden ser llevados a cabo bajo condiciones de operación moderadas y el consumo de disolventes es menor que en los métodos tradicionales [1].

Dentro de los procesos basados en la tecnología de membranas, el uso de membranas líquidas soportadas (SLMs) ha recibido un interés creciente en los últimos años [2-4]. Las SLMs consisten en soportes porosos en cuyos poros se ocluye un líquido. Entre las numerosas ventajas de este tipo de membranas cabe destacar que la cantidad de disolvente necesario es mínima y que los procesos de extracción y recuperación tienen lugar en una única etapa [5]. Sin embargo, su uso industrial es todavía limitado, principalmente debido a aspectos relacionados con la estabilidad de las mismas y el rendimiento a largo plazo [6,7]. Las membranas líquidas soportadas basadas en líquidos convencionales se acaban deteriorando debido a la evaporación del líquido, la disolución en las fases en contacto, y el desplazamiento del líquido de la estructura porosa bajo gradientes de presión reducidos (<10 kPa). Además, en los últimos años se ha incentivado el desarrollo de procesos que minimicen el uso de disolventes orgánicos. El elevado consumo de disolventes orgánicos como medios de reacción y extracción en la industria química le supone a ésta unos costes estimados a nivel mundial de 6.000 millones de Euros/año. Esto unido a sus conocidos efectos perjudiciales sobre el medio ambiente, la seguridad y la salud ha supuesto un enorme incentivo en el desarrollo de procesos que emplean nuevos disolventes más respetuosos con el medio ambiente, como los líquidos iónicos (ILs), que además pueden reciclarse y reutilizarse.

Estudios recientes han sugerido que los ILs pueden además solventar las limitaciones relacionadas con la escasa estabilidad operacional de las SLMs gracias a las propiedades inherentes que los caracterizan [8-10]. Los ILs son sales orgánicas que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente. Consisten habitualmente en un catión orgánico y un anión inorgánico poliatómico o, cada vez más habitual, un anión orgánico [11] (ver Fig.1).

La presión de vapor prácticamente despreciable de los ILs los convierte en una alternativa limpia a los disolventes orgánicos convencionales para su uso en una amplia variedad de procesos químicos, en procesos de separación y la purificación [12-18], como medios de reacción [19-22], y en catálisis química [23-25].

Además, la posibilidad de minimizar la solubilidad del líquido iónico en el medio circundante mediante la adecuada selección del anión y el catión constituyentes del mismo [26] y

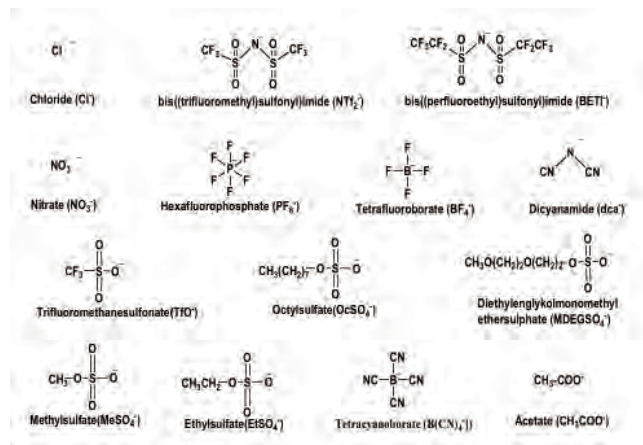


Figura 1: Iones más comunes que forman parte de los ILs

su elevada viscosidad, que permite reducir el desplazamiento del líquido de los microporos bajo gradientes reducidos de presión, permiten utilizar estos nuevos disolventes como fase líquida, ya que se conseguiría la estabilización de la membrana líquida soportada. Otra interesante propiedad de los ILs para su aplicación como SLM es su elevada estabilidad térmica y química, su excelente conductividad iónica [27] y su elevado poder disolvente [28]. Adicionalmente, las propiedades de los ILs (hidrofobicidad, viscosidad, solubilidad, etc.) pueden ser modificadas mediante la variación del anión o el catión constituyente del líquido iónico [11]. Todas las propiedades mencionadas han llevado a considerar a los líquidos iónicos como “disolventes verdes de diseño” [29].

En la última década, se han descrito procesos de separación a través de SLM basadas en líquidos iónicos en los que se consigue un transporte selectivo de compuestos orgánicos como aminas, alcoholes, ácidos orgánicos, cetonas, éteres e hidrocarburos aromáticos [12, 15, 17, 30, 31] y mezcla de gases [32, 33]. La motivación del presente trabajo es sintetizar la información más relevante, disponible hasta el momento, de esta novedosa tecnología, desde métodos de preparación de SLMs, estabilidad de las mismas y potenciales aplicaciones, hasta una orientación a los nuevos retos a los que es necesario enfrentarse para conseguir la completa implementación industrial de la misma.

## 2. MÉTODOS DE PREPARACIÓN DE MEMBRANAS SOPORTADAS BASADAS EN LÍQUIDOS IÓNICOS

Debido a la relativamente alta viscosidad de los líquidos iónicos, el método de preparación de la membrana soportada juega un importante papel en la posterior eficacia de la misma. Los tres métodos más comunes para la preparación de las membranas soportadas de líquidos iónicos son: inmersión directa, vacío o presión [18, 34, 35]. En el primer caso, la inmovilización tiene lugar poniendo en contacto la membrana soporte con el líquido iónico, permitiendo que ésta lo absorba [18]. En el método a vacío, la membrana

soporte se pone en contacto con el IL y se aplica vacío para sustituir el aire ocluido en los poros de la membrana soporte por líquido iónico [34]. En el método por presión, la inmovilización se consigue empleando una unidad de ultrafiltración en la cual se coloca la membrana soporte, se añade el líquido iónico sobre la misma y se aplica nitrógeno a presión para forzar al IL a fluir por el interior de los poros de la membrana [35]. Tras estos procesos, el líquido iónico sobrante debe ser retirado de la superficie de la membrana dejándola gotear toda la noche o bien absorbiendo el IL superficial con papel.

Para analizar la influencia del método de inmovilización sobre el rendimiento de las membranas líquidas iónicas soportadas (SILMs) se ha empleado la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM, *Scanning Electron-Microscopy*) combinada a análisis por energía dispersiva de rayos X (EDX, *Energy Dispersive X-ray*) [35]. La Fig. 2 muestra fotografías de microscopía electrónica de barrido de una membrana de Nylon sin y con el líquido iónico [bmim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>] soportado en ella usando los métodos de presión y vacío, respectivamente.

Los estudios de SEM-EDX y los estudios gravimétricos muestran que, cuando la inmovilización se llevaba a cabo por presión, la cantidad de IL inmovilizado es independiente del líquido usado. Por el contrario, en la inmovilización por vacío, se absorbe menos IL cuanto más viscoso sea el líquido en cuestión. De todo lo anterior se concluye que la inmovilización por vacío puede considerarse adecuada para líquidos iónicos poco viscosos, ya que es uno de los métodos de preparación más sencillos. Sin embargo, cuando la viscosidad de los mismos sea elevada se deberá recurrir a inmovilización por presión para asegurar que todos los poros de la membrana se llenan de líquido iónico.

La naturaleza de la membrana soporte también juega un papel importante en la cantidad de líquido iónico inmovilizado en la membrana y por tanto en sus propiedades. En este contexto, de los Ríos *et al.* [8] analizaron el uso de dos membranas poliméricas, *Nylon*<sup>®</sup> y *Mitex*<sup>®</sup>, como membranas soporte. La membrana de *Nylon*<sup>®</sup> es una membrana hidrofílica de poliamida con tamaño de poro de 0,45 μm y espesor de 170 μm. La membrana *Mitex*<sup>®</sup> es una membrana hidrofóbica de politetrafluoroetileno con un tamaño de poro de 10 μm y un espesor de 130 μm. En este estudio se comprobó que en las membranas de *Mitex*<sup>®</sup> se absorbía menos líquido iónico, lo cual se explicó por

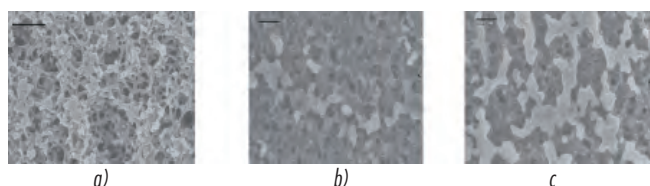


Fig. 2: Micrografías electrónicas de barrido de la (a) membrana de Nylon (3040x) (barra de escalado = 5 μm) y de la membrana de Nylon impregnada con [bmim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>] (b) por presión (1010x) (barra de escalado = 10 μm) y (c) por vacío (1010x) (barra de escalado = 10 μm)

las diferentes propiedades texturales y el elevado carácter hidrofóbico de esta membrana, que probablemente restringe la interacción con los líquidos iónicos hidrofílicos empleados en el estudio [15].

### 3. ESTABILIDAD DE LAS MEMBRANAS LÍQUIDAS IÓNICAS SOPORTADAS

Una de las propiedades más importantes para la aplicación de las SILMs a nivel industrial es su estabilidad. Por esta razón, este parámetro ha sido objeto de numerosos estudios, analizándose la estabilidad de SILMs preparadas por diferentes métodos y con distintas condiciones de operación (fases circundantes, temperatura, presión, etc.) [35-38].

El método de inmovilización ha demostrado influir decisivamente en la estabilidad de la membrana. Hernández-Fernández *et al.* [35] realizaron un estudio comparativo de la preparación de SILMs por dos métodos: presión y vacío. En este estudio se emplearon los líquidos iónicos [bmim<sup>+</sup>][Cl<sup>-</sup>], [bmim<sup>+</sup>][BF<sub>4</sub><sup>-</sup>], [bmim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>] y [bmim<sup>+</sup>][NTf<sub>2</sub><sup>-</sup>] como fase líquida soportada en una membrana de Nylon. Tras siete días de operación se observaron pequeñas pérdidas de líquido iónico cuando el IL se inmovilizó bajo presión. Estas pérdidas fueron significativamente mayores cuando la inmovilización se llevó a cabo a vacío, sobre todo con los líquidos iónicos más viscosos ([bmim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>] y [bmim<sup>+</sup>][Cl<sup>-</sup>]).

También se ha analizado la influencia de la composición del líquido iónico en la estabilidad en medios orgánicos de SILMs. En este contexto, de los Ríos *et al.* [37] analizaron la estabilidad de SILMs basadas en [bmim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>], [bmim<sup>+</sup>][BF<sub>4</sub><sup>-</sup>] y [bmim<sup>+</sup>][NTf<sub>2</sub><sup>-</sup>], usando membranas de Nylon<sup>®</sup> como soporte. Los tests de estabilidad se llevaron a cabo manteniendo las correspondientes membranas impregnadas inmersas en una célula de difusión que consta de dos compartimentos independientes, y empleando como fases circundantes disolventes orgánicos de distinta polaridad tales como *n*-hexano/*tert*-butil metil eter y *n*-hexano/dimetil sulfóxido.

El estudio SEM-EDX de las membranas después de la operación continua mostró que la estabilidad de las membranas líquidas soportadas aumenta cuando disminuye la polaridad del disolvente usado y para un mismo disolvente orgánico, la estabilidad aumentó conforme lo hizo la hidrofílicidad del líquido iónico.

Se ha analizado además la estabilidad de membranas líquidas iónicas soportadas empleando gases como fases circundantes [36,38]. En este contexto, se ha estudiado la estabilidad de SILMs basadas en el líquido iónico [Et(OEt)<sub>2</sub><sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>] soportadas en la membrana hidrofóbica de PVDF (*Durapore*<sup>®</sup>) a 25 °C con una diferencia de presión de 1,2 bar [36]. Los estudios de estabilidad mostraron que tras ocho ciclos de operación, la permeabilidad del H<sub>2</sub> apenas disminuye, mientras que la selectividad CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> ideales mejora notablemente. Hanioka *et al.* [38] estudiaron la estabilidad de



una membrana líquida soportada basada en el líquido iónico funcionalizado  $[\text{NH}_2\text{pmim}^+][\text{NTf}_2^-]$  en la separación de la mezcla gaseosa  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  a presión atmosférica. Los autores no encontraron cambios observables en la permeabilidad ni en la selectividad tras 260 días de operación. Scovazzo *et al.* [39] analizaron la estabilidad de las SILMs empleadas en la separación de los pares de gases  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2/\text{N}_2$ . Estos autores consiguieron estabilidades en operación continua, de 24 y 106 días, en membranas hidrofílicas de PVDF o PES, respectivamente, empleando líquidos iónicos basados en el catión imidazolio, sin disminución del rendimiento a presiones parciales de  $\text{CO}_2$  de al menos 207 kPa.

#### 4. APLICACIONES DE LAS MEMBRANAS LÍQUIDAS IÓNICAS SOPORTADAS

El uso de membranas soportadas basadas en líquidos iónicos ha recibido una atención creciente durante la última década debido a las ventajas que las SILMs ofrecen. Algunas de las aplicaciones más representativas se describirán a continuación:

##### 4.1. SEPARACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS

El primer ejemplo fue descrito por Branco *et al.* [12], que estudiaron el transporte selectivo de una mezcla modelo de siete compuestos orgánicos representativos: 1,4 dioxano, 1-propanol, 1-butanol, ciclohexanol, ciclohexanona, morfolina y metilmorfolina. Para ello emplearon cuatro líquidos iónicos basados en el 1-n-alkil-3-metilimidazolio combinados con los aniones hexafluorofosfato o tetrafluoroborato, inmovilizados en diferentes membranas orgánicas poliméricas. El uso del líquido iónico  $[\text{bmim}^+][\text{PF}_6^-]$  inmovilizado en membranas de fluoruro de polivinilideno permitió un transporte altamente selectivo de aminas secundarias sobre las terciarias.

Otro ejemplo interesante del uso de SILM, es la separación selectiva de los sustratos y productos de reacciones de transesterificación. La biosíntesis de ésteres orgánicos empleada normalmente en industrias de perfumes y aromas puede llevarse a cabo mediante transesterificación

de ésteres vinílicos y alcoholes catalizada por enzimas en medios no convencionales como n-hexano [30] y líquidos iónicos [40] con bajo contenido en agua. Por tanto, como se puede observar en la Fig. 3, cuando la reacción bioquímica alcanza el equilibrio, el medio de reacción puede contener una mezcla de alcohol, éster vinílico, ácido orgánico y éster alquílico (compuesto aromático). La posibilidad de emplear las SILMs para la separación selectiva de estas mezclas de reacción ha sido ampliamente analizada [14,30,41].

La inmovilización de líquidos iónicos basados en cationes imidazolio y aniones  $[\text{PF}_6^-]$ ,  $[\text{BF}_4^-]$  o  $[\text{dca}^-]$ , sobre membranas de Nylon permitió obtener diferencias sustanciales de permeabilidad entre los compuestos a separar, no sólo en función de los grupos funcionales de los mismos sino también en función de la longitud de su cadena alquílica. Tras demostrar la viabilidad del uso de ILs como fase líquida para la separación selectiva de mezclas de reacción de transesterificación, se han tratado de establecer reglas para el diseño óptimo de IL en procesos de separación [42]. Así, por ejemplo, se determinó la permeabilidad de cuatro compuestos diferentes involucrados en una reacción de transesterificación (vinil butirato, 1-butanol, butil butirato y ácido butírico), con trece membranas líquidas soportadas basadas en líquidos iónicos constituidos por cationes 1-n-alkil-3-metilimidazolio y 1-n-alkil-3-metilpiridina y diferentes aniones (bis[(trifluorometil)sulfonil]imida, hexafluorofosfato, metilsulfato, 2(2-metoxietoxi)etilsulfato, etilsulfato, n-octilsulfato, dicianamida, nitrato, tetrafluoroborato y cloruro) inmovilizadas en membranas de Nylon®.

Se encontró que los valores de permeabilidad dependían principalmente de la composición del anión del líquido iónico. Para un catión dado ( $[\text{bmim}^+]$ ), la selectividad del líquido iónico se incrementa, según el anión que lo compone, en la secuencia:  $[\text{OCSO}_4^-] < [\text{PF}_6^-] < [\text{NO}_3^-] < [\text{BF}_4^-] < [\text{dca}^-] < [\text{Cl}^-] < [\text{EtSO}_4^-] < [\text{MDEGSO}_4^-] < [\text{MeSO}_4^-]$ . Considerando la composición del catión, se observó que con el uso de líquidos iónicos basados en dialquilimidazolio se obtuvieron membranas líquidas soportadas más efectivas que cuando se emplearon líquidos iónicos basados en el catión dialquilpiridinio. Además, una disminución en la longitud de la cadena del sustituyente alquílico del anillo de imidazolio, como en el caso del cambio de  $[\text{omim}^+]$  a  $[\text{bmim}^+]$  (por ejemplo  $[\text{omim}^+][\text{PF}_6^-]/[\text{bmim}^+][\text{PF}_6^-]$ ) y de  $[\text{bmim}^+]$  a  $[\text{emim}^+]$  (por ejemplo  $[\text{bmim}^+][\text{EtSO}_4^-]/[\text{emim}^+][\text{EtSO}_4^-]$ ), lleva a un incremento en la selectividad. Por tanto, de estos resultados se concluye que los líquidos iónicos que contienen cationes de dialquilimidazolio con una cadena alquílica corta, y los que contienen el anión sulfato con un sustituyente alquílico corto permiten la separación de los compuestos de interés con una elevada selectividad. Miyako *et al.* [43] estudiaron el transporte selectivo de ácidos orgánicos a través de membranas líquidas soportadas basadas en disolventes orgánicos. El transporte selectivo de los ácidos orgánicos se consiguió mediante la combinación de membranas líquidas soportadas con lipasas en las fases

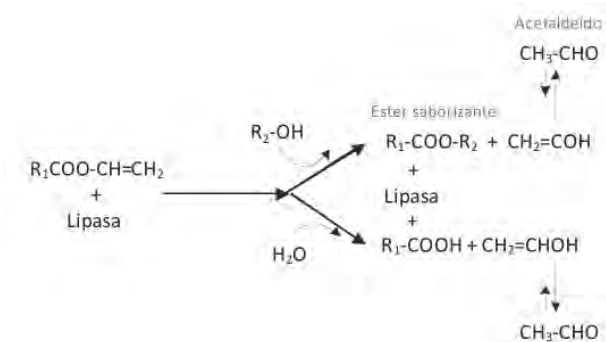


Figura 3: Esquema estequiométrico de la síntesis de ésteres mediante transesterificación de éster vinílico y alcohol, catalizada por CaLB

alimentación y receptora. El fase alimentación el ácido orgánico se transformó biocatalíticamente en un ester que permeó a través de la membrana y se hidrolizó en la fase receptora a ácido orgánico mediante la acción de otra lipasa. El uso de membranas líquidas basadas en líquidos iónicos permite el transporte selectivo de ácidos orgánicos en ausencia de lipasas lo que reduce en una considerable disminución del coste de separación.

#### 4.2. SEPARACIÓN DE MEZCLAS DE GASES

Otro campo interesante de aplicación de las membranas líquidas soportadas basadas en líquidos iónicos es la separación de mezclas de gases. Las SILMs pueden ser potencialmente utilizadas en multitud de aplicaciones industriales, especialmente en sistemas a baja presión como en el tratamiento del biometano de los digestores anaerobios y en la captación de CO<sub>2</sub> de los gases de escape de las chimeneas.

Scovazzo *et al.* [39] estudiaron la separación selectiva de las mezclas de gases CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> en SILMs basadas en [emim<sup>+</sup>][BF<sub>4</sub><sup>-</sup>], [emim<sup>+</sup>][TfO<sup>-</sup>] y [emim<sup>+</sup>][dca<sup>-</sup>] soportadas sobre membranas de fluoruro de polivinilideno y [emim<sup>+</sup>][Tf<sub>2</sub>N<sup>-</sup>],[hmim<sup>+</sup>][Tf<sub>2</sub>N<sup>-</sup>] y [emim<sup>+</sup>][BETI<sup>-</sup>] soportadas en membranas de polietersulfona. Las selectividades más altas para CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> se consiguieron empleando los líquidos iónicos [emim<sup>+</sup>][BF<sub>4</sub><sup>-</sup>] y [emim<sup>+</sup>][Tf<sub>2</sub>N<sup>-</sup>], siendo estas de 27 y 21,2, respectivamente.

Recientemente se ha estudiado la separación y enriquecimiento de biohidrógeno de mezclas con CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> utilizando SILMs [33, 36]. Esta separación es el paso previo requerido para la utilización en pilas de combustible de mezclas gaseosas obtenidas en procesos de fermentación (H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>), ya que la concentración de hidrógeno contenido en dichas mezclas, no es suficientemente alta como para su utilización directa. Para la separación de este tipo de mezclas se empleó una gama amplia de líquidos iónicos como [bmim<sup>+</sup>][BF<sub>4</sub><sup>-</sup>], [bmim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>], [hmim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>], [omim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>], [EtOEt<sup>+</sup>mim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>], [MeOEt<sup>+</sup>mim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>], [Et(OEt)<sub>2</sub>mim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>] y [Et(OEt)<sub>2</sub>mim<sup>+</sup>][PF<sub>6</sub><sup>-</sup>] soportados en PVDF. Se observó que las SILMs preparadas tenían una permeabilidad mucho mayor para el CO<sub>2</sub> que para el N<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>. Los valores más altos de selectividad respecto del CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>=35 y / CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> = 11) fueron alcanzados utilizando [bmim<sup>+</sup>][BF<sub>4</sub><sup>-</sup>].

El efecto de diferentes condiciones de operación sobre la separación de mezclas de gases ha sido también analizado por diversos autores. Neves *et al.* [44] estudiaron el empleo de SILMs basadas en IIs con el catión 1-n-alkil-3-metilimidazolio para la separación de CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>, analizando, entre otros factores, el efecto en la permeabilidad y selectividad de la membrana de la presencia de vapor de agua en la corriente gaseosa. Estos autores comprobaron que la presencia de vapor de agua incrementaba la permeabilidad de los gases a través de la membrana pero disminuía significativamente la selectividad CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> en relación a cuando se llevaba a cabo el proceso con una corriente de gas seco. Cserjési *et al.* [45] estudiaron la

permeabilidad de H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> y la selectividad de SILMs basadas en una gran variedad de líquidos iónicos a diferentes temperaturas y presiones transmembrana. Estos autores comprobaron que la permeabilidad de estas membranas aumentaba con el aumento de la temperatura y disminuía con el incremento de la presión transmembrana. Además, las SILMs resultantes exhibían una elevada estabilidad a largo plazo ya que los valores de permeabilidad se mantenían prácticamente constantes en sucesivos ciclos de operación.

#### 4.3. PERVAPORACIÓN Y PERMEACIÓN DE VAPOR

Las membranas líquidas soportadas basadas en líquidos iónicos también pueden ser aplicadas con éxito en la separación de varias mezclas líquidas o gaseosas por pervaporación o permeación con vapor [46,47]. El mayor problema asociado al empleo de estas técnicas es encontrar una situación de compromiso entre selectividad y caudal de permeado: una alta selectividad del soluto implica el uso de condiciones que conducen a un relativamente bajo flujo de materia a través de la membrana. Este problema puede mitigarse si se emplea una técnica en la que el disolvente alimentado no permee a través de la membrana, como por ejemplo, empleando SILMs basadas en LI. En este caso, la selectividad del soluto sobre el disolvente puede ser ilimitada y el proceso podría operarse bajo condiciones que proporcionen flujos elevados [46]. En este contexto, el uso de SILMs basadas en el líquido iónico [Pr<sub>4</sub>N<sup>+</sup>][B(CN)<sub>4</sub><sup>-</sup>] soportadas en módulos cerámicos de nanofiltración, permitió la eliminación de 1,3-propanodiol de la disolución acuosa por pervaporación, incrementando la selectividad del proceso en más de dos órdenes de magnitud mientras que la permeabilidad se redujo sólo en un orden de magnitud [46].

Otro ejemplo interesante sobre el uso de membranas de líquidos iónicos en procesos de permeación con vapor es la separación de benceno y ciclohexano [47]. En este estudio se comprobó que el benceno permea selectivamente a través de la SILM, aumentando el factor de separación con el incremento de la hidrofiliidad del líquido iónico.

#### 4.4. APLICACIONES ANALÍTICAS

Las membranas líquidas soportadas basadas en líquidos iónicos también pueden encontrar aplicación en química analítica, en concreto, en la determinación de trazas de tóxicos. Normalmente es necesaria una etapa de enriquecimiento antes del análisis instrumental debido a la baja concentración de algunos tóxicos y a la complejidad de las muestras ambientales. La extracción líquido-líquido (LLE) y la extracción en fase sólida (SPE) son las técnicas más empleadas para la separación o preconcentración de tóxicos en muestras ambientales. Sin embargo, estas técnicas requieren con frecuencia grandes cantidades de disolventes orgánicos, que son la principal fuente de emisión de compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera. Por ello, en los últimos años se han desarrollado numerosas técnicas

de micro extracción que eliminan o reducen el empleo de disolventes. Entre ellas, la microextracción en fase líquida (LPME) y en fase sólida (SPME) son las dos técnicas de extracción predominantes en el análisis de tóxicos [48]. Así, se han descrito varios ejemplos de aplicaciones de líquidos iónicos como membrana líquida en microextracción en fase líquida soportada en módulo de fibra hueca. [49,50]. Esta técnica, combinada con HPLC, se utilizó para la determinación de clorofenoles y sulfonamidas en muestras ambientales acuosas. Respecto a las aplicaciones de los líquidos iónicos en microextracción en fase sólida (SPME), se desarrolló una técnica de SPME con membrana líquida iónica soportada sobre una membrana Nafion acoplada a una cromatografía de gases-espectroscopía de masas (GC-MS), para el muestreo simultáneo y la determinación de trazas de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) en muestras acuosas [51].

## 5. CONCLUSIONES

Las membranas líquidas soportadas basadas en líquidos iónicos han mostrado un alta estabilidad estructural y operacional en distintas aplicaciones tales como separaciones líquido/líquido y gas/gas, incluso a condiciones de temperaturas y presiones transmembrana relativamente altas, lo que las hacen aptas para ser aplicadas en procesos industriales.

Tal y como se ha mostrado a lo largo de esta revisión, la tecnología de membranas líquidas soportadas basadas en líquidos iónicos han seguido un incesante progreso durante los últimos diez años. Hasta el momento, las membranas líquidas soportadas basadas en líquidos iónicos han sido aplicadas a numerosos campos gracias a la posibilidad de diseñar una SILM específica para cada problema de separación concreto mediante la combinación adecuada del catión y anión que compone la fase líquida soportada. Además, la aplicación industrial de esta nueva tecnología podría minimizar la generación de residuos y ahorrar en consumo energético, mientras proporciona productos de alta calidad.

Algunos de los retos que deben abordarse para la implementación práctica de esta tecnología son: (i) el diseño de módulos de membrana de tamaño suficiente para su implementación a escala piloto y a escala industrial, (ii) la demostración de la estabilidad de dichos módulos a escala industrial bajo condiciones de operación reales, (iii) una mayor comprensión de la toxicidad y del potencial impacto ambiental de los líquidos iónicos con el objeto de poder diseñar líquidos iónicos menos tóxicos y biodegradables para aplicaciones industriales y (iv) el estudio de económico y el análisis del ciclo de vida de los procesos en los que se implante esta tecnología.

Desde el punto de vista económico y medioambiental sería deseable la rápida implementación de esta nueva tecnología. Sin embargo, es de esperar que sean implantadas de forma gradual en aquellos procesos que ofrezcan grandes

ventajas frente a las utilizadas convencionalmente, debido fundamentalmente a los largos ciclos de vida de las plantas actuales de producción y al alto riesgo que se percibe en el proceso de innovación.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Crespo JG, Coelho IM, Viegas RMC. Encyclopedia of Separation Processes, Academic Press, San Diego, EEUU, 2000, 3303-3311.
- [2] Poliwoda A, Ilczuk N, Wiczorek PP. Transport of peptides through supported liquid membranes, Sep. Purif. Technol., 57, 444-449, 2007.
- [3] Yang XJ, Fane AG, Soldenhoff K. Comparison of liquid membrane processes for metal separations: permeability, stability and selectivity, Ind. Eng. Chem. Res., 42, 392-403, 2003.
- [4] Teramoto M, Sakaida S, Fu SS, Ohnishi N, Matsuyama H, Fukui T, Arai K. Attempt for the stabilization of supported liquid membrane, Sep. Purif. Technol. 21, 137-142, 2000.
- [5] de los Ríos AP, Hernández-Fernández FJ, Tomás-Alonso F, Palacios JM, Gómez D, Rubio M, Villora G. A SEM-EDX study of highly stable supported liquid membranes based on ionic liquids, J. Membr. Sci., 300, 88-94, 2007.
- [6] Fortunato R, Afonso CAM, Benavente J, Rodríguez-Castellón E, Crespo JG. Stability of supported ionic liquid membranes as studied by X-ray photoelectron spectroscopy, J. Membr. Sci., 256, 216-223, 2005.
- [7] Brennecke JF, Maginn EJ. Ionic liquids: Innovative fluids for chemical processing, AIChE J., 47, 2384-2389, 2001.
- [8] Branco LC, Crespo JG, Afonso CAM. High selective transport of organic compounds by using supported liquid membranes based on ionic liquids, Angew. Chem. Int. Ed., 41, 2771-2773, 2002.
- [9] de los Ríos AP, Hernández-Fernández FJ, Lozano LJ, Sánchez S, Moreno JI, Godínez C. Removal of Metal Ions from Aqueous Solutions by Extraction with Ionic Liquids, J. Chem. Engin. Data, 55, 605-608, 2010.
- [10] de los Ríos AP, Hernández-Fernández FJ, Rubio M, Tomás-Alonso F, Gomez D, Villora G. Prediction of the selectivity in the recovery of transesterification reaction products using supported liquid membranes based on ionic liquids, J. Membrane Sci., 307, 225-232, 2008.
- [11] Hernández-Fernández FJ, de los Ríos AP, Rubio M, Tomás-Alonso F, Gómez D, Villora G. A novel application of supported liquid membranes based on ionic liquids to the selective simultaneous separation of the substrates and products of a transesterification reaction, J. Membr. Sci., 293, 73-80, 2007.
- [12] Marták J, Schlosser Š, Vlaková S. Pertraction of lactic acid through supported liquid membranes containing phosphonium ionic liquid, J. Membr. Sci., 318, 298-310, 2008.
- [13] Matsumoto M, Inomoto Y, Kondo K. Selective separation of aromatic hydrocarbons through supported liquid

- membranes based on ionic liquids, *J. Membr. Sci.*, 246, 77-81, 2005.
- [14] Scovazzo P, Kieft J, Finan DA, Koval C, DuBois D, Noble R. Gas separations using non-hexafluorophosphate anion supported ionic liquid membranes, *J. Membr. Sci.*, 238, 57-63, 2004.
- [15] Frater T, Gubicza L, Szollosy A, Bakos J. Enantioselective hydrogenation in ionic liquids: recyclability of the [Rh(COD)(DIPAMP)]BF<sub>4</sub> catalyst in [bmim][BF<sub>4</sub>], *Inorg. Chim. Acta*, 359, 2756-2759, 2006.
- [16] Ruiz A, de los Ríos AP, Hernández-Fernández FJ, Janssen MHA, Schoevaart R, van Rantwijk F, Sheldon RA. A cross-linked enzyme aggregate of *Candida antarctica* lipase B is active in denaturing ionic liquids, *Enzyme Microb. Technol.*, 40, 1095-1099, 2007.
- [17] Earle MJ, Seddon KR. Ionic liquids. Green solvents for the future, *Pure Appl. Chem.*, 72, 1391-1398, 2000.
- [18] Scott K, Basov N, Jachuck RJJ, Winterton N, Cooper A, Davies C. Reactor studies of supported ionic liquids rhodium-catalysed hydrogenation of propene, *Chem. Eng. Res. Des.*, 83, 1179-1185, 2005.
- [19] Branco LC, Grespo JG, Afonso CAM. Studies on the selective transport of organic compounds by using ionic liquids as a novel supported liquid membranes, *Chem. Eur. J.*, 8, 3865-3871, 2002.
- [20] Bonhote P, Dias AP, Papageorgio N, Kalayanasundaram K, Gratzel M. Hydrophobic, highly conductive ambient-temperature molten salts, *Inorg. Chem.*, 35, 1168-1178, 1996.
- [21] Welton T. Room-temperature ionic liquids. Solvents for synthesis and catalysis, *Chem. Rev.*, 99, 2071-2083, 1999.
- [22] Seddon K. Ionic liquids: designer solvents for green synthesis, *Chem. Eng. Res. Des.*, 730, 33-35, 2002.
- [23] Hernández-Fernández FJ, de los Ríos AP, Tomás-Alonso F, Gómez D, Villora G. Kinetic resolution of 1-phenylethanol integrated with separation of substrates and products by a supported ionic liquid membrane, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 82, 190-195, 2007.
- [24] Scovazzo P, Visser AE, Davis JH, Jr, Rogers RD, Koval CA, DuBois D L, Noble RD. Supported ionic liquid membranes and facilitated ionic liquid membranes, in *Ionic Liquids: Industrial applications to Green Chemistry*, ACS Symposium Series 818, Am. Chem. Soc. 2002, Rogers, R.D., Seddon, K.R.: Washington, DC.
- [25] Luis P, Neves LA, Afonso CAM, Coelho IM, Crespo JG, Garea A, Irabien A. Facilitated transport of CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> through Supported Ionic Liquid Membranes (SILMs), *Desalination*, 245, 485-493, 2009.
- [26] Neves LA, Nemestothy N, Alves VD, Cserjesi P, Belafi-Bako K, Coelho IM. Separation of biohydrogen by supported ionic liquid membranes. *Desalination*, 240, 311-315, 2009.
- [27] Fortunato R, González-Muñoz MJ, Kubasiewicz M, Luque S, Alvarez JR, Afonso CAM, Coelho IM, Crespo, J.G. Liquid membranes using ionic liquids: the influence of water on solute transport, *J. Membrane Sci.*, 249, 153-162, 2005.
- [28] Hernández-Fernández FJ, de los Ríos AP, Tomás-Alonso, et al. Preparation of supported ionic liquid membranes: Influence of the ionic liquid immobilization method on their operational stability, *J. Membrane Sci.*, 341, 172-177, 2009.
- [29] Cserjési P, Nemestóthy N, Vass A, et al. Study on gas separation by supported liquid membranes applying novel ionic liquids, *Desalination*, 245, 743-747, 2009.
- [30] de los Ríos AP, Hernández-Fernández FJ, Tomás-Alonso F, et al. Stability studies of supported liquid membranes based on ionic liquids: Effect of surrounding phase nature, *Desalination*, 245, 776-782, 2009.
- [31] Hanioka S, Maruyama T, Sotani T, et al. CO<sub>2</sub> separation facilitated by task-specific ionic liquids using a supported liquid membrane, *J. Membrane Sci.*, 314, 1-4, 2008.
- [32] Scovazzo, P., Havard, D., McShea, M., Mixon, S., Morgan D. Long-term, continuous mixed-gas dry fed CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> separation performance and selectivities for room temperature ionic liquid membranes, *J. Membrane Sci.*, 327, 41-48, 2009.
- [33] de los Ríos AP, Hernández FJ, Tomás-Alonso F, et al. Synthesis of flavour esters using free *Candida antarctica* lipase B in ionic liquids, *Flavour Fragrance J.*, 23, 319-322, 2008.
- [34] de los Ríos AP, Hernandez-Fernandez FJ, Presa H, et al. Tailoring supported ionic liquid membranes for the selective separation of transesterification reaction compounds, *J. Membrane Sci.*, 328, 81-85, 2009.
- [35] Miyako E, Maruyama T, Kamiya N, et al. Transport of Organic Acids through a Supported Liquid Membrane Driven by Lipase-Catalyzed Reactions, *J. Biosci. Bioengin.*, 96, 370-374, 2003.
- [36] Izák P, Köckerling M, Kragl U. Solute transport from aqueous mixture through supported ionic liquid membrane by pervaporation, *Desalination*, 199, 96-98, 2006.
- [37] Matsumoto M, Ueba K, Kondo K. Vapor permeation of hydrocarbons through supported liquid membranes based on ionic liquids, *Desalination*, 241, 365-371, 2009.
- [38] Sun P, Armstrong DW. Ionic liquids in analytical chemistry, *Analytica Chimica Acta*, 661, 1-16, 2010.
- [39] Tao Y, Liu J, Hu X, et al. Hollow fiber supported ionic liquid membrane microextraction for determination of sulfonamides in environmental water samples by high-performance liquid chromatography, *J. Chromatography A*, 1216, 6259-6266, 2009.
- [40] Hsieh YN, Huang PC, Sun IW, et al. Nafion membrane-supported ionic liquid-solid phase microextraction for analyzing ultra trace PAHs in water samples, *Analytica Chimica Acta*, 557, 321-328, 2006.

# El control acústico de las actividades de ocio. Actuación municipal en la ciudad de Granada



Arturo Olivares-Olivares\*  
Raúl Manuel Trassierra-Rodríguez\*  
Ildefonso Reyes-Adán\*  
José Manuel Palomar-Carnicero\*\*  
Rafael López-García\*\*

Ingeniero Industrial  
Ingeniero Técnico Industrial  
Ingeniero Técnico Industrial  
Doctor Ingeniero Industrial  
Doctor Ingeniero Industrial

\* Ayuntamiento de Granada. Servicio de Protección Ambiental. Delegación de Medio Ambiente. C/ Gran Capitán, 22 - 18004 Granada. Tel: + 34 958 248180. a.olivares@granada.org

\*\* Universidad de Jaén. Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera. Campus Las Lagunillas, s/n - 23071 Jaén. Tel + 34 953 212368.

Recibido: 18/01/2011 • Aceptado: 07/11/2011

## Acoustic control of leisure activities. Municipal action in the city of Granada

### ABSTRACT

• Noise pollution is one that most affects the quality of life of residents in a city. Of the various sources of urban noise, leisure activities have been those that have largely been the "scourge" of the administration, with multiple methods of control exercised over them. This article describes the methods and control procedures used by local administration in the city of Granada. Sets out the special feature in this city have been taken and their results. Finally, as conclusions indicate future trends, according to the authors in this field in order to get control of the main problem of coexistence in the opinion of citizens.

The content of the article makes clear how it has managed to assess in an agile and fast the malfunction of an activity, through an ordinance regulating the maximum level of emissions at each location. Similarly clarifies how it has managed to establish a single platform that covers any manufacturer with the possibility of installing equipment with drivers limiting possibility of sending electronic data and establish guarantees an automatic inspection activities.

• **Key words:** urban noise, local government, sound control, noisy activities, automatic inspection activities, acoustic emission, noise limits.

### RESUMEN

La contaminación por ruido es la que más afecta la calidad de vida de los residentes en una ciudad. De las distintas fuentes de ruido urbano, las actividades de ocio han sido las que en gran medida han sufrido el "azote" de la administración, siendo múltiples los métodos de control que sobre ellas se ejerce. En este artículo se describen los métodos y procedimientos de control que la administración local utiliza en la ciudad de Granada. Se explicitan las particularizaciones que en esta ciudad se han adoptado así como sus resultados. Finalmente, se indican a modo de conclusiones las tendencias futuras, a juicio de los autores, en este campo en aras a conseguir un control del principal problema de convivencia a juicio de los ciudadanos.

En el contenido del artículo se explicita cómo se ha conseguido evaluar de una forma ágil y rápida el funcionamiento anómalo de una actividad, regulando mediante ordenanza el nivel máximo de emisión en cada local. De igual

forma se aclara cómo se ha conseguido establecer una única plataforma que englobe a cualquier fabricante con posibilidad de instalar equipos limitadores controladores con posibilidad de envío telemático de datos y así establecer con garantías un sistema automático de inspección de actividades.

**Palabras clave:** ruido urbano, administración local, control acústico, actividades ruidosas, inspección automática de actividades, emisión acústica, límites acústicos.

### 1. INTRODUCCIÓN

La administración local es la más cercana al ciudadano. Siendo como es la administración competente por excelencia en el control acústico, es la primera en recibir las quejas de la ciudadanía ante cualquier episodio de "presunta" contaminación acústica. Este tipo de denuncia es predominante en cualquier ventanilla municipal de atención al ciudadano. El derecho al descanso

es irrenunciable y, por tanto, la imposibilidad de conciliar el sueño es una de las mayores pérdidas de calidad de vida que alteran en gran medida nuestro ritmo cotidiano, pudiendo incluso acarrear distintas patologías asociadas al estrés y a la ansiedad. Las características principales de este tipo de contaminación podemos definir las:

- Existe una relación directa e instantánea entre la causa y el efecto, provocando una afección sonora de forma inmediata ante la emisión acústica.
- Es fácilmente perceptible por el afectado, llegando en la mayor parte de los casos a identificar fácilmente el foco emisor.
- Cuenta con una gran componente subjetiva, no afectando por igual a todos los receptores niveles acústicos idénticos.
- Los focos sonoros no siempre son funciones continuas en el tiempo, sino afecciones puntuales que son difíciles de evaluar y eliminar.

El cumplimiento de los valores límites marcados en la norma no aseguran la conservación de nuestra calidad de vida. Lo que a algunos molesta, a otros no. Este grado de subjetividad aumenta cuando además de la afección sonora suele haber disputas personales entre el “inmisor” y “emisor”. Todos los que nos dedicamos a este campo tenemos anécdotas a este respecto. No puedo olvidar cuando, atendiendo una denuncia por ruidos “insoportables”, comenté al denunciante que yo no oía nada, a lo que me respondió que lo que tenía que hacer para oír esos ruidos insoportables del vecino era pegar la oreja a la pared. Esta situación aparte de lo anecdótico es relativamente corriente, el grado de sugestión y obsesión es tal que el afectado pierde en gran medida su calidad de vida “intentando escuchar” el ruido que provoca su vecino y seguro que lo escucha.

De las distintas fuentes de ruido que se puede identificar en una ciudad, el procedente de las actividades de ocio ha sido sin duda el que “ha sufrido” en gran medida el envite de la administración. Hoy en día, con los aislamientos acústicos requeridos a estas actividades así como los mecanismos de autocontrol impuestos por la normativa vigente es difícil que, en general, produzcan molestias salvo errores, manipulaciones mal intencionadas o fallos en su funcionamiento.

Los métodos de control que la administración local ejerce son diversos y dependen en gran medida de la fase en la que la actividad se encuentre. Desde que el promotor tiene la idea de iniciar una actividad y acude a las ventanillas municipales a solicitar la correspondiente licencia hasta cuando la policía local ejecuta una orden de clausura de una actividad ruidosa no conforme a norma son muchos los pasos intermedios que se describen a continuación.

## 2. CONTROL PREVENTIVO

Este tipo de control se ejerce previamente a la entrada en funcionamiento de la actividad. Una vez el promotor de una

actividad decide la implantación de una actividad ruidosa<sup>1\*</sup>, debe conseguir la correspondiente licencia de instalación, que se obtiene una vez se justifique a los servicios municipales mediante la suficiente documentación técnica la inocuidad, seguridad y salubridad de la actividad propuesta. Una vez concedida la licencia de instalación, y ejecutadas las obras e instalaciones correspondientes, deberá aportarse la documentación que asegure que la actividad ejecutada se corresponde con la autorizada, se ha comprobado la idoneidad de las medidas correctoras propuestas en el proyecto de actividad autorizado y la corrección de las instalaciones ejecutadas.

Particularizando para el campo acústico, en fase de proyecto deberá indicarse el aislamiento final del local, emisión prevista y cómo no, previsión de inmisión en vecinos colindantes y emisión al exterior. Una vez se verifique que los valores previstos son conformes a normativa se autorizará la ejecución y más tarde, una vez ejecutada, deberán realizarse las oportunas mediciones que nos aseguren que con la actividad en funcionamiento no se sobrepasarán los límites establecidos en la normativa vigente.

En aquellos casos en los que la actividad ruidosa conlleve un equipo de reproducción musical donde su emisión pueda modificarse por el usuario, será obligatoria la instalación de un equipo limitador controlador. Las características de este equipo y sus particularidades para la ciudad de Granada, se explicarán más adelante.

El resultado final de este control ejercido por la administración será la consecución de la correspondiente licencia de funcionamiento, que, como ya se ha dicho, asegurará el funcionamiento de la actividad conforme a la normativa de aplicación y definirá los parámetros fundamentales de la actividad, que en el ámbito acústico serán fundamentalmente la emisión máxima autorizada en el local, características del equipo reproductor y aislamiento del establecimiento. Además se definirán otras características como aforo, superficie, distribución general, características del equipo de climatización, etc.

## 3. CONTROL DISCIPLINARIO

En este tipo de control se engloba la acción de la administración tendente a controlar aquellas actividades que se ejercen en la ciudad. Este control puede iniciarse a instancia de parte (por ejemplo, un ciudadano que denuncia ruidos provocados por un local vecino) o bien de oficio por parte de la administración (por ejemplo, campaña de control de discotecas).

<sup>1\*</sup> Se esboza aquí el procedimiento de autorización de aquellas actividades sujetas al Reglamento de Calificación Ambiental (Decreto 297/1995, de 19 de diciembre) entre las que se encuentran los pub, discotecas y análogos.

A la hora de controlar las actividades que se realizan en los distintos locales de la ciudad, la primera verificación consiste en comprobar la existencia de un control preventivo: es decir, verificar si la actividad se realiza bajo el amparo de una autorización municipal o la actividad es clandestina. En el caso de no contar con licencia, se le requiere que lleve a cabo la tramitación de la misma, ordenándole el cese de la actividad no autorizada. Cuando la actividad se realiza con la correspondiente autorización, el control municipal consistirá en verificar que la actividad se ejerce conforme a los parámetros explicitados en la correspondiente licencia: es decir, que en el ámbito acústico, la emisión en el interior del local es aquella que nos asegura que en los recintos adyacentes y en el exterior las inmisiones y emisiones son conformes a la autorización y, por ende, a la normativa de aplicación.

Para llevar a cabo estas verificaciones fundamentalmente se realizan mediciones in situ en aras a determinar el valor de los distintos parámetros que fija la legislación vigente. En esencia son:

- Determinación del Nivel Acústico de Evaluación, (NAE) consiste en la valoración de la “molestia” recibida en el local receptor. Su valor y método de determinación está definido en la normativa y es un parámetro cuando menos engorroso de valorar. Conlleva dos determinaciones acústicas de al menos 10 minutos de duración, una con la actividad en funcionamiento y otra con la actividad parada (ruido de fondo). Determina de forma unívoca si el vecino sufre molestias “conforme a norma” o si existen incumplimientos. Tal y como marca hoy la norma autonómica, este parámetro puede evaluarse en dos situaciones distintas, con ventanas abiertas o bien con las ventanas cerradas. Cada una de estas situaciones conlleva límites y metodología de medición específica.
- Determinación del Nivel de Emisión al Exterior, (NEE) se trata de evaluar si la emisión al exterior está por debajo de lo que marca la norma o si existen incumplimientos. Aunque es de obligado cumplimiento, en el caso de inspecciones realizadas con el fin de valorar molestias a vecinos adyacentes tiene una importancia relativa. Es igualmente tediosa su valoración, conllevando al menos dos mediciones de 15 minutos de duración.
- Determinación de aislamientos. El aislamiento acústico es la barrera que se coloca entre la fuente ruidosa y el receptor o el exterior. Su valor mínimo se determina por normativa y además deberá asegurar el cumplimiento de norma en cuanto al valor máximo de los parámetros NAE y NEE. Son varias las determinaciones de aislamiento posibles. Aislamiento a ruido aéreo normalizado con respecto a viviendas colindantes, aislamiento a ruido aéreo con respecto a fachada y vecinos adyacentes y por último, aislamiento a ruido de impacto. Son igualmente mediciones complicadas que requieren la puesta en servicio de

medios técnicos caros y complicados y personal con una formación alta.

#### 4. EL LIMITADOR CONTROLADOR

Es el elemento fundamental de autocontrol en una actividad “ruidosa”. En esencia consiste de un elemento electrónico con capacidad para limitar el nivel acústico dentro de un local donde la emisión sonora tenga su fuente en un equipo de reproducción audiovisual donde la potencia de emisión pueda alterarse a voluntad por parte del usuario. La normativa vigente exige su instalación y que además cuente con la posibilidad de almacenar registros con los datos acústicos de local de al menos dos meses de funcionamiento



Limitadores Controladores

de la actividad. Estos datos podrán ser inspeccionados por los servicios técnicos municipales y se garantizará su inviolabilidad. Además, se prevé la posibilidad de envío telemático de la información registrada.

Son varias las marcas comerciales que fabrican, distribuyen e instalan este tipo de equipos. Generalmente constan de dos partes bien diferenciadas: la parte que limita y la que registra. La primera, intercalada entre los equipos generadores de la señal sonora (ordenadores, pletinas, mesas de mezcla, etc.) y los equipos de potencia y altavoces, controla bien de forma global o por frecuencias que el valor sonoro dentro del local sea tal que con el aislamiento acústico que cuenta el establecimiento no se superen los valores de NAE en receptores colindantes o NEE en el exterior. La segunda de las partes registra los valores acústicos en el interior del local. Cuenta con un micrófono que capta el nivel acústico (medio en un intervalo de tiempo - 4 ó 5 minutos-) en el interior y el equipo lo va almacenando junto con otros parámetros (fecha, hora, duración, valor máximo, mínimo, etc.).

#### 5. PARTICULARIZACIÓN EN LA CIUDAD DE GRANADA

La metodología de funcionamiento antes expuesta, como ya se ha comentado, viene impuesta por normativa. Lo que a primera vista parece un método fácil de seguimiento y control de actividades ruidosas, a la hora de ponerlo en práctica no lo es tanto. Los equipos para inspección requeridos son caros y delicados, las mediciones son tediosas y complicadas, hay que realizarlas en las condiciones más desfavorables,

generalmente a partir de las 23 horas y con los locales en pleno funcionamiento. Los registros de datos almacenados en los equipos limitadores controladores son en muchos casos complicados de interpretar con gran cantidad de información y diversas tipologías de incidencias que pueden llegar a ser disfunciones sancionables y por sí suficientes a la hora de iniciar un procedimiento disciplinario.

Con el fin de suplir estas deficiencias, en el Ayuntamiento de Granada, hemos establecido como primordial un parámetro que en la normativa autonómica no destaca lo suficiente. Se trata de la emisión máxima en el interior del local. Este valor queda definido en la correspondiente licencia de funcionamiento (control preventivo) y se puede definir como el valor máximo que se puede generar en un local garantizando que se cumplen los valores de NAE y NEE fijados en normativa.

Es un parámetro característico en cuanto a las propiedades acústicas de un establecimiento. Es el valor global al que se encuentra tarado el limitador controlador. La evaluación de este parámetro se ha definido en la Ordenanza Acústica Municipal, estableciendo un método de medida muy rápido, sencillo de realizar e interpretar los resultados, pudiendo llevarse a cabo por técnicos de control acústico, inspectores de actividades y policía local.

Si como resultado del control municipal se detecta que la emisión en el interior del local es mayor que la autorizada, sabemos fehacientemente que se está incumpliendo la norma y que hay muchas posibilidades de estar afectando a colindantes superando los parámetros NAE y NEE. Por el contrario, si el valor es menor no podemos afirmar taxativamente que se cumplen los parámetros NAE y NEE pero sí que la afección en caso de haberla no ha de ser muy elevada. Así pues, de una forma rápida y sencilla hemos definido en gran medida el problema acústico acotando el grado de afección a vecinos colindantes.

Como principal inconveniente, cuenta con que el límite depende de la actividad en sí. Cada actividad ruidosa tiene un valor autorizado que depende de su aislamiento, configuración, ruido de fondo, etc. Con una correcta y actualizada base de datos de las actividades ruidosas de la ciudad con indicación clara de este valor solucionamos de forma eficiente este problema.

Otra herramienta que hemos puesto en funcionamiento en la ciudad es el control telemático de actividades. En una primera instancia, allá por el año 2003 se adjudicó a una empresa externa el “desarrollo y mantenimiento del sistema de supervisión de actividades de ocio”. Además, se obligó a aquellos establecimientos que contaban con limitador controlador a instalar un equipo de transmisión telemática que enviase datos a un servidor externo donde dichos datos son analizados y puestos a disposición de los servicios técnicos municipales.

Fundamentalmente, esta herramienta ha supuesto un gran avance en el control acústico de actividades. Tener a nuestra disposición y en nuestro puesto de trabajo el nivel acústico que se ha alcanzado en una actividad desde su instalación

nos abre un gran abanico de posibilidades. Podemos analizar el comportamiento de una actividad concreta, podemos evaluar el número de actividades que incumplen sus límites establecidos, etc. Es una herramienta muy eficaz a la hora de diseñar planes de inspección de actividades en cuanto a control acústico se refiere. Se inspeccionan fundamentalmente aquellas actividades que ya sabemos están funcionando de forma anómala. De igual forma, antes de visitar una actividad a consecuencia de una denuncia de parte podemos hacernos una idea bastante fiable de lo que allí está funcionando mal y qué es lo que hay que revisar con más detalle.

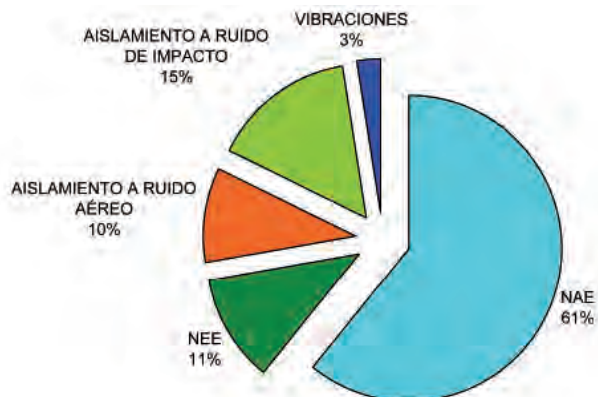
Desde sus inicios hasta hoy se ha avanzado bastante en este campo. No hace un año aún que se ha solucionado el principal problema con el que este sistema contaba. Al fijar un protocolo de comunicaciones muy completo, por muy estándar que este fuese, no ha propiciado una utilización por todas las marcas comerciales capaces de distribuir estos equipos. A los fabricantes, al contar con su protocolo propio, no les ha interesado una modificación en su producto de esta importancia sólo para nuestra ciudad. A cambio, cada una de ellas nos ofrecía su propia plataforma de interpretación de resultados, no siendo aceptable por nosotros esta solución pues entre otras deficiencias, se pierden los datos globales de la ciudad.

Esta situación al final se ha desbloqueado en la última modificación de la Ordenanza Municipal de Protección Acústica. En ella se establecen tres opciones de protocolo de comunicaciones entre los equipos limitadores controladores y el centro de recepción de datos. Se puede optar por un protocolo muy reducido (datos de control y el nivel acústico en el local), o se utiliza el protocolo utilizado hasta ahora o bien, se plantea la posibilidad de traducir el protocolo exclusivo de cualquier marca, si bien esta última posibilidad se condiciona a autorización previa por los servicios municipales. De esta forma, hoy tenemos bajo la misma plataforma equipos limitadores controladores con transmisión telemática de dos marcas comerciales, pudiendo además admitir a cualquier otra.

En cuanto a la carga de trabajo que el control acústico de las actividades provoca podemos establecer que si bien ha permanecido estable el número de informes realizados dentro del control preventivo de actividades en los últimos años, en el control disciplinario se ha duplicado.

Año	Evolución Informes técnicos	
	Disciplinarios	Preventivo
2.003	340	2.203
2.004	426	2.122
2.005	367	2.364
2.006	395	2.131
2.007	591	2.291
2.008	444	2.280
2.009	595	2.070



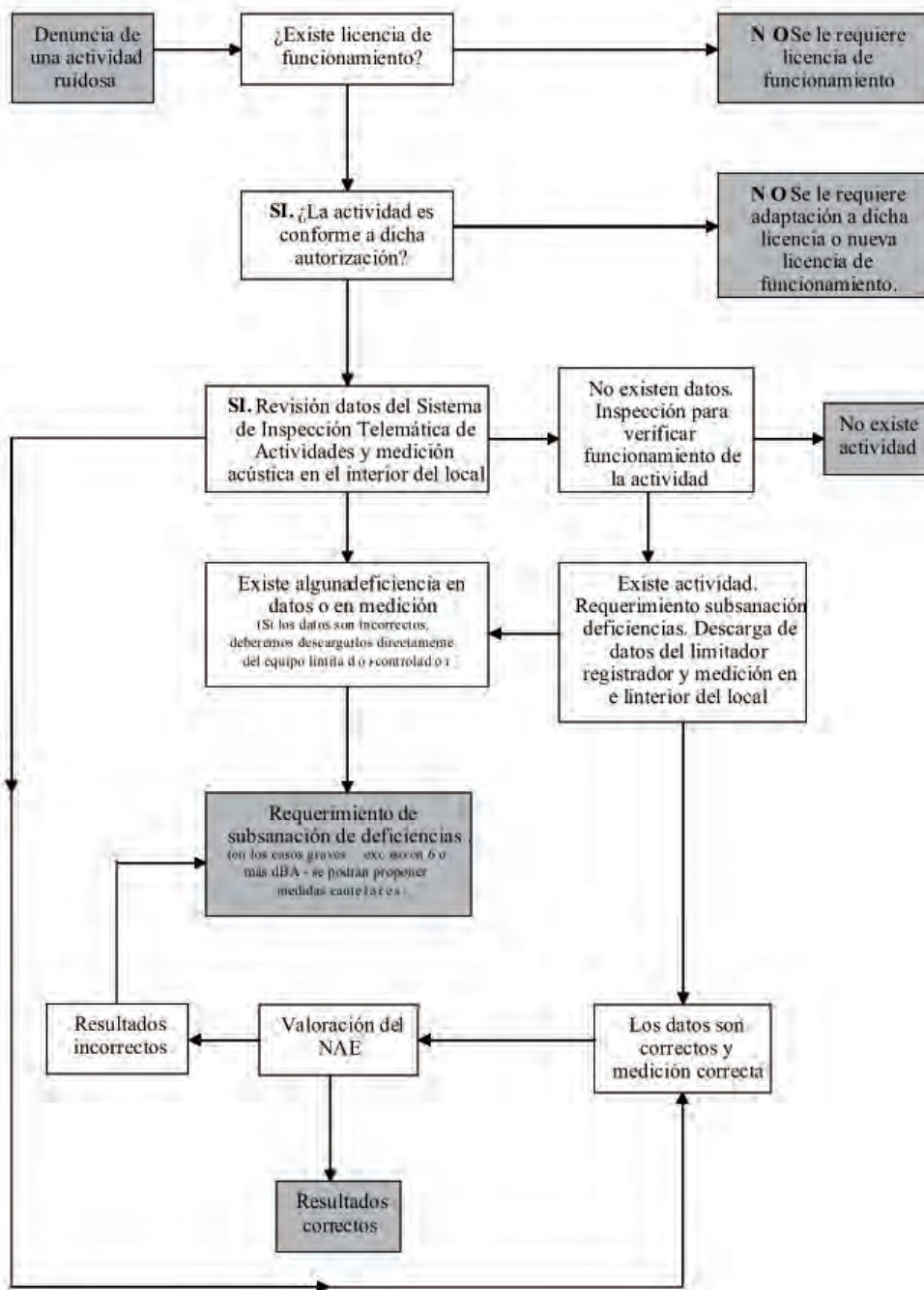


De los casi seiscientos informes técnicos emitidos en el año 2009, el 30,64 % han correspondido a denuncias relacionadas con el ruido. De ellos, el 70,83 % han requerido medición acústica. Las mediciones realizadas en el 2009, sin tener en cuenta las evaluaciones de inmisión en el interior de los locales que no las contabilizamos pues se consideran como un método de control rutinario, se han distribuido conforme al gráfico adjunto. Del total de mediciones realizadas, el 66% han resultado favorables obteniéndose resultados conforme a la normativa vigente. El resto han requerido medidas correctoras por parte de los titulares de las actividades.

Así pues, aunque es complicado establecer un modelo general de actuación ante un control de actividades ruidosas, en la mayor parte de los casos, la actuación municipal ante una denuncia ciudadana por molestias procedentes por una actividad ruidosa o un control de oficio suelen seguir los patrones que a continuación se esbozan.

Como ya se ha comentado, la verificación inicial que generalmente se realiza consiste en comprobar si la actividad desarrollada ha pasado el correspondiente control preventivo, es decir si cuenta con la correspondiente licencia de funcionamiento y en su caso, si la actividad desarrollada está amparada en la misma. En el caso de no pasar esta verificación, se le insta al cese de la actividad mientras se consigue la consiguiente licencia o bien se adapta la actividad desarrollada a la licencia obtenida.

En el ámbito acústico, la primera evaluación conllevará una medición en el interior del local (podrá realizarse de forma inmediata a las molestias por una llamada al 092 – siempre que los agentes destinados a este servicio estén disponibles-) y un análisis de los datos recogidos por el sistema de inspección de actividades. En función de los resultados obtenidos, se actuará sobre la actividad de forma inmediata o hará falta otras evaluaciones (descarga de datos del limitador, NAE, NEE, aislamiento –a ruido aéreo con colindantes o fachada o impacto-), si el resultado de estas verificaciones es conforme a norma, se determinará que las molestias son inferiores a lo permitido por la norma y se propondrá el archivo del expediente. Caso de encontrar



alguna deficiencia si esta es de consideración (más de 6 dBA) se propondrá el cierre cautelar o por el contrario, se requerirá del titular de la actividad que la ejerza conforme a la normativa de aplicación.

En el caso de verificaciones de oficio la casuística es diferente, depende en gran medida de los objetivos planteados en la campaña de control establecido. Un programa de control de ruido estará basado en gran medida en los datos que nos reporta el sistema de inspección de actividades. En general, este tipo de inspecciones se basarán en la confirmación y detección de anomalías detectadas por el sistema de inspección. Los excesos en el nivel acústico y las deficiencias en el envío de datos son las que más atención requieren. En el primer de los casos se deben a locales que exceden el nivel acústico autorizado y que no presentan denuncias ciudadanas porque o bien no tienen colindantes o bien estos toleran bien sus excesos de nivel. En estos casos, tras detectar el incumplimiento y verificarlo mediante la evaluación de los datos contenidos en el limitador controlador o los parámetros NAE, NEE, etc, se le requerirá al establecimiento la corrección de las deficiencias detectadas.

En el caso de anomalías en el envío de datos, puede deberse a dejadez simplemente o a un intento de evadir el control municipal por este medio. En los menos casos se debe a actividades que han dejado de ejercer como tal y por tanto la actividad ruidosa ha finalizado. En el caso de persistir estas anomalías, la actuación municipal podrá acarrear la clausura de la actividad si no son atendidos los requerimientos municipales.

## 6. CONCLUSIONES Y TENDENCIAS

Es difícil aventurarse a definir el futuro en el campo del ruido. Lo cierto es que hoy, la tendencia que nos hemos marcado en el Ayuntamiento de Granada es apostar de forma cierta por el sistema de inspección automática de actividades.

Los métodos de control e inspección de actividades entendemos que deben ser lo más ágiles y seguros posibles. Mediante las correspondientes campañas de control, aseguraremos el perfecto estado de funcionamiento del sistema de extracción y transmisión de los datos del limitador controlador.

Es nuestra intención avanzar en la seguridad jurídica de los datos extraídos y su integración en las bases de datos de actividades municipales con el objetivo final de obtener directamente y desde nuestro puesto de trabajo a petición del usuario boletines de denuncias por ejercer la actividad ruidosa a niveles superiores a lo autorizado, y todo ello de forma automática y con suficiente seguridad jurídica.

Para nosotros ha sido un gran éxito articular un mecanismo para compatibilizar distintas marcas y modelos de equipos limitadores en una misma plataforma de control de datos y poder de esta forma avanzar para conformar un

sistema eficiente de control acústico de actividades.

También se ha demostrado muy eficiente la simplificación de los métodos de medición acústica, posibilitando su realización en unos minutos por personal suficientemente formado pero de relativa fácil disposición en cualquier horario. De esta forma es posible un diagnóstico rápido de la situación y por ende las medidas a adoptar en aras a reducir el tiempo de respuesta ante una denuncia por ruido.

Con estas herramientas pretendemos continuar avanzando en la optimización del control acústico de actividades que por su naturaleza pueden provocar molestias a los colindantes y exceso de emisión acústica a la vía pública. Todo ello sin entorpecer el desarrollo de las actividades que se ejercen dentro de más escrupuloso cumplimiento de la normativa vigente.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Unión Europea. Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, del 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 18 de julio de 2002, núm. L189, pp 0012 a 0026.
- España. Ley 37/2003, de 17 de Noviembre, del Ruido, *Boletín Oficial del Estado*, 18 de noviembre de 2003, núm. 276, pp 40494 a 40505, por la que se transpone la Directiva 2002/49/CE.
- España. Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, *Boletín Oficial del Estado*, 17 de diciembre de 2005, núm. 301, pp 41356 a 41363.
- España. Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, *Boletín Oficial del Estado*, 23 de octubre de 2007, núm. 254, pp 42952 a 42973.
- España. Decreto 297/1995, de 19 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Calificación Ambiental. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, 11 de enero de 1996, núm. 3, pp 118 a 121.
- España. Decreto 326/2003, de 25 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, 18 de diciembre de 2003, núm. 243, pp 26534 a 26561.
- España. Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, 20 de julio de 2007, núm. 143, pp 4 a 48.
- España. Ordenanza Municipal de Protección del Ambiente Acústico en Granada. *Boletín Oficial de la Provincia*, 15 de mayo de 2007, núm. 92, pp 19 a 50.

# Mejora del desarrollo de productos desde una perspectiva de gestión del conocimiento. El caso de Navantia



Eva Martínez-Caro\*

Francisco Campuzano-Bolarín\*

Juan Antonio Villaescusa-Chocano\*\*

Dra. Ingeniera por la Univ. Politécnica de Cartagena

Dr. Ingeniero por la Univ. Politécnica de Valencia

Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial

\* Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Campus Muralla del Mar, s/n – 30201 Cartagena. Tfno: +34 968 325775. [eva.martinez@upct.es](mailto:eva.martinez@upct.es)

\*\* Navantia. Dpto. de Ingeniería. Carretera de Algameca, s/n - 30205 Cartagena. Tfno: +34 968 327 500 . [jvillaescusa@Navantia.es](mailto:jvillaescusa@Navantia.es)

Recibido: 17/12/2010 • Aceptado: 07/11/2011

## Improving product development from a knowledge management based approach. The case of Navantia

### ABSTRACT

#### • Introduction:

To achieve competitive advantage, a company must permanently innovate and change its products, process and management systems faster than competitors. In manufacturing companies, as new products become the focus in competition, the new product development (NPD) process become increasingly important to these businesses. NPD process can be improved by boosting product lifecycle knowledge management. In this paper, how to carry out this improvement is described through a case study of a naval shipbuilding firm, Navantia.

#### Methods:

In the detailed case study, the improvement needs are identified from a knowledge management based approach and the solutions developed are described. These solutions are provided by a Product Lifecycle Management (PLM) system by means of its tools and its integration with other management systems used in Navantia.

#### Results:

The integration of knowledge in the company has lead to access and sharing information time reduction; errors reduction; improvements in the communication among employees and with partners, customers and suppliers; and design time and product costs reduction.

#### Discussion:

This case provides several keys to a successful implementation of a PLM system, such as making a reasoned analysis of the needs of the company from a strategic knowledge management based approach, the gradual integration of existing tools with the system PLM and the involvement of different actors in the company, both at organizational and interorganizational level.

- **Keywords:** knowledge management, product lifecycle, new products development, naval shipbuilding.

### RESUMEN

#### Introducción:

Una empresa debe innovar permanentemente y cambiar sus productos, procesos o sistemas de gestión más rápidamente que la competencia para alcanzar ventajas competitivas. En las empresas manufactureras, como la competencia se ha centrado en los nuevos productos, el proceso de desarrollo de nuevos productos está teniendo una creciente importancia. Este proceso se puede mejorar fomentando la gestión del conocimiento ligado al ciclo de vida del producto. En este trabajo se describe, mediante el estudio del caso de la empresa Navantia, cómo realizar esa mejora.

#### Método:

En el estudio detallado del caso, se identifican las necesidades de mejora de la empresa desde la perspectiva de gestión del conocimiento y se describen las soluciones desarrolladas. Estas soluciones proporcionan un sistema de Gestión del Ciclo de Vida del Producto (PLM), mediante las aplicaciones que éste incluye y la integración del mismo con otros sistemas de gestión de Navantia.

#### Resultados:

La integración del conocimiento de la empresa ha permitido reducir el tiempo de acceso y de distribución de la información, reducir errores, mejorar la comunicación entre empleados y con socios, clientes y proveedores, y reducir el tiempo de diseño y costes del producto.

#### Discusión:

Este caso proporciona diversas claves para el éxito de la implantación de un sistema PLM como son

la realización de un análisis razonado de las necesidades de la empresa desde un enfoque estratégico de gestión del conocimiento, la integración paulatina de las herramientas existentes con el sistema PLM y la implicación de los distintos agentes de la empresa, tanto a nivel organizativo como a nivel interorganizativo.

**Palabras clave:** gestión del conocimiento, ciclo de vida del producto, desarrollo de nuevos productos, construcción naval.

## 1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la competencia que supone la globalización social, económica e industrial por los avances en las TICs, convierte a la innovación en una herramienta fundamental: permite, en un entorno dinámico, cambiar productos, procesos o sistemas más rápidamente que la competencia, logrando una situación ventajosa (Jiménez y Sanz, 2006). Como, además, las innovaciones son cada vez más complejas, caras e implican incertidumbres y riesgos (Kaminski et al., 2008), el éxito depende de la habilidad para aprender sobre las oportunidades del mercado y desarrollar el conocimiento necesario para abordarlas. Por eso, el conocimiento es no solo una importante fuente de innovación, sino el principal activo de las organizaciones (Numprasertchai e Igel, 2005).

La necesidad creciente de las empresas industriales de competir en calidad y plazos ha convertido el intercambio y transferencia del conocimiento asociado al proceso de desarrollo de productos en una función interna principal enfocada a la obtención de una ventaja competitiva (Davenport y Prusak, 1998; Gieskes y Langenberg, 2001). Para Carbonara y Scozzi (2006) el proceso de desarrollo de nuevos productos se puede mejorar identificando herramientas que ayuden a la creación e intercambio del conocimiento ligado al ciclo de vida del producto.

En este trabajo se describe, mediante el estudio detallado del caso de la empresa *Navantia*, cómo mejorar los procesos de desarrollo de productos de una empresa desde una perspectiva de gestión del conocimiento. Para ello, se identifican las necesidades de mejora que tiene la empresa en base al modelo de creación de conocimiento en las organizaciones de Nonaka y Takeuchi (1995) y se explican las soluciones desarrolladas para satisfacer esas necesidades utilizando un sistema de *Gestión del Ciclo de Vida del Producto* (PLM, *Product Lifecycle Management*).

## 2. PRESENTACIÓN DEL CASO

### 2.1. PERFIL CORPORATIVO

*Navantia* es una empresa de construcción naval pública española que realiza proyectos tanto militares como civiles. Se fundó en diciembre de 2000 a partir de la fusión de *Astilleros Españoles S.A.* (AES) y *Empresa Nacional Bazán*. Es la segunda empresa de construcción naval más importante a

nivel europeo, y la novena a nivel mundial. Sus instalaciones están divididas en cuatro sedes geográficas que cuentan con astilleros para nuevas construcciones, centros de reparación, fábricas de motores y sistemas, y oficinas centrales: Ferrol, Madrid, Cádiz y Cartagena. El presente estudio se centra en las actividades realizadas en el astillero de Cartagena. *Navantia* cuenta con más de 5.000 trabajadores, de los cuáles cerca de 800 pertenecen al astillero de Cartagena.

### 2.2. RETOS

El principal objetivo del modelo de gestión de *Navantia* es garantizar una posición altamente competitiva en el mercado internacional. *Navantia* lleva a cabo proyectos con un largo ciclo de vida y alta complejidad, tales como fragatas, portaviones o cazaminas. La complejidad de los proyectos es debida a que se requiere desarrollar productos tecnológicamente avanzados e innovadores, sin posibilidad de prototipo físico, integrar las tareas de una gran plantilla trabajando en diversos equipos geográficamente distribuidos, colaborar con socios, proveedores y clientes nacionales e internacionales, y cumplir con plazos estrechos. Como ejemplo de la complejidad de estos proyectos se puede considerar que el proyecto de un submarino incluye más de 20.000 equipos y componentes, 5.000 planos de construcción y más de 15.000 documentos de equipos. Esta complejidad hacía necesaria la automatización durante la fase diseño de tantas tareas como fuera posible.

Entre las tareas que solían requerir más tiempo en el departamento de Ingeniería destacaba la carga de la lista de materiales en el sistema ERP (*Enterprise Resource Planning, Planificación de los Recursos de la Empresa*) de *Navantia*. En el momento en el que se realiza dicha carga, el resto de la organización puede conocer los materiales necesarios para la fabricación. Por lo tanto, la carga de la lista de materiales desencadena una serie de procesos en el resto de departamentos. Sin embargo, el proceso presentaba dificultades porque la conexión entre las herramientas de diseño no era completa y se requerían ajustes manuales y revisiones adicionales para evitar errores. Además, el departamento de Ingeniería necesitaba un sistema que le permitiera gestionar los documentos, controlar los cambios en documentos y componentes, etc. Por tanto, se requería un sistema que cumpliera con dos objetivos principales: recuperación de la lista de materiales desde las herramientas de diseño y posterior carga en la herramienta ERP, y carga de todos los elementos y documentos en un sistema capaz de gestionar cambios y seguir la evolución del producto a lo largo de su ciclo de vida. Para hacer frente las dificultades descritas, *Navantia* decidió seguir una estrategia basada en la gestión del conocimiento que permitiera integrar y compartir el conocimiento de la empresa para mejorar el desarrollo del producto.

### 2.3. IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES

Para definir la estrategia a seguir desde la perspectiva de la gestión del conocimiento, se procedió a la identificación

de las necesidades de *Navantia* tomando como base el modelo de creación de conocimiento en las organizaciones de Nonaka y Takeuchi (1995).

Según este modelo, el conocimiento de una empresa fluye e interacciona según dos dimensiones: la epistemológica y la ontológica. La dimensión epistemológica está representada por el conocimiento tácito y el explícito. El conocimiento explícito es formal y sistemático. Por ello se puede comunicar y compartir fácilmente. El conocimiento tácito es difícil de extraer y codificar, pues incluye la intuición y las perspectivas que resultan de la experiencia. Se pueden definir cuatro modos de conversión del conocimiento que tienen lugar cuando interaccionan el conocimiento tácito y el explícito: (1) *Socialización*, o conversión de tácito a tácito; (2) *Externalización*, o expresión del conocimiento tácito en forma de conceptos explícitos; (3) *Combinación*, que implica la combinación de conocimiento explícito en conjuntos más complejos de conocimiento explícito; (4) *Internalización*, o transformación del conocimiento explícito a conocimiento tácito a través del aprendizaje.

Por otra parte, la dimensión ontológica comienza con el conocimiento individual, y se mueve hacia niveles superiores: grupal, organizacional e inter-organizacional. Aunque este modelo describe una espiral de creación del conocimiento, la creación tiene lugar mediante la transferencia del conocimiento y, por tanto, puede ser aplicado igualmente a la transferencia del conocimiento (Dayasindhu, 2001).

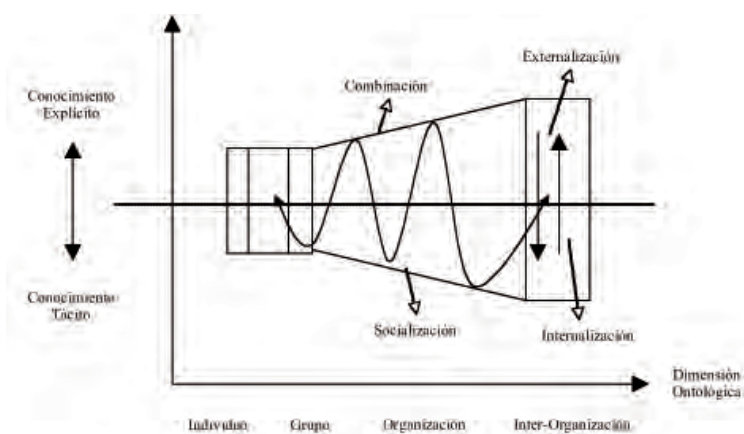


Figura 1: Espiral de Conocimiento de Nonaka y Takeuchi (1995)

Tras un análisis de la situación actual de *Navantia*, se definieron las siguientes líneas de acción:

- **Desde la perspectiva epistemológica:**

1. *Fomentar la transmisión y captura de conocimiento tácito:* Eder (1989) sugiere que la mayoría del conocimiento en el desarrollo de nuevos productos, como el conocimiento sobre enfoques de diseño estratégico y el conocimiento sobre técnicas y métodos para el diseño, es principalmente tácito. Por tanto,

es fundamental fomentar la transmisión y captura de conocimiento tácito. Éste es un aspecto que *Navantia* considera prioritario. Los trabajadores de *Navantia* son fuente de una gran cantidad de conocimiento tácito y es fundamental socializar y externalizar ese conocimiento, de manera que el conocimiento individual pase a estar disponible a nivel organizativo y evitar que dicho conocimiento se pierda si un trabajador deja la empresa o cambia de puesto dentro de la misma.

2. *Integración del conocimiento explícito:* Los resultados del desarrollo de nuevos productos dependen no sólo de la efectividad y la eficiencia de las actividades realizadas sino también del grado de integración entre ellas (Carbonara y Scozzi, 2006) y, por tanto, del conocimiento asociado a las mismas. *Navantia* trabaja con diferentes herramientas y aplicaciones que generan conocimiento explícito (herramientas CAD, sistemas ERP y CRM (Customer Relationship Management, Gestión de la Relaciones con los Clientes), editores de documentos, etc.). El hecho de que dicho conocimiento no esté integrado puede llevar a la repetición de errores, la duplicación de trabajo o el uso de conocimiento obsoleto o incorrecto, lo que implica que el proceso de desarrollo de nuevos productos sea más lento y conlleve más trabajo. El objetivo de *Navantia* es gestionar conocimiento no redundante y consistente a lo largo de todo el ciclo de vida del producto.

El proceso de internalización se realiza en *Navantia* habitualmente mediante diversas actividades de formación que se llevan a cabo de manera sistemática y periódica, y, por tanto, se consideró que no era prioritario realizar mejoras en este punto.

- **Desde la perspectiva ontológica:**

3. *Proporcionar un entorno para la colaboración en toda la empresa:* para Ramesh y Tiwana (1999) la estrecha colaboración entre los equipos de toda la organización es esencial para el éxito del producto. En *Navantia*, los proyectos se desarrollan en equipos formados habitualmente por miembros localizados no sólo en sus distintos departamentos y sedes, sino también por socios de distintos países. Si bien se emplean herramientas de comunicación rápidas y efectivas que permiten el trabajo colaborativo, como el correo electrónico, el principal problema es la dispersión de la información. Se trabaja con un gran número de documentos que no está centralizado. Ante esta situación, *Navantia* detecta la necesidad de una herramienta que le permita la comunicación y el intercambio de archivos, bases de datos, planos, etc., en definitiva, de conocimiento, que sea capaz de centralizar, almacenar y distribuir dicho conocimiento entre los miembros de la empresa de una manera eficaz y segura.

4. *Fomentar las relaciones inter-organizacionales*: la comunicación con clientes y proveedores puede ser una fuente valiosa de conocimiento (Chen, 2005) y la clave para mejoras drásticas en tiempo y calidad. Para la comunicación con proveedores *Navantia* emplea un ERP de desarrollo *in-house* que se ha ido adaptando a las necesidades de la empresa durante los últimos 30 años. Su uso principal es la gestión de los materiales cuya necesidad surge de los planos que se producen en el departamento de ingeniería mediante herramientas de diseño CAD 2D y 3D. El problema al que se enfrentan es que no hay una conexión directa entre la información que contienen los planos (materiales que se necesitan) y la información del ERP (proveedores de materiales y gestión de pedidos). Esto hace que el proceso sea más lento y que se puedan producir errores en la transmisión de información de un sistema (planos) a otro (ERP). Por otra parte, *Navantia* utiliza un CRM para la gestión de requisitos del cliente en el pre-contrato y en el post-contrato. La validación de un buque se realiza a través de la demostración del cumplimiento de los requisitos de las Especificaciones de Contrato. Los documentos justificativos que establecen cómo se satisfarán cada uno de los requisitos se envían al cliente para su revisión y éste a su vez envía sus correcciones. Este proceso se repite hasta que ambas partes están de acuerdo. Al igual que en el caso anterior, la falta de conexión directa entre los planos y el CRM ralentiza el proceso y lo hace más vulnerable a errores. Además, se da la circunstancia de que la información suministrada al cliente está restringida por motivos de seguridad y se necesitaría un sistema que garantizara el acceso a dicha información sólo a las personas autorizadas. Por otra parte, *Navantia* desearía que todo el intercambio de información con el cliente quedara registrado y los documentos quedaran archivados en un sistema que permitiera el seguimiento de dicho intercambio y la recuperación de la información en cualquier momento y lugar, y por cualquier persona autorizada.

#### 2.4. DESARROLLO DE SOLUCIONES

Para dar respuesta a las necesidades detectadas, *Navantia* optó por la implantación de un sistema PLM. Este sistema se centra en la gestión del conocimiento, permitiendo la captura, organización y reutilización del conocimiento a lo largo de todas las fases del ciclo de vida del producto por parte de cualquier persona de la organización así como de proveedores y clientes (Sudarsan et al., 2005). Normalmente, PLM se emplea para trabajar con archivos digitales y bases de datos. Éstos pueden incluir configuraciones del producto, definiciones de las partes y datos de diseño, especificaciones, dibujos CAD, modelos de análisis de ingeniería, y planos de procesos de fabricación. Un objetivo de los sistemas PLM es integrar aplicaciones a lo largo del ciclo de vida del producto y gestionar el conocimiento no redundante y consistente. Para ello ofrece interfaces para herramientas de diseño así

como para soluciones empresariales como ERP, CRM o SCR.

A la hora de implantar el sistema PLM, *Navantia* se planteó que se debía recopilar todo el conocimiento de la organización integrando las antiguas soluciones tecnológicas que habían funcionado con éxito con nuevos desarrollos tecnológicos en un único sistema que pudiera gestionar todo el conocimiento con independencia de su formato original. Con este enfoque evolutivo basado en la explotación de la tecnología y la innovación, así como en la búsqueda o adaptación de soluciones comerciales estándar, se minimizan los altos niveles de coste y riesgo asociados (McAdam et al., 2008). Por ello, en *Navantia* las tecnologías PLM se implantaron progresivamente en tres fases, aumentando su complejidad y alcance en cada nuevo proyecto acometido. La primera fase de la implantación del PLM se desarrolló exclusivamente en el Departamento de Ingeniería y en ella, el sistema PLM se utilizó principalmente como un gestor documental. En la segunda fase la implantación del sistema PLM se siguió centrando en el departamento de ingeniería y se comenzó a trabajar en la integración del PLM con otras soluciones tecnológicas que ya estaban funcionando en *Navantia*. El objetivo de la tercera fase fue extender el uso del sistema PLM en todos los ámbitos de ingeniería, llegando a otros departamentos, y obtener el mayor número de conexiones con las herramientas de diseño y de gestión. Con esta planificación en tres fases, el cambio organizativo que implica la implantación de tecnologías PLM fue aceptado más fácilmente por parte de los trabajadores, y los costes y riesgos se minimizaron.

A continuación se describe cómo el sistema PLM ha dado solución a las distintas líneas de acción planteadas:

##### 1. *Fomentar la transmisión y captura de conocimiento tácito*:

El sistema PLM ha facilitado el proceso de externalización del conocimiento convirtiendo el conocimiento tácito en conocimiento explícito a través de un gestor documental. Este gestor permite la creación de documentos siguiendo unos modelos predefinidos: documentos generales (cartas, notas, faxes, etc.), documentos oficiales del proyecto (por ejemplo, documento a enviar al cliente requiriendo autorizaciones), planos de construcción o esquemas funcionales (planos que describen los elementos funcionales de cada uno de los sistemas y subsistemas que se pueden encontrar en un buque). Los documentos generales y oficiales son generados automáticamente a partir de una serie de campos que el usuario debe completar. Por ejemplo, *Navantia* tiene predefinidos 160 documentos, que van desde un simple fax a documentos más específicos como “fichero de cálculo de estructuras”, “documento logístico y de mantenimiento de un material”, o “análisis de averías y exigencias funcionales para el mantenimiento”. Estos documentos predefinidos facilitan la captura del conocimiento tácito. Una vez que el conocimiento es explícito, puede ser libremente distribuido a través del sistema PLM por toda la organización. Para la

creación de esquemas funcionales y planos de construcción se realizó una integración con herramientas CAD 2D y 3D, tal y como se explica en el siguiente apartado. Estas herramientas se usan no sólo para codificar las especificaciones de diseño permitiendo así la retención, recuperación y transferencia de información técnica, sino que también enriquecen el contenido del conocimiento transferido, reduciendo de esta manera el riesgo de interpretaciones erróneas (Carbonara y Scozzi, 2006).

## 2. Integración del conocimiento explícito:

En el caso de *Navantia*, la información sobre el producto reside en los sistemas CAD. Por ello, se realizó la conexión con una herramienta CAD 2D que permite la creación de esquemas funcionales inteligentes. Con la integración se consiguió gestionar el proceso de elaboración y aprobación de los planos, las versiones de los mismos, y a su vez alimentar automáticamente la estructura de producto una vez que los planos se dan por terminados. Asimismo se integró el sistema PLM con una herramienta 3D utilizada por la empresa para la modelización de la estructura de acero del buque y la posterior obtención de planos de construcción a partir de esos modelos. De esta manera se consiguió centralizar todos los documentos generados con la herramienta 3D, protegerlos adecuadamente de forma que solo las personas con permisos adecuados pudieran trabajar con ellos, y registrar todos los cambios que hayan podido sufrir poder volver a una situación anterior de los mismos en cualquier momento. *Navantia* también integró en el sistema PLM sus sistemas ERP y CRM, tal y como se detalla posteriormente. Esta integración permite, por ejemplo, la gestión de materiales con el sistema ERP a partir los planos creados con las herramientas CAD y de las necesidades del cliente gestionadas con el CRM. Otras aplicaciones que facilitan este proceso de conversión del conocimiento son el sistema de gestión documental que permite la generación automática de informes a partir de la base de conocimiento de *Navantia*, y el servidor de correo que proporciona un servicio de notificación a los usuarios mediante el correo electrónico, incluyendo información sobre el proceso y enlaces a la información solicitada. Finalmente, el sistema PLM cuenta con la aplicación Maqueta virtual de un proyecto. Esta aplicación permite disponer de toda la información del producto en un único soporte, organizada según la estructura del mismo, con la capacidad de navegar por todos los componentes, consultar sus propiedades y los documentos asociados con independencia del formato origen, y visualizar en 3D la geometría de cada componente, es decir, disponer de un producto virtual completo que permita alcanzar importantes reducciones en coste y tiempo invertido durante la fabricación del producto físico.

Como consecuencia de la integración de aplicaciones a lo largo del ciclo de vida del producto a través del sistema PLM se obtiene conocimiento no redundante y consistente, tal y como desea *Navantia*, a lo largo de todo el ciclo de vida del producto y no sólo en las etapas de diseño y producción, como es habitual. Por ejemplo, cuando se somete a un

submarino a una revisión, se desmonta completamente. En esta situación es vital tener disponible conocimiento consistente y transparente para montar nuevamente el submarino de forma correcta.

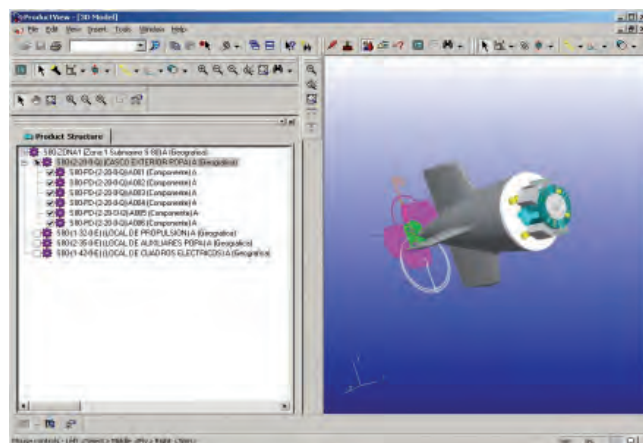


Figura 2: Maqueta digital de un proyecto

## 3. Proporcionar un entorno para la colaboración en toda la empresa:

El sistema PLM se utilizó para permitir que equipos localizados en distintos países pudieran trabajar juntos en tiempo real. La colaboración implicó el uso de mensajería instantánea entre miembros de proyectos temporales y empleados, así como audio y video conferencias. El sistema PLM permitió también la creación de foros de discusión asociados a temas específicos del proyecto que se estaba desarrollando. Además al integrar el correo electrónico de los usuarios en el sistema PLM, permitió la distribución automática de documentos entre los distintos miembros de un equipo. El sistema PLM también cuenta con un gestor de workflow o flujo de trabajo que facilita asimismo el trabajo cooperativo al informar sobre las tareas pendientes de realizar o avisar mediante correo electrónico a los usuarios encargados de realizarlas, entre otras funciones.

Por otra parte, se desarrollaron aplicaciones en el sistema PLM que permitieron la conexión entre distintos departamentos. Por ejemplo, se implantó un Gestor de No Conformidades, es decir, de defectos detectado en documentos, procesos o en el producto por el departamento de Calidad. El sistema PLM documenta el ciclo de vida de una no conformidad mediante un workflow que informa en cualquier momento sobre la situación de la no conformidad y además define la participación de los distintos departamentos de la empresa en la resolución de la misma. Esta aplicación fue especialmente relevante porque fue la incursión más completa del sistema PLM en un departamento distinto al de Ingeniería, origen de la implantación del sistema PLM.

## 4. Fomentar las relaciones inter-organizacionales:

Las tecnologías PLM integran e intercambian el conocimiento con los principales proveedores y socios.

Retos	Soluciones
Fomentar la transmisión y captura de conocimiento tácito	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Creación y gestión de documentos predefinidos con gestor documental</li> <li>- Creación de esquemas funcionales y planos de construcción con herramientas CAD integradas en el sistema PLM</li> </ul>
Integración del conocimiento explícito	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integración de herramientas CAD 2D y 3D, y sistemas ERP Y CRM en sistema PLM</li> <li>- Generación automática de informes con el gestor documental</li> <li>- Generación de maqueta virtual de un proyecto con visualización 3D</li> <li>- Conocimiento no redundante y consistente gracias al gestor documental o al gestor de revisiones y de versiones</li> </ul>
Proporcionar un entorno para la colaboración en toda la empresa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comunicación de equipos de trabajo mediante mensajería instantánea, audio/video conferencias, foros asociados a temas específicos</li> <li>- Distribución automática de documentos mediante integración del correo electrónico corporativo en el sistema PLM.</li> <li>- Gestión de tareas colaborativas mediante gestor de workflow.</li> <li>- Conexión entre departamentos (gestor de no conformidades para la conexión con Departamento de Calidad; integración con sistema ERP para conexión con Departamento de Aprovisionamiento).</li> </ul>
Fomentar las relaciones inter-organizacionales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integración sistema PLM con ERP para relaciones con proveedores y socios.</li> <li>- Integración sistema PLM con CRM para relación con clientes.</li> </ul>

Tabla 1: Retos de Navantia desde la perspectiva de gestión del conocimiento y soluciones mediante el sistema PLM

Además, el soporte del sistema PLM para la transferencia del conocimiento con los clientes ayuda a identificar sus necesidades desde los diseños iniciales hasta el producto final. Ambas relaciones inter-organizacionales optimizan y enriquecen el proceso de desarrollo del producto.

Navantia utiliza un ERP cuyo uso principal es la gestión de los materiales cuya necesidad surge de los planos que se producen en el departamento de Ingeniería. Con objeto de que otros departamentos de Navantia, principalmente el de Aprovisionamientos, puedan gestionar los materiales requeridos en la construcción de un buque, se introducen estos materiales en el ERP mediante procesos de carga masiva a partir de la información de las herramientas CAD. Por ello, se hizo necesario desarrollar una interfaz entre el ERP y el sistema PLM, que permitiera a ambos sistemas interactuar. De esta manera se automatiza la generación de informes actualizados con los materiales de un plano de construcción en el ERP desde el PLM. Además, se permite el acceso desde el PLM a los materiales asociados a determinados proveedores y que se están gestionando en el ERP.

Por otra parte, con el objetivo de mejorar la gestión de requisitos del

cliente en el pre-contrato y en el post-contrato se integró el CRM con el sistema PLM. De esta manera se eliminó la necesidad de importar los documentos justificativos al CRM. Ahora son creados, almacenados y modificados directamente desde el PLM. El cliente puede consultar la información del PLM sobre un proyecto en concreto y hacerle partícipe

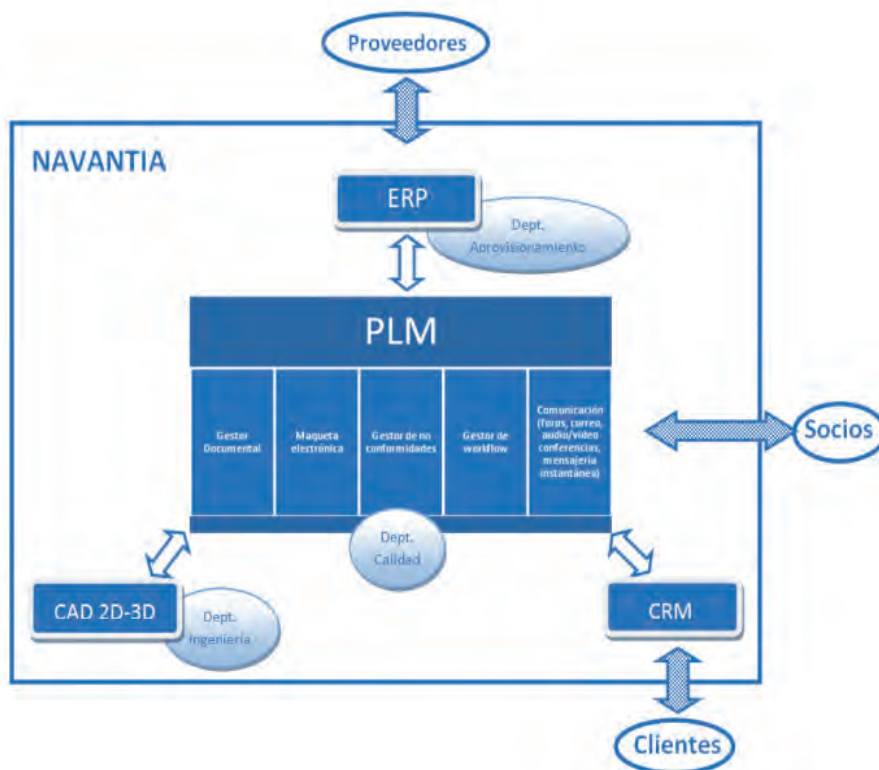


Figura 3: Implantación del sistema PLM en Navantia: herramientas y áreas implicadas



del proceso de revisión de la documentación, con lo que se consigue eliminar los costes de los procesos de intercambio y reducir los tiempos de envío y recepción. Además, se realizó una personalización de PLM de modo que los usuarios clientes tienen acceso sólo a la información necesaria o autorizada.

Finalmente, hay que tener en cuenta que las relaciones inter-organizacionales deben estar presentes a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, no sólo en las fases de diseño y producción. Por ejemplo, en *Navantia* el conocimiento sobre instrucciones de mantenimiento y consejos para resolver problemas frecuentes se comparte ahora con los clientes a través del PLM.

La Tabla 1 resume todas las soluciones descritas.

La Fig. 3 sintetiza las herramientas y áreas implicadas en la implantación del sistema PLM en *Navantia*.

### 3. RESULTADOS

Con las soluciones desarrolladas se consiguió integrar en el sistema PLM, por ejemplo, los siguientes elementos:

- Planos de fabricación: 2178
- Planos funcionales: 441
- Materiales/componentes: 262.409
- Materiales en 3D: 139.830

Además se ejecutaron los siguientes elementos:

- Lista de materiales: 51.423
- Comprobación de errores en listas de materiales: 54.023
- Actualizaciones de la estructura del producto: 6.894

Esto llevó a, entre otros, los siguientes logros:

- (1) Reducción del tiempo de acceso a la información generada en fases anteriores del desarrollo del producto y por otros departamentos de la empresa. Por ejemplo, el tiempo para obtener un plano se reduce a 5 minutos en lugar de 2-3 días que se podía emplear en ello.
- (2) Reducción del tiempo en distribución de la documentación: anteriormente era necesario distribuir y almacenar cinco copias físicas, mientras que ahora hay una disponibilidad inmediata de la documentación en un archivo electrónico central que permite la impresión a demanda.
- (3) Reducción del número de cambios y revisiones, a la vez que se tiene la seguridad de que se trabaja con la última revisión de la documentación. En consecuencia, la empresa consiguió una reducción de tiempo y errores.

- (4) Gran mejora de la comunicación entre empleados así como con socios.
- (5) Fomento y facilitación del intercambio de información entre departamentos.
- (6) Mejora en la gestión de los procedimientos de la organización, la gestión de los requisitos con el cliente y la gestión con los suministradores.
- (7) Reducción del tiempo de diseño y costes del producto gracias a la maqueta electrónica.

Actualmente el sistema PLM es una herramienta consolidada en el astillero de Cartagena, e integrada en el trabajo cotidiano de los diferentes departamentos, proveedores, socios y clientes. Una vez conocidas las soluciones a los problemas encontrados y los logros obtenidos, *Navantia* está trabajando para aplicar el sistema a nivel corporativo en todos los astilleros del grupo, teniendo en cuenta las particularidades de cada uno de los astilleros.

### 4. DISCUSIÓN

Desde un punto de vista industrial, no hay duda acerca de la importancia de la gestión del conocimiento (Siemieniuch y Sinclair, 2004). En consecuencia, el desarrollo de sistemas que faciliten la gestión del conocimiento ha sido un tema de interés considerable (Nonaka y Konno, 1998). En este trabajo, se ha analizado mediante el caso de estudio de la empresa *Navantia* el modo en el que se puede fomentar la gestión del conocimiento del ciclo de vida de un producto.

*Navantia* optó por la implantación de un sistema PLM porque es mucho más que una solución tecnológica. PLM es una estrategia empresarial que se basa en la gestión y el uso del conocimiento corporativo de manera efectiva, con el objetivo de mejorar el desarrollo del producto en términos de coste y calidad, y reducir el tiempo de mercado para mejorar la competitividad.

Durante la implantación del sistema tuvieron que hacer frente a diversos problemas inherentes al cambio, tanto desde el punto de vista tecnológico como con respecto a los recursos humanos. Desde el punto de vista tecnológico, había que considerar que implantar un PLM implicaba la conexión con otras herramientas vitales para la empresa. Dicha conexión no era posible hacerla de manera directa en todos los casos, por lo que fue necesario realizar ajustes y diseñar interfaces que permitieran dicha conexión. Además, el PLM no cubría la totalidad de actividades que se requerían para optimizar el proceso de diseño y fabricación del producto, por lo que hubo que desarrollar algunas aplicaciones propias. Obviamente, la implantación de un sistema como éste obligaba a cambiar el modo de trabajar de los empleados. Para evitar reticencias al cambio y facilitar la transición del sistema de trabajo anterior al sistema PLM, se actuó en dos ejes: (1) implantación

paulatina del sistema, en diferentes fases según la adaptación del personal; (2) formación del personal y apoyo técnico para hacer frente a dudas o cualquier problema durante la adaptación.

Aunque los sistemas PLM están considerados como la clave para la transformación digital de los procesos de ingeniería, muchas grandes compañías han fracasado a la hora de explotar todo su potencial organizativo y sus beneficios tecnológicos (Abramovici y Sieg, 2002). En este aspecto el caso de *Navantia* constituye un ejemplo de implantación exitosa, siendo las claves de éste éxito las siguientes: (1) la realización de un análisis razonado de las necesidades de la empresa desde un enfoque estratégico de gestión del conocimiento, (2) la implantación de un sistema PLM que se centra en gestionar el conocimiento de todo el ciclo de vida del producto, (3) la integración de las herramientas existentes en *Navantia* con el sistema PLM además de la explotación de las aplicaciones que el sistema PLM posee, y (4) el haber implicado a los distintos agentes de la empresa, tanto a nivel organizativo como a nivel interorganizativo. Por tanto, el caso de *Navantia* puede ser de interés a directivos a la hora de mejorar el proceso de desarrollo de nuevos productos, y como consecuencia, mejorar los resultados de la organización al ofrecer un producto de alta calidad, a un precio agresivo y reduciendo el ciclo de desarrollo del producto, lo que, en definitiva, se traducirá en alcanzar y mantener una alta posición competitiva en el mercado internacional.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Abramovici M, Sieg OC. "Status and development trends of product lifecycle management systems". En Proceeding of International Conference on Integrated Product and Process Development. Wroclaw, Poland, 2002, p. 2122.
- Carbonara N; Scozzi B. "Cognitive maps to analyze new product development processes: A case study". *Technovation*. 2006, Vol. 26, p. 1233-1243.
- Chen S. "Task partitioning in new product development teams: A knowledge and learning perspective". *Journal of Engineering and Technology Management*. 2005, Vol. 22, p. 291-314.
- Colombo G; Pugliese D. "The role of knowledge management in product lifecycle", en Brissaud, D.; Tichkiewitch, S.; Zwolinski, P. (eds.), *Innovation in Life Cycle Engineering and Sustainable Development*, Springer, Netherlands, 2006, p. 397-406.
- Davenport T; Prusak L. *Working knowledge: How organizations manage what they know*. Boston, MA.: Harvard Business School Press, 1998.
- Dayasindhu N. "Embeddedness, knowledge transfer, industry clusters and global competitiveness: a case study of the Indian software industry". *Technovation*, 2001, Vol. 22, p. 551-560.
- Eder WE. "Information systems for designers", en Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, International Conference on Engineering Design, ICED89, Harrogate, London, 1989, p. 1307-1319.
- Gieskes JFB; Langenberg I. "Learning and improvement in product innovation processes: enabling behaviours". *Systems Engineering*, 2001, Vol. 4, p. 134-144.
- Jiménez D; Sanz R. "Innovación, aprendizaje organizativo y resultados empresariales: Un estudio empírico". *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 2006, Vol. 29, p. 31-55.
- Kaminski PC.; Oliveira, A.C.; Marques Lopes, T. "Knowledge transfer in product development processes: A case study in small and medium enterprises (SMEs) of metal-mechanic sector from São Paulo, Brazil". *Technovation*. 2008, Vol. 28, p. 29-36.
- Maylor H. "Assessing the relationship between practice changes and process improvement in new product development". *Omega*, 2001, Vol. 29, p. 85-96.
- Mcadam R; O'hara T; Moffett S. "Collaborative knowledge sharing in Composite New Product Development: An aerospace study". *Technovation*, 2008, Vol. 28, No. 5, p. 245-256.
- Nonaka I; Konno N. "The concept of 'Ba': building a foundation for knowledge creation". *California Management Review*, 1998 Vol. 40, No. 3, p. 40-54.
- Nonaka I; Takeuchi H. *The Knowledge-Creating Company*. Oxford University Press, 1995.
- Numprasertchai S; Igel B. "Managing knowledge through collaboration: multiple case studies of managing research in university laboratories in Thailand". *Technovation*, 2005, Vol. 25, p. 1173-1182.
- Ramesh B, Tiwana A. "Supporting collaborative process knowledge management in new product development teams". *Decision Support Systems*, 1999, Vol. 27, p. 213-235.
- Siemieniuch CE; Sinclair MA. "CLEVER: a process framework for knowledge lifecycle management". *International Journal of Operations & Production Management*, 2004, Vol. 24, No. 11, p. 1104-1125.
- Sudarsan R, Fennes SJ, Sriram RD, Wang F. "A product information modelling framework for product lifecycle management". *Computer-Aided Design*, 2005, Vol. 37, p. 1399-1411.
- Young RIM, Gunendran AG, Cutting-Decelle AF, Gruninger M. "Manufacturing knowledge sharing in PLM: A progression towards the use of heavy weight ontologies". *International Journal of Production Research*, 2007, Vol. 45, No. 7, p. 1505-1519.

# desarrollo sostenible

## desarrollo sostenible

De acuerdo con los contenidos recogidos en esta Sección referente a la normativa relacionada con el Desarrollo Sostenible, a continuación comentamos algunas de las últimas novedades legislativas en esta materia.



### En España

#### Plan Nacional de Mejora de la calidad del aire

En el mes de noviembre el Consejo de Ministros aprobó el Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire, basado, fundamentalmente en el cumplimiento de los valores límite de PM10 y NO<sub>2</sub> y la reducción simultánea de precursores de ozono, para lo cual, incluye 90 medidas estructuradas en áreas de actuación.

Las medidas fijadas por el Plan están dirigidas a cumplir los objetivos generales de los valores límite, para todas las zonas en las que existan superaciones, lo antes posible y en todo caso no más tarde de 2015. Asimismo, se plantea el objetivo de mantener o mejorar los niveles en el resto del territorio nacional:

Contaminante	Período de promedio	Valor límite
NO <sub>2</sub>	Horario	200 µg/m <sup>3</sup> (18 superaciones al año como máximo)
	Anual	40 µg/m <sup>3</sup>
PM10	Diario	50 µg/m <sup>3</sup> (35 superaciones al año como máximo)
	Anual	40 µg/m <sup>3</sup>

Contaminante	Período de promedio	Valor límite
PM 2,5	Anual	28 µg/m <sup>3</sup> (2011) 27 µg/m <sup>3</sup> (2012) 26 µg/m <sup>3</sup> (2013 y 2014) y 25 µg/m <sup>3</sup> (2015-2019) y 20µg/m <sup>3</sup> (a partir de 2020)

Contaminante	Valor objetivo	Período de promedio
Ozono	Horario	
	120 µg/m <sup>3</sup> (25 superaciones como máximo, en un promedio de 3 años)	Máximo diario de las medias móviles octohorarias

El objetivo general de reducir las emisiones de los precursores del ozono se plantea, en concreto, para óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, mediante la aplicación de las medidas arbitradas para NO<sub>2</sub> y en los grandes planes sectoriales actualmente en vigor (Plan Nacional de Techos, Plan Nacional de Grandes Instalaciones de Combustión, etc.).

[http://www.marm.es/imagenes/es/PNMCA\\_tcm7-181205.pdf](http://www.marm.es/imagenes/es/PNMCA_tcm7-181205.pdf)

**Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre, por el que se aprueba el Plan estratégico del patrimonio natural y de la biodiversidad 2011-2017, en aplicación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (BOE 30/09/2011)**

El presente Real Decreto tiene por objeto aprobar el Plan estratégico del patrimonio natural y de la biodiversidad 2011-2017, que desarrolla lo establecido en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad relativo a la creación de dicho documento como instrumento de planificación de la actividad de la Administración General del Estado.

Asimismo, mediante el Plan estratégico se incorporan los compromisos asumidos por España en la materia, en el ámbito internacional y comunitario, y en especial los

derivados del Plan estratégico del convenio sobre la diversidad biológica para el período 2011-2010, adoptado en la décima reunión de la Conferencia de las Partes del Convenio, y de la estrategia europea sobre biodiversidad "Nuestro seguro de vida, nuestro capital natural: una estrategia de biodiversidad de la UE para 2020".

El objetivo del citado Plan es el establecimiento y la definición de objetivos, acciones y criterios que promuevan la conservación, el uso sostenible y la restauración del patrimonio, los recursos naturales terrestres y marinos, la biodiversidad y la geodiversidad.

<http://www.boe.es/boe/dias/2011/09/30/pdfs/BOE-A-2011-15363.pdf>

### En las Comunidades Autónomas

**ANDALUCIA -Decreto 239/2011, de 12 de julio, por el que se regula la calidad del medio ambiente atmosférico y se crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía (BOJA 4/08/2011)**

El Decreto 239/2011, de 12 de julio, regula la calidad del medio ambiente atmosférico y crea el Registro de sistemas de evaluación de la calidad del aire.

Por lo tanto, mediante este Decreto se desarrollan las Secciones 1ª y 2ª del Capítulo II del Título IV de la Ley 7/2007, de 9 de julio, en materia de calidad del medio ambiente atmosférico, así como los Capítulos I, II, III y IV de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, y se crea el Registro de sistemas de evaluación de calidad del aire, en el que se tendrán que inscribir todas las estaciones de medida fijas para integrarse en la Red de vigilancia y control de la calidad del aire, así como en aquellos otros sistemas de evaluación de titularidad pública o privada que lo soliciten voluntariamente.

Asimismo, se suprime el Anexo V y se modifica el Anexo VII del Decreto 503/2004, de 13 de octubre, por el que se regulan determinados aspectos para la aplicación de los Impuestos sobre emisión de gases a la atmósfera y sobre vertidos a las aguas litorales. Además, el Anexo VII del Decreto 503/2004, queda sustituido por el Anexo VI de este Decreto, en el que se determinan los criterios diferentes para aquellas situaciones en las que, de acuerdo con la normativa de aplicación, es obligatorio cumplir normas del Comité Europeo de Normalización (CEN) y para aquellos otros en los que no lo es.

En el artículo 12 del presente Decreto se recogen las obligaciones de las personas o entidades titulares de las instalaciones en la que se desarrollen actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera de los grupos A, B o C, de acuerdo con la clasificación contenida en el Anexo del Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, como son:

- a) Respetar los valores límite de emisión
- b) Cumplir los requisitos técnicos que le sean de aplicación
- c) Cumplir las medidas contenidas en los planes de mejora de calidad del aire y planes de acción a corto plazo
- d) Declarar las emisiones a la atmósfera de su actividad con la periodicidad y en la forma que tengan establecidas por este Decreto
- e) Llevar un registro de sus emisiones e incidencias que afecten a las mismas
- f) Adoptar medidas adecuadas para evitar las emisiones accidentales
- g) Poner en conocimiento inmediato del órgano ambiental las medidas preventivas necesarias cuando exista amenaza inminente de daño significativo por contaminación atmosférica
- h) Adoptar sin demora y necesidad de requerimiento alguno, todas las medidas para prevención de nuevos daños, cuando se haya producido una contaminación atmosférica
- i) Facilitar la información que les sea solicitada por las Administraciones públicas

- j) Facilitar los actos de inspección y de comprobación que lleve a cabo el órgano ambiental competente
- k) La inscripción en el Registro de actuaciones sometidas a los instrumentos de prevención y control ambiental creado por el artículo 18 de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.

De igual manera, en el punto 2 del citado artículo, se señalan las obligaciones de las personas o entidades titulares de instalaciones donde se desarrollen actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera, recogidas en los grupos A y B del Anexo del Real Decreto 100/2011, de 28 de enero y, en el apartado 4, las obligaciones de las actividades potencialmente contaminadoras que no pertenezcan a los grupos A, B, C del citado Real Decreto.

<http://www.juntadeandalucia.es/boja/boletines/2011/152/d/updf/d5.pdf>

## En fase de Proyecto

**Proyecto de Real Decreto por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico y el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.**

El proyecto de Real Decreto consta de dos artículos, uno por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, lo que constituye el objeto principal del proyecto, donde se incluyen todas las disposiciones normativas derivadas del contenido de los planes hidrológicos y de las carencias normativas detectadas en la gestión del dominio público hidráulico, así como las derivadas de la aprobación de los reales decretos 60/2011, de 21 de enero, y 475/2007, de 13 de abril.

Y, el otro artículo del proyecto de Real Decreto, incluye la modificación del Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas, para contemplar las situaciones de contaminación por vertidos procedentes de desbordamientos de aguas de escorrentía.

Asimismo, el proyecto de Real Decreto recoge una disposición adicional única, que establece la creación de un inventario de puntos de desbordamientos de aguas de escorrentía, que se integrará en el inventario de presiones antropogénicas de las masas de aguas superficiales existente en cada demarcación hidrográfica.

Por último, en la disposición transitoria única, se desarrolla el régimen jurídico de desbordamientos de aguas de escorrentía tanto para las autorizaciones de vertidos existentes a la entrada en vigor del mismo, como para las nuevas solicitudes de autorización de vertidos.

[http://www.marm.es/es/agua/participacion-publica/RD\\_modificacion\\_RDPH\\_y\\_RD509-96\\_tcm7-173926.pdf](http://www.marm.es/es/agua/participacion-publica/RD_modificacion_RDPH_y_RD509-96_tcm7-173926.pdf)

# DYNA

# Ingeniería e Industria

ISSN 0012-7361 • SICI: 0012-7361(2011)86:;<1.0.TX;2 • CODEN: DYNAAU



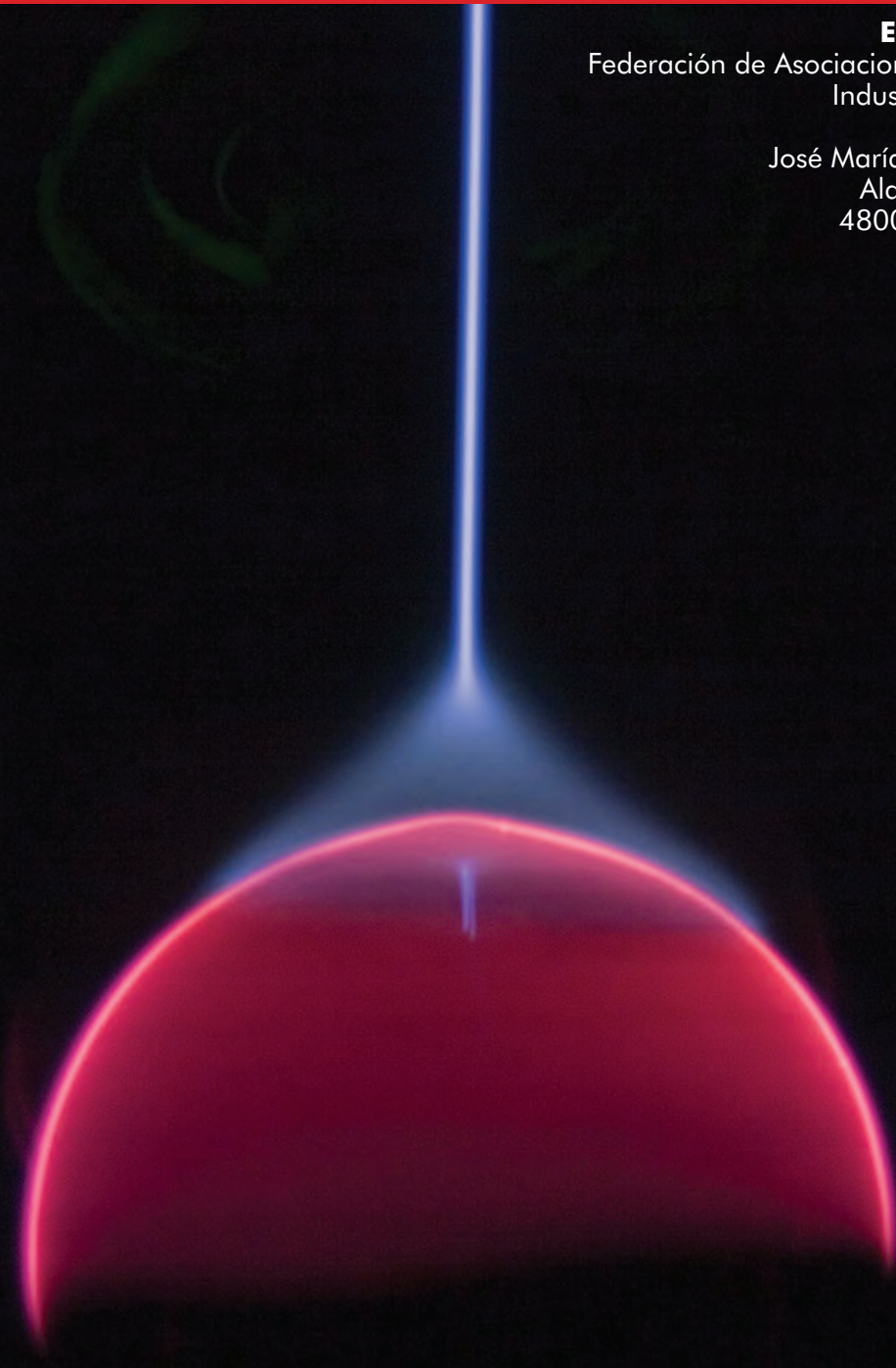
www.revistadyna.com • Volumen 86 • Año 2011

**Entidad Editora:**

Federación de Asociaciones de Ingenieros  
Industriales de España

**Director:**

José María Hernández Álava  
Alda. Mazarredo 69  
48009-Bilbao (SPAIN)



Ingeniería Multidisciplinar

---

**DYNA DIGITAL**  
<http://www.revistadyna.com>

**DYNA INGENIERÍA E INDUSTRIA – DYNA ENGINEERING & INDUSTRY (ISSN 0012-7361)  
SUMARIO DEL VOLUMEN 86 (720 PÁGINAS) – VOLUME 86 SUMMARY (720 PAGES)  
AÑO 2011 – YEAR 2011**

ARTICULO O SECCION	ARTICLE OR SECTION	AUTOR(ES)	PÁG
<b>VOLUMEN 86 – Nº 1</b>	<b>VOLUME 86– ISSUE 1</b>		
EDITORIAL: I+D+i E INGENIERÍA.	EDITORIAL: R+D+i AND ENGINEERING.		7
TECNOLOGÍA LÁSER EN SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CLASIFICACIÓN. APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA HORTOFRUTÍCOLA.	LASER TECHNOLOGY IN AUTOMATIC CLASSIFICATION SYSTEMS. A HORTICULTURAL INDUSTRY APPLICATION.	Félix Antonio Navas Moya Ana Requena Candela Alberto Requena Rodriguez Luis Manuel Tomás Balibrea	41-48
NORMAS PARA LA GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN. UN ANÁLISIS COMPARATIVO.	INNOVATION MANAGEMENT STANDARDS. A COMPARATIVE ANALYSIS.	Moisés Mir Maruri Martí Casadesús Fa	49-58
DISEÑO, APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN MODELO PARA LA MEJORA DE PROCESOS EN SECTORES INDUSTRIALES MADUROS. ESTUDIO DEL CASO.	DESIGN, APPLICATION AND EVALUATION OF A MODEL FOR PROCESS IMPROVEMENT IN THE CONTEXT OF MATURE INDUSTRIAL SECTORS. CASE STUDY.	José Alberto Eguren Eiguren Aitor Goti Elordi Lourdes Pozueta Fernández	59-73
AULAS DE ECODISEÑO: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y ECODISEÑO EN LA INDUSTRIA.	ECO-DESIGN CLASSROOMS PROJECT: LIFE CYCLE ASSESSMENT AND ECO-DESIGN IN INDUSTRY.	Álvaro de Prado Trigo Francisco Campo Rámila Javier Muniozgueren Colindres	74-79
TRATAMIENTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES MEDIANTE TECNOLOGÍA DE PLASMA.	INDUSTRIAL WASTES TREATMENT USING PLASMA TECHNOLOGY .	Juan Carlos Múgica Iraola Francisco Javier Antoñanzas Gzlez Lourdes Yurramendi Sarasola	80-88
SISTEMA ON LINE PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL TENDIDO DE VANOS DE ALTA TENSIÓN .	ON LINE TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM IN THE HIGH VOLTAGE POWER LINE CONDUCTOR.	Francisco Manzano Agugliaro Alfredo Alcayde García Francisco Gil Montoya Miguel Ángel Montero Rodríguez	89-94
SISTEMA DE AYUDA A LA CONDUCCIÓN EN CURVAS PARA VEHÍCULOS REALES.	DRIVING ASSISTANCE SYSTEM APPLIED IN CURVES FOR REAL VEHICLES.	Joshué Pérez Rastelli Vicente Milanés Montero Jorge Villagra Serrano Enrique Onieva Caracuel Carlos González Fdez. Vallejo	95-104
COGENERACIÓN MEDIANTE RECUPERACION ENERGÉTICA DE CALOR DE GASES DE ESCAPE.	COGENERATION BASED ON ENERGY RECOVERY FROM EXHAUST GASES.	Manuel Fernández Fernández Carlos Renedo Estébanez Alfredo Ortiz Fernández Severiano Pérez Remesal Inmaculada Fernández Diego Mario Mañana Canteli	105-117
<b>VOLUMEN 86 – Nº 2</b>	<b>VOLUME 86 – ISSUE 2</b>		
EDITORIAL: LAS EMPRESAS DEL CONOCIMIENTO COMO ORGANIZACIONES DE FUTURO.	EDITORIAL: THE COMPANIES OF THE KNOWLEDGE AS ORGANIZATIONS OF FUTURE.		127
¿QUÉ MÉTODO UTILIZAR PARA ESTIMAR LA TEMPERATURA ESTÁTICA DE UNA FORMACIÓN DE PETRÓLEO?	WHICH METHOD TO USE FOR ESTIMATING THE STATIC FORMATION TEMPERATURE OF A PETROLEUM RESERVOIR?	Javier Rodríguez Martín Ignacio López Paniagua Ángel Jiménez Álvaro Rafael Nieto Carlier	158-164
MODELO DE MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL PARA EL PROCESO DE BARRIDO EN UN MOTOR OTTO DE DOS TIEMPOS.	COMPUTACIONAL FLUID DYNAMICS MODEL TO STUDY THE SCAVENGING PROCESS IN A TWO STROKE OTTO ENGINE.	María Isabel Lamas Galdo Carlos Gervasio Rodríguez Vidal Juan de Dios Rodríguez García Manuel Vicente Fernández	165-172

LOCALIZACIÓN DE ENTRADAS DE AIRE EN CONDENSADORES DE CENTRALES TÉRMICAS MEDIANTE EL TEST DE HELIO.	LOCATION OF AUR IN-LEAKAGE IN POWER PLANTS CONDENSED BY HELIUM TEST.	Francisco Manzano Agugliaro Javier Carrillo Valle	173-181
REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS DE TRANSPORTE URBANO DE ALTO TONELAJE.	ENERGETIC REQUIREMENTS OF HEAVY DUTY URBAN TRANSPORT HYBRID VEHICLES. ANALYSIS OF URBAN BUS AND WASTE COLLECT CASES IN TERMS OF USE AND ELECTRIFICATION DEGREE.	José María López Martínez Felipe Jiménez Alonso Nuria Flores Holgado Daniel Resino Zamora	182-189
PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA CATALITICA DE METANO EN REACTORES ROTATIVOS.	HYDROGEN PRODUCTION BY MEANS OF CATALYTIC THERMAL DECOMPOSITION OF METHANE IN ROTARY REACTORS.	Mikel Belsué Echeverría Ainhoa Unzurrunzaga Iturbe Susana Pérez Gil Aitziber Olano Olarra Jon Zuñiga Palacio	190-198
INGENIERÍA SOSTENIBLE DE LA CUNA A LA CUNA: UNA ARQUITECTURA DE REFERENCIA ABIERTA PARA EL DISEÑO C2C.	SUSTAINABLE ENGINEERING BASED ON CRADLE TO CRADLE MODEL. AN OPEN AACRHITECTURAL REFERENCE FOR A C2C DESIGN.	María Estela Peralta Álvarez Francisco Aguayo González Juan Ramón Lama Ruiz	199-211
EDIFICIO PETER: UN EJEMPLO DE CONSTRUCCIÓN BIOCLIMÁTICA Y DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES.	PETER BUILDING: AN EXAMPLE OF BIOCLIMATIC BUILDING AND INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGIES INTO THE EDIFICATION.	Fernando López Rodríguez Francisco Cuadros Blázquez Cosme Segador Vegas Antonio Ruiz Celma Justo García Sanz Calcedo Ángel Mena Nieto Silvia Soutullo Castro Emanuela Giancola José Antonio Ferrer Tevar Mª Rosario Heras Celemín	212-221
OBTENCIÓN DE DATOS GEOMETRICOS EN IMAGEN MEDICA.	GEOMETRIC DATA COLLECTION IN MEDICAL IMAGING.	Alberto Higuera Garrido Pablo Pando Cerra Aquilino Osorio Zapico Maria Dolores García López	222-231
LOS SISTEMAS DE MEJORA CONTINUA Y EL DESPILFARRO: LA CONTINUACIÓN DE LA OBRA DE TAYLOR.	THE CONTINUOUS IMPROVEMENT SYSTEMS AND THE WASTE: THE CONTINUATION OF TAYLOR'S WORK.	Luis Paipa Galeano Mari Carmen Jaca García Javier Santos García Elizabeth Viles Diez Ricardo Mateo Dueñas	232-240
<b>VOLUMEN 86 – Nº 3</b>	<b>VOLUME 86 – ISSUE 3</b>		
EDITORIAL: DESPUÉS DE FUKUSHIMA.	EDITORIAL: AFTER FUKUSHIMA.		247
INGENIERÍA DE CONTROL Y PROTECCION DE SUBESTACIONES ELECTRICAS.	CONTROL AND PROTECTION ENGINEERING OF ELECTRICAL SUBSTATIONS.	Javier Orejas Sergio Martínez	273-280
SISTEMA INTEGRAL PARA INSPECCIÓN AUTOMÁTICA POR ULTRASONIDOS DE RUEDAS ELÁSTICAS FERROVIARIA.	AUTOMATIC INSPECTION SYSTEM FOR RAILWAY WHEELS.	Francisco Javier González Fdez María Antonia García San Andrés Carlos Sancho de Mingo Antonio González Rodríguez Miguel Gómez Parra	281-291
FOTOELASTICIMETRÍA: MODERNIZANDO UNA VIEJA TÉCNICA.	PHOTOELASTICIMETRY: UPGRADING AN OLD TECHNIQUE.	Manuel Solaguren Beascoa Fdez	292-299
LAS NUEVAS REDES ELECTRICAS INTELIGENTES, SU MEDIDA Y GESTION DE LA DEMANDA.	NEW ELECTRIC SMARTGRIDS, THEIR METERING AND DEMAND SIDE MANAGEMENT.	Carlos Madina Doñabeitia Ibón Arechalde Ugarteche	300-307



CONTROLADOR NEURO-ROBUSTO PARA SISTEMAS NO LINEALES.	NEURO-ROBUST CONTROLLER FOR NON-LINEAR SYSTEMS.	Iván Machán González Hilario López García José Luis Calvo Rolle	308-317
CONTROL DE VIBRACIONES EN PASARELAS PEATONALES.	VIBRATION CONTROL OF PEDESTRIAN BRIDGES.	Carlos Mariano Casado Sánchez Jesús de Sebastián Sanz Iván Muñoz Díaz Alfonso Poncela Méndez Antolín Lorenzana Ibán	318-327
SISTEMA DE MANOS LIBRES Y LLEVABLE DE GUIADO PARA TAREAS DE ENSAMBLAJE EN LA INDUSTRIA AERONÁUTICA.	HANDS-FREE WEARABLE SYSTEM FOR HELPING IN ASSEMBLY TASKS IN AEROSPACE.	Diego Borro Yáguez Javier Serván Blanco Juan Manuel Cordero Valle Jairo Roberto Sánchez Tapia Fernando Mas Mórte Luis Matey Muñoz	328-335
PARAMETRIZACIÓN DE LA ARTICULACIÓN GLENO-HUMERAL.	PARAMETERIZATION OF THE GLENO-HUMERAL JOINT.	Alberto Higuera Garrido Pablo Pando Cerra Aquilino Ososrio Zapico Rosa María Verónica López Vega	336-342
EFICIENCIA DE UNA CALDERA DE BIOMASA EN UN CENTRO HOSPITALARIO.	EFFICIENCY OF A BIOMASS BOILER IN A HOSPITAL CENTER.	Justo García Sanz Calcedo Francisco Cuadros Blázquez Antonio Ruiz Celma Fernando López Rodríguez	343-349
LA ROTACIÓN DE PUESTOS DE TRABAJO COMO MEDIO PARA LA INTEGRACIÓN DE TRABAJADORES CON DISCAPACIDAD.	JOB ROTATION AS A METHOD FOR DISABLED WORKERS INTEGRATION.	Sabina Asensio Cuesta José Antonio Diego Mas María Carmen González Cruz	350-360
<b>VOLUMEN 86 – Nº 4</b>	<b>VOLUME 86 – ISSUE 4</b>		
EDITORIAL: LOS INGENIEROS EN LA CRISIS.	EDITORIAL: THE ENGINEERS IN THE CRISIS.		367
ENFOQUE METODOLOGICO PARA LA INNOVACION EN LAS EMPRESAS.	METHODOLOGICAL APPROACH FOR INNOVATION IN ENTERPRISES.	Vicente Chulvi José Ruiz López Rosario Vidal	397-404
MODELO PARA LA EVALUACION Y MEJORA DEL ROL ESTRATEGICO DE PLANTAS PRODUCTIVAS. CASO DE UNA RED GLOBAL DE OPERACIONES.	FRAMEWORK FOR EVALUATING AND UPGRADING THE STRATEGIC PLANT ROLE. CASE STUDY WITHIN A GLOBAL OPERATIONS NETWORK.	Miguel Mediavilla Ander Errasti Rosario Domingo	405-412
PRECIPITACIÓN DE MARTENSITA INDUCIDA POR DEFORMACIÓN. CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO DE MARTENSITA EN ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS.	STRAIN-INDUCED MARTENSITE PRECIPITATION. MARTENSITE CHARACTERIZATION IN AUSTENITIC STAINLESS STEELS.	María Fernández Ludeña	413-417
DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYOS AUTOMATIZADOS PARA MOTORES BRUSHLESS.	DESIGN OF AN AUTOMATED TEST BENCH FOR BRUSHLESS MOTORS.	Alfonso Bachiller Soler Francisco de Paula García López Ramón Cano González	418-423
LA CONFIANZA COMO ELEMENTO CLAVE EN LAS RELACIONES INTEREMPRESARIALES. UNA ESCALA DE MEDIDA.	TRUST AS KEY FACTOR IN ENTERPRISE RELATIONSHIP. A SCALE OF MEASUREMENT.	Manuel Expósito Langa Débora Nicolau Juliá Josep Capó Vicedo	424-430
EVALUACIÓN DE LA RED DE CARRETERAS: UTILIZACION DE UN VEHÍCULO INSTRUMENTADO PARA EL REGISTRO DE SITUACIONES POTENCIALMENTE PELIGROSAS.	EVALUATION OF THE ROAD NETWORK: USE OF A MONITORING VEHICLE FOR THE RECORD OF POTENTIALY DANGEROUS EVENTS.	Pablo Luque Rodríguez Daniel Álvarez Mántaras Johan Wideberg	431-437

LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ACTIVOS SOTERRADOS MEDIANTE GEORADAR Y PROCESAMIENTO DE IMAGEN.	LOCATION AND IDENTIFICACION OF BURIED ASSETS BY MEANS OF GEORADAR AND IMAGE PROCESSING.	Arantza Bericiartua Pérez Artzai Picón Ruiz	438-447
LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE TRACCIÓN FERROVIARIA. CARACTERÍSTICAS Y TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO.	RAILWAY TRACTION ELECTRIC MOTORS. CHARACTERISTICS AND TECHNIQUES OF ELECTRIC SYSTEM MAINTENANCE.	Marcelo Pérez Alonso Daniel Moriñigo Sotelo Óscar Duque Pérez	448-455
MODELO DE DISEÑO ERGONÓMICO PARA PUESTOS DE TRABAJO EN PYMES. CASO DE ESTUDIO EN BARRANQUILLA, COLOMBIA.	ERGONOMIC DESIGN MODEL FOR WORK STATIONS IN SMES. CASE STUDY: BARRANQUILLA (COLOMBIA).	Ángel León González Ariza Miguel Ángel Ruiz Bacca	456-466
PREDICCIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA CONTENCIÓN PRIMARIA DE UNA CENTRAL NUCLEAR MEDIANTE REDES NEURONALES.	DRYWELL TEMPERATURE PREDICTION OF A NUCLEAR POWER PLANT BY MEANS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS.	Antonio Álvarez Huerta Rodrigo González Miguelez David García Metola Álvaro Noriega González	467-473
ASIGNACION DE PROPIEDADES MECANICAS EN IMAGEN MÉDICA.	MAPPING OF MECHANICAL PROPERTIES IN MEDICAL IMAGING.	Alberto Higuera Garrido Pablo Pando Cerra Aquilino Osorio Zapico María Dolores García López	
<b>VOLUMEN 86 – Nº 5</b>	<b>VOLUME 86 – ISSUE 5</b>		
EDITORIAL: ¿PERIODISMO O DIVULGACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA?	EDITORIAL: JOURNALISM OR POPULAR SCIENTIFIC?		487
DISEÑO DE UN SISTEMA DE PICKING PRODUCTO A OPERARIO. APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS MEDIANTE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS.	DESIGN OF A PART TO PICKER SYSTEM. DESIGN OF EXPERIMENTS APPLICATION AIDED BY DISCRETE EVENT SIMULATION.	Claudia Chackelson Lurner Ander Errasti Opacua David Cipres Bagüeste Fernando Lahoz Leo	515-522
CLASES PRÁCTICAS: UNA HERRAMIENTA ESENCIAL EN LA ENSEÑANZA DE LAS INGENIERÍAS EN EL MARCO DEL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.	PRACTICAL SESSIONS: A KEY TOOL FOR TEACHING IN THE EUROPEAN HIGHER EDUCATION AREA FRAMEWORK.	Ignacio López Paniagua Rafael Nieto Carlier Javier Rodríguez Martín Celina González Fernández Ángel Jiménez Álvaro	523-530
MODELO SISTÉMICO PARA LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍA POR LA INDUSTRIA QUÍMICA.	SYSTEMIC MODEL FOR TECHNOLOGY ADOPTION BY THE CHEMICAL INDUSTRY.	Martín Durán García Gladis Rincón Polo Luis Mendoza Morales María Pérez Ovalle	531-538
LA MEJORA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE INGENIERÍA CONTRA PEDIDO: UN ESTUDIO EMPÍRICO.	ENGINEER TO ORDER PRODUCTION SYSTEMS IMPROVEMENT: AN EMPIRICAL STUDY.	Ander Errasti Opacua Sandra Martínez Miguélez Javier Santos García Raúl Poler Escoto	539-548
LA RENTABILIDAD ECONÓMICA EXPLICADA A TRAVÉS DEL TAMAÑO. LAS EMPRESAS DE INGENIERIA CIVIL EN ESPAÑA.	FIRM SIZE AS A MEASURE OF ECONOMIC PROFITABILITY. CIVIL ENGINEERING COMPANIES IN SPAIN.	Fernando Campa Planas Ana Beatriz Hernández Lara María Victoria Sánchez Rebull Vicenç Vesés Ibañez	549-556
BOTELLAS PARA EL TRANSPORTE A PRESIÓN DE GASES: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN.	ENERGY METERS QUALITY UNDER DISTORTED AND IMBALANCED SYSTEMS.	Ramón Miralbes Buil	557-566
MEDIDA DE ENERGÍA EN CONDICIONES DE DISTORSIÓN Y DESEQUILIBRIO.	ENERGY METERS QUALITY UNDER DISTORTED AND IMBALANCED SYSTEMS.	Carlos Roncero Clemente María Isabel Milanés Montero Enrique Romero Cadaval Eva González Romera Fermín Barrero González	567-574

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE HORMIGONES EXPUESTOS AL FUEGO. EVALUACIÓN DE VARIABLES HIDRO-TÉRMICAS.	EXPERIMENTAL ANALYSIS OF CONCRETE EXPOSED TO FIRE. ASSESSMENT OF HYDROTHERMAL VARIABLES.	Jorge Arturo Capote Abreu Manuel Daniel Alvear Portilla Jorge Crespo Álvarez	575-584
MEJORA DEL TRÁFICO FERROVIARIO MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA.	IMPROVEMENT OF RAILWAY SYSTEM TRAFFIC USING INTEGER LINEAR PROGRAMMING.	Álvaro García Sánchez Miguel Ortega Mier Natalia Ibáñez Herrero Aitor Goti Elordi	585-593
ENTORNO Y ACTIVIDAD EMPRENDEDORA: UN ENFOQUE DE DINÁMICA DE SISTEMAS.	ENVIRONMENT AND ENTREPRENEURIAL ACTIVITY: A SYSTEM DYNAMICS APPROACH.	Claudia Álvarez David Urbano	594-600
<b>VOLUMEN 86 – Nº 6</b>	<b>VOLUME 86 – ISSUE 6</b>		
EDITORIAL: NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL	EDITORIAL: NEW INDUSTRIAL REVOLUTION		607
MEJORA DE LA RENTABILIDAD DE LAS PLANTACIONES DE OLIVOS MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE HUERTOS SOLARES.	YIELD IMPROVEMENT IN OLIVE TREES PLANTATIONS INSTALLING SOLAR FIELDS.	Elías López Alba Ángel Gómez Moreno Pedro Casanova Pelaez Rafael López García Eloisa Torres Jiménez	641-647
GESTION DE LA CALIDAD TOTAL Y MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL EN LA FABRICACION DE ALTO RENDIMIENTO.	TOTAL QUALITY MANAGEMENT AND TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE IN HIGH PERFORMANCE MANUFACTURING.	Raquel Sanchis Gisbert Raúl Poler Escoto Josefa Mula Bru David Peidro Paya	648-655
RELACIONES CAUSALES EN EL MODELO EUROPEO DE EXCELENCIA.	CAUSAL RELATIONS IN THE EUROPEAN EXCELLENCE MODEL.	Fernando Tejedor Panchón Gonzalo Tejedor Panchón Aurelio Muñoz Rubio Rafael Ernesto González Palma José María Portela Núñez Andrés Pastor Fernández	655-661
DISEÑO DE COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS.	IN SEARCH OF FEASIBILITY THERMAL ENERGY USING PARABOLIC TROUGH DESIGN.	José Manuel Sierra Velasco José Luis Cortizo Rodríguez Álvaro Noriega González Eduardo Rodríguez Ordóñez José Esteban Fernández Rico	662-670
EL BUS DOMÓTICO KNX, UNA ÚNICA INFRAESTRUTURA PARA TODOS LOS SERVICIOS.	KNX BUS AUTOMATION, A UNIQUE INFRASTRUCTURE FOR ALL SERVICES.	Mohammad Hussein Alanbari Diego Gachet Paez	671-675
ANÁLISIS DEL JUEGO, REPETIBILIDAD DEL POSICIONAMIENTO Y PRECARGA DE UN MECANISMO PARALELO.	BACKLASH, POSITIONING REPEATABILITY AND PRELOAD ANALYSIS OF A PARALLEL MECHANISM.	Ana Cristina Majarena Bello Jorge Santolaria Mazo David Samper Carnicer Juan José Aguilar Martín	676-685
NUEVOS PROCESOS DE SEPARACIÓN BASADOS EN MEMBRANAS LÍQUIDAS IÓNICAS SOPORTADAS.	NOVEL SEPARATION PROCESSES BASED ON SUPPORTED IONIC LIQUID MEMBRANES.	Antonia Pérez de los Ríos Francisco José Hernández Fdez. Anahi Ginesta Anzola Sergio Sánchez Segado. Luis Javier Lozano Blanco Carlos Godínez Seoane	686-692
EL CONTROL ACÚSTICO DE LAS ACTIVIDADES DE OCIO. ACTUACIÓN MUNICIPAL EN LA CIUDAD DE GRANADA.	ACOUSTIC CONTROL OF LEISURE ACTIVITIES. MUNICIPAL ACTION IN THE CITY OF GRANADA.	Ramón M. Trassiera Rodríguez José Manuel Palomar Carnicero Rafael López García Ildelfonso Reyes Adan Arturo José Olivares Olivares	693-698
MEJORA DEL DESARROLLO DE PRODUCTOS DESDE LA PERSPECTIVA DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO. EL CASO DE NAVANTIA.	IMPROVING PRODUCT DEVELOPMENT FROM A KNOWLEDGE MANAGEMENT BASED APPROACH. THE CASE OF NAVANTIA.	Eva Martínez Caro Francisco Campuzano Bolarín José Antonio Villaescusa Chocano	699-706

## DYNA INGENIERIA E INDUSTRIA – VOLUMEN 86 (AÑO 2011) INDICE TEMÁTICO

DISCIPLINAS	Nº	Pag.
<b>ACÚSTICA</b>		
• EL CONTROL ACÚSTICO DE LAS ACTIVIDADES DE OCIO. ACTUACION MUNICIPAL EN LA CIUDAD DE GRANADA. <i>ACOUSTIC CONTROL OF LEISURE ACTIVITIES. MUNICIPAL ACTION IN THE CITY OF GRANADA.</i>	6	693-698
<b>ECONOMÍA DEL CAMBIO TECNOLÓGICO</b>		
• NORMAS PARA LA GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN. UN ANÁLISI COMPARATIVO. <i>INNOVATION MANAGEMENT STANDARDS. A COMPARATIVE ANALISYS.</i>	1	49-58
• OBTENCIÓN DE DATOS GEOMETRICOS EN IMAGEN MEDICA. <i>GEOMETRIC DATA COLLECTION IN MEDICAL IMAGING.</i>	2	222-231
• PARAMETRIZACIÓN DE LA ARTICULACIÓN GLENO-HUMERAL. <i>PARAMETERIZATION OF THE GLENO-HUMERAL JOINT.</i>	3	336-342
• ENFOQUE METODOLOGICO PARA LA INNOVACION EN LAS EMPRESAS. <i>METHODOLOGICAL APPROACH FOR INNOVATION IN ENTERPRISES.</i>	4	397-404
• ASIGNACION DE PROPIEDADES MECANICAS EN IMAGEN MEDICA. <i>MAPPING OF MECHANICAL PROPERTIES IN MEDICAL IMAGING.</i>	4	474-480
• MODELO SISTÉMICO PARA LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍA POR LA INDUSTRIA QUÍMICA. <i>SYSTEMIC MODEL FOR TECHNOLOGY ADOPTION BY THE CHEMICAL INDUSTRY.</i>	5	531-538
• ENTORNO Y ACTIVIDAD EMPRENDEDORA – UN ENFOQUE DE DINÁMICA DE SISTEMAS. <i>ENVIROMENT AND ENTREPRENEURIAL ACTIVITY: A SYSTEM DYNAMICS APPROACH.</i>	5	594-600
<b>FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO</b>		
• PRECIPITACIÓN DE MARTENSITA INDUCIDA POR DEFORMACIÓN. <i>STRAIN-INDUCED MARTENSITE PRECIPITATION.</i>	4	413-417
<b>INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE</b>		
• AULAS DE ECODISEÑO: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y ECODISEÑO EN LA INDUSTRIA. <i>ECO-DESIGN CLASSROOMS PROJECT: LIFE CYCLE ASSESSMENT AND ECO-DESIGN IN INDUSTRY.</i>	1	74-79
• TRATAMIENTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES MEDIANTE TECNOLOGÍA DE PLASMA. <i>INDUSTRIAL WASTES TREATMENT USING PLASMA TECHNOLOGY.</i>	1	80-88
• INGENIERÍA SOSTENIBLE DE LA CUNA A LA CUNA: UNA ARQUITECTURA DE REFERENCIA ABIERTA PARA EL DISEÑO C2C. <i>SUSTAINABLE ENGINEERING BASED ON CRADLE TO CRADLE MODEL. AN OPEN AACRHITECTURAL REFERENCE FOR A C2C DESIGN.</i>	2	199-211
• EDIFICIO PETER: UN EJEMPLO DE CONSTRUCCIÓN BIOCLIMÁTICA Y DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES. <i>PETER BUILDING: AN EXAMPLE OF BIOCLIMATIC BUILDING AND INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGIES INTO THE EDIFICATION.</i>	2	212-221
<b>INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRICAS</b>		
• SISTEMA ON LINE PARA LA MEDICION DE LA TEMPERATURA EN EL TENDIDO DE VANOS DE ALTA TENSIÓN. <i>ON LINE TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM IN THE HIGH VOLTAGE POWER LINE CONDUCTOR.</i>	1	89-94
• INGENIERÍA DE CONTROL Y PROTECCION DE SUBESTACIONES ELECTRICAS. <i>CONTROL AND PROTECTION ENGINEERING OF ELECTRICAL SUBSTATIONS.</i>	3	273-280
• LAS NUEVAS REDES ELECTRICAS INTELIGENTES, SU MEDIDA Y GESTION DE LA DEMANDA. <i>NEW ELECTRIC SMARTGRIDS, THEIR METERING AND DEMAND SIDE MANAGEMENT.</i>	3	300-317
• DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYOS AUTOMATIZADOS PARA MOTORES BRUSHLESS. <i>DESIGN OF AN AUTOMATED TEST BENCH FOR BRUSHLESS MOTORS.</i>	4	418-423
• LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE TRACCIÓN FERROVIARIA. CARACTERÍSTICAS Y TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO. <i>RAILWAY TRACTION ELECTRIC MOTORS. CHARACTERISTICS AND TECHNIQUES OF ELECTRIC SYSTEM MAINTENANCE.</i>	4	448-455
<b>INGENIERÍA Y TECNOLOGIAS QUÍMICAS</b>		
• PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA CATALITICA DE METANO EN REACTORES ROTATIVOS. <i>HYDROGEN PRODUCTION BY MEANS OF CATALITYC THERMAL DECOMPOSITION OF METHANE IN ROTARY REACTORS.</i>	2	190-198
• NUEVOS PROCESOS DE SEPARACIÓN BASADOS EN MEMBRANAS LÍQUIDAS IÓNICAS SOPORTADAS. <i>NOVEL SEPARATION PROCESSES BASED ON SUPPORTED IONIC LIQUID MEMBRANES.</i>	6	686-692

## MECÁNICA

- MODELO DE MECANICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL PARA EL PROCESO DE BARRIDO EN UN MOTOR OTTO DE DOS TIEMPOS. 2 165-172  
*COMPUTACIONAL FLUID DYNAMICS MODEL TO STUDY THE SCAVENGING PROCESS IN A TWO STROKE OTTO ENGINE.*
- FOTOELASTICIMETRÍA: MODERNIZANDO UNA VIEJA TÉCNICA. 3 292-308  
*PHOTOELASTICIMETRY: UPGRADING AN OLD TECHNIQUE.*

## ÓPTICA

- FOTOELASTICIMETRÍA: MODERNIZANDO UNA VIEJA TÉCNICA. 3 292-308  
*PHOTOELASTICIMETRY: UPGRADING AN OLD TECHNIQUE.*
- LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ACTIVOS SOTERRADOS MEDIANTE GEORADAR Y PROCESAMIENTO DE IMAGEN. 4 438-447  
*LOCATION AND IDENTIFICACION OF BURIED ASSETS BY MEANS OF GEORADAR AND IMAGE PROCESSING.*

## ORGANIZACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

- DISEÑO, APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN MODELO PARA LA MEJORA DE PROCESOS EN SECTORES INDUSTRIALES MADUROS. ESTUDIO DEL CASO. 1 59-73  
*DESIGN, APPLICATION AND EVALUATION OF A MODEL FOR PROCESS IMPROVEMENT IN THE CONTEXT OF MATURE INDUSTRIAL SECTORS. CASE STUDY.*
- LOS SISTEMAS DE MEJORA CONTINUA Y EL DESPILFARRO: LA CONTINUACIÓN DE LA OBRA DE TAYLOR. 2 232-240  
*THE CONTINUOUS IMPROVEMENT SYSTEMS AND THE WASTE: THE CONTINUATION OF TAYLOR'S WORK.*
- LA ROTACIÓN DE PUESTOS DE TRABAJO COMO MEDIO PARA LA INTEGRACIÓN DE TRABAJADORES CON DISCAPACIDAD. 3 350-360  
*JOB ROTATION AS A METHOD FOR DISABLED WORKERS INTEGRATION.*
- MODELO PARA LA EVALUACION Y MEJORA DEL ROL ESTRATEGICO DE PLANTAS PRODUCTIVAS. CASO DE UNA RED GLOBAL DE OPERACIONES. 4 405-412  
*FRAMEWORK FOR EVALUATING AND UPGRADING THE STRATEGIC PLANT ROLE. CASE STUDY WITHIN A GLOBAL OPERATIONS NETWORK.*
- LA CONFIANZA COMO ELEMENTO CLAVE EN LAS RELACIONES INTEREMPRESARIALES. UNA ESCALA DE MEDIDA. 4 424-430  
*TRUST AS KEY FACTOR IN ENTERPRISE RELATIONSHIP. A SCALE OF MEASUREMENT.*
- DISEÑO DE UN SISTEMA DE PICKING PRODUCTO A OPERARIO. APLICACION DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS MEDIANTE SIMULACION DE EVENTOS DISCRETOS. 5 515-522  
*DESIGN OF A PARTS TO PICKER SYSTEM. DESIGN OF EXPERIMENTS APLICATION AIDED BY DISCRETE EVENT SIMULATION.*
- LA MEJORA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE INGENIERÍA CONTRA PEDIDO: UN ESTUDIO EMPÍRICO. 5 539-548  
*ENGINEER TO ORDER PRODUCTION SYSTEMS IMPROVEMENT: AN EMPIRICAL STUDY.*
- LA RENTABILIDAD ECONÓMICA EXPLICADA A TRAVÉS DEL TAMAÑO. LAS EMPRESAS DE INGENIERIA CIVIL EN ESPAÑA. 5 549-555  
*FIRM SIZE AS A MEASURE OF ECONOMIC PROFITABILITY. CIVIL ENGINEERING COMPANIES IN SPAIN.*
- MEJORA DEL TRÁFICO FERROVIARIO MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL. 5 585-593  
*IMPROVEMENT OF RAILWAY SYSTEM TRAFFIC USING LINEAR PROGRAMMING.*
- GESTION DE LA CALIDAD TOTAL Y MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL EN LA FABRICACION DE ALTO RENDIMIENTO. 6 648-655  
*TOTAL QUALITY MANAGEMENT AND TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE IN HIGH PERFORMANCE MANUFACTURING.*
- RELACIONES CAUSALES EN EL MODELO EUROPEO DE EXCELENCIA. 6 656-661  
*CAUSAL RELATIONS IN THE EUROPEAN EXCELLENCE MODEL.*
- MEJORA DEL DESARROLLO DE PRODUCTOS DESDE LA PERSPECTIVA DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO. EL CASO DE NAVANTIA. 6 699-706  
*IMPROVING PRODUCT DEVELOPMENT FROM A KNOWLEDGE MANAGEMENT BASED APPROACH. THE CASE OF NAVANTIA.*

## PSICOLOGÍA INDUSTRIAL

- MODELO DE DISEÑO ERGONÓMICO PARA PUESTOS DE TRABAJO EN PYMES. CASO DE ESTUDIO EN BARRANQUILLA, COLOMBIA. 4 456-466  
*ERGONOMIC DESIGN MODEL FOR WORK STATIONS IN SMES. CASE STUDY: BARRANQUILLA ( COLOMBIA).*

## TECNOLOGÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES

- SISTEMA DE MANOS LIBRES Y LLEVABLE DE GUIADO PARA TAREAS DE ENSAMBLAJE EN LA INDUSTRIA AERONÁUTICA. 3 328-335  
*HANDS-FREE WEARABLE SYSTEM FOR HELPING IN ASSEMBLY TASKS IN AEROSPACE.*
- EL BUS DOMÓTICO KNX, UNA ÚNICA INFRAESTRUTURA PARA TODOS LOS SERVICIOS. 6 671-675  
*KNX BUS AUTOMATION, A UNIQUE INFRASTRUCTURE FOR ALL SERVICES.*

## TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

- EDIFICIO PETER: UN EJEMPLO DE CONSTRUCCIÓN BIOCLIMÁTICA Y DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES. 2 212-221  
*PETER BUILDING: AN EXAMPLE OF BIOCLIMATIC BUILDING AND INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGIES INTO THE EDIFICATION.*
- CONTROL DE VIBRACIONES EN PASARELAS PEATONALES. 3 318-327  
*VIBRATION CONTROL OF PEDESTRIAN BRIDGES.*
- ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE HORMIGONES EXPUESTOS AL FUEGO. EVALUACIÓN DE VARIABLES HIDRO-TÉRMICAS. 5 575-584  
*EXPERIMENTAL ANALYSIS OF CONCRETE EXPOSED TO FIRE. ASSESSMENT OF HYDRO-THERMAL VARIABLES.*

## TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN

- TECNOLOGÍA LÁSER EN SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CLASIFICACIÓN. APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA HORTOFRUTÍCOLA. 1 41-48  
*LASER TECHNOLOGY IN AUTOMATIC CLASSIFICATION SYSTEMS. A HORTICULTURAL INDUSTRY APPLICATION.*
- OBTENCIÓN DE DATOS GEOMÉTRICOS EN IMAGEN MÉDICA. 2 222-231  
*GEOMETRIC DATA COLLECTION IN MEDICAL IMAGING.*
- FOTOELASTICIMETRÍA: MODERNIZANDO UNA VIEJA TÉCNICA. 3 292-308  
*PHOTOELASTICIMETRY: UPGRADING AN OLD TECHNIQUE.*
- PARAMETRIZACIÓN DE LA ARTICULACIÓN GLENO-HUMERAL. 3 336-342  
*PARAMETERIZATION OF THE GLENO-HUMERAL JOINT.*
- ASIGNACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN IMAGEN MÉDICA. 4 474-480  
*MAPPING OF MECHANICAL PROPERTIES IN MEDICAL IMAGING.*
- MEDIDA DE ENERGÍA EN CONDICIONES DE DISTORSIÓN Y DESEQUILIBRIO. 5 567-574  
*ENERGY METERS READING UNDER DISTORTED AND UNBALANCED SYSTEMS.*
- ANÁLISIS DEL JUEGO, REPETIBILIDAD DEL POSICIONAMIENTO Y PRECARGA DE UN MECANISMO PARALELO. 6 676-685  
*BACKLASH, POSITIONING REPEATABILITY AND PRELOAD ANALYSIS OF A PARALLEL MECHANISM.*

## TECNOLOGÍA DE LOS FERROCARRILES

- SISTEMA INTEGRAL PARA INSPECCIÓN AUTOMÁTICA POR ULTRASONIDOS DE RUEDAS ELÁSTICAS FERROVIARIA. 3 281-291  
*AUTOMATIC INSPECTION SYSTEM FOR RAILWAY WHEELS.*

## TECNOLOGÍA DE LOS ORDENADORES

- SISTEMA DE MANOS LIBRES Y LLEVABLE DE GUIADO PARA TAREAS DE ENSAMBLAJE EN LA INDUSTRIA AERONÁUTICA. 3 328-335  
*HANDS-FREE WEARABLE SYSTEM FOR HELPING IN ASSEMBLY TASKS IN AEROSPACE.*

## TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE

- SISTEMA DE MANOS LIBRES Y LLEVABLE DE GUIADO PARA TAREAS DE ENSAMBLAJE EN LA INDUSTRIA AERONÁUTICA. 3 328-335  
*HANDS-FREE WEARABLE SYSTEM FOR HELPING IN ASSEMBLY TASKS IN AEROSPACE.*

## TECNOLOGÍA DE MATERIALES

- ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE HORMIGONES EXPUESTOS AL FUEGO. EVALUACIÓN DE VARIABLES HIDRO-TÉRMICAS. 5 575-584  
*EXPERIMENTAL ANALYSIS OF CONCRETE EXPOSED TO FIRE. ASSESSMENT OF HYDRO-THERMAL VARIABLES.*

## TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS METÁLICOS

- BOTELLAS PARA EL TRANSPORTE A PRESIÓN DE GASES: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN. 5 557-566  
*ENERGY METERS QUALITY UNDER DISTORTED AND IMBALANCED SYSTEMS.*

## TECNOLOGÍA DE VEHÍCULOS DE MOTOR

- SISTEMA DE AYUDA A LA CONDUCCIÓN EN CURVAS PARA VEHÍCULOS REALES. 1 95-104  
*DRIVING ASSISTANCE SYSTEM APPLIED IN CURVES FOR REAL VEHICLES.*
- MODELO DE MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL PARA EL PROCESO DE BARRIDO EN UN MOTOR OTTO DE DOS TIEMPOS. 2 165-172  
*COMPUTACIONAL FLUID DYNAMICS MODEL TO STUDY THE SCAVENGING PROCESS IN A TWO STROKE OTTO ENGINE.*
- REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS DE TRANSPORTE URBANO DE ALTO TONELAJE. 2 182-189  
*ENERGETIC REQUIREMENTS OF HEAVY DUTY URBAN TRANSPORT HYBRID VEHICLES. ANALYSIS OF URBAN BUS AND WASTE COLLECT CASES IN TERMS OF USE AND ELECTRIFICATION DEGREE.*
- SISTEMA DE MANOS LIBRES Y LLEVABLE DE GUIADO PARA TAREAS DE ENSAMBLAJE EN LA INDUSTRIA AERONÁUTICA. 3 328-335  
*HANDS-FREE WEARABLE SYSTEM FOR HELPING IN ASSEMBLY TASKS IN AEROSPACE.*

<ul style="list-style-type: none"> <li>• EVALUACIÓN DE LA RED DE CARRETERAS: UTILIZACION DE UN VEHÍCULO INSTRUMENTADO PARA EL REGISTRO DE SITUACIONES POTENCIALMENTE PELIGROSAS. <i>EVALUATION OF THE ROAD NETWORK: USE OF A MONITORING VEHICLE FOR THE RECORD OF POTENTIALY DANGEROUS EVENTS.</i></li> </ul>	4	431-437
<b>TECNOLOGÍA DEL CARBÓN Y DEL PETRÓLEO</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿QUÉ MÉTODO UTILIZAR PARA ESTIMAR LA TEMPERATURA ESTÁTICA DE UNA FORMACIÓN DE PETRÓLEO?. <i>WHICH METHOD TO USE FOR ESTIMATING THE STATIC FORMATION TEMPERATURE OF A PETROLEUM RESERVOIR?.</i></li> </ul>	2	158-164
<b>TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICAS</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• MODELO DE MECANICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL PARA EL PROCESO DE BARRIDO EN UN MOTOR OTTO DE DOS TIEMPOS. <i>COMPUTACIONAL FLUID DYNAMICS MODEL TO STUDY THE SCAVENGING PROCESS IN A TWO STROKE OTTO ENGINE.</i></li> </ul>	2	165-172
<ul style="list-style-type: none"> <li>• FOTOELASTICIMETRÍA: MODERNIZANDO UNA VIEJA TÉCNICA. <i>PHOTOELASTICIMETRY: UPGRADING AN OLD TECHNIQUE.</i></li> </ul>	3	292-308
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DISEÑO DE COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS. <i>IN SEARCH OF FEASIBILITY THERMAL ENERGY USING PARABOLIC TROUGH DESIGN.</i></li> </ul>	6	662-670
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ANALISIS DEL JUEGO, REPETIBILIDAD DEL POSICIONAMIENTO Y PRECARGA DE UN MECANISMO PARALELO. <i>BACKLASH, POSITIONING REPEATABILITY AND PRELOAD ANALYSIS OF A PARALLEL MECHANISM.</i></li> </ul>	6	676-685
<b>TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• SISTEMA INTEGRAL PARA INSPECCIÓN AUTOMÁTICA POR ULTRASONIDOS DE RUEDAS ELÁSTICAS FERROVIARIA. <i>AUTOMATIC INSPECTION SYSTEM FOR RAILWAY WHEELS.</i></li> </ul>	3	281-291
<b>TECNOLOGÍA ENERGÉTICA</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• COGENERACION MEDIANTE RECUPERACION ENERGETICA DE CALOR DE GASES DE ESCAPE. <i>COGENERATION BASED ON ENERGY RECOVERY FROM EXHAUST GASES.</i></li> </ul>	1	105-117
<ul style="list-style-type: none"> <li>• LOCALIZACIÓN DE ENTRADAS DE AIRE EN CONDENSADORES DE CENTRALES TÉRMICAS MEDIANTE EL TEST DE HELIO. <i>LOCATION OF AUR IN-LEAKAGE IN POWER PLANTS CONDENSED BY HELIUM TEST</i></li> </ul>	2	173-181
<ul style="list-style-type: none"> <li>• EDIFICIO PETER: UN EJEMPLO DE CONSTRUCCIÓN BIOCLIMÁTICA Y DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES. <i>PETER BUILDING: AN EXAMPLE OF BIOCLIMATIC BUILDING AND INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGIES INTO THE EDIFICATION.</i></li> </ul>	2	212-221
<ul style="list-style-type: none"> <li>• EFICIENCIA DE UNA CALDERA DE BIOMASA EN UN CENTRO HOSPITALARIO. <i>EFFICIENCY OF A BIOMASS BOILER IN A HOSPITAL CENTER.</i></li> </ul>	3	343-349
<ul style="list-style-type: none"> <li>• PREDICCIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA CONTENCIÓN PRIMARIA DE UNA CENTRAL NUCLEAR MEDIANTE REDES NEURONALES. <i>DRYWELL TEMPERATURE PREDICTION OF A NUCLEAR POWER PLANT BY MEANS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS.</i></li> </ul>	4	467-473
<ul style="list-style-type: none"> <li>• MEJORA DE LA RENTABILIDAD DE LAS PLANTACIONES DE OLIVOS MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE HUERTOS SOLARES. <i>YIELD IMPROVEMENT IN OLIVE TREES PLANTATIONS INSTALLING SOLAR FIELDS.</i></li> </ul>	6	641-647
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DISEÑO DE COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS. <i>IN SEARCH OF FEASIBILITY THERMAL ENERGY USING PARABOLIC TROUGH DESIGN.</i></li> </ul>	6	662-670
<b>TECNOLOGÍA INDUSTRIAL</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• LOCALIZACIÓN DE ENTRADAS DE AIRE EN CONDENSADORES DE CENTRALES TÉRMICAS MEDIANTE EL TEST DE HELIO. <i>LOCATION OF AUR IN-LEAKAGE IN POWER PLANTS CONDENSED BY HELIUM TEST.</i></li> </ul>	2	173-181
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CONTROLADOR NEURO-ROBUSTO PARA SISTEMAS NO LINEALES. <i>NEURO-ROBUST CONTROLLER FOR NON-LINEAR SYSTEMS.</i></li> </ul>	3	308-317
<b>TEORÍA Y MÉTODOS EDUCATIVOS</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CLASES PRÁCTICAS: UNA HERRAMIENTA ESENCIAL EN LA ENSEÑANZA DE LAS INGENIERÍAS EN EL MARCO DEL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR. <i>PRACTICAL SESSIONS: A KEY TOOL FOR TEACHING IN THE EUROPEAN HIGHER EDUCATION AREA FRAMEWORK.</i></li> </ul>	5	523-530
<b>UNIDADES Y CONSTANTES</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• FOTOELASTICIMETRÍA: MODERNIZANDO UNA VIEJA TÉCNICA. <i>PHOTOELASTICIMETRY: UPGRADING AN OLD TECHNIQUE.</i></li> </ul>	3	292-308

Apellidos, Nombre	Nº	Páginas	Apellidos, Nombre	Nº	Páginas
AGUAYO GONZALEZ, FRANCISCO	2	199-211	MADINA, CARLOS	3	300-317
AGUILAR MARTIN, JUAN JOSE	6	676-685	MAJARENA BELLO, ANA CRISTINA	6	676-685
ALCAYDE GARCIA, ALFREDO	1	89-94	MANZANO AGUGLIARO, FRANCISCO	2	173-181
ALVAREZ BARRERA, CLAUDIA	5	594-600	MAÑANA CANTELI, MARIO	1	105-117
ALVAREZ HUERTA, ANTONIO	4	467-473	MARTINEZ, SERGIO	3	273-280
ALVAREZ MANTARAS, DANIEL	4	431-437	MARTINEZ CARO, EVA	6	699-706
ALVEAR PORTILLA, DANIEL	5	575-584	MARTINEZ MIGUELEZ, SANDRA	5	539-548
ANTOÑANZAS GONZALEZ, FRANCISCO JAVIER	1	80-88	MAS MORATE, FERNANDO	3	328-335
ARECHALDE UGARTECHE, IBON	3	300-317	MATEO DUEÑAS, RICARDO	2	232-240
ASENSIO CUESTA, SABINA	3	350-360	MATEY MUÑOZ, LUIS MARIANO	3	328-335
BACHILLER SOLER, ALFONSO	4	418-423	MEDIAVILLA, MIGUEL	4	405-412
BARRERO GONZALEZ, FERMIN	5	567-574	MENA NIETO, ANGEL	2	212-221
BELSUE ETXEBARRIA, MIKEL	2	190-198	MENDOZA MORALES, LUIS	5	531-538
BERECIARTUA PÉREZ, ARANTZA	4	438-447	MILANES MONTERO, MARIA ISABEL	5	567-574
BORRO YAGÜEZ, DJEGO	3	328-335	MILANÉS MONTERO, VICENTE	1	95-104
CALVO ROLLE, JOSE LUIS	3	308-317	MIR MAJURI, MOISÉS	1	49-58
CAMPA PLANAS, FERNANDO	5	549-555	MIRALBES BUIL, RAMÓN	5	557-566
CAMPO RAMILA, FRANCISCO JESUS	1	74-79	MONTERO RODRIGUEZ, MIGUEL ANGEL	1	89-94
CAMPUZANO BOLARIN, FRANCISCO	6	699-706	MORINIÑO SOTELO, DANIEL	4	448-455
CANO GONZALEZ, RAMON	4	418-423	MUGICA IRAOLA, JUAN CARLOS	1	80-88
CAPO VICEDO, JOSEF	4	424-430	MULA BRU, JOSEFA	6	648-655
CAPOTE ABREU, JORGE ARTURO	5	575-584	MUÑOZGÜREN COLINDRES, JAVIER IGNACIO	1	74-79
CARRILLO VALLE, JAVIER	2	173-181	MUÑOZ DIAZ, IVAN	3	318-327
CASADESUS FA, MARTI	1	49-58	MUÑOZ RUBIO, AURELIO	6	656-661
CASADO SANCHEZ, CARLOS	3	318-327	NAVAS MOYA, FÉLIX ANTONIO	1	41-48
CASANOVA PELAEZ, PEDRO	6	641-647	NICOLAU JULIA, DEBORA	4	424-430
CHACKESLON LURNER, CLAUDIA	5	515-522	NIETO CARLIER, RAFAEL	2	158-164
CHULVI RAMOS, VICENTE	4	397-404	NORIEGA GONZÁLEZ, ALVARO	4	467-473
CIPRES BAGÜESTE, DAVID	5	515-522	OLANO OLARRA, AITZIBER	2	190-198
CORDERO VALLE, JUAN	3	328-335	OLIVARES OLIVARES, ARTURO JOSE	6	693-698
CORTIZO RODRIGUEZ, JOSÉ LUIS	6	662-670	ONIEVA CARACUEL, ENRIQUE	1	95-104
CRESPON ALVAREZ, JORGE	5	575-584	OREJAS TRONCOSO, JAVIER	3	273-280
CUADROS BLAZQUEZ, FRANCISCO	3	343-349	ORTEGA MIER, MIGUEL	5	585-593
CUADROS BLAZQUEZ, FRANCISCO	2	212-221	ORTIZ FERNANDEZ, ALFREDO	1	105-117
DE PAULA GARCIA LOPEZ, FRANCISCO	4	418-423	OSORIO ZAPICO, AQUILINO	3	336-342
DE PRADO TRIGO, ALVARO	1	74-79	PAIPA GALEANO, LUIS	2	232-240
DIEGO-MAS, JOSE ANTONIO	3	350-360	PALOMAR CARNICERO, JOSÉ MANUEL	6	693-698
DOMINGO, ROSARIO	4	405-412	PANDO CERRA, PABLO	3	336-342
DUQUE PEREZ, OSCAR	4	448-455	PASTOR FERNANDEZ, ANDRES	6	656-661
DURAN GARCIA, MARTÍN ENRIQUE	5	531-538	PEIDRO PAYA, DAVID	6	648-655
EGUREN EGIGUREN, JOSE ALBERTO	1	59-73	PERALTA ALVAREZ, MARIA ESTELA	2	199-211
ERRASTI, ANDER	4	405-412	PEREZ REMESAL, SEVERIANO F.	1	105-117
EXPOSITO LANGA, MANUEL	4	424-430	PEREZ ALONSO, MARCELO	4	448-455
FERNANDEZ RICO, JOSE ESTEBAN	6	662-670	PEREZ DE LOS RIOS, ANTONIA	6	686-692
FERNANDEZ DIEGO, INMACULADA	1	105-117	PEREZ DE OVALLES, MARIA ANGELICA	5	531-538
FERNANDEZ FERNANDEZ, MANUEL	1	105-117	PEREZ GIL, SUSANA	2	190-198
FERNANDEZ LUDENA, MARIA SONSOLES	4	413-417	PÉREZ RASTELLI, JOSHUÉ	1	95-104
FERNANDEZ QUINTAS, MANUEL VICENTE	2	165-172	PICON RUIZ, ARTZAI	4	438-447
FERRER TEVAR, JOSÉ ANTONIO	2	212-221	POLER ESCOTO, RAUL	6	648-655
GACHET PAEZ, DIEGO	6	671-675	PONCELA MENDEZ, ALFONSO	3	318-327
GARCIA LOPEZ, MARIA DOLORES	4	474-480	PORTELA NUÑEZ, JOSE MARIA	6	656-661
GARCIA LOPEZ, MARIA DOLORES	2	222-231	POZUETA FERNANDEZ, LOURDES	1	59-73
GARCIA METOLA, DAVID	4	467-473	RENEDO ESTEBANEZ, CARLOS JAVIER	1	105-117
GARCIA SAN ANDRES, MARIA ANTONIA	3	281-291	REQUENA CANDELA, ANA	1	41-48
GARCIA SANCHEZ, ALVARO	5	585-593	REQUENA RODRIGUEZ, ALBERTO	1	41-48
GARCIA SANZ-CALCEDO, JUSTO	2	212-221	REYES ADAN, ILDEFONSO	6	693-698
GIANCOLA, MANUELA	2	212-221	RINCON POLO, GLADIS	5	531-538
GIL MONTOYA, FRANCISCO	1	89-94	RODRIGUEZ GARCÍA, JUAN DE DIOS	2	165-172
GINESTA ANZOLA, ANAHI	6	686-692	RODRIGUEZ MARTIN, JAVIER	5	523-530
GODINEZ SEOANÉ, CARLOS	6	686-692	RODRIGUEZ ORDÓÑEZ, EDUARDO	6	662-670
GOMEZ MORENO, ANGEL	6	641-647	RODRIGUEZ VIDAL, CARLOS GERVASIO	2	165-172
GOMEZ PARRA, MIGUEL	3	281-291	ROMERO CADAVAL, ENRIQUE	5	567-574
GONZALEZ FERNANDEZ, FRANCISCO JAVIER	3	281-291	RONCERO CLEMENTE, CARLOS	5	567-574
GONZALEZ ARIZA, ANGEL LEON	4	456-466	RUIZ BACCA, MIGUEL ANGEL	4	456-466
GONZALEZ CRUZ, M <sup>a</sup> CARMEN	3	350-360	RUIZ CELMA, ANTONIO	2	212-221
GONZALEZ FERNANDEZ, CELINA	5	523-530	RUIZ LOPEZ, JOSE	4	397-404
GONZALEZ FERNANDEZ-VALLEJO, CARLOS	1	95-104	SAMPER CARNICER, DAVID	6	676-685
GONZALEZ MIGUELEZ, RODRIGO	4	467-473	SANCHEZ REBULL, MARIA VICTORIA	5	549-555
GONZALEZ PALMA, RAFAEL ERNESTO	6	656-661	SANCHEZ SEGADO, SERGIO	6	686-692
GONZALEZ RODRIGUEZ, ANTONIO	3	281-291	SANCHEZ TAPIA, JAIRO ROBERTO	3	328-335
GONZALEZ ROMERA, EVA	5	567-574	SANCHIS GISBERT, RAQUEL	6	648-655
GOTI ELORDI, AITOR	1	59-73	SANCHO DE MINGO, CARLOS	3	281-291
HERAS CERAMIN, MARIA DEL ROSARIO	2	212-221	SANTOLARIA MAZO, JORGE	6	676-685
HERNANDEZ FERNANDEZ, FRANCISCO JOSÉ	6	686-692	SANTOS GARCIA, JAVIER	5	539-548
HERNÁNDEZ LARA, ANA BEATRIZ	5	549-555	SEBASTIAN SANZ, JESÚS DE	3	318-327
HIGUERA GARRIDO, ALBERTO	3	336-342	SEGADOR VEGAS, COSME PEDRO	2	212-221
HUSSEIN ALANBARI, MOHAMMAD	6	671-675	SERVAN BLANCO, JAVIER	3	328-335
IBAÑEZ HERRERO, NATALIA	5	585-593	SIERRA VELASCO, JOSE MANUEL	6	662-670
JACA GARCIA, MARI CARMEN	2	232-240	SOLAGUREN-BEASCOA FERNANDEZ, MANUEL	3	292-308
JIMÉNEZ ALONSO, FELIPE	2	182-189	SOUTULLO CASTRO, SILVIA	2	212-221
JIMENEZ ALVARO, ANGEL	2	158-164	TEJEDOR PANCHON, FERNANDO	6	656-661
LAHOZ LEO, FERNANDO	5	515-522	TOMAS BALIBREA, LUIS MANUEL	1	41-48
LAMA RUIZ, JUAN RAMON	2	199-211	TORRES JIMENEZ, ELOISA	6	641-647
LAMAS GALDO, MARIA ISABEL	2	165-172	TRASSIERRA RODRIGUEZ, RAUL MANUEL	6	693-698
LOPEZ ALBA, ELIAS	6	641-647	UNZURRUNZAGA ITURBE, AINHOA	2	190-198
LOPEZ GARCÍA, HILARIO	3	308-317	URBANO PULIDO, DAVID	5	594-600
LOPEZ GARCIA, RAFAEL	6	693-698	VESES IBAÑEZ, VICENÇ	5	549-555
LOPEZ MARTINEZ, JOSE MARIA	2	182-189	VIDAL, ROSARIO	4	397-404
LOPEZ PANIAGUA, IGNACIO	5	523-530	VILES DIEZ, ELIZABETH	2	232-240
LOPEZ RODRIGUEZ, FERNANDO	3	343-349	VILLAESCUSA CHOCANO, JOSE ANTONIO	6	699-706
LOPEZ VEGA, ROSA MARIA VERONICA	3	336-342	VILLAGRA SERRANO, JORGE	1	95-104
LORENZANA IBAN, ANTOLIN	3	318-327	WIDEBERG, JOHAN	4	431-437
LOZANO BLANCO, LUIS JAVIER	6	686-692	YURRAMENDI SARASOLA, LOURDES	1	80-88
LUOQUE RODRIGUEZ, PABLO	4	431-437	ZUÑIGA PALACIO, JON	2	190-198
MACHÓN GONZÁLEZ, IVAN	3	308-317			



## DYNA INGENIERIA E INDUSTRIA - VOLUMEN 86 (AÑO 2011) INDICE DE EVALUADORES

JOSE ANTONIO	ALFARO TANCO	UNIVERSIDAD DE NAVARRA
AWF	AL-KASSIR ABDULLA	UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA
MIGUEL	ALMONACID KROEGER	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA
JESUS	ALVAREZ SANTOS	UNIVERSIDAD DE LEON
DANIEL	ALVEAR PORTILLA	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ENRIQUE	AMEZUA SAN MARTIN	UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO
RAUL	ANTON REMIREZ	UNIVERSIDAD DE NAVARRA
JON	ARAMBARRI BASAÑEZ	FUNIBER
MIKEL	ARCELUS ALONSO	UNIVERSIDAD DE NAVARRA
IBON	ARECHALDE UGARTECHE	TECNALIA
ENRIQUE	AYMERICH SOLER	IK4
FCO. JAVIER	AZCONDO SANCHEZ	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ANTONIO	AZNAR JIMENEZ	UNIVERSIDAD CARLOS III
JOSE MARIA	AZORIN POVEDA	UNIVERSIDAD MIGUEL HERNANDEZ
RICARDO JAVIER	BENDAÑA JACOME	UNIVERSIDAD DE VIGO
LUIS FDO.	BERGES MURO	UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
JESUS MARIA	BLANCO ILZARBE	UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO
ALBERTO	BONILLA ETXEBARRIA	TECNALIA-LABEIN
DIEGO	BORRO YAGÜEZ	CEIT-IK4
DAVID	BUKOWITZ KULKA	UNIVERSIDAD DEL ZULIA
MARIANO	CACHO PEREZ	UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
JOSE LUIS	CALVO ROLLE	UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA
ANTONIO MANUEL	CAMPOS LÓPEZ	FUNDACION CTIC
FRANCISCO	CAMPUZANO BOLARIN	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA
XABIER	CAPDEVILLA	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA
JOSEP	CAPO VICEDO	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
JUAN	CARLOS RAMOS	UNIVERSIDAD DE NAVARRA
JOSE RAFAEL	CASTREJON PITA	UNIVERSIDAD DE CAMBRIDGE
JOSE MANUEL	CASTRO PEREZ	IGAPE
FERNANDO	CERDEIRA PEREZ	UNIVERSIDAD DE VIGO
PABLO LUIS	COCA VALDES	UNIVERSIDAD DE OVIEDO
PABLO	CORENGIA	TECNALIA
ANTONIO	COUCE CASANOVA	UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA
LUIS E	DE LEZAUN MARTINEZ	UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
JOACQUIN JUAN	DE NÓ LENGARÁN	UNIVERSIDAD DE NAVARRA
JOAN	DE PABLO RIBAS	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA
MARIA VICTORIA	DE LA FUENTE	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA
ALFREDO	DEL CAÑO GOCHI	UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA
RAUL	DEL OLMO	UNIVERSIDAD DE BURGOS
RICARDO	DEL OLMO	UNIVERSIDAD DE BURGOS
IGNACIO	DEL REY	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
RAFAEL	DIAZ DIAZ	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
LUIS ALONSO	DZUL LÓPEZ	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA
JOSE ALBERTO	EGUREN EGIGUREN	UNIVERSIDAD DE MONDRAGON
FERNANDO	FADON SALAZAR	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
LUIS ANGEL	FERNANDEZ OTERO	ASOCIACION DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE GALICIA
ANGEL	FERNANDEZ-ARMESTO	ASOCIACION DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE GALICIA
MARIVI	FUENTE ARAGON	UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA
JOSE MANUEL	GALAN ORDAX	UNIVERSIDAD DE BURGOS
PABLO	GARCIA BRINGAS	UNIVERSIDAD DE DEUSTO
MARIA SOCORRO	GARCIA CASALES	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA
CARLOS	GARCIA CRESPO	UNIVERSIDAD DE MONDRAGON
ALEJANDRO	GARCIA DEL VALLE	UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA
JAVIER	GARCIA JALON	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
JOSE IGNACIO	GARCIA ROMAN	UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA
JUSTO	GARCIA SANZ-CALCEDO	UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA
DANIEL	GARRAIN CORDERO	CIEMAT
JUAN MARIA	GOENAGA LARRAÑAGA	IKERLAN-IK4
ITZIAR	GOICOECHEA CASTAÑO	UNIVERSIDAD DE VIGO
MARTA	GONZALEZ RODRIGUEZ	TECNALIA-ROBOTIKER
AITOR	GOTI ELORDI	UNIVERSIDAD DE MONDRAGON
JON ANDER	GOYENECHEA BATIS	SISTEPLANT
BELEN	GUERCIO	UNIVERSIDAD ROVIRA I VIRGILI
RODOLFO	GUERRA HABER	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID
ANA BEATRIZ	HERNANDEZ LARA	UNIVERSIDAD ROVIRA I VIRGILI
ALBERTO	HIGUERA GARRIDO	UNIVERSIDAD DE OVIEDO
PEDRO	IRIONDO BENGOA	UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO
TXOMIN	ITURRALDE JAINAGA	UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO
MIREN ITZIAR	ZUBIZARRETA	UNIVERSIDAD DE MONDRAGON
MARI CARMEN	JACA GARCIA	UNIVERSIDAD DE NAVARRA
FELIPE	JIMÉNEZ ALONSO	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
DANIEL	JUSTEL LOZANO	UNIVERSIDAD DE MONDRAGON
MARÍA ISABEL	LAMAS GALDO	UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA
JESUS MARIA	LARRAÑAGA LESACA	UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO
MARCOS	LARRAURI GIL	UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO
GREGORIO	LOPEZ LOPEZ	UNIVERSIDAD DE MURCIA
Mª CARMEN	GONZALEZ-CRUZ	UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
MIGUEL ANGEL	MANZANEDO DEL CAMPO	UNIVERSIDAD DE BURGOS
FRANCISCO	MANZANO AGUGLIARO	UNIVERSIDAD DE ALMERIA
MARIO	MAÑANA	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
MIGUEL ANGEL	MARISCAL SALDAÑA	UNIVERSIDAD DE BURGOS
JOSE DAVID	MARTIN GUERRERO	UNIVERSIDAD DE VALENCIA

- MANUEL  
EUSEBIO JOSE  
EVA  
GERMAN  
FERNANDO  
JAVIER  
RICARDO  
ANGEL  
AINHOA  
JOSE MARIA DE  
RAMON  
ESTHER  
JUAN AURELIO  
SUSANA  
PALOMA  
DANIEL  
PEDRO M<sup>a</sup>  
JUAN CARLOS  
JESUS M<sup>a</sup>  
JOSE EUGENIO  
SALVADOR  
MIGUEL ANGEL  
EMILIO  
MARGARITA  
MIGUEL  
BELGICA  
LUIS  
FRANCISCO M.  
ARTZAI  
ANDRES  
ARANTXA  
ROSA MARIA  
ALEJANDRO  
FCO. ANTONIO  
VICTORIA  
MARISELA  
JOSE IGNACIO  
EDUARDO  
RAMON  
ANTONIO  
JAVIER  
JOSE LUIS  
FCO. JAVIER  
MARIA REYES  
MARIA VICTORIA  
JAVIER  
MIGUEL  
VICTOR  
ESTEBAN  
JAVIER  
JOSE IGNACIO  
JOSE MARIA  
JOAN LLUIS  
CHRISTIAN  
VIRGINIA  
JUAN LUIS  
MANUEL  
EMILIO  
MIGUEL  
IBAI  
ANGEL  
MANUEL  
FRANCISCO  
SANDRA  
ROSARIO  
JOSE RAMON  
LUIS MANUEL  
FRANCISCO  
JOAQUIN  
IÑAKI
- MARTINEZ BORDES  
MARTINEZ CONESA  
MARTINEZ CARO  
MARTINEZ MONTES  
MAS MORATE  
MAZON SAINZ-MAZA  
MEJIA ALVAREZ  
MENA NIETO  
MENDIVIL MARTINEZ  
MIGUEL GOMEZ  
MIRALBES BUIL  
MOCHOLI MUNERA  
MONTERO SOUSA  
MONTES RODRIGUEZ  
MORENO CLARI  
MORIÑIGO SOTELO  
MUGARRA ARIETA-  
MUGICA IRAOLA  
MURGA BARAÑANO  
NARANJO HERNANDEZ  
NAYA FERNANDEZ  
NAYA VILLAVERDE  
OLIAS RUIZ  
ORTEGA IZQUIERDO  
ORTEGA MIER  
PACHECO BLANCO  
PEDROSA REBOLLEDA  
PEREZ RIVAS  
PICON RUIZ  
PIÑON PAZOS  
RENTERIA BILBAO  
RIO BELVER  
RIVAS NIETO  
RIVERA  
RODRIGUEZ  
RODRIGUEZ SALVADOR  
ROJAS SOLA  
ROJI CHANDRO  
RUBIO GARCIA  
RUIZ CELMA  
RUIZ FERNANDEZ  
SALMERON SILVERA  
SANCHEZ ALEJO  
SANCHEZ HERRERA  
SANCHEZ REBULL  
SANCHEZ SIERRA  
SANCHEZ SOTO  
SANCHEZ ZABALA  
SANCHIS KILDERS  
SANTOS GARCIA  
SANTOS MARTIN  
SARRIEGI DOMINGUEZ  
SERAROLS FONT  
SERAROLS TARRES  
SIEIRO CARAMES  
SOBREIRA SEOANE  
SOLAGUREN-BEASCOA  
TEJEDOR ESCOBAR  
UGALDE ALBISTEGUI  
ULACIA  
VARELA LAFUENTE  
VAZQUEZ BOZA  
VÁZQUEZ SERRANO  
VELARDE SUAREZ  
VIDAL NADAL  
VILANA ARTO  
VILLA GARCIA  
ZAMORA POLO  
ZUECO JORDAN  
ZUGASTI
- ITE  
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA  
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA  
UNIVERSIDAD DE GRANADA  
AIRBUS  
UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO  
LOS ALAMOS NATIONAL LAB  
UNIVERSIDAD DE HUELVA  
SGS  
ASOCIACION DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE GALICIA  
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA  
ITE  
UNED  
UNIVERSIDAD DE OVIEDO  
UNIVERSIDAD DE VALENCIA  
SERVICIO DE SALUD ANDALUZ  
SENER  
TECNALIA  
ITP  
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID  
UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA  
UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA  
UNIVERSIDAD CARLOS III  
AGENCIA DE LA ENERGIA DE BURGOS  
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID  
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA  
TECNALIA  
ASOCIACION DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE GALICIA  
TECNALIA  
UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA  
TECNALIA  
UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO  
UNIVERSIDAD DE NAVARRA  
UNIVERSIDAD CARLOS III  
UNIVERSIDAD DE NAVARRA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MONTEREY  
UNIVERSIDAD DE JAEN  
UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO  
UNIVERSIDAD DE OVIEDO  
UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA  
LBEIN  
UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE  
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID  
UNIVERSIDAD DE HUELVA  
UNIVERSIDAD ROVIRA I VIRGILI  
UNIVERSIDAD DE STANFORD  
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA  
TECNALIA  
UNIVERSIDAD DE VALENCIA  
UNIVERSIDAD DE NAVARRA  
UNIVERSIDAD DE BURGOS  
UNIVERSIDAD DE NAVARRA  
UNIVERSIDAD DE GERONA  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BARCELONA  
UNIVERSIDAD DE VIGO  
ITG  
UNIVERSIDAD DE BURGOS  
IBERDROLA  
EUSKALIT  
UNIVERSIDAD DE MONDRAGON  
UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA  
UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
UNIVERSIDAD DE CORDOBA  
UNIVERSIDAD DE OVIEDO  
UNIVERSIDAD JAUME I  
BYSTRONIC\_IBERICA\_  
UNIVERSIDAD DE OVIEDO  
UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA  
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA  
IKERLAN-IK4

# Normas resumidas para los autores de artículos

## *Brief paper's instructions for authors*

- Los artículos deberán ser originales e inéditos y no deben de haber sido enviados simultáneamente a otros medios de comunicación.
- Tendrán siempre preferencia los que versen sobre temas relacionados con el objetivo, cobertura temática y/o lectores a los que se dirige la revista.
- Todos los trabajos serán redactados en castellano (o inglés para autores de otra lengua) y deberán cumplir los siguientes requisitos:
  - Título en castellano e inglés de 80 caracteres máximo
  - Un breve resumen (Abstract), entre 150 y 300 palabras, en castellano e inglés.
  - Entre tres y cinco palabras clave (Key words) en castellano e inglés, que permitan identificar la temática del artículo
  - No deberían de tener más de aproximadamente 5.500 palabras, o 17 páginas formato A4 en fuente Arial 10 con interlineado simple (Consultar con DYNA extensiones superiores).
  - Bibliografía relacionada o referencias según normas DYNA en [www.revistadyna.com](http://www.revistadyna.com)
- Con el objeto de facilitar la “revisión entre pares”, el autor deberá asignar el código DYNA de 6 dígitos correspondiente a la temática del artículo, seleccionándolo de entre los códigos disponibles en la dirección de Internet: [www.revistadyna.com](http://www.revistadyna.com)
- Los originales se remitirán mediante nuestra página web (envío artículos), en formatos .DOC (msword), .RTF, o .TXT. Se recomienda una calidad mínima de 300ppp para las fotografías que se adjunten con el artículo. Se harán constar: título del artículo, nombre del autor, título académico, empresa o institución a la que pertenece, dirección electrónica, dirección postal y teléfono.
- Se someterán al Consejo de Redacción cuantos artículos se reciban, realizándose la “revisión entre pares” por los expertos del Consejo o los que éste decida. El resultado de la evaluación será comunicado directamente a los autores. En caso de discrepancia, el editor someterá el trabajo a un revisor externo a la revista cuya decisión será trasladada nuevamente al autor.
- Los autores aceptan la corrección de textos y la revisión de estilo para mantener criterios de uniformidad de la revista.
- La revista se reserva el derecho de no acusar recibo de los trabajos que no se ajusten a estas normas.
- Para mayor detalle sobre estas normas, por favor visite nuestra web <http://www.revistadyna.com> (en el apartado de “autores y evaluadores”).
- Paper will be original and unpublished and it must not be concurrently submitted for publication elsewhere.
- Preference will be given to articles on the main subject areas of the Journal.
- Articles should be written in articles (or English for authors of another language) and should fulfil the following requirements:
  - Title in both English and Spanish with a maximum length of 80 characters.
  - Brief Summary or Abstract, between 150 and 300 words, in Spanish and English.
  - Between three and five keywords in English and Spanish, that identify the paper theme.
  - Written text should not exceed 5.500 words, or 17 A4 format pages in 10 size arial font single-spaced (For longer lengths consult with DYNA)
  - Bibliographical references according to DYNA norms at [www.revistadyna.com](http://www.revistadyna.com)
- To facilitate the “peer review” process, the author will assign the six digits DYNA code corresponding to the paper thematic, selecting it between the codes available at the Internet address: [www.revistadyna.com](http://www.revistadyna.com)
- Papers should be sent by our web page (envío artículos), in .DOC (MSWord), .RTF, or .TXT format. It is recommended a minimum quality of 3000 ppp for the pictures enclosed in the article. These papers will include: Article title, author name, academic title, company or institution, email, correspondence address and telephone.
- All papers must pass the Editorial Board (EB) evaluation process. The “peer review” will be made by the Editorial experts or those that the EB decides. The evaluation result will be directly communicated to the author. In case of discrepancy, the publisher will refer the work to an external reviewer whose decision will again be transferred to the author.
- The authors accept the text correction and the style revision to maintain uniformity criteria for the magazine.
- The journal reserves the right not to accept articles which do not comply with said instructions.
- To find more details about these instructions, please visit our web page <http://www.revistadyna.com> (authors and referees section).

### COMO AYUDAR A DYNA VOTANDO POR SU PROYECTO EN CAJA NAVARRA

- Apoya a la revista DYNA sin ningún coste para ti.
- CAJA NAVARRA permite seleccionar a sus clientes el proyecto al que destinar los beneficios que generan sus operaciones en la entidad.
- Si tienes cuenta en CAJA NAVARRA, puedes ayudar a nuestra revista participando en la iniciativa “TU DECIDES, TU ELIGES” y seleccionando el proyecto de DYNA nº 17183.

[http://www.cajanavarra.es/es/tus-derechos/proyectos/cesta.htm?idp=17183&yearp=2012&utm\\_campaign=widget-teid-elegir-es&utm\\_source=socialmedia&utm\\_medium=widget&utm\\_content=17183](http://www.cajanavarra.es/es/tus-derechos/proyectos/cesta.htm?idp=17183&yearp=2012&utm_campaign=widget-teid-elegir-es&utm_source=socialmedia&utm_medium=widget&utm_content=17183)

La iniciativa ‘Tú eliges: tú decides’, con la que se denomina a la Obra Social de Caja Navarra, es el derecho de elección social que permite a los clientes elegir el proyecto al que destinar los beneficios que generan sus operaciones en la entidad. La Obra Social, a la que Caja Navarra destina cada año el 30% de sus beneficios, está íntegramente en manos de sus clientes.

A través de la ‘Cuenta Cívica’, Caja Navarra comunica a sus clientes cuánto dinero gana con ellos y cuánto dinero aportan a los proyectos sociales que han elegido. Este ejercicio de transparencia hacia los clientes también lo practican en la Banca Cívica las entidades sociales en sus actos de rendición de cuentas o en los blogs de la Comunidad de la Banca Cívica, donde les informan sobre cómo están desarrollando los proyectos y cómo emplean el dinero recibido. Y, por último, Caja Navarra reconoce a sus clientes el derecho a saber y a decidir dónde invierte Caja Navarra su dinero.

# La primera impresora de gran formato con perlas de tóner



## Océ ColorWave 600. Entre en la nueva ola del color

La impresora Océ ColorWave 600™ incorpora la tecnología Océ CrystalPoint™ que utiliza perlas de tóner. Así se obtienen impresiones de calidad sobre papel normal o reciclado, tanto en color como en blanco y negro, sobre una amplia gama de aplicaciones. Podrá imprimir un A0 en color en medio minuto, sin ningún esfuerzo y recogéndolo inmediatamente. Todo en un sistema limpio y sostenible.

Para más información visite [www.oce.es](http://www.oce.es)



**Printing for Professionals**



**Canon**  
CANON GROUP