



TRÁFICO FERROVIARIO

Mejora mediante programación lineal entera

CONTADORES DE ENERGÍA

Condiciones de distorsión y desequilibrio

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

Hormigones expuestos al fuego

PRODUCCIÓN CONTRA PEDIDO

Estudio empírico

LOGÍSTICA

Diseño de un sistema de picking

MÉTODOS PEDAGÓGICOS

Clases prácticas en el EEES

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

Modelo para la industria química

TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS METÁLICOS

Botellas para el transporte a presión de gases

RENTABILIDAD ECONÓMICA A TRAVÉS DEL TAMAÑO

Las empresas de ingeniería civil en España

ECONOMÍA DEL CAMBIO TECNOLÓGICO

Entorno y actividad emprendedora



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

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: febrero, abril, junio, agosto, octubre y diciembre.

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

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), **Joan 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), **Joan 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/ / 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
Instrucciones detalladas para los autores en la web: 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
Formato: 21 x 29,7 cm (A4)
D.L. BI-6-1958
ISSN 0012-7361
ISSN electrónico 1989-1490
SICI: 0012-7361(20111001)86:5<>1.0.TX;2-F
CODEN: DYNAU

Tirada de este número: 4.605 (papel) y 23.994 (digital)
Ejemplares vendidos: 3.540 (papel) y 23.994 (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)

España	140,00 €
Número suelto	30,00 €
Extranjero	199,00 €
Número para extranjero	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 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)

Revista Impresa	Izda.	Dcha.
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 180x60 pixels (mínimo 7 días)	20 €/día	
Banner web de 700x80 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>

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 - JCR (Thomson-Reuters)

<http://www.thomsonscientific.com>

SCOPUS (Grupo Elsevier)

<http://info.scopus.com>

SUMARIS (Biblioteques Universitaries 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

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

Octubre - Noviembre 2011



486

DYNA hace 80 años

488

Noticias Breves

490

Sociedad e Ingeniería Industrial

492

Evolución

494

Aula DYNA

498

Noticias

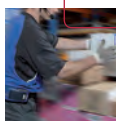
511

Colaboraciones

601

Desarrollo Sostenible

515

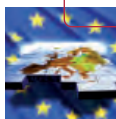


DISEÑO DE UN SISTEMA DE PICKING PRODUCTO A OPERARIO. APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS MEDIANTE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

DESIGN OF A PARTS TO PICKER SYSTEM. DESIGN OF EXPERIMENTS APPLICATION AIDED BY DISCRETE EVENT SIMULATION

Claudia Chackelson-Lurner, Ander Errasti-Opacua, David Cipres-Bagüeste, Fernando Lahoz-Leo

523



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

531



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

539



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

549



LA RENTABILIDAD ECONÓMICA EXPLICADA A TRAVÉS DEL TAMAÑO. LAS EMPRESAS DE INGENIERÍA 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 Veses-Ibañez

557



BOTELLAS PARA EL TRANSPORTE A PRESIÓN DE GASES: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN

BOTTLES FOR PRESSURE GAS TRANSPORT: DESIGN AND OPTIMIZATION

Ramon Miralbes-Buil

567



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

575



ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE HORMIGONES EXPUESTOS AL FUEGO. EVALUACIÓN DE VARIABLES HIDRO-TÉRMICAS

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF CONCRETE EXPOSED TO FIRE. ASSESSMENT OF HYDRO-THERMAL VARIABLES

Jorge Arturo Capote-Abreu, Manuel Daniel Alvear-Portilla, Jorge Crespo-Álvarez

585



MEJORA DEL TRÁFICO FERROVIARIO MEDIANTE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA.

Gestión de sistemas ferroviarios densos mediante el desarrollo y la aplicación de modelos de optimización

IMPROVEMENT OF RAILWAY SYSTEM TRAFFIC USING INTEGER LINEAR PROGRAMMING.

Management of dense railway systems through the development and application of optimization models

Álvaro García-Sánchez, Miguel Ortega-Mier, Natalia Ibáñez-Herrero, Aitor Goti-Elordi

594



ENTORNO Y ACTIVIDAD EMPRENDEDORA: UN ENFOQUE DE DINÁMICA DE SISTEMAS

ENVIRONMENT AND ENTREPRENEURIAL ACTIVITY: A SYSTEM DYNAMICS APPROACH

Claudia Álvarez, David Urbano

LA HIDROGENACIÓN DEL CARBÓN Y SU IMPORTANCIA EN LA ECONOMÍA MUNDIAL

En la época de aparición del artículo *“la elevación del consumo mundial de petróleo hizo pensar en los combustibles sólidos como fuentes de carburantes, que serían obtenidos por métodos en los cuales los productos líquidos no fueran considerados como sub-productos, sino como producto principal”*.

“La destilación del carbón a baja temperatura, que suministra rendimientos del 4 a 10% según el carbón empleado, no podía considerarse como un método, capaz por sí solo de resolver aquel problema. La solución fue dada por el proceso de hidrogenación según el Dr. Bergius...que inició en su laboratorio de Hannover en el año 1912”.

“Para el tratamiento de los lignitos por el método Bergius perfeccionado por la I.G.Farbenindustrie se construyó la primera instalación de hidrogenación a elevadas presiones en la fábrica de abonos nitrogenados de Leuna...inaugurada en 1928...que ha producido el pasado año 100.000 tons. de carburantes”. “Los rendimientos en la hidrogenación de alquitranes de lignito, son de 85% de gasolina y 15% de gases no condensables, sin que tenga lugar la formación de cok”.

“El alquitrán es introducido en una cámara de reacción...a una temperatura de 440° aproximadamente. Al mismo tiempo el hidrógeno comprimido a 2000 atmósferas es llevado a la cámara...el calor de la reacción eleva la temperatura hasta 465°”. “El producto líquido es destilado en tres fracciones: gasolina, aceite medio y aceite residual. Este residuo, mezclado con nueva carga de alquitrán, entra luego en la primera fase de hidrogenación”.

Apunta como notable *“la labor que viene desarrollando el Instituto del carbón de la Universidad de Oviedo”*, en este campo del conocimiento.



José Manuel Perterra

NUEVO TIPO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE ÉMBOLOS OPUESTOS

Nuestro compañero y autor del artículo, había solicitado patente de invención (número 122651), concedida desde el 4 de mayo de ese año, para *“un motor a combustión interna de émbolos opuestos”*. Se trataba de un motor a dos tiempos, *“especialmente indicado para aviación, accionamiento directo de generadores eléctricos, bombas centrífugas, grandes ventiladores, etc.”*

Las propiedades de este motor eran *“el equilibrio más perfecto de las masas en movimiento, la posibilidad de una mayor expansión con el consiguiente aumento del rendimiento, la ausencia de culatas...y la perfección en el barrido de los cilindros”*. Pero la mayor novedad consistía en que los dos cilindros de émbolos opuestos se situaban paralelos al eje cigüeñal común, al que se unían a través de *“muñequillas oblicuas y platillos oscilantes que forman un mecanismo de transformación del movimiento alternativo rectilíneo de los émbolos en el movimiento rotatorio uniforme del cigüeñal”*.

Sebastián López de Lerena

Según la base de datos consultada por DYNA en la Oficina de Patentes, ésta caducó en 1934 al no haberse puesto en práctica y cesar de abonarse las anualidades.

THOMAS ALVA EDISON

En el número 70 de DYNA (octubre) se dedica una amplísima reseña a describir la vida y hechos del ilustre técnico e inventor, fallecido el día 18 del mismo mes.

Nacido en Milán (Ohio) en 1847, desde los primeros pasos juveniles leyendo *“a los 9 años de edad la Filosofía Natural y Experimental de R. Green Parker...todo el dinero que llegaba a sus manos lo invertía en una especie de laboratorio que instaló en el sótano de su casa”*. Sigue por el traslado, con 15 años, de dicho laboratorio al tren Port Huron – Detroit, donde vendía periódicos, llegando a editar uno semanal en ruta. Como consecuencia del accidente que provocó en el vagón fue despedido con 18 años ingresando en el cuerpo de telegrafistas.

La mayor parte siguiente la dedica a su genio innovador, iniciado a los 21 años con la primera patente para evitar la pérdida de tiempo en las votaciones del Congreso, siguió el mimeógrafo para copiar cartas, nuevos tipos de telégrafos, el fonógrafo, mejoras en las máquinas de escribir, etc., etc., y sobre todo la lámpara de incandescencia que por vez primera alumbró durante 45 horas el 21 de octubre de 1879.

Su actuación llegó hasta temas tan dispares como la concentración magnética de los minerales de hierro, la fabricación de cemento o la obtención del caucho. *“Cuando todo esto debe la humanidad a un hombre, lo menos que puede hacer es recordarle”*, concluye el autor.



Andrés de Bengoa

¿PERIODISMO O DIVULGACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA?

Existe una aceptación generalizada de la importancia que ha adquirido la comunicación en las sociedades contemporáneas, lo que origina roces entre la Administración, que trata de regular su uso, los editores y corporaciones para hacerse con su control y los propios autores que reflejan sus estudios y experiencias

El sector técnico-científico de nuestra sociedad no puede constituir una excepción y de hecho está inmerso en la polémica habida cuenta de la cantidad de información no siempre exacta y contrastada a la que se puede acceder por Internet, ocultando a veces intereses bastardos u objetivos individuales lejos de la realidad industrial. Desde diversos ámbitos de la industria se reclama una mayor participación del sector en la actividad informativa, tanto a nivel oficial como privado; se dictan conferencias, se crean carreras específicas, se organizan cursos y *webinars*.

La pregunta ¿hace falta comunicar desde el sector industrial y científico? ha obtenido una unánime respuesta afirmativa. Una respuesta que, a su vez, ha generado una nueva pregunta: ¿de qué clase de periodismo o divulgación estamos hablando?

No se trata de una discusión semántica, sino ideológica pues bajo esa denominación genérica conviven distintas interpretaciones. La ambigüedad en el concepto no sólo confunde, sino que dificulta el reconocimiento de quienes serán, en definitiva, los que más ganen con esa "*movida comunicacional*". Pero ¿cuáles son las voces que se escuchan?

Partamos de una herramienta como WIKIPEDIA, que sin control técnico o científico reconocido o validado, sin embargo, se "reconoce" como poseedora de la verdad absoluta. Para Wikipedia, "*el periodismo científico*" es la especialización de la profesión periodística en los hechos relativos a la ciencia, tecnología, innovación, salud, medio ambiente, informática, arqueología, astronomía, exploración espacial y otras actividades de investigación". Pero aclara que "*es diferente de la divulgación científica*" a la que define como "*la interpretación y popularización del conocimiento científico entre el público en general, sin circunscribirse a ámbitos académicos específicos, convirtiéndose así en ciencia popular. La divulgación puede referirse a los descubrimientos científicos del momento (...), de teorías bien establecidas (...) o de campos enteros del conocimiento científico*". Dos definiciones para una manera unidireccional de ver las cosas; desde la comunidad técnica y científica al resto de la sociedad.

Ahora bien los ciudadanos que quieren estar bien informados, deben poder ser parte de las decisiones de los proyectos científicos y tecnológicos y por eso surge la necesidad de refundar la divulgación como el motor que logrará incrementar la cultura científica de la sociedad e incluir a más sectores en debates industriales y científicos críticos.

Y este es un reto en el que DYNA debe posicionarse: cómo ayudar, desde nuestra revista y colectivo a lograr la participación de la sociedad en la construcción de la agenda y en su realización. Porque el rumbo que toma la comunidad industrial y científica no puede -ni debe- ser independiente de la sociedad de la que forman parte los trabajadores de la ciencia pues además de financiar sus actividades, reciben el impacto de los cambios en su forma y calidad de vida. Tampoco es correcto pensar que la totalidad del conocimiento reside en la "comunidad científica", obviando el hecho de que la sabiduría popular atesora conocimientos antiguos y modernos que benefician al conjunto.

Hablando en términos generales, el camino de hacer "*periodismo científico*" desde los intereses del sector suele tener un destino desconocido. A las presiones que realizan los mismos intereses que condicionan la actividad científica, se les suman las de los medios de comunicación para los cuales trabajan. Todos los periodistas saben que, en su carrera profesional, resultará suicida instalar un tema que pueda afectar los intereses de un anunciante del medio, vigente y aún potencial. El resultado es una tarea instaladora, amplificadora y difusora de las novedades científicas, vistas según el prisma de los intereses que sostienen el sistema tal como es.

Pero nosotros, como DYNA no tenemos tantos condicionantes, al menos hasta el momento y podríamos ampliar el espectro ingenieril que nos es propio y mirar la actividad técnico-industrial-científica desde el ciudadano y la sociedad, identificando sus necesidades y sus intereses, aprovechando el acervo ancestral y la cultura industrial milenaria para abrir un nuevo capítulo del devenir industrial y tecnológico de nuestro país y por supuesto manteniendo un cierto contenido académico pero sin desvirtuar nuestro lema de Ingeniería e Industria.

¿Seremos capaces de afrontar este reto? ¿Podremos diseñar y articular cauces para potenciar, dentro de nuestro lema, la palabra y la experiencia de todos los que pueden aportar verdades y experiencias al hecho científico y tecnológico y a los que hasta ahora no hemos sabido involucrar en nuestro proyecto o se han sentido sistemática e históricamente excluidos del banquete de la difusión de la comunicación técnico-industrial?

Los lectores de DYNA, con sus críticas, comentarios o sugerencias, nos suponen una inestimable ayuda para cumplir los mejores objetivos.



► SOLDADURA EN AGUAS PROFUNDAS

Investigadores de la **Universidad de Cranfield** (Reino Unido) han conseguido un record mundial en la soldadura submarina operando por control remoto a 940 m de profundidad, tras diez años de investigación conjunta con la empresa noruega **Statoil**.

Hasta ahora, la profundidad de 180 m era el límite alcanzado en los trabajos de mantenimiento y/o modificación de líneas existentes. Ahora será posible utilizar oleoductos existentes a esas profundidades para conectar nuevos pozos sin necesidad de tender nuevos conductos.

La cámara submarina que cubre los puntos donde se realizan las soldaduras debe presurizarse para conseguir dejarla sin agua y demostrar que con esa presión ambiental se puede desarrollar un proceso de soldadura adecuado. La Universidad de Cranfield dispone de una cámara hiperbárica de ensayos capaz de alcanzar una presión equivalente a 2.500 m de profundidad de agua.

► CHATARRA DE PANELES FOTOVOLTAICOS

La mayor parte de los paneles fotovoltaicos tiene aun poco tiempo de utilización, pero se sabe que su esperanza de vida es de algunas decenas de años. Además, entre los más antiguos instalados, de muy bajo rendimiento, y los modernos, es tal la ventaja existente que hará optar por sustituirlos mucho antes de su final de vida.

Se estima que hasta 2030 habrán sido retirados más de 120.000 T de paneles en el mundo. Al igual que las pantallas de televisión o de ordenador, los

fotovoltaicos contienen una parte de materiales convencionales (plástico o metales), otra de vidrio y otra de compuestos exóticos cuya recuperación es costosa. Algo se ha venido haciendo con la recuperación de las citadas en primer lugar, pero poco aun con las procedentes de los módulos fotovoltaicos. ¿Acabarán siendo un mercancía más para ser vertida en países del tercer mundo?



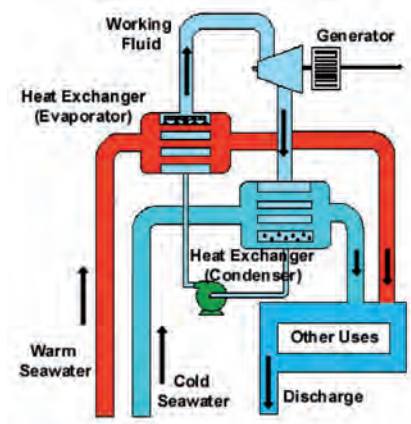
► MICROGENERADOR POR VIBRACION

En la **Universidad de Kanazawa** (Japón) han desarrollado un micro generador por vibración que mide 2x3x12 mm capaz de suministrar una potencia de 1,56 mW haciéndole vibrar a 357 Hz. Considerando su volumen supone multiplicar por 20 las actuales características de los mejores generadores por vibración.

Como elemento generador se ha empleado un material denominado Galfenol, aleación de galio y hierro que tiene un fuerte efecto de magnetoestricción, es decir que cambia sus dimensiones al ser magnetizado. A la inversa, la aplicación sobre él de solicitaciones, le hace generar campos magnéticos. Se trata además de un material dúctil, a diferencia de los usuales piezoeléctricos cerámicos o los también magnetoestrictivos como terbio o disprosio, que son frágiles. Estas potencias generadas son capaces de sustituir con ventaja a las pilas de botón.

► LA ENERGÍA TÉRMICA DEL OCEANO

Los océanos, que cubren el 70% de la superficie de la tierra, son al mismo tiempo el mayor colector y almacén



de energía solar, especialmente en las zonas tropicales. Por esa razón, la diferencia de temperatura en esa franja entre la superficie y los 1.000 m de profundidad se sitúa entre los 18° y los 24°.

La Conversión de Energía Térmica del Océano (**OTEC** en sus siglas inglesas) es una tecnología que propone aprovechar ese gradiente para crear un ciclo de producción energética. Con un ciclo condensación – evaporación ejercido sobre un fluido operativo por las aguas fría y caliente se genera la energía eléctrica.

Estas plantas pueden ser instaladas a flote y por tanto situadas donde en cada momento sea necesario reforzar suministros locales en territorios insulares.

► ALTA VELOCIDAD MENOS ALTA

Por decisión del Ministerio de Ferrocarriles de China, los trenes de alta velocidad han pasado a partir del 1 de julio de una velocidad máxima de 350 km/h a la de 300 km/h y eso en las líneas de larga distancia, porque cuando se trate de trenes inter-city, serán operados a velocidades entre 200 y 250 km/h solamente.

Como argumento para adoptar esas medidas, se expone que bajando de 300 km/h la explotación de las líneas es más eficiente y más segura. Un convoy a 350 km/h precisa el doble de energía que a 200 km/h.

Sin embargo, China no va a reducir

sus planes de aumento de la red ferroviaria, pasando de los 91.000 km actuales a los 120.000 el año 2015.



► CRIOALMACENAJE DE ENERGÍA

El almacenamiento de energía es un reto en que están trabajando intensamente investigadores de todo el mundo, especialmente cuando se incrementa cada vez más la generación por fuentes renovables de suministro más aleatorio. Turbinas-bomba, baterías, volantes, etc., son muchos de los medios propuestos.

Ahora se trata de una técnica que utiliza el frío y la primera instalación se está poniendo en marcha en el Reino Unido por la empresa **High-view Power Storage** de una potencia generadora de 300 kW. La energía en exceso se utiliza para enfriar aire hasta una temperatura de -190° y almacenarlo en estado líquido bajo una presión de 70 atmósferas. Cuando se precise aprovechar esa energía, se calienta en un cambiador de calor gasificando de nuevo para mover un grupo turbina-generador. El frío desprendido se reaprovecharía para la licuación posterior.

Así como el rendimiento de almacenamiento de las baterías está entre el 80 y 90% y el de las turbinas-bomba entre el 65 y 75%, el criogénico se sitúa alrededor del 50%, pero podría llegar al 70% si el calor de la gasificación se tomase de alguna fuente residual. En el caso de la planta piloto británica, lo hará aprovechando el calor de una central energética de biomasa situada en sus proximidades.



► ENCAPSULADO DE RESIDUOS NUCLEARES

El encapsulado de residuos nucleares puede ser más seguro utilizando epoxi de baja temperatura o gomas sintéticas de silicona que con los productos actuales.

La ingeniería **Babcock** lidera unas investigaciones para definir el tipo de polímero más adecuado para superar tanto los problemas de la temperatura que se genera en la operación (a veces hasta 200°), como el costo de estos materiales, bastante superior al del cemento actualmente utilizado.

No debemos olvidar que los materiales radioactivos no proceden solamente de las centrales de fisión, sino de un elevado número de otros equipos, viniendo además unidos a elementos metálicos. Los contenedores, una vez encapsulados deben permanecer sin grietas ni fracturas, a veces centenares de años, y esos elementos metálicos, a veces oxidados, pueden reaccionar con el cemento, deteriorando el conjunto.

► GRANDES ÁLABES DE AEROGENERADOR

El **Energy Technologies Institute** (ETI) británico, consorcio de investigación público – privado, convocó el pasado verano aportaciones para un proyecto de desarrollo tecnológico en la fabricación de grandes álabes para aerogeneradores.

Se pretende incidir en el diseño, construcción y ensayo de álabes (palas) de 90 m de longitud o mayores, que corresponden a las turbinas de la próxima generación con potencias entre 8 y 10 MW. Los actuales álabes se sitúan entre los 40 y los 60 m de longitud.

ETI considera que conseguir una fabricación con diseños eficientes en rigidez y resultados aerodinámicos, permitirán obtener energía renovable en ese rango de potencia que se estima como el de costos de generación más competitivos. El proyecto estará dotado con un fondo de unos 10 millones de libras esterlinas.



► COCHE ELÉCTRICO ALEMÁN

Un equipo de investigadores de la Escuela Técnica de Aachen - **RWTH** (Alemania) junto con varias PYMEs ha desarrollado un coche eléctrico, el StreetScooter, cuyo precio básico puede situarse en unos 5.000 euros. Se dispondrá de 10 unidades piloto para finales de 2011.

El trabajo ha sido enfocado especialmente en integrar la planificación de los componentes en el proceso, de forma que pueda ser fabricado en países de alto costo, teniendo en cuenta que no se pretenden producciones masivas del mismo. De ese modo se ha diseñado una línea de montaje con 20 estaciones en lugar de las 100 habituales en la industria de automoción.

Las baterías de ion litio de 60 V, situadas en los bajos del vehículo, estarán en tres módulos, poniendo a elección el número que se desee, pudiendo con cada módulo alcanzar una autonomía de 45 km, suficiente para desplazamientos urbanos diarios.

El vehículo está equipado con dos air-bags frontales, ABS y ESP. Los prototipos se han fabricado con una capacidad de 3+1 pasajeros, aunque se dispondrá de variantes para 2 asientos, como convertible o como compacto.

Sociedad e Ingeniería Industrial

Consejo de Colegios y Federación de Asociaciones de Ingeniería Industrial de España

▶ EL TRIBUNAL SUPREMO ANULA LA DENOMINACIÓN: "GRADUADO EN INGENIERÍA DE LA EDIFICACIÓN"

La sentencia del Tribunal Supremo de 09/03/2010 (publicada en el BOE de 07/08/2010) falla anulando la denominación de "Graduado en Ingeniería de la Edificación" (GIE) de los Planes de Estudio conducentes a títulos habilitantes para el ejercicio de la profesión regulada de Arquitecto Técnico.

El Presidente de la *Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de España*, Luis-Manuel Tomás Balibrea, ha manifestando comprender la lógica inquietud de unos estudiantes que, cursando unos estudios, ven cómo cada día son más las universidades que, por resoluciones judiciales, no pueden continuar empleando la denominación. Aunque añade que la situación a la que se ha llegado es responsabilidad exclusiva de la Administración y no de las organizaciones profesionales de la Ingeniería Industrial, abocadas a recurrir a los tribunales de justicia para defender los intereses de la profesión.

Para más información, hacer clic en el siguiente enlace web:
<http://www.revistadyna.com/dyna/documentos/pdfs/201104ago/boletinfaie2.pdf#page=5>



▶ MÁSTER DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LUGO



El Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Industriales lleva interpuestos recursos:

- Contencioso-administrativos, ante los Tribunales Superior de Justicia de Galicia y Supremo, contra los estudios de Máster en Ingeniería Industrial impartidos en la Facultad de Ciencias del Campus de Lugo de la Universidad de Santiago de Compostela (USC).
- Y contra las Resoluciones de la USC, de publicación del Plan de Estudios, tanto en el Boletín Oficial del Estado como en el Boletín Oficial de Galicia (BOE 11/03/2011 y DOG 17/03/2011).

Para más información, hacer clic en el siguiente enlace web:
<http://www.revistadyna.com/dyna/documentos/pdfs/201104ago/boletinfaie2.pdf#page=7>

SEMINARIO INTERNACIONAL

**Energía e Industria:
Innovación y desarrollo tecnológico
en el nuevo escenario energético**

BILBAO • 10-11 NOVIEMBRE 2011 • Bilbao Exhibition Centre - BEC

EUSKO JAURLARITZA

INDUSTRIA, BERRIKUNTZA,
MERKATARITZA ETA TURISMO SAILA



GOBIERNO VASCO

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA,
INNOVACIÓN, COMERCIO Y TURISMO



EVE | Ente Vasco
de la Energía

Orkestra
INSTITUTO VASCO
DE COMPETITIVIDAD
FUNDACIÓN DEBUSTO



HiDry⁷², menor impacto ambiental para instalaciones eléctricas



La nueva gama de transformadores secos encapsulados al vacío de ABB de hasta 63 MVA y 72,5 kV de nivel de aislamiento, suponen la opción de menor impacto ambiental disponible hoy en día en el mercado para instalaciones eléctricas que requieren de altas potencias y tensiones. Su tamaño reducido, su alto nivel de seguridad frente a fenómenos sísmicos o incendios, su tasa cero de residuos contaminantes, desde la fase de fabricación hasta su instalación y puesta en marcha, lo convierten en la opción más adecuada para instalaciones eléctricas en parques eólicos, hospitales, aeropuertos, centros comerciales o cualquier otro edificio o infraestructura urbana, incluyendo subestaciones eléctricas, maximizando el rendimiento, la fiabilidad, y la eficiencia energética de las instalaciones. www.abb.es

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

DYNA transmite a los lectores, el punto de vista de los autores sobre la evolución de las conclusiones expresadas en su artículo.

TELEGESTIÓN Y COOPERACIÓN AL DESARROLLO, BINOMIO DE FUTURO EN ENERGÍAS RENOVABLES

David Borge Diez Ingeniero Industrial. (SIMELEC, S.L)

Publicado en DYNA (noviembre 2008)

RESUMEN DEL ARTÍCULO ORIGINAL

A pesar del incesante aumento en el precio del crudo así como de sus derivados, las energías renovables siguen sin sufrir el desarrollo necesario especialmente en cuanto a instalaciones de generación in situ. La energía solar térmica y la biomasa pueden cubrir la mayor parte de energía térmica necesaria en el sector residencial y mediano terciario y utilizarse en nuevas aplicaciones de frío solar, pero su difícil manejo por personal no experto es habitualmente una causa de recelo.

En este marco los sistemas de telegestión y monitorización se perfilan como una condición necesaria para dinamizar el mercado y aumentar el número de instalaciones. Del mismo modo, estos sistemas facilitarían la exportación de bienes y tecnologías a zonas en desarrollo donde las energías renovables pueden aportar soluciones de generación energética que mejoren las condiciones de vida de sus habitantes.

COMENTARIO ACTUAL

David Borge Diez Ingeniero Industrial.

La situación de crisis que afecta a la economía global ha tenido importantes repercusiones, algunas de las cuales no han sido favorables al desarrollo de las energías renovables y la aplicación de los sistemas de gestión remota.

La merma en la actividad económica ha propiciado una moderación en el alza del precio del crudo y los recortes presupuestarios de gasto acometidos por varios gobiernos han disminuido las primas e incentivos a este tipo de fuentes de energía haciendo aun menos atractiva la inversión en esta área. Los sistemas de telegestión han evolucionado y se han convertido en uno de los productos estrella de muchos fabricantes y desarrolladores si bien no han alcanzado el grado de desarrollo previsto ni necesario. Los sistemas fotovoltaicos conectados a red reúnen dos características básicas que los han hecho objetivo primordial para el desarrollo de equipos de control y telegestión: normalmente son inversiones de personal privado, por lo que el propietario quiere controlar la producción, y se encuentran en zonas de no fácil acceso. Estas características, unidas a que habitualmente la potencia de las plantas es pequeña, ha favorecido la aparición de equipos para medida fiscal con lectura remota así como de múltiples dispositivos tipo *data-logger*. A pesar de estos avances, recientes estudios como los realizados por la revista especializada *Photon* demuestran que de todos los equipos probados ninguno satisfacía completamente los requisitos exigibles ni se comportaba adecuadamente en el caso de aparición de un fallo en la planta.

El comienzo de una nueva etapa de crecimiento económico está provocando de nuevo la tendencia alcista en los precios del crudo, lo que, unido a los graves problemas medioambientales que acucian al planeta, propiciará un escenario positivo para el desarrollo de energías alternativas. Es en este escenario donde los sistemas de telegestión abordan un nuevo y revolucionario criterio de diseño que permitirá su integración completa así como el despegue definitivo de las tecnologías de energías renovables: la implementación paulatina de sistemas eléctricos distribuidos o *Smart Grids*. Según esta tipología, los consumidores eléctricos podrán convertirse también en generadores proporcionando de este modo energía a la red y se establecerá un protocolo de medida y control bidireccional que deberá ser comandado por un sistema de gestión y supervisión con componentes centralizados y remotos que garantice la seguridad de suministro, el menor consumo económico para el cliente y la integración correcta en la red.

UNA MEJORA DE PROCESO POR TÉCNICAS DE SIMULACIÓN DISCRETA: REDUCCIÓN DE “MURA” (2ª PARTE)

Julio César Puche-Regaliza.

(Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid).

José Costas-Gual.

(Fundación Parque Científico de la Universidad de Valladolid).

3.3 Construcción y verificación del modelo¹

La construcción de un modelo de simulación consiste en capturar lo más relevante del sistema real para comprender cómo el sistema trabaja. Para ello identificaremos los elementos, las variables y los eventos relevantes en cuanto al objeto del estudio. En cualquier caso, este proceso de abstracción debe ser lo suficientemente detallado como para que la información que se extraiga del modelo sea la misma que se extraería del sistema real si hubiéramos experimentado con él. De manera simultánea a la construcción del modelo

realizamos la verificación² del mismo, comprobando su idoneidad. Comprobamos que su arquitectura está libre de errores lógicos y de problemas de conducta, es decir, que el modelo se comporta de la manera que queremos que se comporte, llevando al usuario a un nivel de confianza adecuado [1].

Con esta metodología, hacemos crecer el modelo sobre un sustrato cada vez más grueso y confiable, ya que es verificado progresivamente. Los fallos a depurar sólo estarán, presumiblemente, en la capa que estamos añadiendo y/o en los acoplamientos. Para este último caso, se ha intentado diseñar acoplamientos muy robustos (*weak coupling*), es decir, se ha intentado que entre unos componentes y otros exista nula intrusión, lo cual es una muy importante característica de calidad en el diseño de sistemas complejos. Podemos ver en la Figura 4 el *TOP LEVEL* del modelo³ del caso expuesto en la 1ª parte (ver DYNA de agosto de 2011).

Antes de comenzar con la construcción del modelo, queremos resaltar en este punto el empleo de una estrategia de modelado incremental, de forma que en cada versión vamos agregando grado de detalle para ganar precisión y de técnicas de modelado inverso (modelado hacia atrás). Estas técnicas se caracterizan por estudiar los flujos desde la perspectiva del cliente y viajando aguas arriba (contra el flujo en vez de a favor de flujo). Su principal ventaja es que

en todo momento mantenemos al cliente a la vista. Cada vez que remontamos corriente arriba, ganamos el foco sobre el cliente, el cual ya está implementado. Además, ha sido implementado para satisfacer sus necesidades, no las necesidades de los proveedores.

De esta manera, cuando en el *TOP LEVEL* sólo tengamos implementado lo que podemos

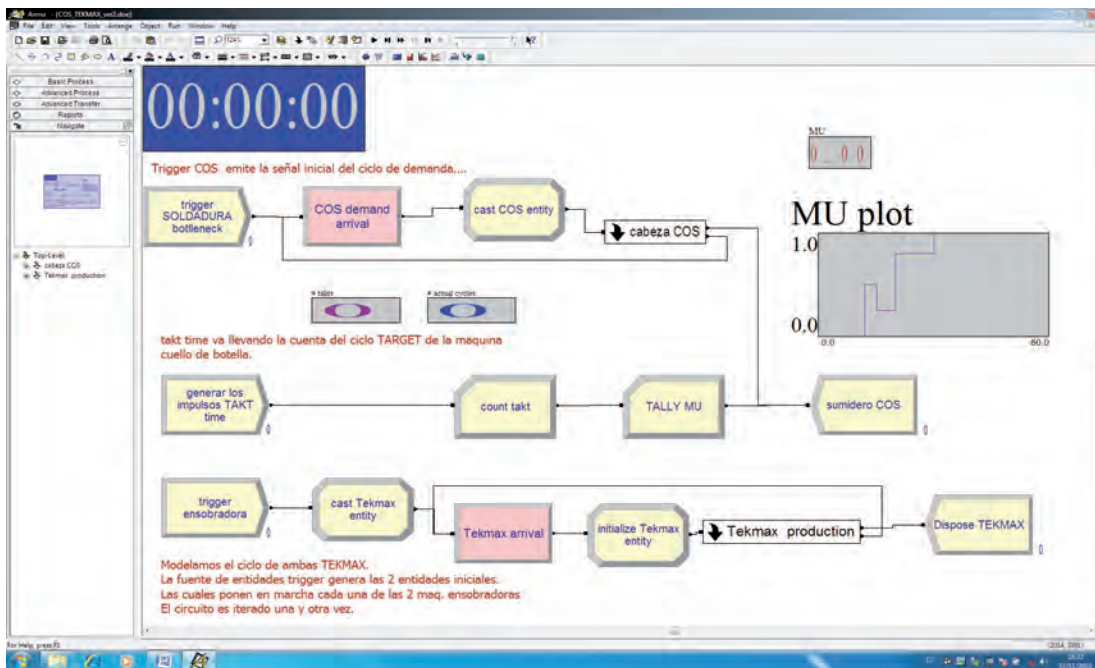


Figura 4: *TOP LEVEL* del modelo (elaboración personal).

¹ Para la construcción y verificación del modelo se ha utilizado el software ARENA® v.11 por tratarse de una de las herramientas más utilizadas en la industria para aplicaciones de simulación por eventos discretos.

² Para facilitar la verificación, se han utilizado ayudas visuales en las diferentes pizarras de construcción del modelo.

³ Para obtener el código del modelo contactar con los autores del trabajo.

ver representado en la Figura 4 (sin profundizar en los subsistemas), vamos a poder ejecutar el modelo y revisar el funcionamiento de este nivel inicial. Para ello se utilizarán componentes simples desechables, que posteriormente serán eliminados del modelo y que nos van a permitir adaptar las partes que faltan en dicho modelo aguas arriba.

Después de esta puntualización, comenzamos con la construcción del modelo. La primera hebra del modelo (parte superior de la Figura 4) representa el funcionamiento de la máquina de soldadura que precisamente, es el cuello de botella del sistema. Es un sistema iterativo que utiliza el subsistema cabeza COS para representar la propia máquina de soldadura. En este subsistema, se extrae una pieza de la cinta de transporte y se despacha en la máquina de soldadura durante un determinado tiempo de ciclo. Posteriormente se libera la máquina de soldadura y se incrementa el número de productos fabricados en cada unidad de tiempo.

La siguiente hebra (parte central de la Figura 4) tiene como cometido gestionar el *takt time*. En cada periodo de tiempo marcado como *takt time*, se incrementa en uno el recuento de los *takt times* transcurridos.

Por último, la hebra de la parte inferior de la Figura 4 tiene por objeto poner en marcha el sistema de las dos máquinas de ensobrado. Seguimos con la política de crear una entidad dedicada a gobernar el flujo por cada agente productivo. En este caso, una entidad por cada máquina de ensobrado. Estas dos entidades circulan de manera cíclica por la hebra utilizando el subsistema Tekmax *production*, el cual representa a las máquinas de ensobrado. Las máquinas de ensobrado deben ser capaces de mantener el stock en la cinta de transporte para nutrir a la máquina de soldadura. La lógica que sigue este subsistema es capturar los recursos para depositar una pieza en la cinta de transporte a la espera de que la máquina de soldadura la requiera, demorar el tiempo de la operación y por último, liberar los recursos.

Completamos así el modelo de un sistema en el que dos máquinas aguas arriba cooperan aportando caudal hacia una máquina consumidora aguas abajo. El sistema está apoyado por cintas de transporte, manipuladores y una nueva cinta de transporte para el acoplamiento entre las máquinas de ensobrado y la máquina de soldadura.

3.4 Análisis de escenarios alternativos.

En este apartado, analizamos diferentes escenarios alternativos a la situación actual. Se trata de que el modelo explique con un nivel de satisfacción⁴ adecuado (típicamente se trabaja con un error alfa del 5% como valor umbral) que los cambios propuestos significan una mejora significativa con respecto a la situación actual. Este análisis se divide en tres etapas (1) diseño de experimentos, (2) ejecución de los tratamientos del diseño y (3) conclusiones o propuestas de cambios [1]. En este trabajo, debido a la sencillez de los

experimentos realizados, pasamos directamente a la etapa de ejecución de los tratamientos del diseño, la cual nos permitirá extraer conclusiones en base a los resultados obtenidos y como consecuencia apoyar la toma de decisiones.

Procedemos por tanto a ensayar los diversos tratamientos (combinaciones de parámetros) para obtener un modelo matemático del sistema. Los parámetros (espacio de decisión) seleccionados para el estudio son los siguientes:

- La posible influencia de la velocidad de ciclo de la máquina de ensobrado lenta (máquina de ensobrado#1). (A_delta_CT_TM1).
- El tamaño de la cinta transportadora que abastece la máquina de soldadura. (B_acumSize).
- La capacidad del canal que fluye desde el manipulador para extraer de la cinta de transporte hasta la máquina de soldadura. (C_channel).
- El número adicional de slots con que dotamos a la cinta de transporte de la máquina de ensobrado lenta (máquina de ensobrado #1). (D_delta_cangil_TM1).
- La política de bloqueos de los elementos mecánicos que mueven el material por la instalación. (E_policy).

A continuación, diseñamos un experimento paramétrico ortogonal (matriz L8 de Taguchi) (Tabla 1), procedemos con la recolección de resultados y los procesamos con ANOVA-GLM [4]. La métrica Y para los resultados, es elegida en función de las principales preocupaciones para los clientes. Usaremos por tanto el indicador MU (aprovechamiento de la capacidad instalada) (apartado 3.1).

Una matriz con un diseño de experimentos (*inner array*) combina niveles de diferentes factores⁵. Cada factor está en una columna de la matriz. Cada fila de la matriz (tratamiento) representa una combinación de niveles de factores a experimentar. Cada fila es ensayada varias veces (réplicas) para estimar lo que es conocido como error experimental. El efecto de los factores (*main effects*) es estimado aplicando la técnica de la tabla ANOVA-GLM (análisis de la varianza) [4].

CT_TM1	acumSize	channel	cangil_TM1	policy
2	4	2	0	Débil
2	4	2	7	Fuerte
2	9	7	0	Débil
2	9	7	7	Fuerte
6	4	7	0	Fuerte
6	4	7	7	Débil
6	9	2	0	Fuerte
6	9	2	7	Débil

Tabla 1: Matriz L8 de Taguchi⁶ (elaboración personal).

⁵ Tales matrices están definidas en la literatura y en los productos de software estadístico.

⁶ Genichi Taguchi, ingeniero japonés creador, entre otros, de un método reducido de experimentos, expresado en matrices que representan los factores y niveles a considerar para los parámetros del proceso que se estudia optimizar.

⁴ Error alfa o error de 1ª especie que mide el riesgo de rechazar la hipótesis nula de un test, si en realidad la hipótesis nula fuera cierta.

El gráfico de efectos principales (Figura 10) muestra que la política de bloqueo es un factor aparentemente muy influyente en el modelo.

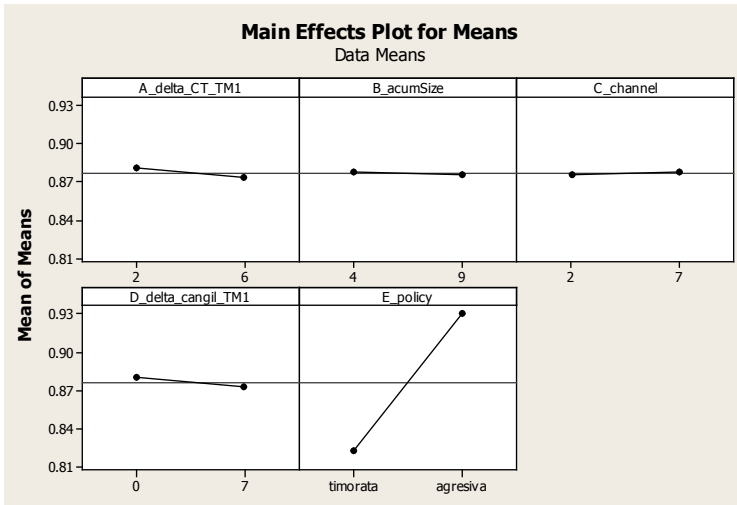


Figura 10: Gráfico de efectos principales (elaboración personal).

Y la tabla ANOVA-GLM lo confirma (Tabla 2).

Analysis of Variance for Y_MU, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A_delta_CT_TM1	1	0.0001125	0.0001125	0.0001125	9.00	0.095
B_acumSize	1	0.0000125	0.0000125	0.0000125	1.00	0.423
C_channel	1	0.0000125	0.0000125	0.0000125	1.00	0.423
D_delta_cangil_TM1	1	0.0001125	0.0001125	0.0001125	9.00	0.095
E_policy	1	0.0231125	0.0231125	0.0231125	1849.00	0.001
Error	2	0.0000250	0.0000250	0.0000125		
Total	7	0.0233875				

S = 0.00353553 R-Sq = 99.89% R-Sq(adj) = 99.63%

Tabla 2: Tabla ANOVA-GLM (elaboración personal).

Al 10% de significación estadística (valor umbral usual para evaluar los experimentos diseñados), la velocidad de ciclo de la máquina de ensobrado lenta (A_delta_CT_TM1), el número adicional de slots de la cinta de transporte de la máquina de ensobrado lenta (D_delta_cangil_TM1) y la política de bloqueo de los elementos mecánicos que mueven el material por la instalación (E_policy), son factores que influyen significativamente en la respuesta MU (aprovechamiento de la capacidad). A continuación, hacemos una predicción estableciendo los parámetros a los mejores niveles para MU (Tabla 3).

Taguchi Analysis: Y_MU versus A_delta_CT_TM1, B_acumSize, C_channel, D_delta_cangil_TM1, E_policy

Predicted values

Mean 0.9375

Tabla 3: Predicción de la respuesta promedio con los parámetros a sus mejores niveles (elaboración personal).

3.5 Validación (escenario recomendado)

Una vez identificado este tratamiento óptimo, realizamos la validación del escenario recomendado con

un test de hipótesis que contrasta si la capacidad con este tratamiento es significativamente mayor (o no) que con el tratamiento empleado normalmente. Dicho test de hipótesis nos ha permitido confirmar la hipótesis de partida ($H_A =$ La reducción de MURA en las líneas de fabricación, provoca un efecto favorable sobre la capacidad disponible), es decir, la capacidad de línea es superior con el tratamiento optimizado obtenido por diseño paramétrico versus el tratamiento ordinario utilizado en dicha línea.

4. CONCLUSIONES

Uno de los problemas más complicados de resolver en las líneas de fabricación, y que afecta claramente a su eficiencia, es la aparición de desperdicios (siguiendo la terminología del *Toyota Production System*). Dichos desperdicios se clasifican en tres grandes categorías según sea su naturaleza: MURI, MUDA y MURA. Este último, MURA, hace referencia a la falta de balance o mal equilibrado de las cargas de trabajo en las diferentes estaciones de una línea de fabricación. El equilibrado consiste principalmente en asignar las diferentes tareas a la secuencia ordenada de estaciones de trabajo, de tal manera que se satisfagan las relaciones de precedencia entre tareas

y se optimice una función objetivo. En este trabajo, la función objetivo ha sido alcanzar una explotación óptima de la capacidad disponible de la línea de fabricación.

Hemos utilizado técnicas de simulación discreta para mostrar el efecto favorable que la reducción de MURA provoca sobre la capacidad disponible en una línea de fabricación y como consecuencia en la productividad

de la cadena de valor. Concretamente, hemos empleado el diseño paramétrico para encontrar la combinación de parámetros de equilibrado de la línea de producción que mejora el resultado en términos de capacidad. En el apartado 3.4 indicábamos los factores considerados para el estudio del equilibrado de línea.

Con el diseño paramétrico, hemos encontrado el mejor tratamiento o la mejor combinación de niveles de los factores utilizados para equilibrar la línea. Una vez identificado este tratamiento óptimo, hemos realizado su validación con un test de hipótesis que contrasta si la capacidad con este tratamiento es significativamente mayor (o no) que con el tratamiento empleado normalmente. Dicho test de hipótesis nos ha permitido confirmar la hipótesis de partida ($H_A =$ La reducción de MURA en las líneas de fabricación, provoca un efecto favorable sobre la capacidad disponible), es decir, la capacidad de línea es superior con el tratamiento optimizado obtenido por diseño paramétrico versus el tratamiento ordinario utilizado en dicha línea.

La valoración de estas mejoras, se ilustra con el siguiente test de la mejora-verificación (Tabla 4). Es conocido

como test BEST versus CURRENT, es decir, compara los resultados con la configuración óptima contra los resultados de la configuración ordinaria. Hemos realizado una réplica de N = 30 repeticiones del proceso con los parámetros ordinarios, midiendo la KPI utilizada (MU en este caso). Posteriormente, se configuran los parámetros con sus nuevos valores, valores óptimos, y se replica el mismo número de veces. Se mide de nuevo la KPI utilizada. Esta cantidad de réplicas nos permite confiar en la no causalidad de los datos obtenidos. Por último, comparamos los datos obtenidos para la línea de base previa a la mejora con los datos obtenidos después de la mejora y verificamos si hay una diferencia significativa en la respuesta promedio de antes contra después. Para esta verificación se ha utilizado un test de medias 2-sample t.

ser aprovechado para evitar despilfarros en incrementar capacidad allí donde no se justifica, en ganar velocidad allí donde no es factible convertirla en caudal (flujo de bienes producidos) o en cuidar el diseño de las políticas de bloqueo (previsión de colisiones) estableciendo semáforos, pausas en los mecanismos seguidas de reactivaciones que logran la eficacia de proteger personas e instalaciones con la menor penalización posible en los rendimientos.

Por último, queremos finalizar planteando una serie de áreas de interés para examinar en trabajos futuros. En primer lugar, pretendemos producir modelos similares al construido para líneas de fabricación con diversas topologías (distribución en planta de medios de producción, materiales y utilidades), diversas operaciones, diversas condiciones de proceso y diversos ámbitos, para fortalecer la confirmación

Configuración ordinaria			Configuración óptima		
1	oct 10, 2009	82,0	1	nov 9, 2009	94,3
2	oct 11, 2009	85,5	2	nov 10, 2009	94,5
3	oct 12, 2009	81,5	3	nov 11, 2009	95,3
4	oct 13, 2009	88,1	4	nov 12, 2009	94,3
5	oct 14, 2009	86,4	5	nov 13, 2009	93,9
6	oct 15, 2009	85,1	6	nov 14, 2009	94,3
7	oct 16, 2009	87,9	7	nov 15, 2009	94,8
8	oct 17, 2009	84,1	8	nov 16, 2009	94,4
9	oct 18, 2009	80,9	9	nov 17, 2009	93,9
10	oct 19, 2009	84,8	10	nov 18, 2009	94,1
11	oct 20, 2009	85,1	11	nov 19, 2009	95,5
12	oct 21, 2009	81,3	12	nov 20, 2009	93,9
13	oct 22, 2009	86,4	13	nov 21, 2009	94,4
14	oct 23, 2009	86,2	14	nov 22, 2009	93,6
15	oct 24, 2009	81,6	15	nov 23, 2009	94,8
16	oct 25, 2009	82,3	16	nov 24, 2009	94,6
17	oct 26, 2009	84,5	17	nov 25, 2009	93,9
18	oct 27, 2009	88,5	18	nov 26, 2009	95,1
19	oct 28, 2009	87,4	19	nov 27, 2009	94,2
20	oct 29, 2009	86,5	20	nov 28, 2009	94,2
21	oct 30, 2009	83,8	21	nov 29, 2009	94
22	oct 31, 2009	83,0	22	nov 30, 2009	94,6
23	nov 1, 2009	82,7	23	dic 1, 2009	92,2
24	nov 2, 2009	86,2	24	dic 2, 2009	91,1
25	nov 3, 2009	85,1	25	dic 3, 2009	93,6
26	nov 4, 2009	83,1	26	dic 4, 2009	94,8
27	nov 5, 2009	84,4	27	dic 5, 2009	93,5
28	nov 6, 2009	82,8	28	dic 6, 2009	93,7
29	nov 7, 2009	82,3	29	dic 7, 2009	94,5
30	nov 8, 2009	84,8	30	dic 8, 2009	94

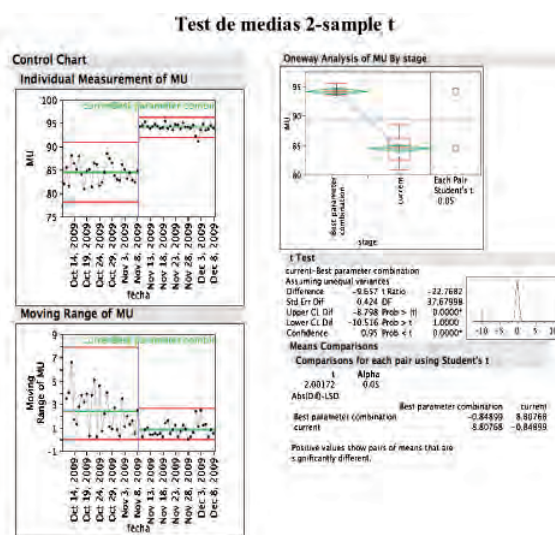


Tabla 4: Verificación de las mejoras aportadas por la nueva configuración (elaboración personal).

Esta confirmación complementa y refuerza la importancia del equilibrado de las líneas de fabricación, ampliamente estudiado por otros autores. El hecho de poner una línea a trabajar maximizando el flujo por el cuello de botella de la línea es un criterio de eficacia demostrada [7] y en el caso que nos ocupa, se ha tomado este criterio en combinación con el principio *Kanban* (reposición) del sistema *Toyota Production System*.

Vale la pena también destacar una segunda aportación de nuestro trabajo. Las enormes posibilidades que genera la combinación de técnicas estadísticas y experimentales con el modelado de sistemas mediante simuladores de eventos discretos. De hecho, uno de los valores más sustanciales de la simulación consiste en la ganancia de perspectiva y de examen de los detalles a los que nos obliga el proceso de modelado. Este conocimiento puede

de la hipótesis de partida. En segundo lugar, pretendemos incluir en otros trabajos todas las etapas definidas en la metodología para el estudio de un sistema real mediante técnicas de simulación discreta (Figura 2). Para ello será necesario encontrar un mundo del problema que sea poco sensible a las consecuencias de publicar los hallazgos encontrados.

PARA SABER MÁS

- [1] Banks J, Carson JS, Nelson BL. (1995). *Discrete Event Systems Simulation*. 2nd edition. Prentice-Hall.
- [4] Box G, Hunter W, Hunter J. (1978). *Statistics for Experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*. John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Goldratt EM, Cox J. (2004). *The goal: a process of ongoing improvement*. 3rd Revised Edition. North River Press.

Un nuevo horno con tecnología láser atrae el interés del sector cerámico

Investigadores del Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA) han desarrollado un horno con tecnología láser para la fabricación de materiales de construcción. Las empresas líderes del sector cerámico han mostrado su interés por este desarrollo, a raíz de su presentación en la pasada edición de CEVISAMA.

Fuente: ICMA (CSIC-UZ)



Presentación de la nueva tecnología en CEVISAMA.
Imagen: ICMA.

Aunque el uso de la tecnología láser en la industria cerámica no es una novedad, pues ya se está empleando en

el marcaje o la decoración de piezas, sí lo es el uso del láser en la cocción de cerámicas estructurales. Buena muestra de lo novedoso del método, son las patentes concedidas en EEUU, China y Europa.

Las altas temperaturas de cocción, requeridas para la fabricación de materiales cerámicos estructurales para la industria de la construcción (ladrillo, azulejos, tejas, etc.), pueden sobrepasar incluso los 1200 °C. Esto conlleva un elevado consumo energético y una alta emisión de gases de efecto invernadero.

Este horno además de trabajar en continuo, permite conseguir las propiedades mecánicas y estructurales necesarias para estos materiales,

trabajando a menores temperaturas de cocción, con la subsiguiente reducción de la demanda energética y de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las ventajas de esta invención no se quedan ahí, puesto que también evita el uso de fundentes y otras sustancias contaminantes, y permite alcanzar temperaturas extremas en la superficie del material, respetando la integridad de su volumen. Esto último es de gran importancia para realizar tratamientos superficiales conservando las propiedades de la pieza, evitando que se deforme o se rompa. Estos tratamientos superficiales le dan un valor añadido a la pieza, mejorando sus propiedades mecánicas y su estética. ■

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



I CONVOCATORIA DEL FONDO DE EMPRENDEDORES

Nos gustaría dar contigo
el siguiente paso hacia tu futuro

Preséntanos tu propuesta en la
**I Convocatoria del Fondo de Emprendedores
de Fundación Repsol**, que apoya
proyectos empresariales
en el campo de la eficiencia energética.

Impulsar el talento nos define.

Entra en fundacionrepsol.com e infórmate.

Propuestas para el desarrollo de la innovación

Un informe de The Royal Society

Fuente: The Royal Society

The Royal Society, Science Policy Center (<http://royalsociety.org>), es una Asociación con más de 1400 individuos de excepción en todas las áreas de la ciencia, las matemáticas, la ingeniería y la medicina británicas, que forman una red global del más alto nivel. Los Asociados están coordinados por un *staff* permanente de unas 130 personas que llevan el día a día de la gestión de la Sociedad y de sus actividades.

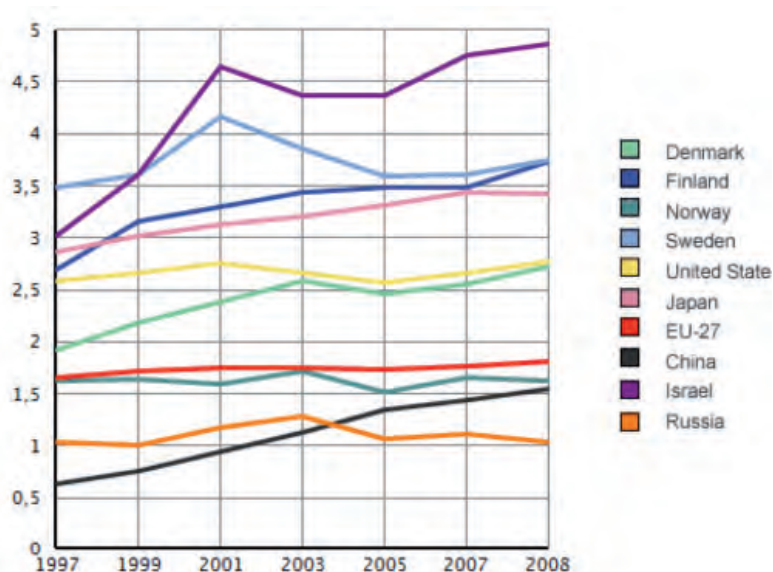
La Sociedad anima debates públicos sobre temas clave que afectan a la ciencia, a la ingeniería y a la medicina, y fomenta el empleo en la política de medios científicos de calidad contrastada. Se compromete a aportar el consejo de los mejores expertos independientes, uniendo a la experiencia de los miembros de la Sociedad y del extranjero, la de una amplia comunidad científica y de sus relevantes patrocinadores.

Con motivo del 350 aniversario de la fundación de la Sociedad en 1660, publicó el pasado año 2010 un informe titulado **THE SCIENTIFIC CENTURY** (*securing our future prosperity*), en el que analiza la necesidad y características de la I+D en el Reino Unido, efectuando una serie de “recomendaciones y acciones”, que no podemos por menos que resumir para los lectores de DYNA al final de estos comentarios.

Pero además de esas recomendaciones, se presentan a lo largo del informe algunas ideas interesantes que, a pesar de estar referidas al Reino Unido, merecen ser tenidas en cuenta por la similitud que pudieran tener con problemas también presentes en nuestro tejido tecnológico. En especial se aborda la necesidad de “poner en valor” de la

forma lo más rápida y eficiente posible las cuantiosas inversiones que supone la I+D, especialmente en lo que se ha dado en llamar “investigación básica”.

La dimensión geográfica aún es vital. Los esfuerzos de los gobiernos en aumentar el valor de la investigación universitaria son beneficiosos para la sociedad,



INVERSIÓN EN I+D COMO % DEL PIB

¿Cómo podemos aumentar el valor de la ciencia?

1.- *Colaboración Universidad – Industria.*

Hay un reconocimiento creciente en que, más que dirigirse al control de los fondos públicos, los gobiernos necesitan mejorar la calidad de las interacciones en el sistema relacional de la investigación. Las Universidades son muy innovadoras pero está claro que persisten algunos problemas sobre cómo los investigadores académicos abordan el camino que les engarza con las empresas.

Las mejores Universidades interactúan con las empresas globalmente y localmente. En la mayor parte de la economía intensiva en información se puede apreciar que no influye la distancia, pero en otros sectores la proxi-

pero también se pone de manifiesto que llevar este cambio de actitud demasiado lejos puede originar situaciones delicadas.

El intercambio de conocimiento es con frecuencia concebido como proceso en una sola dirección de transferencia. La innovación es en realidad mucho más abierta y multidireccional. Las empresas conceden gran importancia al intercambio informal y esto es típicamente marginado por las políticas estratégicas. Para aunar empresas y Universidades, formal e informalmente, sería preciso una acción sensible y sostenida: se ha encontrado recientemente que una gran proporción de empresas reportan barreras a esta colaboración.

2.- Fortalecimiento del negocio de la innovación.

El comparativamente bajo nivel de inversión en I+D del Reino Unido, 1,87% PIB (España estaba en 1,38% el año 2009), se debe en parte a su estructura económica, que está pasando en treinta años, de una economía enfocada a la producción industrial a otra dominada por el sector de servicios. A pesar de situarse éstos en las áreas de la ciencia y la tecnología, gastan menos en I+D formal que si fuera para fabricación. Pero ello no debe tampoco engañarnos, pues los Estados Unidos, que también tiene una economía similar en servicios, gastan en I+D una mayor proporción de su PIB. Queda pendiente el reto de incorporar a las PYME's al negocio de la innovación.

Año	% del PIB
1995	0,79
2004	1,06
2005	1,12
2006	1,2
2007	1,27
2008	1,35
2009	1,38

INVERSIÓN DE ESPAÑA EN I + D COMO % DEL PIB

Fuente: INE – 2010

3.- Gestión de la innovación.

Donde las grandes empresas industriales mantenían sus propios centros de investigación ahora, para tener nuevas ideas, debemos mirar a los clientes, a los competidores o a las Universidades. La innovación se vuelve más en red, la calidad de las relaciones con los partícipes es más importante y la gestión del conocimiento más complicada. Esta I+D tan abierta no elimina la necesidad de llevar a cabo un proceso de innovación propio: se desarrolla una mayor capacidad de absorción y de análisis de la información externa válida para aplicarla a sus propios procesos.

Un estudio en las empresas manufactureras ha encontrado que la característica básica de las que son innovadoras está en la capacidad de un mayor porcentaje de personal y

en sus conocimientos tácitos. Esta combinación de recursos tecnológicos y humanos precisa de una gestión eficiente. Es necesario invertir en la formación de los directivos para gestionar los procesos de innovación.

Recomendaciones y acciones

Recomendación 1: Situar la ciencia y la innovación en el corazón de la estrategia económica de crecimiento a largo plazo.

- Crear un nuevo marco a largo plazo diseñado para incrementar la inversión en ciencia e innovación.
- Establecer planes de inversión para un período de quince años (2011 – 2026).
- Priorizar las inversiones en capital científico, comprendiendo infraestructura y formación.
- Incrementar las ayudas fiscales a la I+D.

Recomendación 2: Priorizar la inversión en personas excelentes.

- Dirigir una mayor proporción de fondos a detectar investigadores líderes.
- Aumentar la duración y calidad de la formación de UK PhD.
- Ayudar a la formación en habilidades de transferencia para investigadores.
- Aumentar el número de becas postdoctorales.

Recomendación 3: Fortalecer el uso de la ciencia por el Gobierno.

- Revisar el gasto en ciencia estratégica por los Departamentos del Gobierno.
- Ampliar la iniciativa de investigación en pequeñas empresas a ayudar en inversiones innovadoras.
- Disponer de Asesores Científicos Jefes Departamentales con mayores recursos.
- Asignar un Asesor Científico Jefe al HM Treasury.

Recomendación 4: Reforzar la posición del Reino Unido como núcleo de ciencia e innovación globales.

- Ampliar el alcance geográfico de la UK Science and Innovation Network.

- Aumentar las ayudas a mecanismos como el esquema de “puentes científicos” que enlazan a grupos de investigación del Reino Unido con socios de ultramar.
- Incentivar más a los mejores científicos del mundo a permanecer o a recolocarse en el Reino Unido.
- Mejorar las condiciones de visado a científicos o investigadores visitantes en el Reino Unido.

Recomendación 5: Alinear mejor a la ciencia y a la innovación con los retos globales.

- Crear programas sólidos con objetivos de investigación, liderados por los Royal Councils¹⁾ para coordinar los intereses científicos, comerciales y públicos.
- Reformar los presupuestos y asignaciones para apoyar e incentivar la investigación interdisciplinar.
- Utilizar el diálogo público – privado para ayudar a identificar y definir aquellos retos.
- Delimitar las contribuciones departamentales a las áreas de investigación prioritarias.

Recomendación 6: Revitalizar la educación en matemáticas y ciencia.

- Facilitar incentivos para reclutar, retener y atraer profesores de asignaturas científicas.
- Comprometerse en aumentar el número de profesores de primaria con conocimientos científicos.
- Organizar grupos de expertos para asesorar en el desarrollo de currículos y calificaciones en ciencia y matemáticas. ■

NOTA

En el Gobierno del Reino Unido existen siete Royal Councils para la gestión de los presupuestos y actividades de I+D:

- Arts and Humanities Research Council.
- Biotechnology and Biological Research Council.
- Engineering and Physical Sciences Research Council.
- Economic and Social Research Council.
- Medical Research Council.
- Natural Environment Research Council.
- Science and Technology Facilities Council.

El proyecto de puerto móvil (MH)

Fuente: KAIST

Desde 2009, la República de Corea está trabajando en un proyecto dotado con unos 16 millones de euros y que se extenderá hasta 2012. Su objetivo es el diseño de un “puerto móvil de contenedores” que facilite a puertos actuales casi saturados o a los que no puedan acceder los grandes buques, la recepción del tráfico de contenedores que se prevé en un intenso incremento anual del 8%. La ampliación del Canal de Panamá a buques mayores, supondrá igualmente la aparición de unas dimensiones para las que algunos puertos no están preparados en profundidad de calado o en longitud de muelles.

Los trabajos de I + D están liderados por el *Instituto Avanzado de Ciencia y Tecnología de Corea (KAIST)*, junto con otras universidades, astilleros y empresas mecánicas del país. Las etapas previstas son:

1. En 2009: Desarrollo de la tecnología básica.
2. En 2010: Desarrollo de la tecnología práctica.
3. En 2011: Desarrollo de prototipos prácticos.
4. En 2012: Desarrollo de la tecnología de aplicación y normalización.

La solución a los problemas expuestos para los puertos tradicionales pasaría por ampliarlos o construir nuevos. Con frecuencia eso no es sencillo por suponer agresiones medioambientales o necesitar inversiones que



Variante A1-250 para uso como puerto móvil

muchos países no pueden afrontar. También cubre la necesidad de facilitar operaciones rápidas de carga y descarga así como un eficiente trasvase de los contenedores a la red de transportes terrestre o a otros portacontenedores en tránsito.



Artefacto móvil A1-250

Por eso la solución propuesta se basa en desarrollar una tecnología de artefactos flotantes móviles que sean capaces de desplazarse desde los muelles de los puertos existentes al lugar de fondeo de los portacontenedores y efectuar allí las operaciones pertinentes. Para ello el proyecto debe abordar las siguientes áreas de I + D:

- Diseño de los artefactos flotantes.
- Sistema de carga / descarga de alta eficiencia.
- Fondeo y anclaje.
- Sistema de atraque y de planificación / control de las operaciones.

Las distintas necesidades a cubrir han dado lugar a dos líneas de productos: la de tipo A, que se abordará en primer lugar, para unidades integradas de carga / descarga y transferencia y la de tipo B, que se estudiará posteriormente, para unidades con ambas funciones por separado. A su vez cada una podrá tener subproductos, por ejemplo el tipo A1-250 de menor capacidad con poco calado, que podría acceder incluso a puertos fluviales, o el A1-700/1200 para atender a grandes portacontenedores con elevada cantidad de operaciones.

Las ideas generadas por el proyecto van dando lugar a varias patentes y numerosas aplicaciones. Las más notables, hasta ahora, han sido las siguientes:

- Estabilización de la grúa basada en el ZMP.

El concepto de *Punto de Momento Cero (ZMP)* ha sido aplicado para asegurar suficiente estabilidad a las tareas de carga / descarga con olas de hasta 2 a 3 metros y esto independientemente de los movimientos del artefacto flotante.

- Amarre buque a buque.

Se ha diseñado un complejo sistema híbrido de brazo robótico y cabrestante de cable para establecer y mantener una unión estable entre el artefacto puerto móvil y el portacontenedores.

- Control de la posición de cargas.

Control de las distancias para facilitar la toma y depósito de los contenedores por la grúa.

- Transferencia rápida a muelles.

Sistema basado en el concepto *roll-on/roll-off* para facilitar la descarga de los contenedores del puerto móvil al muelle.

- Sistema de planificación y operación.

Desarrollo de un sistema informático, incluyendo un simulador virtual para comprobar los resultados operativos.

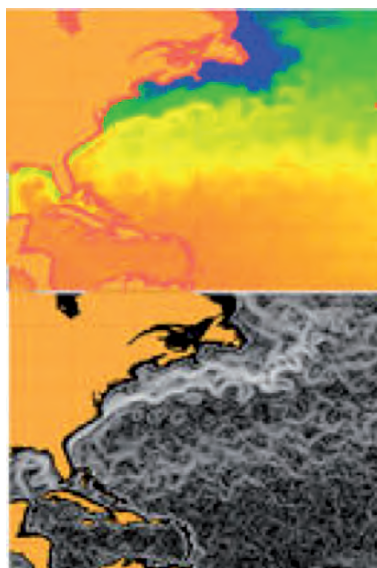
Además de las necesarias simulaciones virtuales, se ha preparado un estanque para la investigación y un modelo a escala del A1-250 ha sido ensayado con éxito para validar las operaciones en condiciones comparables con las reales.

En lo que respecta al aspecto comercial, se han recibido ya cartas de intención por parte de diferentes armadores y ciudades, interesándose por estos puertos móviles, el astillero coreano *Daewoo* podría cooperar en realizar la inversión necesaria para la construcción del mismo y la empresa *DMC* en desarrollar y fabricar las grúas correspondientes. ■

Un nuevo algoritmo puede multiplicar por diez la capacidad de la señal digital

Investigadores del Instituto de Ciencias del Mar del CSIC han desarrollado un potente método de análisis de singularidades en señales digitales que permite detectar y reconocer patrones a partir de imágenes o series de datos. El método, patentado a nivel mundial, permite reconocer estructuras, reconstruir imágenes y comprimir y mejorar la señal. Pero, sobre todo, destaca porque permite obtener información relevante a partir de un conjunto muy pequeño de datos.

Fuente: CSIC



Identificación de las corrientes del mar (debajo) a partir de imágenes de temperatura de la superficie del mar (arriba).

Si uno no se sienta a la definición matemática, las singularidades pueden describirse como puntos que indican un cambio inesperado. En un espacio homogéneo, la singularidad está en los puntos menos regulares, son saltos que indican que algo sucede. Así, un retrato que va perdiendo resolución mantiene, aun cuando se ve borroso, las líneas del contorno del cuerpo y las facciones: son esos puntos singulares que revelan la información principal de la imagen.

El algoritmo, patentado a nivel mundial, permite aplicaciones muy diversas que van más allá de la oceanografía: desde delimitar los contornos difusos y cambios sutiles en imágenes para el diagnóstico médico, hasta detectar defectos en materiales. También permite apreciar ondas internas en mar abierto y líneas de corriente del flujo oceánico, localizar barcos en mar abierto a partir de imágenes de bajo contraste y reconstruir imágenes a partir de muy pocos datos, lo que implica que permitiría mejorar la capacidad de compresión de la señal digital.

Otra aplicación interesante es el reconocimiento del habla. Más usos del algoritmo son el análisis de campos de viento —útil en la meteorología, en estudios aerodinámicos o en el diseño de campos de aerogeneradores— o el análisis de los movimientos bursátiles. ■

Más información:

<http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2010/04/selective-laser-melting.jsp>

28 Mayo - 2 Junio

2012

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

BIEMH
BILBAO EXHIBITION CENTRE

EXPOSSIBLE!

www.biemh.com

Un diamante con un defecto central para medir campos eléctricos

Fuente: Cordis

La comunidad científica es consciente de la importancia de los campos eléctricos tanto en el ámbito técnico como en la naturaleza. Mediante el ajuste de estos campos es posible transmitir impulsos nerviosos e incluso almacenar datos en memorias Flash mediante la grabación de cargas eléctricas. Lo que aún no se había logrado es medir con una precisión prácticamente absoluta campos eléctricos mediante técnicas de medición física. Científicos de la Universidad de Stuttgart (Alemania) han logrado medir campos eléctricos mediante un diamante con un defecto único en su centro. El estudio, financiado en parte por la Unión Europea, se ha publicado en la revista *Nature Physics*.

Expertos en la materia indican que la medición de campos eléctricos pequeños en función de la carga no es tarea fácil. Por ello el equipo de la *Universidad de Stuttgart* creó un nuevo sensor de átomo único. Según informaron, este átomo de nitrógeno es una impureza capturada en un diamante.

El equipo informó que la retícula del diamante «fija» el átomo y permite que un láser se dirija al centro de la vacante cristalina nuclear. «La interacción del átomo con el campo medido puede determinarse mediante la luz emitida por la impureza y, de este modo se posibilita el medir campos eléctricos de tan sólo una fracción del campo eléctrico de una carga elemental a 0,1 micrómetros de distancia», explican los científicos.

Debido a que el sensor tiene el

tamaño de un átomo, los científicos pueden medir campos eléctricos con idéntica precisión espacial. La lectura óptica realizada por el sensor permite situar el campo en cualquier tipo de geometría. La sensibilidad y la resolución del proceso se mantienen en condiciones normales y a temperatura ambiente.

Este descubrimiento permite medir campos eléctricos y magnéticos en un único emplazamiento sin necesidad de cambiar el sensor.

Gracias a este avance surgirán nuevas aplicaciones. Medir la distribución de los momentos magnéticos de los núcleos de los compuestos químicos al mismo tiempo es un ejemplo. La estructura de una sustancia y su reactividad química pueden medirse de forma simultánea. ■

Soportes de goma para la eliminación del ruido del tráfico

Fuente: Trelleborg



Mediante tecnología de vanguardia, un lujoso edificio de Londres ha sido aislado del ruido y la vibración del tráfico, incluyendo una línea de metro cercana.

El edificio *Park House* – en *Oxford Street*, en el corazón del *West End* londinense– albergará apartamentos, tiendas y oficinas de lujo. Empezó a construirse en mayo de 2010 y, en junio, la

propiedad fue adquirida por la empresa catarí *Barwa Real Estate Company*, dueña de varios inmuebles emblemáticos en Londres, incluyendo *Harrods*.

Uno de los grandes desafíos fue la proximidad con la estación *Marble Arch* del metro londinense, con el paso de trenes causando vibración y ruido. Por eso se consultó a los especialistas en acústica de *Hann Tucker Associates* que, a su vez, invitaron a *Trelleborg* a colaborar en la formulación de una estrategia. Las dos empresas han trabajado juntas en numerosas ocasiones en el diseño y suministro de apoyos de caucho, desarrollados y fabricados individualmente, que se instalan debajo y en el interior de edificios, para evitar de este tipo de problemas.

Park House descansa sobre 363

apoyos de caucho que miden 500 milímetros de lado y 140 milímetros de alto. Están instalados en el subsótano, bajo los dos pilares centrales del edificio y soportan una carga vertical de 28.000 toneladas.

En otras partes del edificio, se usan otros tres tipos distintos de apoyo, cada uno diseñado y probado individualmente. En el plano práctico, es esencial que los apoyos se instalen en las posiciones correctas. Cada uno debe marcarse e identificarse individualmente, para excluir cualquier posibilidad de error en el ajetreo de una obra de construcción. El máximo nivel de aislamiento del ruido y de la vibración se reserva para la tercera planta, donde empieza el espacio residencial de lujo. ■

FECYT califica como excelente a la revista de Ingeniería DYNA

Después de su inclusión en SCOPUS en 2009 y la publicación de su factor de impacto en Journal Citation Reports de 2010, la revista DYNA obtiene un nuevo reconocimiento de calidad editorial con el certificado de excelencia de FECYT



La Fundación Española para la Ciencia y Tecnología (FECYT) ha llevado a cabo durante el año 2010, un proceso de evaluación de calidad de las revistas científicas españolas.

En el marco del Plan Estratégico de FECYT en el vector Integrar y Medir, que tiene por objeto liderar el proceso de integración y racionalización de la información y métricas de la ciencia y la innovación, una de las actividades prioritarias es la de favorecer la visibilidad y posicionamiento de la producción científica y de la innovación española con alcance internacional.

En este sentido se desarrolla la línea de trabajo de Apoyo a la Profesionalización de revistas científicas españolas, que pretende ayudar a las publicaciones de calidad demostrada en su profesionalización e internacionalización.

La convocatoria de FECYT se ha realizado de forma coordinada con el proyecto I3C, “Índice Iberoamericana

de Investigación y Conocimiento”. El proyecto I3C establece una actuación del MICINN para el apoyo a las revistas científicas mediante una encomienda de gestión al CSIC y se concreta en el desarrollo, gestión y operación de una infraestructura, concebida como un sistema de información abierto de contenidos científicos en todas las áreas del conocimiento.

La resolución definitiva de la convocatoria establece que la revista

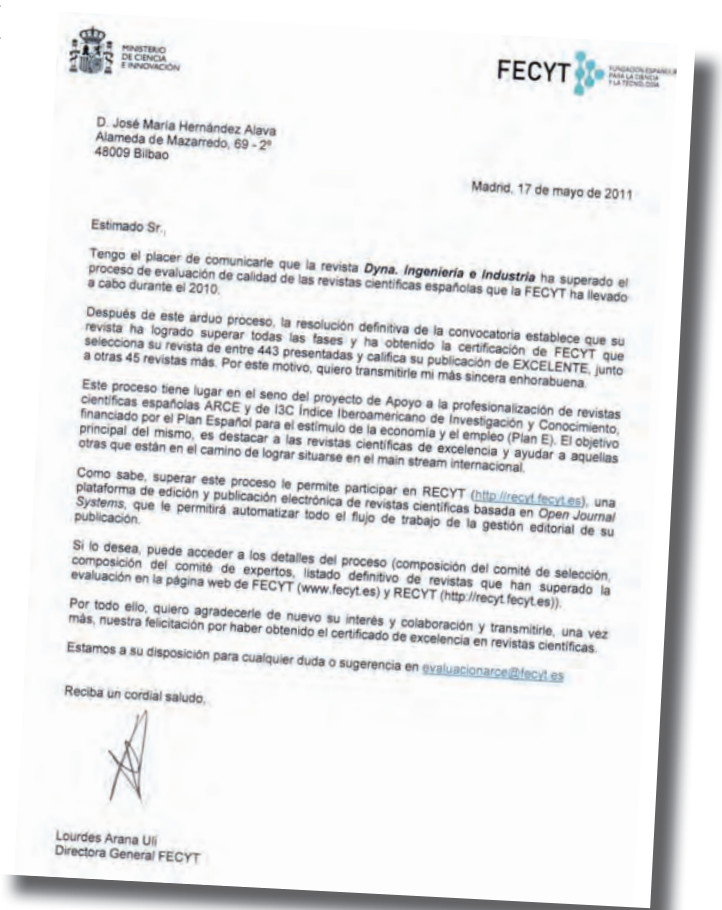
DYNA Ingeniería e Industria ha logrado superar todas las fases y ha obtenido la certificación de FECYT que califica a DYNA como EXCELENTE.

De las aproximadamente 2.000 revistas científicas españolas existentes en todos los campos de la ciencia, 443 se han presentado a este proceso, obteniendo la calificación de EXCELENTE 45 de ellas.

Se puede acceder a los detalles del proceso (composición del comité de selección, composición del

comité de expertos, listado definitivo de revistas que han superado la evaluación en la página web de FECYT (<http://www.fecyt.es>) y RECYT (<http://recyt.fecyt.es/>).

DYNA quiere compartir este premio y felicitar el trabajo de todos sus colaboradores en su edición (Autores, evaluadores, consejo de administración, redacción y asesor) por haber obtenido el certificado de excelencia en revistas científicas. ■



Una bomba de calor para 10.000 años

Fuente: Universidad de Stavanger



Investigadores de la Universidad de Stavanger

están probando una bomba de calor muy innovadora. Mientras que las que usamos hoy en día duran 10 o 20 años, la nueva bomba tendrá una duración casi eterna.

Esta bomba de calor se compone de muchas bombas de calor en miniatura del tamaño de un milímetro cúbico. Para calentar una casa se necesita varias miles de ellas. Se juntan en unidades más grandes que pueden adoptar cualquier dimensión.

Las ventajas más importantes de la nueva bomba de calor es que se puede regular su tamaño y forma y que es

más duradera que las bombas de calor actuales. También es más respetuosa con el medio ambiente, dice **Jan Kåre Bording**, que es el ingeniero jefe de la Universidad de Stavanger en Noruega.

Según los investigadores la bomba de calor estará completamente desarrollada y lista para ser lanzada al mercado en cinco o diez años.

Una bomba de calor que dura

Las bombas de calor termo-eléctricas hacen uso de materiales que producen electricidad cuando son sometidos a diferencias de temperatura.

Las bombas de calor que utilizamos hoy en día consisten en varias partes móviles y por lo tanto, después de cierto tiempo, estas partes se estropean y deben de ser cambiadas.

La nueva bomba de calor se compone de varias bombas de calor en miniatura con un diseño muy simple. Al

contrario de las bombas de calor actuales, estas bombas de calor en miniatura tienen una única pieza y por ello es más fácil evitar su deterioro. Aunque falle alguno de sus minúsculos elementos, el resto de ellos pueden seguir funcionando manteniendo la funcionalidad de la Bomba.

Miles de bombas en una casa

Las bombas de calor pequeñas se pueden unir y formar unidades mayores. Puede ser posible colocar varios miles de bombas de calor pequeñas en diferentes lugares de la casa.

Las bombas de calor no han cambiado mucho en los últimos años. La primera se hizo hace 150 años. Si algo revolucionario les sucede, es una gran noticia.

Además, estas bombas de calor serán más respetuosas con el medio ambiente ya que no utilizan gas. ■

FORMACION PROYECTO ZERO PLAN DE MOVILIDAD PLANES DE AUTOPROTECCION OHSAS 18001 1

Sociedad de Prevención de Mutuaia pone a disposición de las empresas las ACTIVIDADES que como Asesoría de Prevención ofrece:

Formación

- Cursos de Primeros Auxilios.
- Cursos de Reeducación de la voz.
- Cursos de manipulación de personas (ancianos, pacientes, niños).
- Cursos para la obtención de la TPC homologados por la Fundación Laboral de la Construcción.

Proyecto ZERO

Proyecto de reducción de la siniestralidad laboral.

Plan de Movilidad

- Diseño e implantación de Planes de Movilidad en las empresas y su seguimiento.
- Formación específica en Conducción segura.

Planes de Autoprotección

- Elaboración e Implantación de Manual de Autoprotección conforme al RD 393/2007 (Simulacros).

Ohsas 18001

Diagnóstico, implantación y auditoría interna del sistema.

Talleres de Psicología Aplicada

Propuestas Formativas:

- Gestión de conflictos y sistemas para su resolución.
- Habilidades para gestionar personas.
- Atención a personas (clientes, usuarios).
- Liderazgo.
- Dinámica de grupos.
- Gestión y Reducción del absentismo.

Propuestas de Intervención:

- Diagnóstico de Conflictos.
- Diseño de sistemas para resolver conflictos.
- Mediación Externa.
- Supervisión Equipos y Coaching en Gestión de Conflictos.
- Programa de Gestión y Reducción de Absentismo Laboral.
- Psicoterapias Individuales.

PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES



Gestionamos las Bonificaciones de la FUNDACIÓN TRIPARTITA.

Más información en nuestra página web www.spmutualia.es



sociedad de prevención de
mutualia

902 540 150
www.spmutualia.es

La carrera por el coche de mañana

Fuente: Minett Media



Pulverizar récords de velocidad quizás no sea la actividad habitual de una universidad, pero es lo que está haciendo la *Universidad del Estado de Ohio* (OSU), en Estados Unidos.

Por supuesto, a **Giorgio Rizzoni** le encanta trabajar en la investigación de sistemas de propulsión de vehículos del futuro, incluyendo motores híbridos, baterías y pilas de combustible. Pero lo que realmente motiva a este científico italoamericano es ayudar a sus estudiantes a llevar al límite la tecnología actual de automoción, fijando nuevos récords de velocidad para vehículos eléctricos.

Poco después de incorporarse a la OSU como profesor e investigador en 1990, Rizzoni fue nombrado administrador del equipo estudiantil de monoplazas eléctricos. Después de ganar tres títulos en campeonatos entre universidades nacionales, el equipo quiso acometer un reto mucho mayor: establecer récords de velocidad para vehículos eléctricos.

Rizzoni tiene su despacho en el CAR, una instalación de 3.250 metros cuadrados. Allí supervisa el trabajo de 30 investigadores que desarrollan y prueban una diversidad de piezas y sistemas de automoción, a menudo por encargo de fabricantes de automóviles.

El proceso de establecimiento de récords, obliga a los estudiantes a aprender a fijar metas y gestionar su tiempo, y los ayuda a comprender cada

aspecto del proceso de automoción, desde la aerodinámica y el diseño hasta sistemas electrónicos y motores avanzados. También le brinda a los estudiantes la oportunidad de aportar ideas innovadoras en productos actuales y, quizás, hasta crear soluciones nuevas”.

Los resultados hablan por sí solos. Además de establecer la plusmarca actual de 507 Km/h para un vehículo eléctrico alimentado por batería en 2004 y la plusmarca mundial certificada por la FIA de 495 km/h en 2010, los estudiantes de la OSU construyeron un vehículo eléctrico alimentado por hidrógeno que pulverizó el récord anterior de 140 km/h al alcanzar una velocidad de 488 km/h en 2009. El equipo espera ir aún más deprisa en 2012 con un nuevo coche alimentado por una batería de iones de litio, la tercera generación del *Buckeye Bullet Streamliner*.

Rizzoni afirma que los resultados del equipo de carreras –y sobre todo los conocimientos que los estudiantes han adquirido durante el proceso de desarrollo– les han ayudado a conseguir empleos de ensueño con algunos de los fabricantes de automóviles más importantes del mundo. Todos volcados en el diseño y construcción de automóviles capaces de cumplir normas de consumo y emisiones cada vez más estrictas.

“En 2016, todavía veremos los mismos coches y las mismas tecnologías que vemos hoy, pero habrá más coches de tamaño medio y compacto, y menos todo-terrenos y furgonetas grandes”, dice Rizzoni. El futuro de la “movilidad individual”, añade, probablemente residirá en diminutos “coches de ciudad” que empiezan a verse en capitales europeas como Roma.

“Creo que la gente estará más dispuesta a comprar vehículos especializados, más adaptados a

los trayectos cortos en ciudad, en lugar de exigir que cada vehículo sea capaz de transportar cinco personas, el perro, la compra de la semana y hacer 640 kilómetros antes de repostar”, dice Rizzoni. “Los motores actuales consumen menos combustible y son más pequeños. Ford, por ejemplo, está reduciendo significativamente la producción de motores de ocho cilindros y, en su lugar, se centra en motores de seis y cuatro cilindros. Además, está invirtiendo enormes sumas en la turbo-alimentación, que puede entregar una potencia adicional durante periodos breves, y la vincula al concepto de un híbrido enchufable que combine el aporte de energía de un combustible con la energía de la red eléctrica o una fuente alternativa. También estudiamos otros combustibles posibles, que incluyen combustibles fósiles como el metano y el gas natural, así como biocombustibles como el etanol y la electricidad”, añade Rizzoni. “Mi propia especialización son los sistemas de control, que incluyen el control y gestión de estos distintos sistemas de combustible para que puedan dar lo máximo de sí”. “Aparte del combustible y las baterías, el factor que más influye en la eficiencia energética es la masa. Cuanto más ligero es el vehículo, menos combustible quema; es así de sencillo. Así que también estudiamos materiales ligeros como el aluminio, el magnesio y el plástico, y sus aplicaciones como sustituto del acero estampado”. ■

Las implicaciones globales del desarrollo económico de China: Sostenibilidad Energética

Autores: Javier Cavada, María Ángeles Cavia y Mario Mañana Canteli

Como nueva superpotencia económica, China se ha convertido en una pieza fundamental del mercado energético mundial del siglo XXI, y la sostenibilidad de su desarrollo tiene implicaciones directas para todo el planeta desde el punto de vista energético y medioambiental.

Recientemente China superó a Japón como el segundo mayor consumidor de energía del planeta, acercándose al actual líder, los Estados Unidos. La economía china es la que más ha crecido globalmente durante los últimos 30 años, con un incremento medio anual de su PIB del 10%. Como consecuencia, 20 de las 30 ciudades más contaminadas del mundo se encuentran en China. De hecho, en 2007 China superó a los Estados Unidos como mayor emisor de CO₂, adelantándose una década a las predicciones que estimaban que esto ocurriría entorno al 2018.

“Como vaya China, así irá el mundo” (Fisher-Vanden, 2009) se trata de una cita muy adecuada, en lo referido a la composición de su consumo energético y la sostenibilidad

de los recursos utilizados para producir esa energía. La siguiente figura muestra las fuentes de las que procede la energía consumida en China durante 2010.

Cabe destacar que la contribución de la energía nuclear apenas supera el 1% del consumo anual. Sin embargo en la actualidad China cuenta con 13 centrales nucleares en activo, además de otras 28 en construcción. El gobierno chino planea construir 20 nuevas centrales antes del 2020, con el objetivo de triplicar la producción eléctrica. Estos planes de expansión nuclear se han visto frenados como consecuencia de la tragedia ocurrida en **Fukushima** (Japón).

En lo referente a energías verdes, la generación mundial de energía eólica creció un 22,5 % en 2010 debido principalmente al impulso de China, a quien corresponde la mitad de este crecimiento. Hasta 2009 Estados Unidos ha sido líder mundial en generación de energía eólica, pero en 2010 China ha superado todas las expectativas colocándose en primer lugar, con un 21% de la capacidad mundial, mientras en 2008 tan solo generaba una 10%. En 2011 se prevé que su cuota global supere el 25%.

En las próximas décadas hasta el 2030 China reforzará su posición como el mayor consumidor de energía del planeta, siendo el carbón la principal fuente de generación. La industria seguirá siendo el sector con mayor consumo, aunque su contribución disminuirá debido al incremento de la demanda energética de sectores como el residencial y los transportes.

Asimismo China seguirá reduciendo su intensidad energética de aquí hasta el año 2030, debido en gran parte a las acertadas políticas implantadas por el gobierno. La

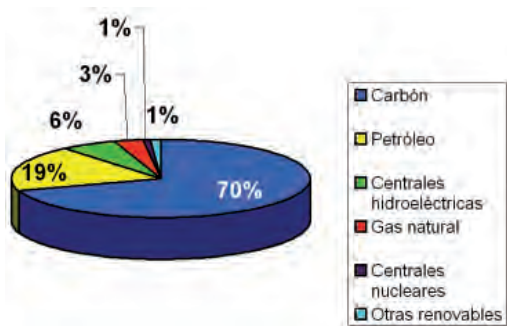
eficiencia energética continuará aumentando, y como consecuencia la economía del país continuará creciendo. En el resultado de ambos crecimientos no será evidente una reducción del consumo energético, pues la actividad será mayor.

Al mismo tiempo, la evolución del modo de vida en los hogares chinos tendrá capital importancia en el futuro energético del país, en lo que se refiere a los patrones de consumo. Históricamente el consumo energético en China ha sido dominado por la industria. Esto está cambiando pues, en un futuro a corto plazo, los hogares aumentarán extraordinariamente su demanda de energía para satisfacer sus necesidades de transporte y de confort.

Las implicaciones globales del futuro energético de China son evidentes. Como mayor consumidor mundial de energía y mayor emisor mundial de gases contaminantes, el éxito o el fracaso de sus esfuerzos para lograr un desarrollo sostenible determinarán la disponibilidad global de los recursos naturales, la situación medioambiental en todo el planeta y en consecuencia afectará directamente a la forma de vida de la población mundial.

BIBLIOGRAFÍA

- Fisher-Vanden K. (2009) "Energy in China: Understanding Past Trends and Future Directions". *International Review of Environmental and Resource Economics*. Vol. 3 p. 217 – 244.



Consumo energético en China por tipo (año 2010).

La Freedom Tower será más verde con energía producida por pilas de combustible

Proporcionarán energía y calefacción al proyecto global de la Zona Cero

Fuente: Greeecomomix

El edificio Freedom Tower, construyéndose en el área que ubicaba el World Trade Center y sustituto de las destruidas Torres Gemelas, en la llamada Zona Cero, recibirá energía y calor para sus sistemas de calefacción y refrigeración producida con pilas de combustible.

La New York Power Authority (NYPA) ha pedido a UTC Power, división del Grupo United Technologies para pilas de combustible, 12 unidades totalizando 4,8 Mw de potencia generadora para el servicio de la Freedom Tower y de otros tres nuevos rascacielos que se construirán en esa Zona Cero.

Esta instalación será una de las mayores del mundo de tipo estacionario para el suministro de energía a edificaciones y el costo de cada unidad instalada ronda el millón de dólares, lo que supone un considerable ajuste de los precios en relación con la potencia de la misma. El fabricante asegura que la energía producida será competitiva con los precios de mercado de las redes eléctricas.

UTC Power construye pilas de combustible de las cinco tecnologías más usuales:

- Alcalinas
- De membrana para intercambio de protones (PEM)

- De ácido fosfórico (PAFC)
- De óxido sólido (SOFC)
- De carbonato fundido (MCFC)

En este caso, las unidades serán del tipo PAFC, con electrolito de ácido fosfórico, que se ha probado como el más adecuado para aplicaciones

estáticas combinadas de producción de calor y energía. Con alimentación directa de gas natural, la salida eléctrica de la unidad es ya en corriente alterna de red y pueden alcanzar un rendimiento del 90% cuando se utilizan plenamente. Su ciclo productivo es de 10 años y la vida útil de 20. ■



Infografía de Manhattan con los nuevos edificios de la Zona Cero



Estado de las obras en la Zona Cero a 17 de junio de 2011



Modelo PureCell de pila de combustible del tipo PAFC

9 al 11 de Noviembre de 2011



UNIVERSITAT
POLITÀNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

CEMACAM · Parque Natural Font Roja · Alcoi (Alicante)

- Estudios y tratamientos de contaminación en agua y suelo.
- Reciclaje de materiales y gestión de residuos.
- Nuevos materiales de interés medioambiental.
- Estudios atmosféricos y climatológicos.
- Contaminación acústica.
- Gestión medioambiental en industrias. Viabilidad económica.
- Energías renovables, ahorro energético y contaminación atmosférica.

Temática



Objetivos

El VII Congreso "La Investigación ante la sociedad del conocimiento. Sostenibilidad y medioambiente" se centra en investigaciones medioambientales sobre áreas temáticas muy diversas.

La idea es abordar este tema desde un punto de vista multidisciplinar, de forma que constituyan un punto de encuentro entre investigadores de diferentes áreas y distinta procedencia; siendo esta VII edición un congreso consolidado de ámbito nacional con aportaciones internacionales.

Como en ediciones anteriores, el objetivo del congreso es intercambiar experiencias, resultados de investigación y establecer relaciones para abordar posteriores proyectos; tanto entre investigadores de la propia Universidad, como entre éstos y técnicos de centros tecnológicos o de empresas interesadas en la temática planteada, lo que favorece la transferencia de la tecnología de la Universidad al entorno industrial.

Destinatarios

Universitarios, investigadores, representantes de Institutos Tecnológicos y miembros de Departamentos de Investigación de empresas del entorno industrial.

Inscripción

Se fijan las cuotas de inscripción que dan derecho a: Libro de actas del congreso con ISBN, cafés, comidas en el Restaurante de la Font Roja, autobús de subida y bajada desde Plaza Parterre de Alcoi y viceversa.

Fecha tope pago de inscripciones: 15 de octubre.

CUOTAS INSCRIPCIÓN	Hasta el 01/10/2011	Después del 01/10/2011
Participantes	75€	100€
Estudiantes	40€	50€

Para hacer efectiva la inscripción debe enviarse fotocopia del resguardo por Fax: 966528438, o por e-mail a las siguientes direcciones: ctt@epsa.upv.es.

Envío de comunicaciones hasta el 10 de septiembre

<http://www.jornadasinvestigacion.epsa.upv.es>

Energía marina

Una instalación del ENTE VASCO DE LA ENERGÍA

Fuente: Ente Vasco de la Energía (www.eve.es)

La energía marina es, de las fuentes de energía renovables, la que todavía tiene un mayor recorrido hasta llegar a su madurez comercial.

Si se tiene que destacar una característica positiva y otra negativa de esta fuente de energía, como característica positiva destaca por ser una fuente de alta densidad energética, quiere esto decir que ocupando poca superficie se puede obtener mucha energía. Como característica negativa, y debido a la hostilidad del medio marino, indicar las grandes dificultades que existen para extraer dicha energía.

En la actualidad el aprovechamiento de las energías marinas es mínimo, con una potencia instalada reducida a varias plantas piloto situadas en unos pocos países. Se puede decir que las energías marinas se encuentran en un momento de divergencia tecnológica, en el que existen muchas ideas en desarrollo pero ninguna ha demostrado un liderazgo tecnológico.

La energía del mar se manifiesta de diferentes maneras:

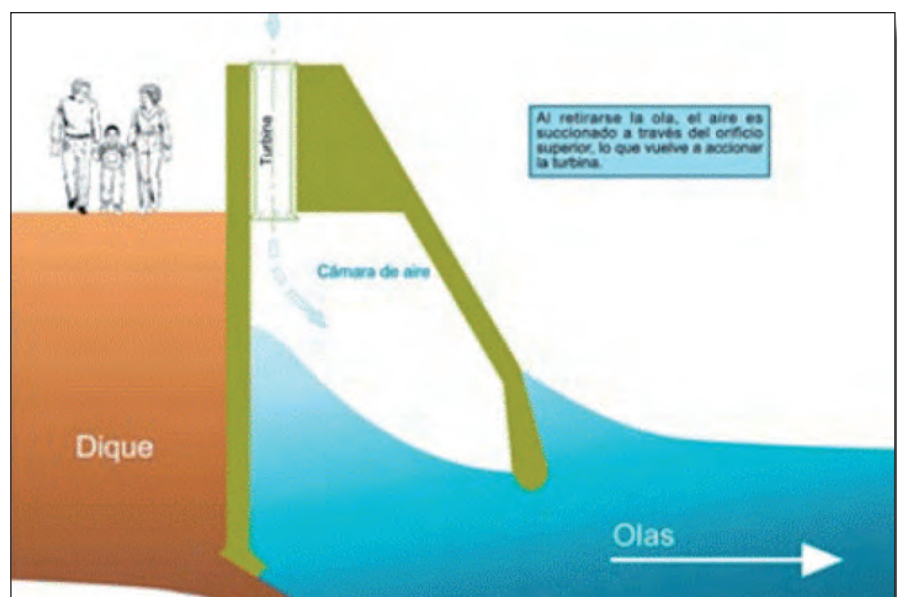
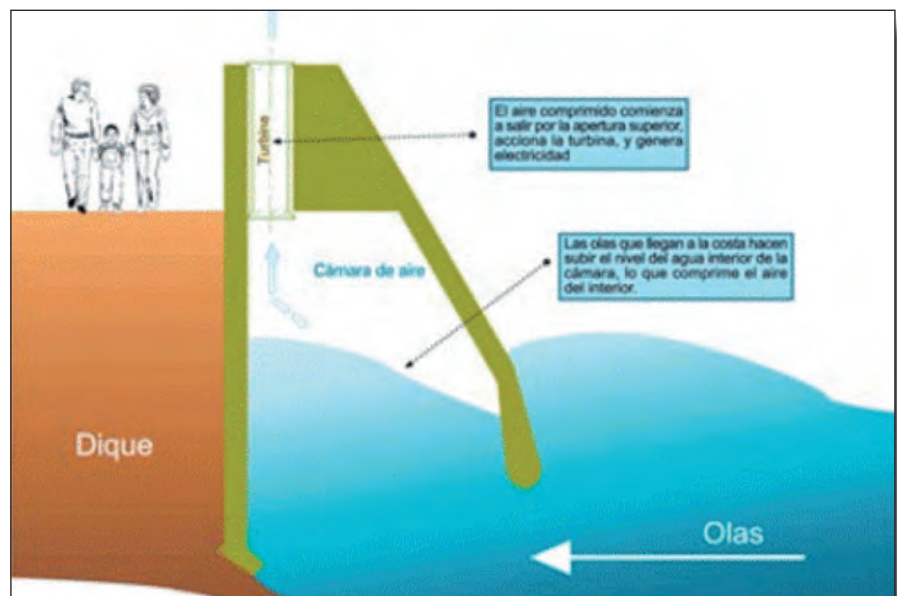
- Oleaje: Las olas son producidas por la acción del viento sobre la superficie del mar. Posteriormente éstas se trasladan recorriendo centenares de kilómetros.
- Mareas y corrientes marinas: El desplazamiento de grandes masas de agua producido por las acciones gravitatorias del sol y la luna provoca localmente variaciones periódicas del nivel del mar y corrientes susceptibles de ser aprovechadas energéticamente. También provocan corrientes marinas fenómenos como la diferencia de

densidad y contenido de sal del agua, diferencias de temperatura, evaporación y rotación de la Tierra.

- Gradiente térmico: La radiación solar sobre el mar produce diferencias de temperatura entre las aguas superficiales y las del

fondo que pueden superar los 20°C.

- Gradiente salino: En las desembocaduras de los ríos se producen fuertes diferencias de concentración salina entre el agua de los océanos y el agua de los ríos.



Energía del oleaje (undimotriz)

Refiriéndonos a la obtenida procedente de las olas, ésta puede ser generada por artefactos diversos situados a flote en aguas más o menos profundas o por instalaciones costeras que recogen la energía desarrollada por el impacto de las olas con la tierra firme.

Uno de los medios para esta generación costera es el que se muestra en las figuras siguientes, donde se aprecia que el flujo de las olas al chocar contra un muelle orientado adecuadamente y dotado de una cámara, hace subir el aire que al salir por un conducto superior es capaz de mover una turbina acoplada a un generador eléctrico. En el reflujó se repite la operación, moviéndose la turbina en sentido inverso y generando de nuevo.

La primera central europea de energía undimotriz costera ha sido puesta en marcha recientemente en la costa cantábrica en Mutriku, a cincuenta kilómetros al oeste de San Sebastián, sobre un nuevo rompeolas que formará parte de la protección de acceso al puerto de la localidad. Aunque existen dos instalaciones similares en Portugal y Escocia, aquellas están orientadas más a la investigación que a la producción energética, por lo que la de Mutriku será la primera pre-comercial. Cuenta con la tecnología denominada OWC (Columna de Agua Oscilante) de la compañía escocesa Wavegen, perteneciente al grupo Voith Hydro. Las turbinas han sido fabricadas por la empresa Voith Hydro Tolosa en la planta con que cuenta esta firma en esa localidad guipuzcoana.

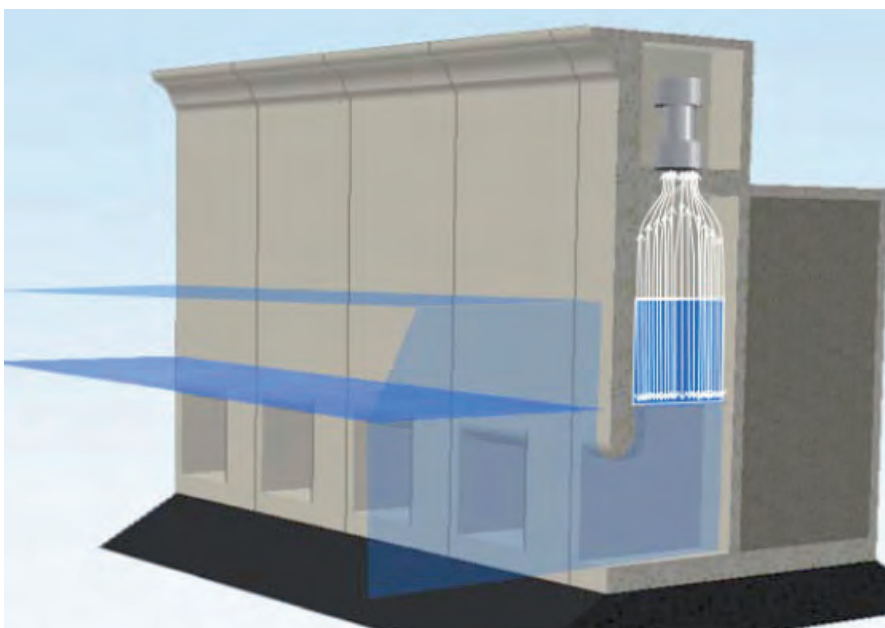
La instalación de Mutriku consta de 16 grupos turbogeneradores, cada uno con 18,5 kW de potencia instalada, lo que totaliza 296 kW. Tras las pruebas iniciales, en septiembre se da la recepción definitiva de la planta. Las turbinas son del tipo Wells de paso fijo, parecidas a las de los aerogeneradores, con perfil simétrico. Cada turbogenerador tiene dos rotores de aluminio con cinco álabes cada uno, conectados en cada extremo del generador de eje pasante. Éste es enfriado directamente por el aire del proceso.



Estación undimotriz de Mutriku

Los generadores son asíncronos: cuando el control detecta presión suficiente en la cámara de aire, actúa sobre ellos operando por medio de un inversor en modo motor y arrancando la turbina. Una vez alcanzado el régimen fijado en función de la presión, la unidad pasa a modo generación y produce energía. Se genera corriente alterna a 450 V. Como la velocidad de giro es variable entre 1.300 y 3.900 rpm, el control fija la velocidad de giro para optimizar la cantidad de energía producida por cada cámara.

La electricidad producida por cada turbina se transporta por separado a la sala de control. Allí se rectifica, se suman las corrientes y se pasa de nuevo a alterna a 450 V, ahora ya en fase con la red. Luego se eleva a 13,2 kV y por una línea soterrada de casi un kilómetro se incorpora a la red de la compañía distribuidora. Para satisfacer los consumos auxiliares de la planta se dispone de un pequeño autotransformador de 450/380 V. ■



Vista esquemática de cámaras y turbinas

La seguridad y salud laboral a través de los principales modelos de gestión de la responsabilidad social corporativa

Autor: Juan Carlos Rubio-Romero
Cátedra de Prevención y Responsabilidad Social Corporativa
ETSI Industriales de la Universidad de Málaga

INTRODUCCIÓN

Por un lado la responsabilidad social corporativa ha sido definida por la mayor parte de autores como la integración “voluntaria”, por parte de las empresas, de las preocupaciones sociales y medioambientales en sus operaciones comerciales y sus relaciones con sus interlocutores. Este carácter voluntario ha sido y es motivo de controversia.

Por otro lado, entre las múltiples preocupaciones sociales que forman parte de la responsabilidad social corporativa, siempre se incluye la seguridad y salud en el trabajo como aspecto a satisfacer de uno de los principales grupos de interés de las empresas, los trabajadores. Sin embargo, a diferencia de otros aspectos, la seguridad y salud laboral se encuentra ampliamente “regulada” en Europa y en buena parte del mundo, por lo que cuenta con escaso recorrido para su desarrollo, al menos en un contexto teórico “voluntario”. No obstante mientras la guía ISO 26000 incide también en ello indicando que “esta Norma Internacional fomenta que las organizaciones realicen actividades que vayan más allá del cumplimiento legal, reconociendo que el cumplimiento de la ley es una obligación fundamental para cualquier organización y una parte esencial de su responsabilidad social”, el

propio Banco Mundial define la RSC incluyendo también las actuaciones “reguladas”.

En este artículo analizaremos el tratamiento que de la seguridad y salud laboral hacen los tres modelos de RSC más representativos a nivel mundial, la Guía de gestión ISO 26000, el estándar de gestión certificable SA 8000 y la guía GRI para la elaboración de las memorias de sostenibilidad, pudiendo comprobarse como en la práctica se incluyen requisitos regulados legalmente.

MODELOS DE RSC

LA GUÍA ISO 26000

La guía, que surge sin objetivos de certificación, está estructurada en

7 “materias” fundamentales que a su vez se desarrollan en determinados “asuntos” de responsabilidad social.

La seguridad y salud laboral se trata directamente dentro de la 4ª Materia Fundamental sobre las prácticas laborales, en los puntos 6.4.4. dedicado al asunto 2 sobre condiciones de trabajo y protección social, y en el 6.4.6 del documento, destinado al asunto 4 sobre salud y seguridad en el trabajo. También encontramos referencias a la protección de los trabajadores frente a riesgos para la salud y a la adaptación del ambiente de trabajo a las necesidades fisiológicas y psicológicas de los trabajadores. En este sentido, respecto a las acciones y expectativas relacionadas, se indica que la organización en esencia debe



desarrollar y mantener un sistema de gestión al respecto, analizar los riesgos, formar e informar, establecer procedimientos, proporcionar EPI, establecer sistemas de participación y consulta como los comités paritarios de salud y seguridad, investigar los accidentes, etc.

En este mismo apartado, donde se incluyen salarios, jornada laboral, períodos de descanso, vacaciones, protección de la maternidad y aspectos del bienestar, tales como agua potable, comedores colectivos y acceso a servicios médicos, se hace hincapié en cumplir con las leyes y convenios colectivos, y en otro caso respetar al menos las disposiciones mínimas establecidas en los convenios de la OIT, etc.

Se hacen otras referencias más o menos directas en el aspecto 5 sobre desarrollo humano y formación en el puesto de trabajo, en la 6ª Materia Fundamental sobre consumidores cuando se trata la protección de la seguridad y salud de los consumidores, en la materia de medio ambiente, etc.

EL ESTÁNDAR SA 8000

Publicada en 1997 por primera vez por el *Social Accountability International* con la participación de organizaciones no gubernamentales, empresas privadas y sindicatos. el objetivo fundamental era contribuir a evitar el “*dumping social*” y el desarrollo de empresas “*sweatshops*” o “*maquilas*” mal entendidas.

La norma fue publicada junto con el documento guía para su aplicación y se basa en los principios establecidos en la Declaración Universal de los Derechos Humanos, diversas Convenciones de las Naciones Unidas, Convenciones de la OIT, etc.

El estándar SA 8000 presenta nueve partes y en particular, y en relación a la seguridad y salud laboral, la norma supone un modelo para aquellas empresas de carácter multinacional que de forma complementaria a sus actividades en el llamado mundo occidental, externalicen sus operaciones, contraten, subcontraten

o compren a empresas de países donde el respeto a los derechos humanos no está garantizado, de forma que mediante la certificación responsable por tercera parte, revisable cada tres años (organismos y empresas como *Det Norske Veritas*, *SGS-ICS*, *Bureau Veritas Quality International*, *ITS* o *UL*, están acreditados para la certificación de los mismos), la sociedad disponga de garantías elementales sobre el respeto de los derechos humanos por parte de los mismos.

La norma dedica su punto 3 a la seguridad y salud en el trabajo, e insta a la empresa en esencia, a desarrollar un sistema de gestión de seguridad y salud, evaluando los riesgos laborales, tomando medidas de prevención, designando un representante de la alta dirección, formando e informando a los trabajadores al ingreso, traslado y periódicamente. Además trata de forma específica los servicios higiénicos, las instalaciones para los alimentos, los dormitorios y el agua potable.

Se vuelve a hablar de seguridad en el punto 1.4 sobre el trabajo infantil, donde de forma reiterativa se impone a la empresa la no-exposición de niños ni jóvenes trabajadores a situaciones, dentro o fuera del lugar de trabajo, peligrosas, inseguras o insalubres.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE (GRI)

El GRI fue constituido en 1997 como una iniciativa conjunta de la organización no gubernamental estadounidense CERES -*Coalition for Environmentally Responsible Economies*- y el PNUMA de las Naciones Unidas con el objetivo de fomentar la calidad, el rigor y la utilidad de las memorias de sostenibilidad, no para diseñar ni implantar sistemas de gestión. Se trataba de incrementar la transparencia, estandarizando lo que comunicar en las memorias, para evitar el uso sesgado de la información en dichas memorias. La Guía para la elaboración de memorias de sostenibilidad se compone de los Principios y de las Orientaciones para la elaboración de las memorias, de los

Contenidos básicos (que incluyen los indicadores de desempeño) y de los protocolos sectoriales cuando existen.

La seguridad y salud laboral es tratada exigiendo la cuantificación de los indicadores que aparecen especialmente en el protocolo LA (Prácticas Laborales y Trabajo Digno). Así el LA6 mide el porcentaje del total de trabajadores que está representado en comités de seguridad y salud conjuntos de dirección-empleados, el LA7 mide la tasa de absentismo, enfermedades profesionales, días perdidos y número de víctimas mortales relacionadas con el trabajo por región, el LA8 mide los programas de educación, formación, asesoramiento, prevención y control de riesgos que se apliquen a los trabajadores, a sus familias o a los miembros de la comunidad en relación con enfermedades graves y el LA9 mide los Asuntos de salud y seguridad cubiertos en acuerdos formales con sindicatos.

CONCLUSIONES

La seguridad y salud laboral como aspecto de la RSC es tratada en cuanto a su voluntariedad de forma confusa por los principales estándares y modelos de gestión/comunicación de la RSC, y parecen conducirnos en un plano teórico en el sentido de la voluntariedad, y en el contexto práctico de las propias normas y modelos en el del cumplimiento legal además.

Si asumimos la voluntariedad como una condición necesaria, lo que en un Estado se puede considerar RSC, en otro no lo será por encontrarse regulado. Por último no debemos olvidar que lo obligatorio en la materia en España y en multitud de países es mucho, por lo que habría poco recorrido para ser “socialmente responsable en materia de seguridad y salud laboral”.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PICKING PRODUCTO A OPERARIO. Aplicación del Diseño de Experimentos mediante simulación de Eventos Discretos



Claudia Chackelson-Lurner
Ander Errasti-Opacua
David Cipres-Bagüeste
Fernando Lahoz-Leo

Ingeniera Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Ingeniero Industrial
Lcdo. en Ingeniería Industrial

TECNUN. Dpto. Organización Industrial. Paseo de Manuel Lardizabal, 13 – 20018 San Sebastián.
Tfno: +34 943 219877. cchackelson@tecnun.es

Recibido: 28/01/2011 • Aceptado: 09/03/2011

Design of a Parts to Picker System. Design of Experiments application aided by Discrete Event Simulation

ABSTRACT

• Introduction:

Order picking is warehouse' key activity due to its impact on operation costs and service level, and an appropriate design will affect directly global performance. This paper evaluates the repercussion that different picking operating strategies have in a Part to Picker system while working under diverse order's types.

Methods and materials:

With this aim in mind, a Design of Experiment tool, based on the Define, Measure and Analyze phases of Six Sigma DMAIC approach, has been used. The experiments have been carried out basing on a simulation model that reproduces an automatic warehouse with a Miniload.

Results:

As a result of an analysis of variance ANOVA, the principal effects and interactions were identified.

• **Keywords:** picking, design of experiments, discrete event simulation.

RESUMEN

Introducción:

La preparación de pedidos es una actividad clave dentro del almacén debido a su alto impacto en los costes operativos y en la calidad del servicio, por lo que un diseño correcto repercutirá directamente en el rendimiento global. El presente artículo evalúa el impacto que tiene sobre el tiempo total de preparación la elección de diferentes estrategias de operativa y organización en un sistema Producto a Operario, operando bajo variadas tipologías de pedidos.

Materiales y métodos:

Para ello se ha empleado el Diseño de Experimentos como herramienta, cuyas secuencia de actividades se ha basado en una adaptación de las etapas Definir, Medir y Analizar de la metodología de Seis Sigma DMAIC. Los experimentos han sido llevados a cabo en un modelo de simulación basado en un almacén automático compuesto por un sistema Miniload.

Resultados:

Se han identificado los efectos principales y las interacciones más significativas que influyen en la respuesta a partir de un análisis de varianza ANOVA.

Palabras clave: preparación de pedidos, diseño de experimentos, simulación de eventos discretos.

1. INTRODUCCIÓN

La preparación de pedidos o *picking* es el proceso de recuperación de los artículos de la zona de almacenamiento en respuesta a la solicitud de un cliente. Esta actividad tiene un alto impacto sobre la calidad de los pedidos, así como también una elevada contribución a los costes operativos según lo señalado por De Koster [1] y Tompkins [2], por lo que un correcto diseño es de suma importancia.

Las tendencias más recientes en las áreas de producción y distribución están haciendo que el diseño y la gestión del *picking* haya cobrado aún un papel más relevante y su complejidad se haya visto incrementada [1]. Entre los elementos que están contribuyendo a la dificultad de realización de esta actividad se destacan: la diversificación de clientes y gama de productos, el aumento del número de pedidos junto con la reducción de las cantidades por pedido, un mayor nivel de personalización de los pedidos y la reducción de unidades mínimas de servicio [3].

A la hora de diseñar un sistema de preparación de pedidos, de acuerdo con lo expuesto por Goetschackx [4], los factores que deben tenerse en cuenta pueden clasificarse en: *características del sistema* por un lado, y *políticas de operación y organización* por el otro. Dentro del primer grupo se encuentran factores tales como el grado de automatización y la dimensión del sistema, mientras que en el segundo grupo se distinguen la zonificación, el modo de lanzamiento de los pedidos, la lotificación y el almacenamiento (ver Figura 1).

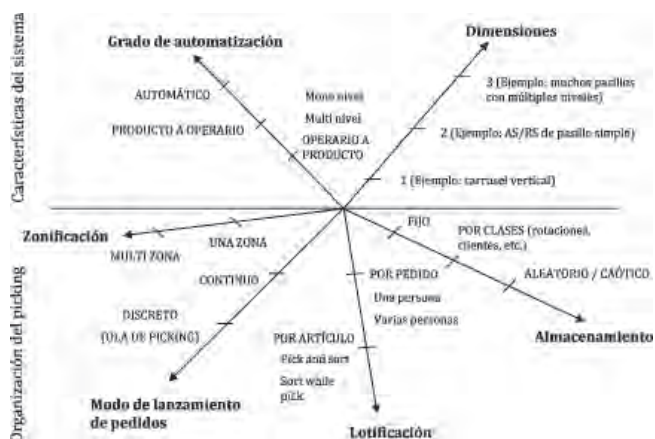


Fig. 1: Factores de diseño en sistemas de preparación de pedidos, diagrama de Goetschackx and Ashayeri, 1989, modificado

Comenzando por el grado de automatización del almacén, se irán describiendo las diferentes opciones que aparecen en la Fig. 1 en sentido anti horario. Se puede hacer una primera clasificación en función del grado de automatización del proceso, en Sistemas Automáticos, Sistemas Producto a Operario y Sistemas Operario a Producto. El primer grupo de sistemas se caracteriza por la ausencia de participación humana en el proceso de preparación de pedidos. En los otros dos sistemas en cambio, si existe la intervención del personal, en mayor o menor grado. En el caso de una preparación Producto a Operario la mercancía es la que es trasladada hacia la localización del operario mediante sistemas de almacenamiento automático. Por el contrario, en los sistemas Operario a Producto es la persona quien se desplaza con el objeto de recoger los materiales [5]. Dentro de los sistemas Operario a Producto puede distinguirse a su vez una subclasificación según la altura del picking. Ésta se compone de *Picking* mono nivel y *Picking* multi nivel (en altura). Por otro lado, la preparación de pedidos puede ser dividida en función de la zonificación del almacén en Una zona y Multi zona. Si existe una zona única para el almacenamiento de los productos, se está en el primer caso, mientras que, si el almacén está dividido en distintas áreas a las cuales se debe acceder para cumplimentar el pedido se está en presencia de la segunda forma de *picking*. La manera en que son lanzadas las órdenes da lugar a una nueva clasificación: Continuo u Ola de pedido (*wave picking*), donde las órdenes con destinos comunes son lanzadas de manera simultánea [1].

Por otra parte, si el *picking* se realiza pedido a pedido se dice que se realiza en preparación Por Pedidos. Por el contrario, si se realiza una agrupación o “*batch*” de pedidos se considera que la selección se hace Por Artículo [6]. El primer caso puede ser realizado tanto por una única persona como por varias, no comenzando a preparar el siguiente pedido hasta no terminar el anterior. En el segundo caso, el operario puede asignar cada producto al pedido correspondiente a medida que los mismos son extraídos de una ubicación (*sort while pick*) o puede esperar a finalizar todo el recorrido para realizar la clasificación (*pick and sort*) [7, 8].

Otra característica del sistema de preparación de pedidos está vinculada al tipo de almacenamiento empleado. Los métodos de ubicación se clasifican en tres grupos: Asignación fija, Asignación por clases y Asignación caótica.

En el primero de los casos, los nichos o ubicaciones están identificados con el código y/o nombre de artículo de tal manera que una referencia siempre se coloca en el mismo lugar. En los otros dos sistemas, la asignación se realiza una vez recepcionado el producto. Los criterios para establecer la asignación por clases con los cuales se realiza esta ubicación pueden ser diversos, tales como asignación por familias de producto o por nivel de rotación o por clientes. En el tercer caso la asignación es aleatoria [3].

Adicionalmente, en función de las dimensiones de la zona de *picking* puede hacerse una última distinción que define al sistema en función de la cantidad de ejes que se recorren a la hora de realizar la preparación (1, 2 o 3).

La elección de una modalidad u otra para la realización del proceso de preparación de pedidos tendrá gran repercusión en los costes, en el tiempo total incurrido en esta actividad y en la calidad de servicio brindado al cliente. Por lo tanto inmediatamente impactará en el rendimiento del centro de distribución y por ende en el de toda la cadena de suministro [1].

El presente artículo evalúa el impacto que tienen sobre el tiempo total de preparación diferentes estrategias de almacenamiento y lotificación en un sistema Producto a Operario formado por un *Miniload*, operando bajo variadas tipologías de pedidos. Para ello se ha seguido la metodología de Diseño de Experimentos propuesta por Tanco [9], cuyas secuencia de actividades se basa en una adaptación de la metodología de Seis Sigma DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar [10]. Los experimentos han sido llevados a cabo en un modelo de simulación basado en un almacén automático compuesto por un sistema *Miniload*, ya que estos sistemas son empleados en plataformas logísticas de distribución de alta complejidad [11].

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Se ha demostrado en estudios anteriores que el *Diseño de Experimentos* (DoE) es una herramienta útil a la hora de diseñar procesos/productos [12, 13]. Ésta es una técnica

estructurada para poder caracterizar, mejorar y optimizar un proceso de manera eficiente a través de la recopilación, análisis e interpretación de los datos [14]. Hace posible contemplar diversas posibilidades de manera simultánea, consumiendo menor cantidad de recursos para obtener la misma o mayor cantidad de información que estrategias de experimentación como “Un factor a la vez” o “Ensayo y error”. Adicionalmente permite ver no sólo el impacto de los factores considerados sobre la respuesta, sino también la existencia de relaciones entre los mismos [9].

Algunas investigaciones anteriores en el área de gestión de almacenes que se han focalizado en situaciones específicas o problemas puntuales de la preparación de pedidos, han empleado el DoE como herramienta. Entre los mismos puede citarse el trabajo realizado por Petersen [6], donde se comparan diferentes políticas de preparación, de ruteo y de almacenaje según diversos tamaños de pedidos en un sistema manual Operario a Producto. Manzini [15] identifica el factor que afecta de manera más crítica el rendimiento de un sistema AS/RS (*Automatic Storage and Retrieval System*). Un año más tarde Manzini [5] identifica y mide los impactos principales de políticas alternativas y diversas configuraciones en un sistema Producto a Operario analizando el tiempo de respuesta como resultado. Recientemente, Ekren [16], evalúa los efectos de parámetros de diseño predefinidos en un sistema automatizado AVS/RS (*Autonomous Vehicle Storage and Retrieval System*).

2.2. SIMULACIÓN

En la mayoría de los trabajos de investigación citados en el sub-apartado anterior, los autores han empleado la simulación como medio para llevar adelante su Diseño de Experimentos. Según lo señalado por Banks [17], el uso de un modelo es apropiado para estudiar y experimentar interacciones entre los factores que componen sistemas complejos, sin perturbar el sistema real. Por este motivo resulta conveniente en casos en los que experimentar resulte costoso o implique distorsiones en el funcionamiento del sistema real que no puedan permitirse.

Khoshnevis [18] la define como la construcción de modelos que representen sistemas ya existentes o hipotéticos, y la experimentación con dichos sistemas para explicar el comportamiento de los mismos, mejorar sus rendimientos o diseñar nuevos sistemas con desempeños deseados. Existen diferentes métodos de simulación, pero el más extendido es la Simulación de Eventos Discretos [19]. Ésta es una técnica en la cual se modela el sistema analizado, representando el estado de sus elementos mediante un grupo de variables que cambia a medida que pase el tiempo de manera discreta [20].

3. OBJETIVO Y MÉTODOS

Mediante el presente trabajo se pretende evaluar el impacto de diferentes estrategias de almacenamiento y lotificación en el tiempo total de preparación, en un sistema

Producto a Operario formado por un *Miniload*, operando bajo variadas tipologías de pedidos.

Para lograr dicho cometido se ha empleado la herramienta de Diseño de Experimentos [9], cuyas secuencia de actividades se ha basado en una adaptación de las etapas Definir, Medir y Analizar de la metodología de Seis Sigma DMAIC [10]. Los experimentos han sido llevados a cabo en un modelo de simulación que representa un almacén automático compuesto por un sistema *Miniload*, cuya descripción se realizará más adelante.

A continuación se irán explicando paso a paso las decisiones tomadas en cada una de las etapas de la metodología de DoE. En la Figura 2 se listan las fases de esta metodología, a la vez que se las sitúa dentro del marco DMAIC.



Figura 2: Pasos de la metodología de DoE empleada dentro del marco DMAIC

3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Se trata de un problema de caracterización y no de optimización, por lo que no se ha buscado obtener la combinación óptima de los factores intervinientes en el problema, sino que se intentará evaluar el efecto de los mismos en la respuesta y las posibles interacciones que puedan existir entre los éstos.

Se ha seleccionado como respuesta el tiempo (medido en segundos) de preparación de un conjunto de pedidos. La cantidad de pedidos responde a la realidad de muchos Centros de Distribución, donde la operativa permite la preparación simultánea de un grupo de pedidos. Por otra parte, cabe recordar que se ha seleccionado el tiempo total de preparación ya que, según lo señalado por De Koster [1] y Tompkins [2], el picking es la actividad más intensiva en recursos (personas, maquinaria y capital) dentro del almacén y tiene un impacto directo en la calidad de servicio: cuando antes se prepare antes llegará a manos del cliente.

Para garantizar la fiabilidad de la respuesta se han realizado tres repeticiones de cada uno de los experimentos, lo cual permite también calcular la varianza de los datos [21].

3.2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FACTORES INVOLUCRADOS

A partir de la literatura, se han tomado como referencia los trabajos de Goetschakckx [4] y Frazelle [22] para listar los factores que se presume afectan al proceso de preparación.

Por un lado se distinguen los factores extrínsecos del

proceso de preparación, o sea aquellos relacionados al producto y su respectiva demanda. Entre ellos se encuentran:

- Tipología de pedidos
 - Cantidad de unidades o SKU demandadas por línea de pedido
 - Número de líneas por pedido
- Mix de productos ABC
- Características de los productos (morfología, tamaño y peso)
- Variabilidad de la demanda

Por otra parte los factores referentes a la operativa y organización del *picking* se listan a continuación:

- Unidad de almacenamiento
- Unidad de pedido o de preparación
- Número de referencias a almacenar
- Grado de automatización
- Almacenamiento o ubicaciones
- Lotificación
- Clasificación
- Lanzamiento de órdenes
- Zonificación

Cada uno de los factores ha sido catalogado en alguna de las siguientes clases:

Factores primarios: aquellos cuya influencia en la respuesta se desea estudiar. Éstos son los que se evaluarán en diferentes niveles durante la etapa de experimentación. En esta categoría se han incluido los siguientes factores:

- Cantidad de unidades o SKU demandadas por línea de pedido
- Número de líneas por pedido
- Mix de productos ABC
- Almacenamiento o ubicaciones
- Lotificación
- Clasificación

Factores mantenidos constantes: aquellos que podrían tener cierta repercusión en la respuesta, pero que la misma no se pretende estudiar en el presente trabajo de experimentación. Aquí se englobaron el resto de los factores:

- Características de los productos (morfología, tamaño y peso)
- Variabilidad de la demanda
- Unidad de almacenamiento
- Unidad de pedido o de preparación
- Número de referencias a almacenar
- Grado de automatización
- Zonificación
- Lanzamiento de órdenes

Estos factores han sido mantenidos constantes respetando las características del sistema real en el cual se ha basado el modelo de simulación desarrollado. Si bien en futuros

trabajos podría resultar interesante incluir estos factores para generar un modelo generalizado, por el momento se ha decidido analizar el vínculo de aquellos factores de operación cuya modificación pueda realizarse de forma ágil en una etapa de rediseño.

3.3. DEFINICIÓN DEL DISEÑO

En una aproximación inicial se ha decidido que estos factores primarios sean evaluados según un diseño factorial a dos niveles, ya que además de ser los más utilizados en la industria, estos diseños son altamente eficientes y permiten la estimación de todos los efectos [9]. Contemplando todos los factores primarios se sugiere el diseño factorial completo 2^6 mostrado en la Figura 3, donde el primer punto mostrado para cada factor corresponde al nivel bajo (-1) y el segundo al nivel alto (1).

Cabe destacar que las cantidades por línea definidas para cada nivel son valores promedio considerando todas las unidades solicitadas en las líneas de un pedido. Por otro lado, la comunalidad ha sido considerada como una propiedad correspondiente a un conjunto de pedidos, midiéndose la cantidad de referencias en común entre ellos. Si existen muchas referencias que se repiten, se considera una comunalidad alta, y si, por el contrario, los pedidos se componen por diferentes artículos, la comunalidad es baja.



Fig. 3: Respuesta, factores y niveles para desarrollar un diseño factorial completo

A continuación se definirá en qué nivel han sido mantenidos constantes los ocho factores restantes.

- Todos productos tienen la misma morfología, tamaño y peso. Esto es importante, ya que de este modo se han evitado las restricciones con respecto a las ubicaciones, pudiendo realizarse un almacenamiento completamente caótico en caso de ser requerido.
- Se ha analizado una tipología de pedidos específica, por lo que no se ha incluido en el estudio la variabilidad de la demanda.

- La unidad de almacenamiento utilizada es 6 unidades.
- Dado que la preparación se ha realizado por unidades, el máximo de unidades transportadas simultáneamente equivale al tamaño de la unidad de almacenamiento (unidad de pedido igual a 6).
- La cantidad de referencias a almacenar ha venido condicionado por la capacidad del almacén.
- Con respecto al grado de automatización, el sistema analizado es semi-automatizado producto a operario con un Miniload.
- Se cuenta con una única zona de almacenamiento.
- El lanzamiento de órdenes se ha realizado de manera discreta, coincidiendo el tamaño de la ola con la agrupación de pedidos definida por el nivel bajo del factor lotificación.

3.4. EXPERIMENTACIÓN

En función de lo decidido en las primeras tres etapas de la metodología de DoE, se ha adaptado un modelo de Simulación de Eventos Discretos empleando el software *Enterprise Dynamics*, cuyas características se describen a continuación:

Se ha modelado un almacén con un sistema Producto a Operario Miniload, con un camino de rodillos de evacuación, un transelevador, una calle de entrada y otra de salida. Ésta última está conectada a cuatro puestos de preparación a través de transportadores motorizados. Adicionalmente, el modelo cuenta con un sistema de control y registro de información y resultados, operando como el sistema de gestión de almacenes (SGA). Cabe destacar que los tiempos incurridos en el circuito de mantenimiento no son determinísticos, sino que responden a una distribución de probabilidad. Esto es importante, que ya que al repetir los experimentos con las mismas condiciones, el tiempo de preparación variará plasmando lo que sucedería en el sistema real. La Figura 4 muestra tanto la vista 3D (a la izquierda), como una vista 2D (a la derecha).



Figura 4: Modelo de Simulación de Eventos Discretos en 3D y 2D

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para esta etapa se ha utilizado el software de análisis de datos Minitab® 15 en el cual se ha llevado a cabo un análisis de varianza ANOVA, en un inicio para la primera respuesta (media del tiempo de preparación total) y luego para la segunda (varianza del tiempo de preparación total).

Análisis de la media del tiempo de preparación total
 Se ha estudiado qué efectos resultan significativos en la

respuesta empleando como criterio inicial un p-valor de 0.05. Del análisis de varianza realizado en una primera iteración, en la cual se estudiaron todas las interacciones hasta las de cuarto nivel, se desprende que presentan un p-valor inferior a 0.05 los efectos y combinaciones resumidos en la Tabla 1.

Factor o interacción	P-valor
Cantidad por línea	0,000
Nº de líneas	0,000
Mix ABC	0,000
Comunalidad	0,047
Almacenamiento	0,000
Lotificación	0,000
Cantidad por línea*Nº de líneas	0,000
Cantidad por línea*Mix ABC	0,001
Cantidad por línea*Almacenamiento	0,000
Nº de líneas*Mix ABC	0,004
Nº de líneas*Almacenamiento	0,000
Nº de líneas*Lotificación	0,000
Mix ABC*Lotificación	0,000
Comunalidad*Almacenamiento	0,036
Cantidad por línea*Nº de líneas*Lotificación	0,000
Cantidad por línea*Mix ABC*Lotificación	0,037
Nº de líneas*Mix ABC*Lotificación	0,001
Mix ABC*Comunalidad*Almacenamiento	0,008

Tabla 1: Resultados del análisis de varianza de la primera iteración

El análisis ha continuado de forma iterativa, quitando poco a poco aquellos efectos menos influyentes en la respuesta, para finalmente obtener solamente los efectos significativos. Adicionalmente se ha comprobado que los residuos obtenidos son adecuados (Fig. 5).

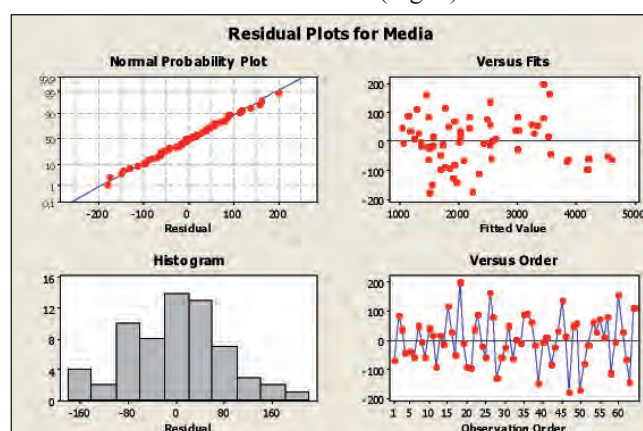


Fig. 5: Gráfico análisis de residuos al analizar la media del tiempo de preparación total

En la Fig. 6 se muestran el gráfico de Probabilidad Normal y el diagrama de Pareto para la primera iteración,

mientras que la Fig. 7 resume la última iteración donde sólo se ven los efectos significativos. Los factores o interacciones más significativos son los que se encuentran más alejados de la línea continua mostrada en el Gráfico de Probabilidad Normal, o bien, los representados por las barras más extensas en el Diagrama de Pareto.

3.6. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DEL TIEMPO DE PREPARACIÓN TOTAL

En esta etapa se ha realizado un estudio análogo al llevado a cabo para la media, donde se ha analizado el efecto de los factores en la varianza del tiempo medio de preparación. Para esto se ha calculado el logaritmo neperiano de la varianza S^2 , logrando una mejor adecuación de los residuos. Igual que para el análisis de la media del tiempo de preparación, en este caso se ha realizado un análisis iterativo, quitando poco

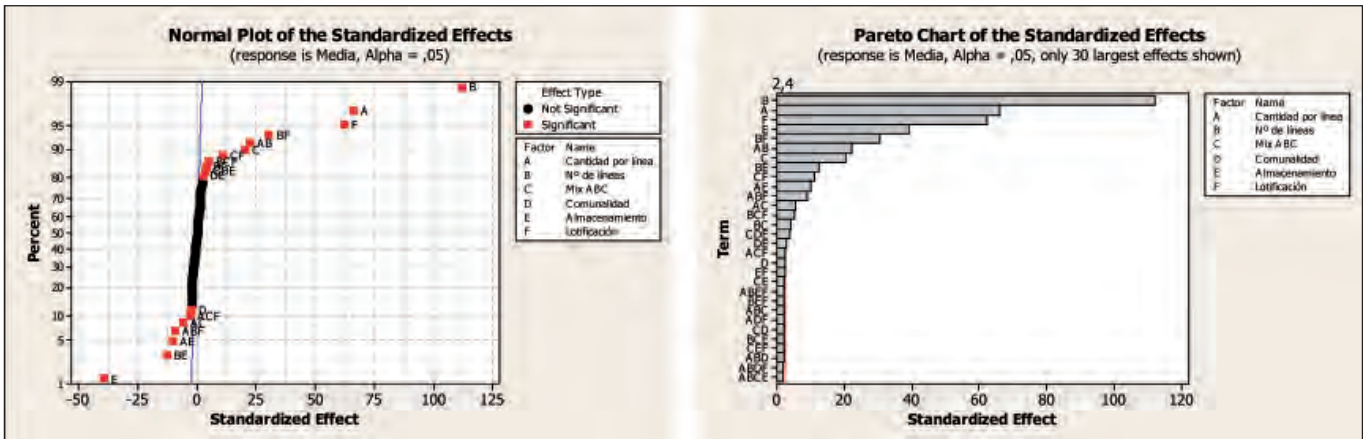


Figura 6: Gráfico de Probabilidad Normal y Diagrama de Pareto para la primera iteración al analizar la media del tiempo de preparación total

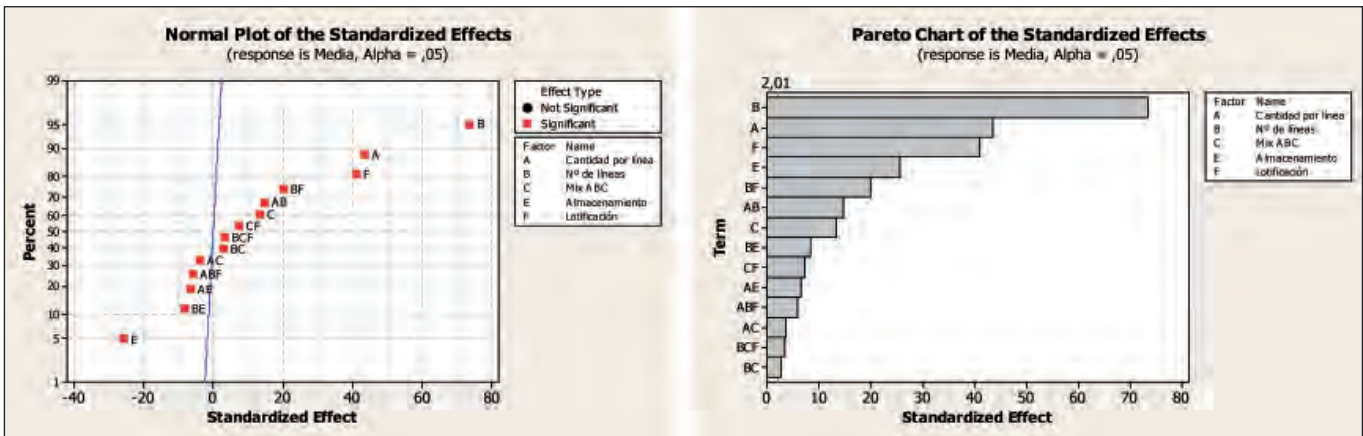


Figura 7: Gráfico de Probabilidad Normal y Diagrama de Pareto para la última iteración al analizar la media del tiempo de preparación total

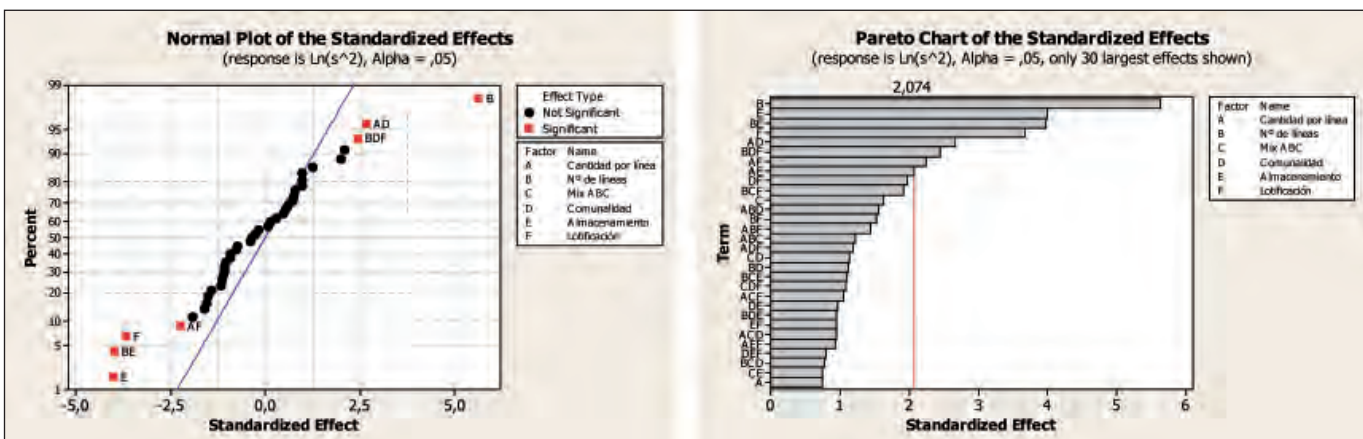


Figura 8: Gráfico de Probabilidad Normal y Diagrama de Pareto para la primera iteración al analizar la varianza del tiempo de preparación total

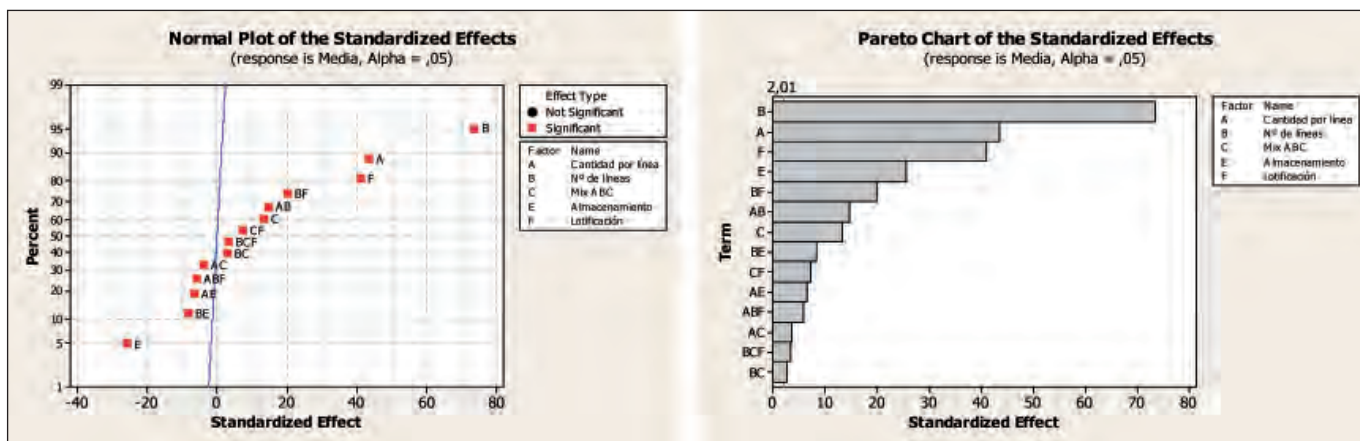


Figura 9: Gráfico de Probabilidad Normal y Diagrama de Pareto para la última iteración al analizar la varianza del tiempo de preparación total

a poco aquellos efectos menos influyentes en la respuesta, para finalmente obtener solamente los efectos significativos.

En la Figura 8 se muestran el gráfico de Probabilidad Normal y el diagrama de Pareto para la primera iteración, mientras que la Figura 9 resume la última iteración donde sólo se ven los efectos significativos.

4. RESULTADOS

Se ha determinado los efectos principales y las interacciones de efectos significativos para ambas respuestas estudiadas. Para la media del tiempo de preparación se observa en la Figura 7 que el factor con mayor efecto sobre la respuesta es el número de líneas por pedido. A éste le siguen en importancia la cantidad por pedido, la lotificación y el almacenamiento. Luego ya comienzan a mostrarse significativas las interacciones de segundo orden en las que interviene el número de líneas. En la Figura 10 pueden verse los efectos principales, así como también las interacciones de segundo orden.

De esta figura también puede estimarse que la combinación de los niveles analizados que minimiza el tiempo total de preparación corresponde a lo resaltado en la Tabla 2.

	Nivel -1	Nivel 1
Cantidad por línea	3	6
Nº de líneas	3	6
Mix ABC	Mix 1 AAAABBCC	Mix 2 ABBCCCC
Comunalidad	Baja	Alta
Almacenamiento	Caótico	Por clases
Lotificación	Agrupado (4 pedidos a la vez)	Pedido a pedido

Tabla 2: Niveles que minimizan el tiempo total de preparación

Cabe recordar que se trata de un problema de caracterización y no de optimización, por lo que no se ha buscado obtener la combinación óptima de los diferentes factores intervinientes en el problema, sino que se intentará evaluar el efecto de los mismos en la respuesta y las posibles interacciones que puedan existir entre los éstos

Finalmente, se ve en la Figura 9 que el factor que aporta mayor variabilidad en el tiempo de preparación es el número de líneas, seguido por el almacenamiento y la interacción entre ambos.

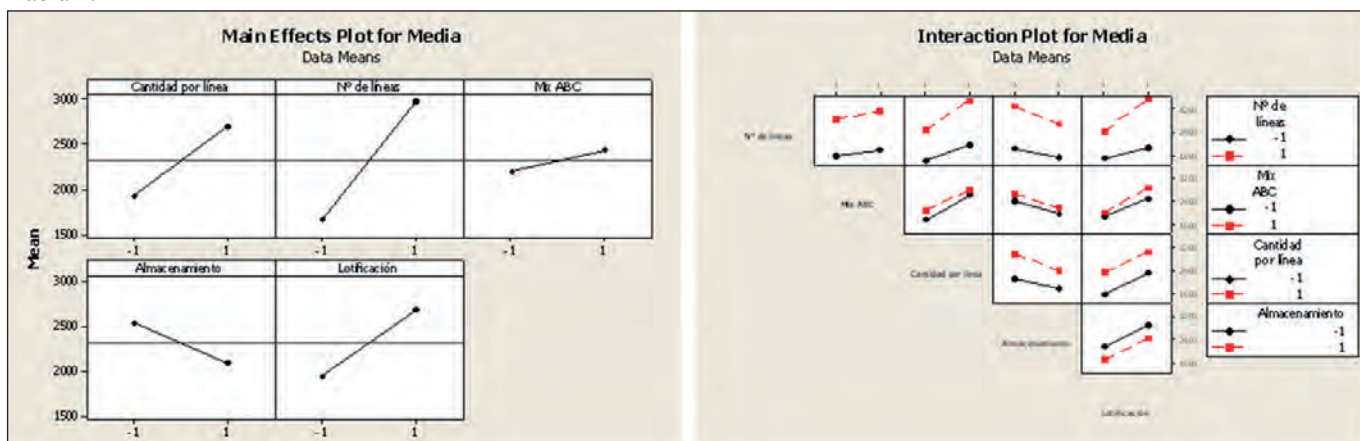


Figura 10: Efectos principales e interacciones de efectos para la media del tiempo de preparación

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha realizado un Diseño de Experimentos basado en la metodología DMAIC y apoyado en un modelo de Simulación de Eventos Discretos, con el objeto de identificar los factores que influyen en el tiempo de preparación en un almacén con un sistema Miniload. Se han estudiado como factores principales la *lotificación, el almacenaje, el Mix de productos ABC, el número de líneas por pedido y la cantidad solicitada en esas líneas.*

Un análisis de varianza ANOVA ha señalado que el *número de líneas* es el factor más significativo en el tiempo total de preparación, y adicionalmente el que aporta mayor variabilidad al mismo. El efecto que le sigue es la *cantidad por línea*. Este dato resulta relevante, ya que los dos efectos mencionados con mayor impacto en la respuesta están relacionados al producto y su respectiva demanda. Esto destaca la importancia de diseñar sistemas de *picking* flexibles y adaptativos, de tal forma que conociendo las interacciones existentes entre la demanda existente y la tipología de pedido, con las alternativas organizativas sea posible ajustar la operativa.

6. FUTURAS LÍNEAS

En futuras investigaciones se pretende incorporar el análisis de los factores que han sido mantenidos constantes en esta primera instancia. Se tiene especial interés en observar la incidencia de diferentes unidades de pedido o preparación, de distintos tamaños de lanzamientos de órdenes y de una zonificación en el almacén. Asimismo se espera ratificar los resultados obtenidos en el sistema real, considerando aquellos factores cuyos efectos sean más significativos.

Por otra parte, sería interesante realizar un estudio similar con los datos de otro almacén Producto a Operario con un menor nivel de automatización de los procesos de preparación para poder tener una comparativa de resultados. De esta forma sería posible realizar algunas generalizaciones que podrían dar lugar a una metodología global para el diseño de sistemas de preparación de pedidos adaptativos y flexibles.

7. AGRADECIMIENTOS

En este proyecto han colaborado: el Dr. Martín Tanco, cuya tesis doctoral se ha basado en el desarrollo de la Metodología de Diseño de Experimentos empleada en este trabajo, y Miriam García investigadora del Instituto Tecnológico de Aragón.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] De Koster R, Le-Duc T, Roodbergen J. "Design and control of warehouse order picking: A literature review". *European Journal of Operational Research* 2007 Vol.102, p. 481-501
- [2] Tompkins J A, White J A, Bozer Y A, Frazelle E H, et al. M A. *Facilities Planning*. 4th Edition. NJ: John Wiley Et Sons, 2010. 854p. ISBN: 978-0-470-44404-7
- [3] Errasti A, Chackelson C, Arcelus M. "Estado del arte y retos para la mejora de sistemas de preparación de pedidos en almacenes - Estudio Delphi". *Dirección y Organización*, 2010 Vol.40, p.78-85
- [4] Goetschalckx M, Ashayeri J. "Classification and design of order picking systems". *Logistics World* June 1989, p.99-106
- [5] Manzini R, Gamberi M, Persona A, et al. "Design of a class based storage picker to product order picking system". *International Journal of Advanced Manufacturing technologies* 2007 Vol.32, p.811-821
- [6] Pertersen C G, Aase G. "A comparison of Picking, storage, and routing policies in manual order picking". *International Journal of production economics* 2004 Vol. 92, p.11-19
- [7] Van den Berg J P. "A literature survey on planning and control of warehousing systems". *IIE Transactions* 1999 Vol. 31, p.751-762.
- [8] Carrasco-Gallego R, Ponce-Cueto E. "Mejora de la eficiencia de una central logística mediante el rediseño del reaprovisionamiento de la zona de Picking". *Dirección y Organización*. Octubre 2008 Vol.36, ISSN: 1132-175X.
- [9] Tanco M, Viles E, Ilzarbe L, et al. "Implementation of Design of Experiments projects in industry". *Applied stochastic models in business and industry* 2009 Vol.25 p.478-505
- [10] Pande P S, Cavanagh R R, Neuman R P, *Las claves prácticas de Seis Sigma: una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos*, McGraw-Hill, Interamericana de España, 2007.
- [11] Errasti A. Proyecto OPP Optimización Preparación de Pedidos. Cluster de Transporte y Logística de Euskadi, diciembre 2007
- [12] Bhote K R, Bhote A K. *Word Class Quality. Using the Design of Experiments to make it happen*. 2nd edition. New York: Amacom, 2000. 487p. ISBN: 0-8144-0427-8
- [13] Czitrom V, Spagon P D. *Statistical Case Studies for Industrial Process Improvement ASA-SIAM on Statistics and Applied Probability*. United States of America: ASA-SIAM, 1997. 514p. ISBN: 0-89871-394-3
- [14] Box GE P, Hunter J S, Hunter W G. *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery* 2005
- [15] Manzini R, Gamberi M, Regattieri A. "Design and control of an AS/RS". *International Journal of Advanced manufacturing technologies* 2006 Vol. 28 p.766-774
- [16] Ekren B, Heragu S, Krishnamurthy A, et al. "Simulation based experimental design to identify factors affecting performance of AVS/RS". *Computer and Industrial Engineering* (article in press) 2009
- [17] Banks J, Carson J S and Nelson B L. *Discrete-Event System Simulation*. 5th edition. United States: Prentice Hall, 2010. 640p. ISBN-10: 0136062121
- [18] Khoshnevis, B. *Discrete Systems Simulation*. Singapore: McGraw-Hill Inc 1994. 337p. ISBN: 0071139257, 9780071139250
- [19] Jahangirian M, Eldabi T, Naseer A, et al. "Simulation in manufacturing and business: A review". *European Journal of Operational Research* 2010 Vol. 203 p.1-13
- [20] Goti-Elordi A, García-Sánchez Á, Ortega-Mier et al. "Optimización del punto de pedido: Solución gratuita a un problema. Solución gratuita a un problema extensamente estudiado pero pobremente resuelto". *Dyna* Septiembre 2010, Vol. 85 6, p.71-72
- [21] Montgomery Douglas C. *Design and Analysis of Experiments*. 7th Edition. John Wiley and Sons, 2008. 656p. ISBN: 978-0-470-12866-4
- [22] Frazelle E. *World-Class Warehousing and Material Handling*. New York: McGraw-Hill, 2002. 242p. ISBN: 0-07-137600-3

Clases prácticas: Una herramienta esencial en la enseñanza de las ingenierías en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior



Ignacio López-Paniagua
Rafael Nieto-Carlier
Javier Rodríguez-Martín
Celina González-Fernández
Ángel Jiménez-Álvoro

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

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. ETSI Industriales. Calle José Gutiérrez Abascal, 2 – 28006 Madrid. Tfno: +34 913 363151. ilopez@etsii.upm.es

Recibido: 27/01/2011 • Aceptado: 21/03/2011

Practical sessions: A key tool for teaching in the European Higher Education Area framework

ABSTRACT

• New degrees adapted to the so called European Higher Education Area (EHEA) arising from the Bologna Declaration of 1999 have begun to be widespread taught in the academic year 2010-2011. This has brought about a small revolution in universities, regarding that the modification of well-established methods and concepts has been required. Being aware of the new requirements, many educational centres have conducted pilot courses during previous years, with the aim of making the transition as smooth as possible.

One of the new concepts used is the focus on the hours that an undergraduate student dedicates to the understanding of a subject, including all activities undertaken in this context (theoretical classes, practical classes, labs, group work, site visits, independent study, examinations, etc ...), as well as the promotion of a more applied teaching. Another new feature is the inclusion of the acquisition by the student of the so-called transversal skills (teamwork, goal planning, public speaking, etc.) among the objectives of a course, besides the particular knowledge and specific skills of the subject.

In this article, two experiences that the Group of Educational Innovation on Applied Thermodynamics at Industrial Engineering School of Industrial Engineers of Madrid has made to adapt the teaching of Thermodynamics in this new European framework are described. They are thought to be fully exportable to other areas of engineering. So on, in the first activity, some basic concepts are now acquired in a lab activity that replaces a master class. For that purpose, the previous restatement of the lab session is needed, because traditionally the theoretical concepts had been acquired by the students before attending it. The second activity is designed to acquire some of the transversal skills the engineer is supposed to have at the beginning of his professional career, and which, in the new context, must be incorporated in the teaching objectives and even must be evaluated.

• **Keywords:** European Higher Education Area, EHEA, Thermodynamics, engineering education, problem based learning, horizontal competences.

RESUMEN

En el curso académico 2010-2011 se han comenzado a impartir, de forma generalizada, las nuevas titulaciones adaptadas al denominado Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) que surge de la declaración de Bolonia del año 1999. Esto ha supuesto una pequeña revolución en la universidad, que ha requerido la modificación de métodos y conceptos muy establecidos. Conscientes de las nuevas exigencias en muchos centros se han realizado durante los cursos previos experiencias piloto con el objeto de que la adaptación se realizase de la forma más suave posible.

Uno de los nuevos conceptos que se manejan es contabilizar las horas que un alumno de Grado dedica a la comprensión de una asignatura, donde se incluyen todas las actividades realizadas en el contexto de ésta (clases teóricas, clases prácticas, laboratorios, trabajos en grupo, visitas a instalaciones, estudio personal, realización de exámenes, etc.) fomentando además que la enseñanza tenga una faceta aplicada más pronunciada. Otra novedad es incluir entre los objetivos de una asignatura la adquisición, por parte del alumno, de las denominadas competencias transversales (trabajo en grupo, planificación de objetivos, hablar en público, etc.) que acompañan a los conocimientos y competencias específicos.

En este artículo se describen dos experiencias que desde el Grupo de Innovación Educativa *Termodinámica Aplicada a la Ingeniería Industrial*

de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid se han realizado para adecuar la enseñanza de la Termodinámica a este nuevo marco europeo y que son totalmente exportables a otras áreas de la Ingeniería. Así en la primera actividad se adquieren conceptos básicos, sustituyendo una clase magistral por la realización de una de las prácticas de laboratorio, lo que lleva asociado el replanteamiento previo de ésta ya que tradicionalmente se acudía a las mismas con los conceptos teóricos adquiridos. La segunda actividad está diseñada para adquirir algunas de las competencias transversales que al ingeniero se le presuponían cuando comenzaba su carrera profesional, y que ahora sin embargo tienen que incorporarse a los objetivos docentes e incluso ser evaluadas.

Palabras Clave: Espacio Europeo de Educación Superior, EEES, Termodinámica, enseñanza de ingenierías, aprendizaje basado en problemas, competencias transversales.

1. INTRODUCCIÓN

El Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) es desde el curso académico 2010-2011, una realidad generalizada en todas las titulaciones universitarias. Este hecho ha supuesto la creación de nuevos títulos, la aplicación de nuevas metodologías tanto en la enseñanza como en el aprendizaje y, también, la incorporación de procesos de evaluación más complejos. Todo ello con el objetivo final de facilitar la movilidad de alumnos y profesores y la convalidación de títulos en toda la Unión Europea.

Esta transformación de la universidad comenzó a gestarse con la Declaración de Bolonia en junio de 1999 y con ella se pretendía armonizar la educación universitaria con un nuevo escenario de conocimiento en el que no se pueden olvidar aspectos transversales como las relaciones económicas y culturales entre los diferentes países europeos.

No se puede concebir la universidad sin investigación, por ello surge también el Espacio Europeo de Investigación (EEI) que desde la Declaración de Londres en mayo de 2007 van alineados. Educación, investigación e innovación forman el denominado triángulo del conocimiento en el que los profesores universitarios deben enmarcar sus actuaciones. Así se debe concebir asignaturas que aporten los conocimientos necesarios de la titulación y formen en determinadas competencias empleando la metodología más adecuada, todo ello con una dedicación del alumno que nunca debe sobrepasar lo previamente establecido.

Efectivamente, se abandona el dimensionado de las asignaturas, o mejor dicho de los contenidos de las mismas, en base a las horas lectivas de docencia clásica y se establece la unidad crédito ECTS (European Credit Transfer System) el cual equivale a entre 25 y 30 horas de trabajo del alumno (España, 2003), en el que se incluyen clases, estudio, prácticas, laboratorios, pruebas de evaluación etc. Se aprueba

además, que un curso académico tiene 60 créditos ECTS a repartir entre todas las asignaturas del mismo.

Este sistema supone en la práctica una disminución de las horas de clase. Por ello, para lograr un nivel de conocimientos y comprensión adecuados a la futura carrera profesional del alumno es necesario maximizar el rendimiento efectivo de las horas de clase teórica. También es necesario optimizar las clases prácticas de forma que el grado de complementariedad con las teóricas sea perfecto y sirva para potenciarlas. La situación se agrava si se tiene en cuenta que los ideales del EEES aspiran a incluir actividades para el desarrollo de competencias trasversales también dentro de la formación del alumno (ver Fig. 1).

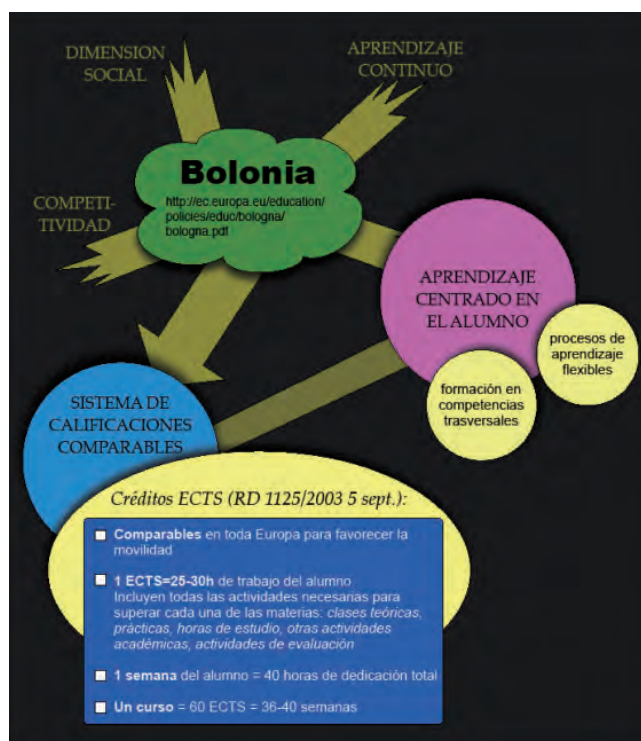


Figura 1: Espacio Europeo de Educación Superior

Aunque el panorama es complejo en toda la enseñanza universitaria, las disciplinas de ingeniería tienen una dualidad intrínseca entre el conocimiento *declarativo* (de cómo son las cosas) y el *procedimental* (de cómo se hacen) que las hacen especialmente difíciles (Cracolice, 2008). Además, aunque existen asignaturas aplicadas, en los primeros cursos muchas asignaturas (Álgebra, Cálculo o Ecuaciones Diferenciales) tienen contenidos abstractos que requieren que el alumno reflexione individualmente. Por ello, se ajustan con dificultad al planteamiento del EEES que llega a nuestras Escuelas importado de países anglosajones, Gran Bretaña y Estados Unidos (EFCE Engineering Bologna Recommendations, 2010). Por otro lado, también hay asignaturas que, partiendo del conocimiento de conceptos muy abstractos, se utilizan en numerosas aplicaciones industriales (Termodinámica, Mecánica o Física Avanzada).

Es en este tipo de asignaturas donde se puede realizar una mayor innovación en los métodos de enseñanza. Hay estudios previos donde se analizan para diferentes países europeos, comparándolos con Estados Unidos, la distribución de horas entre las diferentes actividades docentes programadas para lograr el éxito en una asignatura de las citadas y más concretamente en Termodinámica (Ahlström, 2008). Al profesor de la universidad española se le ha pedido un reparto de horas entre diferentes actividades junto con una estimación del número de horas que un alumno tipo debería dedicar a estudiar, teniendo en cuenta el diseño de la asignatura realizado. Además debe estimar la tasa de eficiencia esperada (cociente entre alumnos aprobados y alumnos presentados). Todo esto conservando la calidad en la formación de los egresados (Zamora-Polo, 2010), imprescindible en esta sociedad competitiva y con grandes retos.

No se puede olvidar tampoco que algunas ideas asociadas al EEES como el seguimiento pormenorizado del alumno, la evaluación continua y los trabajos colaborativos son difícilmente trasladables a ciertas asignaturas bien por su naturaleza o por el elevado número de alumnos en algunas Escuelas. Una implantación adecuada del modelo necesitaría llevar asociado la realización de un importante esfuerzo en mejorar recursos de muy diversa índole (Rovira-Mas, 2006) y este hecho hasta este momento no está contemplado.

En este trabajo se presentan dos experiencias realizadas por el Grupo de Innovación Educativa en Termodinámica Aplicada a la Ingeniería Industrial (GIE-TAII) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). La primera tiene por objetivo evaluar cualitativamente la capacidad de un método docente para ampliar el nivel de comprensión de la asignatura de Termodinámica en la titulación de Ingeniero Industrial y se ha realizado con un grupo de casi trescientos alumnos. La segunda experiencia está referida a la adquisición de algunas de las competencias transversales que las nuevas titulaciones garantizan que los egresados poseen; ha sido llevada a cabo con un grupo reducido de alumnos.

2. EXPERIENCIA A: SUSTITUCIÓN DE CLASES MAGISTRALES POR CLASE PRÁCTICA EN LABORATORIO

La experiencia piloto se propone teniendo en cuenta las recomendaciones subyacentes en la Declaración de Bolonia de dar mayor presencia en la programación de la asignatura a las clases prácticas e ir haciendo una transición progresiva (Lamancusa, 2006)

Así se ha realizado la sustitución de las clases magistrales en aula, donde se presentaban los fundamentos de los ciclos termodinámicos inversos y se hacían problemas, por una sesión en el laboratorio donde el alumno trabajará con un equipo que reproduce un ciclo de bomba de calor y un programa de simulación del mismo.

El planteamiento pedagógico es: utilizar conceptos previos teóricos para seguir avanzando en el conocimiento pero de una forma más aplicada, lo que se conoce en inglés como *problem-based learning* (PBL) o aprendizaje basado en problemas (Rouvrais, 2006). Teniendo en cuenta que los alumnos conocen los fundamentos de los denominados sistemas abiertos estacionarios en Termodinámica y que los ciclos no son más que un conjunto de sistemas abiertos interconectados entre sí, se suprimen de la programación de la asignatura las clases magistrales dedicadas a las bombas de calor, que son un tipo de ciclos, y los conceptos asociados se impartirán en la práctica de laboratorio ya existente. En la práctica supone sustituir 4 horas de clase en aula por 2 horas de clase práctica en el laboratorio.

El Grupo de Innovación Educativa Termodinámica Aplicada a la Ingeniería Industrial (GIE-TAII) ha realizado esta experiencia dentro de una línea de investigación de largo plazo en innovación educativa, cuyo objetivo es optimizar el aprendizaje de los alumnos. Para ello se ha diseñado y programado la práctica adecuándola al desarrollo de la asignatura, y además se han creado los medios técnicos necesarios para hacerla realmente representativa de los conceptos enseñados en clase. Así, los alumnos manejarán un equipo de bomba de calor, representado en la Fig.2, tomando medidas en diferentes puntos de funcionamiento. Después comprobarán estas medidas con las simuladas por la herramienta informática *CicloGraf* (Figura 3), desarrollada por los profesores del Grupo comparando su exactitud y tratando de explicar posibles diferencias.

Para llevarla a cabo, se ha adaptado para la docencia un software originalmente concebido para investigación (*CicloGraf*), se han incluido bases de datos y se ha programado algoritmos para poder operar con propiedades termodinámicas reales de las sustancias que intervienen en la práctica (Nieto-Carlier, 2010). Así la exactitud de las simulaciones es suficiente como para ilustrar perfectamente el funcionamiento del equipo real, lo que se considera fundamental para que el alumno vincule los contenidos teóricos de clase con la práctica y con las instalaciones industriales existentes.



Figura 2: Bomba de calor instrumentada utilizada en la práctica.

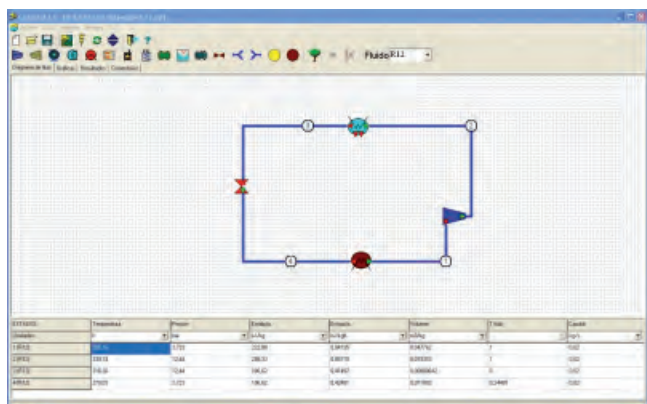


Figura 3: Pantalla principal del programa CicloGraf

2.1. ACTIVIDADES PROGRAMADAS

La práctica se divide en las siguientes fases:

- **f1: Explicación teórica breve.** Repaso de conceptos de sistemas abiertos e introducción de los específicos para el ciclo de la bomba de calor
- **f2: Comparación de la eficiencia de la bomba** funcionando con evaporador de agua o con aire, con caudal del 50% en el condensador
- **f3: Bomba funcionando con evaporador de aire:** toma de medidas y cálculo de eficiencias y calor producido para caudales de agua en el condensador de 100%, 75%, 50% y 30%
- **f4: Análisis de los datos obtenidos utilizando CicloGraf** y generación de los diagramas h-s y T-s del ciclo. Comparación con cálculos manuales y explicación de discrepancias
- **f5: Realización de una encuesta,** anónima y voluntaria a los alumnos. Ésta consta de 11 preguntas (ver Tabla 2) y están dirigidas a cubrir cinco aspectos que los profesores consideran relevantes (ver Tabla 1).

Pregunta	Núm. respuestas	Media
1. Considera que el guión permite la comprensión de la práctica	251	6,63
2. La práctica se ajusta al programa de la asignatura	277	8,17
3. La práctica afianza los conceptos teóricos desarrollados en las clases	279	7,83
4. La duración de la práctica es adecuada	295	7,22
5. La realización de la práctica contribuye al aprendizaje de la asignatura	291	7,65
6. Los alumnos participan de forma activa en la práctica	295	7,98
7. Es útil la realización de la práctica	295	7,75
8. Ha aprendido algo en la práctica	296	8,24
9. La introducción teórica de la práctica es necesaria	295	8,50
10. Valoración general de la práctica	283	7,88
11. Valoración de los materiales	279	7,53

Tabla 2: Resultados de la encuesta realizada

Se observa que la puntuación más baja se refirió a la documentación aportada para la práctica, una primera versión que debía ser mejorada. La pregunta 2 (puntuación 8,17) se entendía como control; si los alumnos no hubieran percibido la coherencia del contenido de las clases con la práctica, se hubiese invalidado el estudio. Los resultados podemos analizarlos según los cinco aspectos o propósitos mencionados anteriormente (ver Tabla 3).

Propósito de la pregunta	Número pregunta
A. Control: Establecer si la encuesta y la experiencia son válidas	2
B. Aspectos prácticos. Obtener la opinión del alumno sobre el diseño de la práctica	1, 4, 11
C. Conexión con las clases. Obtener la percepción del alumno respecto a la relación entre los conceptos impartidos en clase y la práctica	1, 9
D. Influencia de la práctica en el proceso de aprendizaje de la asignatura.	5, 8
E. Coherencia de la práctica con puntos de documentos oficiales del EEES	6, 11

Tabla 1: Clasificación de las preguntas de la encuesta según propósitos.

Se incluyó la pregunta 10 con el propósito genérico de obtener una medida de la satisfacción del alumno con la práctica en su conjunto. La práctica se realizó con un total de 296 alumnos de Termodinámica II, del cuarto semestre de la titulación de Ingeniero Industrial, distribuidos en grupos de 20 personas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2 donde se incluye la puntuación media dada a cada una de las preguntas, valoradas de 0 a 10 por los encuestados.

Propósito de la pregunta	Media
A. Control.	8,17
B. Aspectos prácticos.	7,13
C. Conexión con las clases.	7,57
D. Influencia en aprendizaje de la asignatura	7,95
E. Coherencia con el EEES	7,76

Tabla 3: Análisis de los resultados según propósitos

2.2 DISCUSIÓN Y VALORACIÓN

La valoración de la experiencia debe contemplar los puntos de vista del alumno y del profesor. A partir de los resultados de la encuesta se puede observar que, a excepción de la pregunta de control, la nota más alta es la que se refiere a la influencia de la actividad en el proceso de aprendizaje de la asignatura. Éste era el aspecto principal en que se quería incidir con la experiencia, ya que se pretende conseguir que el alumno maximice su rendimiento, ante la lógica reducción de tiempo de clase que supondrá la implantación definitiva del EEES en cuanto al sistema de créditos ECTS.

Se obtuvo un buen resultado en cuanto a la evaluación del equipo empleado y la duración de la actividad, con la incidencia ya mencionada de la documentación. Este aspecto se interpreta como un indicador de lo adecuado del sistema empleado en esta experiencia para el proceso del EEES, ya que en los documentos oficiales se mencionan expresamente: enseñanza centrada en el alumno, participación activa de éste en el proceso de aprendizaje y medios adecuados.

Es conveniente mencionar que la calificación dada por los alumnos a los aspectos prácticos de la experiencia es significativamente más baja, aunque sigue siendo satisfactoria, debido fundamentalmente a la documentación y a su duración. Esto no se interpreta por los autores negativamente, al tratarse de una experiencia piloto, susceptible aún de ser mejorada en estos aspectos.

En general y sin perder de vista las mejoras necesarias, los alumnos están satisfechos con la práctica pero: ¿Cuál es la valoración de los profesores?

Por un lado está la satisfacción de haber conseguido la adquisición, por parte de los alumnos, de los conocimientos previstos en el temario sobre ciclos de bombas de calor con una reducción de las horas dedicadas por el alumno y contemplando además los aspectos vinculados a la realidad.

En el lado menos positivo está el esfuerzo y dedicación del profesor cuando se tiene que enfrentar a un número de alumnos matriculados elevado. La docencia del profesor ha pasado de ser 12 horas, cuatro horas en tres grupos de clase cada uno con cien alumnos, a ser 30 horas, dos horas de práctica a quince grupos cada uno con veinte alumnos. Es decir solo teniendo en cuenta la dedicación presencial se ha multiplicado por 2,5. A esto hay que añadir todas las horas previas dedicadas para el desarrollo de las herramientas necesarias para la realización de la práctica (programas informáticos, memorias de prácticas y encuestas). La conclusión es inmediata: el tiempo dedicado por el profesor a las labores docentes en las nuevas titulaciones va a ser mucho mayor.

3. EXPERIENCIA B: ADQUISICIÓN DE COMPETENCIAS TRANSVERSALES

Las competencias transversales son uno de los nuevos requisitos docentes más innovadores del nuevo panorama educativo derivado de la Declaración de Bolonia. En los planes de estudios renovados, se debe garantizar, a través de

las asignaturas programadas, la adquisición de las mismas. Todos los egresados de una titulación deben haber adquirido las competencias exigidas pero pueden haberlas obtenido de diferentes asignaturas.

Con esta segunda experiencia piloto se pretende desarrollar una actividad, diseñada para un grupo reducido de alumnos, con la que sea posible evaluar la acogida y la respuesta de los alumnos ante actividades centradas en la adquisición de estas competencias. Además como segundo objetivo esperamos que la experiencia sirva para mejorar la docencia en cursos futuros.

Buscando siempre la aproximación más aplicada a los temas y siguiendo las pautas establecidas para las nuevas titulaciones, se decidió que la actividad a desarrollar por los alumnos fuese diseñar una clase práctica basada en una turbina de gas de laboratorio.

En la experiencia participaron cinco alumnos de primer curso, recién ingresados en la Escuela al inicio de la actividad, y dos de cuarto curso. Todos ellos eran Becados de Excelencia de la Comunidad de Madrid (alumnos con expedientes académicos excepcionales). La experiencia se diseñó de forma que los alumnos tuviesen que ejercitarse en las siguientes actividades relacionadas con competencias transversales:

- Coordinación de equipos (especialmente alumnos de cuarto)
- Trabajo colaborativo
- Debate técnico y científico
- Búsqueda de conocimiento
- Tormentas de ideas
- Toma de decisiones técnicas
- Comprensión y manejo de bibliografía técnica en inglés.

Durante el desarrollo de la experiencia, los dos profesores tutores pretendían observar cuatro aspectos de interés:

- Motivación y actitud científica inicial de los alumnos
- Evolución de su motivación
- Respuesta a las actividades de trabajo en grupo mencionadas arriba
- Proceso de aprendizaje técnico.

Desde un punto de vista pedagógico, después de considerar varias alternativas, se optó por un método híbrido, basado en la teoría constructivista: *discovery learning*, *problem-based learning* (PBL), *guided-PBL* y *self-directed learning* (SDL) (Loyens, 2008). Se quiso experimentar con este tipo de métodos por la aparente aceptación que tienen entre los alumnos y algunos profesores, por sus posibles beneficios frente a las clases magistrales y por ser especialmente próximo a los paradigmas propuestos por el EEES (Ministers Responsible for Higher Education, 2009): aprendizaje centrado en el alumno, fomento de caminos de aprendizaje autodirigidos, enseñanza basada en competencias (Fadón-Salazar, 2009) etc.

Como resultados tangibles de la experiencia se obtuvieron: un guión de prácticas para futuros alumnos de

Termodinámica II, sobre un tema y con un enfoque ajustado a los alumnos, y un conjunto de informes individuales, en los que los alumnos resumían lo que habían aprendido en cuanto a técnica y también los aspectos no-técnicos que habían considerado de mayor interés. Los profesores, por otro lado, obtuvieron una visión de primera mano de la extensión y la forma de los conocimientos técnicos de los alumnos al llegar a cursar Termodinámica en segundo curso, y una perspectiva del potencial de este tipo de métodos en la enseñanza de la ingeniería industrial.

3.1. ACTIVIDADES PROGRAMADAS

Mediante el uso de una turbina de gas de aeromodelismo, montada en un banco de prácticas para su uso docente, Banco *Armfield CM-14* que aparece representado en la Figura 4, se plantea el objetivo de diseñar y elaborar un guión de una práctica de Termodinámica dirigida a alumnos de segundo curso de ingeniería industrial. Esta tarea será realizada por siete alumnos tutorados por dos profesores.

La turbina de gas está instrumentada con sensores de caudal másico de aire y combustible, y con sensores de presión y temperatura en los puntos principales del ciclo (*Brayton* con salida de gases por tobera). La turbina puede controlarse desde el ordenador-consola, que además ofrece estimaciones de empuje, cálculo de entalpías y entropías, captura de datos y representación gráfica en diversos tipos de diagramas termodinámicos (h-s, T-s).

Fig. 4: Turbina de gas para uso en prácticas de laboratorio



La duración total de la actividad fue de unos 0.88 ECTS, teniendo en cuenta que 1 ECTS se valora entre 25 y 30 horas de trabajo, se habrían utilizado aproximadamente 25 horas, de los cuales aproximadamente 10 horas (0.32 ECTS) fueron de trabajo propio de los alumnos, bien en equipo o bien individual. La distribución de los créditos ECTS aparece reflejada en la Fig. 5 y se detalla a continuación.

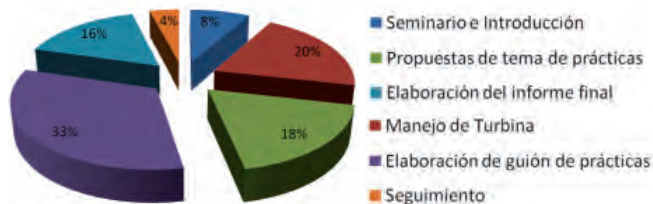


Fig. 5: Distribución de los créditos ECTS asignados a la actividad

1. *Seminario e introducción a los conceptos teóricos* (0.08 ECTS). La experiencia se presenta a los alumnos y se ofrece una introducción descriptiva a las turbinas, sus aplicaciones en la industria y su funcionamiento.
2. *Manejo de la turbina* (0.2 ECTS). Los alumnos usan el manual del equipo (en inglés) para aprender a configurar la aplicación de control del CM-14 con los parámetros de presión y temperatura necesarios, los procedimientos de arranque y parada y el manejo de la turbina en funcionamiento normal. También aprenden cómo mezclar combustible y lubricante. Una vez estas técnicas básicas están asimiladas, realizan los ejercicios incluidos en el manual para explorar los procedimientos de registro de datos.
3. *Propuesta de temas de prácticas* (0.18 ECTS). Se celebran varias sesiones de tormentas de ideas en que cada alumno propone ideas para el tema de prácticas y se discuten por el grupo para evaluar su representatividad técnica y su viabilidad. Una vez escogida una, se debate el modo de convertirla en una práctica, teniendo en cuenta el tiempo disponible para ella (dos horas), el número de alumnos que la realizará, su formación y criterios de seguridad.
4. *Elaboración del guión de prácticas* (0.32 ECTS). Esta parte de la experiencia combinaba sesiones presenciales con los profesores tutores, y trabajo de los alumnos. Los alumnos de cuarto coordinaron este último. En una primera etapa, los alumnos redactaron una versión inicial de guión de prácticas. Esta se debatió con los profesores y se identificaron puntos de mejora. La versión final se validó utilizándola como guía de prácticas por los alumnos, que realizaron íntegramente la práctica propuesta.
5. *Elaboración de un informe final* (0.16 ECTS). Cada alumno redactó un informe de estructura libre, en el que debía describir su proceso de aprendizaje durante la experiencia, identificar posibles dificultades y puntos de interés para el resto de los alumnos y valorar globalmente la experiencia.
6. *Seguimiento* (0.04 ECTS). Como última actividad se realizó una reunión donde los profesores sintetizaron los conceptos teóricos relacionados con la turbina, y los alumnos ofrecieron sus opiniones sobre la experiencia.

3.2. DISCUSIÓN Y VALORACIÓN

Es difícil sintetizar toda la información pedagógica que se ha obtenido de esta experiencia piloto. Hablaremos en primer lugar de los conocimientos que tenían los alumnos y de los que adquirieron realizando la experiencia y en segundo lugar de la adquisición de las competencias transversales previstas.

Los alumnos de primer curso comenzaron la actividad unas semanas después de su ingreso en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid y se mostraban inseguros respecto a los conceptos básicos de Física, en particular el de la *energía*. Les resultaba imposible

hacer razonamientos basados en él y tendían a utilizar las fuerzas. Sin embargo demostraban no haber asimilado bien el *principio de acción y reacción*. Como resultado, eran incapaces de explicar el principio de operación de la turbina en términos científicos. Durante la actividad se pudo comprobar que los alumnos iban afianzando progresivamente ambos conceptos. Los alumnos de cuarto manifestaron que la actividad les había ilustrado la aplicación de algunos conceptos introducidos al cursar Termodinámica en segundo, y utilizados en otras asignaturas posteriores como Motores Térmicos y Mecánica de Fluidos. Apreciaron una mejora en la comprensión de conceptos como la *entropía*, derivada de las conversaciones mantenidas con los profesores.

Todos los alumnos mencionaron como aspecto especialmente significativo la utilización y manejo de un equipo de laboratorio y del conocimiento y puesta en práctica de las normas de seguridad asociadas. El mayor énfasis lo pusieron en la familiarización con los sistemas de medida (termopares, *tubo de Pitot*, sondas de presión y galga extensométrica).

Respecto a las competencias transversales, señalar que en los debates, las tormentas de ideas, el trabajo colaborativo y las actividades prácticas de manejo del equipo, las principales competencias ejercitadas han sido: resolución de problemas, creatividad técnica, exposición y argumentación pública de planteamientos propios, comprensión de manuales técnicos en inglés, organización del trabajo y toma conjunta de decisiones. De forma secundaria, en la elaboración del guión de prácticas y en la redacción del informe técnico, se ha ejercitado la planificación de documentos técnicos.

Los alumnos de primero han mostrado reticencia a participar en los debates, especialmente al principio de la actividad. Posiblemente esto se debiera, dejando al margen la timidez, a la inseguridad con que manejaban los conceptos de Física elemental. Fueron incrementando su iniciativa con el transcurso de la experiencia, hasta que participaron casi normalmente en las últimas sesiones presenciales, proponiendo y argumentando ideas. Los alumnos de cuarto mostraron más facilidad en todos estos aspectos.

En cuanto al trabajo colaborativo, se detectó una falta de coordinación, especialmente en las etapas de propuesta de ideas para una clase práctica y en la realización del guión de la misma. Los alumnos no tomaron la iniciativa de reunirse previamente para preparar la reunión con los profesores, ni optaron por ninguna otra estrategia en grupo. En la primera parte de la etapa 4, donde se debía redactar un guión de prácticas, los alumnos de cuarto no coordinaron bien los dos equipos formados, y eso motivó que ninguna de las dos propuestas esperadas estuviese completa ni bien argumentada. Estos problemas se corrigieron al iniciarse la redacción del guión final, cuyas ideas y estructura salieron de un debate dirigido con los profesores.

Se ha apreciado una progresión en todos los alumnos respecto a su motivación y su actitud iniciales. Posiblemente, esto fue debido a que desarrollaron una familiaridad con los conceptos físicos de fuerza y energía, y también con el

manejo de equipos, que inicialmente no tenían junto con la constatación de las ventajas del trabajo en equipo respecto al individual.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado dos experiencias muy diferentes con un nexo común: la adecuación de la docencia actual a los planes renovados siguiendo las pautas que impregnan la Declaración de Bolonia.

La conclusión principal, y común a ambas, es que con la implantación de nuevos métodos de enseñanza y de nuevas actividades se puede conseguir una idéntica adquisición de conocimientos y además asegurar la formación en competencias transversales. Esto requiere del profesor un esfuerzo adicional para desarrollar material y también en horas dedicadas a su labor docente, que lógicamente se detraen de su actividad investigadora y de innovación. Será difícil responder al reto de conseguir una universidad de excelencia, en docencia e investigación, sin un aumento de recursos materiales y humanos.

Ambas experiencias se incorporarán al desarrollo normal de la asignatura en el curso 2011-2012 que será el primero en el que se impartirá la asignatura de Termodinámica en las titulaciones renovadas. Así tendrán que ser evaluadas y supondrán una parte de la nota final de la asignatura a través de la evaluación continua del alumno. En base a los datos ya obtenidos, se ha pensado en que contribuyan un 25% a la nota de evaluación continua, la cual contribuye a su vez en un 20% a la nota final. No obstante estos porcentajes podrían ser revisados en base a los datos y conclusiones que se obtengan de las experiencias actualmente en curso.

De la primera experiencia se puede concluir que la utilización de sesiones prácticas aplicadas, utilizando las instalaciones de laboratorios, en sustitución de clases magistrales es perfectamente viable. Esto lleva asociado una disminución de la docencia teórica para el alumno, siempre y cuando se puedan diseñar clases prácticas que se ajusten a los contenidos y objetivos de cada asignatura. Sin embargo, las sesiones prácticas no son una solución universal. La extensión o la propia naturaleza de algunas asignaturas no permitirá ejemplificar con prácticas todos los temas que abarca, o alcanzar el nivel de profundidad deseado.

Respecto a las competencias transversales, se propone la adquisición de algunas como: trabajo en equipo (que incluye debate y tormenta de ideas), manejo de bibliografía en otro idioma, coordinación de personas o toma de decisiones, utilizando el diseño de una práctica de laboratorio. Se observó un progreso notable en todos los alumnos en la competencia de trabajo en equipo, ya que los alumnos comenzaron con un desconocimiento claro de las ventajas y prácticas habituales del mismo.

Una conclusión notable es que la competencia transversal relacionada con la iniciativa, tanto en aspectos técnicos como organizativos, debe ser potenciada en otras actividades, ya que está poco desarrollada en los alumnos

de primero y mucho más en los de cuarto al igual que los aspectos relacionados con la coordinación. La función de guía de los profesores ha sido fundamental en la adquisición de estas competencias, incitando a la reflexión, identificando problemas y sugiriendo posibles causas.

Aunque existe abundante literatura que muestra resultados alentadores sobre PBL, la experiencia obtenida en la práctica cuyo objetivo principal era la adquisición de competencias transversales, si bien no puede ser concluyente por lo reducido del grupo de alumnos, sí induce a pensar en algunos posibles problemas asociados a este método de aprendizaje. La experiencia ha coincidido con algunos estudios (Kirschner, 2006) en tres puntos:

- Trabajar en una aplicación práctica contribuye a consolidar conceptos ya aprendidos.
- El nuevo conocimiento derivado de la actividad práctica es menos general que el obtenido por los métodos de enseñanza tradicionales (centrados en la epistemología de la disciplina).
- El guiado de los profesores ha sido positivo en cuanto a asegurar la corrección técnica de los conocimientos nuevos, e imprescindible para superar las dificultades, punto principal del método PBL, debido a la pasividad de los alumnos. Se ha observado poca capacidad para superarlas solos, especialmente en los de primero, por capacidades metacognitivas poco desarrolladas.

En conclusión, la implantación de actividades de este tipo en la docencia normal, aparte de difícil por cuestiones de medios y organización docente, ofrece dudas en cuanto a sus posibles ventajas desde el punto de vista de la transmisión de conocimiento técnico. Sí parece eficaz en cuanto al desarrollo de competencias trasversales en los alumnos y a la consolidación de conceptos previamente adquiridos.

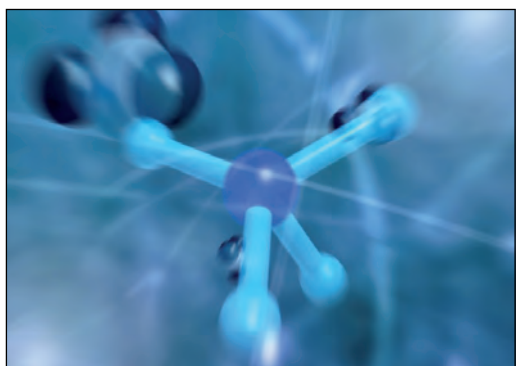
Sería necesario estudiar en detalle la influencia de implantar este tipo de actividades, de forma continuada y complementaria a otras, en su capacidad de razonamiento técnico. El problema de la disociación entre el conocimiento declarativo y procedimental (Cracolice, 2008) explica en parte lo observado en la actitud de los alumnos a lo largo de la experiencia.

Otro aspecto a tener en cuenta para la programación de clases prácticas, es el número de alumnos que cursan la asignatura. Como conclusión final se puede decir que en el caso de un número elevado es posible la optimización del esfuerzo del alumno sustituyendo algunas clases magistrales por clases prácticas, como se ha presentado en la primera experiencia. Si el número de alumnos es reducido el objetivo de las clases prácticas puede ser más ambicioso e intentar cubrir también la adquisición de algunas competencias transversales, como en la segunda experiencia desarrollada en este trabajo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Ahlström P, Aim K, Dohrn R et al. "A survey of Thermodynamics and Transport properties in Chemical Engineering Education in Europe and the USA". Proceedings of the 10 th Annual Meetings of the American Institute for Chemical Engineering. 2008.
- Comisión Europea. *The Bologna Declaration on the European Space for Higher Education: An explanation*. 29 de febrero de 2000. Disponible en Web: <<http://ec.europa.eu/education/policies/educ/bologna/bologna.pdf>>
- Cracolice Mark S, Deming John C, Ehlert B. "Concept Learning versus Problem Solving: A Cognitive Difference". *Journal of Chemical Education*. Junio 2008. Vol. 85, nº 6.
- Fadón-Salazar F, Cerón-Hoyos JE et Vallejo-Lobote E. Programación basada en competencias: Implantación en ingeniería gráfica. *Dyna*. Marzo 2009. Vol. 84, nº 2.
- Kirschner PA, Sweller J, Clark RE. "Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching". *Educational Psychologist*. 2006. Vol. 41, nº 2, p.75-86.
- Lamancusa JS. "Design as the bridge between theory and practice" *Int. J. Engineering Education*. 2006. Vol. 22, nº 3, p. 652-658.
- Loyens SMM, Magda J, Rickers RM J P «Self-Directed Learning in Problem-Based Learning and its Relationships with Self-Regulated Learning». *Educational Psychology Review*. Diciembre 2008. Vol. 20, nº 4, p. 411-427.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Real Decreto 1125/2003 de 5 de septiembre. *Boletín Oficial del Estado*. Jueves 18 de septiembre de 2003, nº 224, p. 34355-34356.
- Ministers Responsible for Higher Education . *The Bologna Process 2020 - The European Higher Education Area in the new decade. Communiqué of the Conference of European Ministers Responsible for Higher Education, Leuven and Louvain-la-Neuve, 28-29 April 2009*. 29 de abril de 2009. Disponible en Web: <http://www.ond.vlaanderen.be/hogeronderwijs/Bologna/>
- Nieto-Carlier R, Rodríguez-Martín J, Jiménez-Álvaro Á, et al. Enlightening Thermodynamic Concepts in the Lab via Hardware and Software: the Case of a Heat Pump Cycle. *Proceedings of the International Conference of Education and New Learning Technologies (Barcelona, 5th-7th of July, 2010)* [CD]. 2010.
- EFCE Engineering Bologna recommendations. Three Cycle Degree System. Disponible en Web: http://www.efce.info/efce_media/downloads/EFCE_Bologna_Recpm_0905.pdf
- Rouvrais S, Ormrod S « A mixed project based learning framework : preparing and developing student competences in a French Grade Ecole" *European Journal of Engineering Education* 2006, Vol.1, nº1, p. 83-93.
- Rovira-Mas F. "Engineering Education: Importing Methodologies without their philosophical framework". INTED 2007 Proceedings ISBN: 978-84-611-4517-1.
- Zamora-Polo F, Román-Suero S et Sánchez-Martín J. De la eficacia a la sostenibilidad: Formar ingenieros responsables en el nuevo escenario educativo. *Dyna*. Octubre 2010. Vol. 85, nº 7.

Modelo sistémico para la adopción de tecnología por la industria química



Martín Durán-García*
María Pérez-Ovalles**
Gladis Rincón-Polo***
Luis. Mendoza-Morales***

Ingeniero Químico
Doctor en Ciencias Computación
Ingeniero Químico
Licenciado en Matemática

* Universidad Simón Bolívar. Dpto. de Tecnología Industrial. Edif. Biblioteca Central, 1. La Guaira (Venezuela). Tfn: +58 212 906 3224. martinduran@usb.ve

** Universidad Simón Bolívar. Laboratorio de Investigación de Sistemas de Información (LISI). Edificio Laboratorio de Electrónica. Caracas (Venezuela). Tfn: +58 212 906 4017.

*** Universidad Simón Bolívar. Dpto. de Procesos y Sistemas. Edif. MYS, 3. Caracas (Venezuela). Tfn: +58 212 906 3902.

Recibido: 20/01/2011 • Aceptado: 09/05/2011

Systemic model for technology adoption by the chemical industry

ABSTRACT

• The technology adoption by the chemical industry requires an adequate analysis of the variables involved in the technology policy of the industry. Some of these variables are: the characteristics of the technology in adoption, the acquisition conditions, the technology adjustment or the influence of the chemical industry context. A supporting tool for this task is the formulation of a systemic model in order to direct the decision making process and, at the same time, to analyze in a systematic manner the relations of the variables involved. The purpose of the present research is to propose and evaluate a Systemic Model of Chemical Technology Adoption answering the complex technological reality of the chemical industries. This work is setting within a methodological framework based on the Action-Research Method and the DESMET methodology bases, through the characteristics analysis by surveys, applied to 4 expert evaluators. As a result, it is the definition of the model dimensions and categories, the establishment of 17 characteristics and 57 sub-characteristics with their respective metrics (there were proposed 125 metrics), proved through the model evaluation by experts looking for contributions and improvements, reaching an average acceptance of all the model characteristics of 96%. Specifically, the model evaluation feature "pertinency" is 99%, the average acceptance level for the "complexity" is 98%, and for the "adjustment" and "precision" features, it was verified that the average acceptance level is 95%, which is higher than the acceptance level of 75% proposed in the model evaluation. Consequently, the model is pertinent, complete, adequate and precise.

• **Key Words:** systemic model, technology adoption, chemical industry, methodological framework, chemical technology, selection criteria.

RESUMEN

La adopción de tecnología por la industria química requiere de un análisis adecuado de las variables que intervienen en la política tecnológica de la industria. Entre estas se encuentran las características propias de la tecnología a adoptar, las condiciones de adquisición, la adecuación de la tecnología o la influencia del contexto de la industria química. Una herramienta que soporta este tipo de tarea es la formulación de un modelo sistémico que permita orientar el proceso de toma de decisiones y a su

vez analizar sistémicamente las relaciones de las variables que en el intervienen.

La presente investigación tiene como objetivo proponer y evaluar un Modelo Sistémico de Adopción de la Tecnología Química que de respuesta a esta compleja realidad tecnológica de las industrias químicas. Este trabajo se sitúa en un marco, basado en un proceso de Investigación-Acción y en los principios de la metodología DESMET*, a través del método de análisis de características por encuestas aplicado a 4 expertos evaluadores.

Como resultado se tiene la definición de las

*NOTA DEL EDITOR

DESMET fue un proyecto de los años 90, soportado por el Department of Trade and Industry del Reino Unido, con el objetivo de desarrollar y validar una metodología para la evaluación de métodos y herramientas de ingeniería del software.

Los autores, basados en ese proyecto, han venido elaborando variantes del método para diferentes aplicaciones.

dimensiones y categorías del modelo, compuesto por 17 características y 57 sub-características con sus respectivas métricas (se formularon un total 125 métricas), refrendado por la evaluación del modelo a través de expertos en búsqueda de aportes y mejoras, y cualificándose con un promedio de aceptación para todas las características del modelo del 96%.

Específicamente, para los aspectos de evaluación “pertinencia” es del 99%, para la “completitud” el nivel promedio de aceptación es del 98%, y en los aspectos de “adecuación” y “precisión”, se verifica que el nivel promedio de aceptación es del 95%, que están por encima del nivel de aceptación del 75% propuesto para la aceptación del modelo. Por consiguiente el modelo es pertinente, completo, adecuado y preciso.

Palabras Claves: modelo sistémico, adopción de tecnología, industria química, marco metodológico, tecnología química, criterios de selección.

1. INTRODUCCIÓN

El manejo de la política tecnológica es un tema de singular importancia en las organizaciones y países del mundo, siendo uno de los ámbitos más resaltantes la adopción de tecnología, entendiéndola como un proceso que va desde la selección hasta su adecuación y difusión en la organización. Karl-Heinz *et. al.* (1974) señalan que la adopción de tecnología se ha constituido en una estrategia que ha elevado la política tecnológica en los países del mundo, independientemente si el país es o no generador de tecnologías. Esta idea sugiere la importancia que la adopción tiene para el éxito de una organización y, por consiguiente, en aquellas cuya complejidad tecnológica sea más evidente, se requerirá con mayor énfasis de un método que minimice las pérdidas y optimice los resultados que se esperan obtener de ella.

Un claro ejemplo de organizaciones con una elevada complejidad tecnológica es la industria química y el proceso de adopción de la tecnología dentro de esta constituye un aspecto vital donde se deben tomar en cuenta diversos criterios que permitan lograr con éxito la inserción adecuada de una tecnología en un contexto dado.

Por ejemplo en la industria química, al promover innovaciones de los procesos de producción en busca del aumento de la calidad y competitividad de los productos, se tienen presiones ecológicas, que conducen a la necesidad de disminuir la cantidad y mejorar la calidad de los efluentes industriales y reducir el consumo de recursos energéticos y recursos naturales - Antunes *et. al.*, (2001). Esta industria no se escapa a la dinámica cambiante existente, debido a su complejidad tecnológica y cada día surge la necesidad de mejorar procesos dentro de la misma.

Por lo tanto, es necesario estudiar la repercusión que tienen los cambios de tecnología química, ya sea por generación propia de la industria o por vía de adopción, en su contexto; lo que lleva a pensar el siguiente interrogante: ¿Por

qué es necesario realizar un modelo sistémico de adopción de la tecnología por la industria química?

La razón principal está en la dinámica actual al adquirir tecnologías en las organizaciones. No es sorpresa observar como las empresas adquieren tecnología sólo por la sencilla razón de que funcionan exitosamente en otra organización, porque es una tecnología “novedosa”, porque es necesaria en la empresa o por otras diversas razones, que dejan en evidencia la ausencia de criterios claros que permitan definir si es apropiada o no determinada adopción de tecnología.

Como respuesta a esto, se hace necesario proporcionar a las organizaciones y países una herramienta a través de la formulación de un modelo, que permita orientarlas en el proceso de adopción de tecnología, por medio de claros criterios de selección que formen un proceso adecuado. La característica principal de este modelo es su carácter sistémico que busca comprender mejor la complejidad tecnológica de la industria química en los procesos de adopción.

2. MARCO METODOLÓGICO

Dada la naturaleza empírica de la fase de evaluación del Método de Investigación Acción, la evaluación del Modelo Sistémico de Adopción de la Tecnología por la Industria Química se refuerza aplicando la metodología DESMET. Según Kitchenham (1996), la evaluación a través de la metodología DESMET ayuda a la persona que lo evalúa en una organización, sobre todo, a planificar y a ejecutar la evaluación de forma imparcial y fiable.

Es probable que en la evaluación del Modelo en una organización específica, la importancia de cada característica varíe de acuerdo a las necesidades y realidad del contexto de la evaluación. Se proponen entonces las actividades a llevar a cabo, con el fin de alcanzar el objetivo planteado a través de un marco metodológico - Pérez *et. al.* (2004) -, que se basa en el método de Investigación Acción y las bases de la metodología DESMET.

Este ciclo propuesto puede repetirse n veces, pero para efectos de esta investigación se considera una sola iteración.

3. RESULTADOS

3.1. FORMULACIÓN DEL MODELO SISTÉMICO PARA LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍA POR LA INDUSTRIA QUÍMICA

La ausencia de modelos de adopción de la tecnología por la industria química no limita la recolección de criterios usados comúnmente en la práctica de ingeniería (conocimiento adquirido con la experiencia por expertos en el manejo de la adopción tecnológica, prácticas básicas que contribuyen con una adecuada adopción, entre otras), que son necesarios para realizar la adopción apropiada.

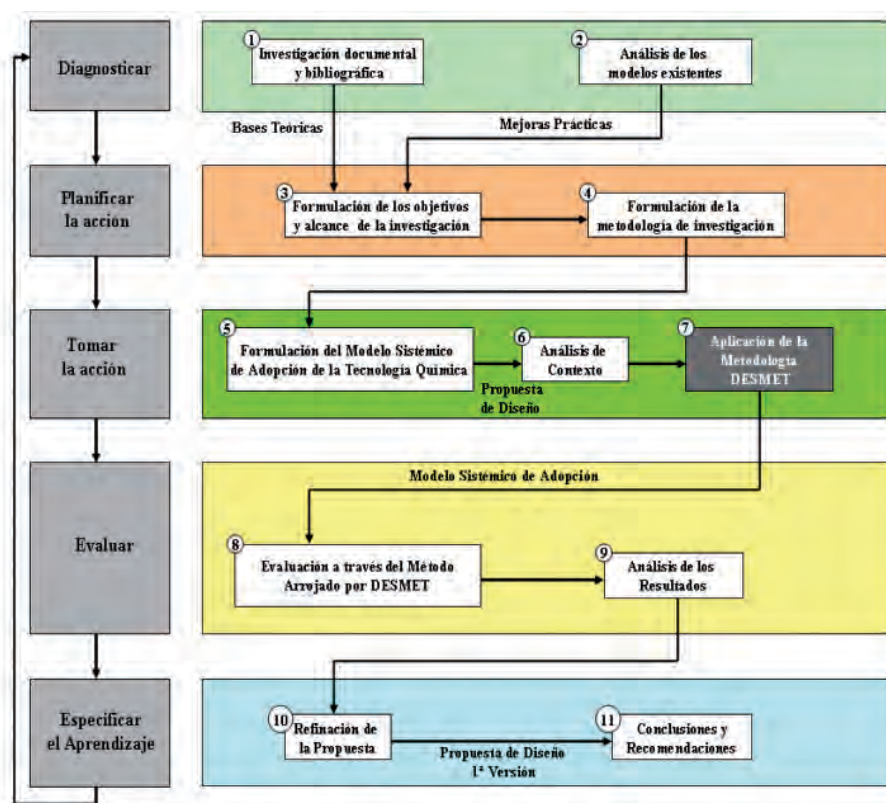


Figura 1: Ciclo metodológico de evaluación. Fuente: Adaptado de Mendoza, Pérez y Griman, (2005)

En particular, después de verificar qué criterios se encuentran en la mayoría de los modelos - en las concepciones teóricas y en las prácticas básicas de los expertos en la industria - se procedió a seleccionar los más usados y pertinentes para la presente investigación, y se agruparon por áreas que involucran aspectos de carácter técnico-científico, ingenieril, social, económico, industrial, etc., que, a su vez, conforman la adopción tecnológica como un proceso de gran complejidad por sus interrelaciones que puede ser abordado bajo la perspectiva de un modelo con enfoque sistémico. La bibliografía nos presenta algunos de los considerados.

Como base, nos hemos orientado a la aplicación, adaptación y adecuación del submodelo asociado al *Modelo Sistémico de Calidad* (MOSCA) utilizado en el proceso de selección de *software*, propuesto por Mendoza, Pérez

y Griman (2005). Este modelo sistémico es claramente adaptable, sensible al contexto donde se esté aplicando y, además, permite tomar en cuenta las complejas interrelaciones que existen entre las variables que intervienen en las políticas de decisión tecnológica en una organización (en específico en el proceso de adopción de la tecnología por una industria en particular).

El modelo está constituido por cuatro (04) niveles que se presentan a continuación:

- Nivel 0: Dimensiones.** Aspectos contextuales e internos del modelo de adopción de la tecnología por la industria química como proceso. El modelo como proceso requiere evaluar por completo la adopción de la tecnología química y las dimensiones en este modelo están asociadas a los aspectos contextuales e internos del proceso de adopción, en función de los requerimientos establecidos en las bases de diseño.

 - Aspectos contextuales del modelo: se refieren a las actividades relacionadas con el impacto que tiene el modelo en el entorno (la demanda del producto, el nivel de aceptación, conformidad y fidelidad del cliente, el posicionamiento en el mercado, nivel de competitividad, mejoras en los indicadores económicos, entre otras).
 - Aspectos internos del modelo: están asociados con las actividades que garantizan el adecuado nivel de productividad del modelo (clima organizacional, cumplimiento de los objetivos planteados, la calidad del producto obtenido, cumplimiento de lapsos de tiempo, ahorro de recursos y mejoramiento del proceso, entre otras).

Categoría	Definición
Cliente - Proveedor (CUS)	Está constituida por los procesos que impactan directamente en la industria química que adquiere la tecnología, apoya el proceso de transición de la transferencia de la tecnología hacia el cliente.
Ingeniería (ING)	Consiste en los procesos que directamente especifican y definen los aspectos intrínsecos de la tecnología química adoptada y su relación con el entorno tomando en cuenta las bases de diseño.
Soporte (SOP)	Constituyen los procesos que pueden ser empleados por cualquiera de los procesos en varios niveles del ciclo de vida de adopción tecnológica.
Gestión (MAN)	Son los procesos que contienen prácticas de naturaleza genérica, que pueden ser utilizados por cualquier actor de la planta química que dirija algún tipo de proyecto o proceso.
Organizacional (ORG)	Agrupar los procesos que establecen las metas comerciales de la industria química como organización y desarrolladora de bienes y recursos, que ayuden a la organización para alcanzar las metas en sus proyectos.

Tabla 1: Categorías del modelo como proceso. Fuente: Adaptado de Mendoza, Pérez y Griman, (2005)

NIVEL 1. Categorías. Se proponen cinco (05) categorías asociadas al modelo como proceso con el fin de lograr una adecuada calidad sistémica. Las categorías del modelo como proceso son: cliente – proveedor (CUS), ingeniería (ING), soporte (SOP), gestión (MAN) y organizacional (ORG), presentadas en la Tabla 1. Se considera “cliente” la industria que adopta la tecnología y “proveedor” quien la facilita.

NIVEL 2. Características. A partir de las categorías que serán evaluadas, se analizan las características propuestas por MOSCA asociadas a cada categoría, y se toman en cuenta diecisiete (17) características para la adopción de plantas químicas industriales tal como se presentan en la Tabla 2.

NIVEL 3. Sub-características. Las características se despliegan, a su vez, en cincuenta y ocho (58) sub-características que satisfacen un adecuado proceso de adopción de la tecnología por la industria química tal como se muestra en la Tabla 3 con sus respectivos códigos de identificación.

Finalmente, para la apropiada valoración cuantificada que permita la toma de decisiones, el modelo sistémico de adopción de la tecnología química presenta **ciento veinticinco (125) métricas** asociadas a las sub-características propuestas.

Como ejemplo, damos las métricas correspondientes a la característica Establecimiento del Proceso (EPR) y a sus sub-características Nivel de Asimilación (EPR 01), Revisión Continua (EPR 02) y Comunicación Organizacional (EPR 03), presentadas en la Tabla 4. De manera similar, todo el

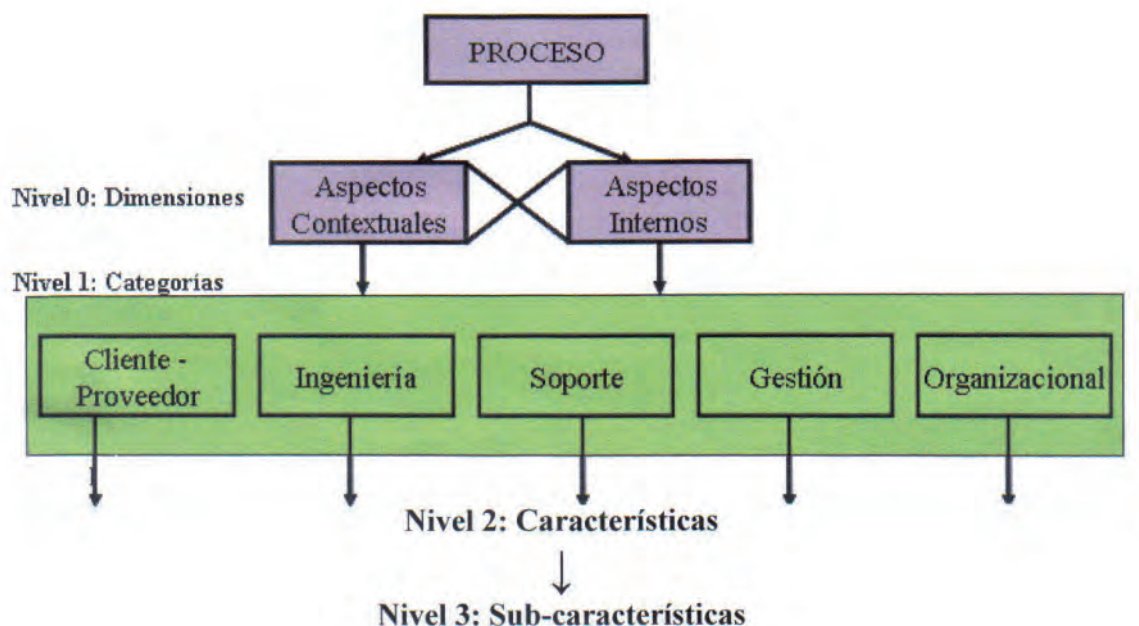


Figura 2: Propuesta de Modelo Sistémico de Adopción de la Tecnología por la Industria Química. Fuente: Elaboración Propia

Categoría	Características	
	Aspectos Contextuales del Proceso	Aspectos Internos del Proceso
Cliente – Proveedor (CUS)	ADT. Adquisición de la tecnología ASA. Asistencia y Asesoría	DER. Determinación de requerimientos PAL. Patentes y licencias
Soporte (SOP)	AUD. Auditoría ADC. Aseguramiento de la calidad	AUD. Auditoría ADC. Aseguramiento de la calidad
Ingeniería (ING)	CON. Control	ICT. Información Cinética y Termodinámica PRI. Procesos Industriales EQU. Equipos ESP. Especificaciones SER. Servicios
Gestión (GES)	GER. Gestión de riesgo GEC. Gestión de calidad	GER. Gestión de riesgo GEC. Gestión de calidad GEP. Gestión de proyecto
Organizacional (ORG)	POR. Políticas Organizacionales	EPR. Establecimiento del proceso POR. Políticas Organizacionales

Tabla 2: Características del modelo como proceso. Fuente: Elaboración Propia

Categorías	Características	Código	Sub-características
CLIENTE – PROVEEDOR (CUS)	Adquisición de la Tecnología (ADT)	ADT 01	Pertinencia de la participación de los actores
		ADT 02	Capacidad de negociación
		ADT 03	Respeto por las regulaciones
		ADT 04	Proveedor
		ADT 05	Costo de Inversión
	Patentes y Licencias (PAL)	PAL 01	Ventajas competitivas para los actores
		PAL 02	Información preliminar al proceso de manufactura
		PAL 03	Documentación anexa
	Determinación de requerimientos (DER)	DER 01	Antecedentes de la tecnología
		DER 02	Clasificación y madurez de la tecnología
Asistencia y asesoría (ASA)	ASA 01	Asistencia técnica y adiestramiento	
	ASA 02	Contratación de expertos	
SOPORTE (SOP)	Auditoría (AUD)	AUD 01	Evaluación del proceso de transferencia de la tecnología por la industria química
		AUD 02	Evaluación del proceso de aplicación de la tecnología química
	Aseguramiento de la calidad (ADC)	ADC 01	Uso de manuales de normas y procedimientos
		ADC 02	Revisión continua
		ADC 03	Estándares internacionales
GESTIÓN (GES)	Gestión de Riesgos (GER)	GER 01	Riesgos económicos
		GER 02	Riesgos ambientales
	Gestión de Calidad (GEC)	GEC 01	Adaptabilidad
		GEC 02	Duración del proceso
	Gestión de Proyecto (GEP)	GEP 01	Capacidad
		GEP 02	Rentabilidad
ORGANIZACIONAL (ORG)	Políticas Organizacionales (POR)	POR 01	Estructura organizacional
		POR 02	Capacidad administrativa
		POR 03	Planes de inversión
	Establecimiento del Proceso (EPR)	EPR 01	Nivel de asimilación
		EPR 02	Impacto de las unidades operativas y conexas
		EPR 03	Revisión continua
		EPR 04	Comunicaciones de contacto
INGENIERÍA (ING)	Información Cinética y Termodinámica (ICT)	ICT 01	Información de la reacción química
		ICT 02	Desempeño de la reacción química
		ICT 03	Procesos termodinámicos
		ICT 04	Condiciones de operación de la reacción química
	Procesos Industriales (PRI)	PRI 01	Diagrama de los procesos productivos y conexos
		PRI 02	Compuestos no deseados
		PRI 03	Sustentable energéticamente
		PRI 04	Productos y subproductos
		PRI 05	Condiciones de operación de equipos y accesorios
		PRI 06	Impacto en los procesos
	Equipos (EQU)	EQU 01	Equipos y accesorios
		EQU 02	Manuales de uso
		EQU 03	Características propias de los equipos y accesorios
		EQU 04	Plantas de tratamiento
		EQU 05	Efluentes
		EQU 06	Contaminación sónica
	Especificaciones (ESP)	ESP 01	Especificación de materia prima
		ESP 02	Especificación de insumos
		ESP 03	Especificación del producto
		ESP 04	Desechos sólidos y residuos contaminantes
	Servicio (SER)	SER 01	Energía
		SER 02	Disponibilidad de corrientes de alimentación
		SER 03	Almacenaje
		SER 04	Emisiones gaseosas
	Control (CON)	CON 01	Automatización
		CON 02	Dispositivos de medición
		CON 03	Arranque y parada
		CON 04	Sistemas automatizados

Tabla 3: Categorías, características y sub-características del modelo sistémico de adopción de la tecnología química. Fuente: Elaboración Propia

modelo es cuantificado a través de métricas en cada una de sus categorías, características y sub-características.

3.2. EVALUACIÓN DEL MODELO SISTÉMICO DE ADOPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA POR LA INDUSTRIA QUÍMICA

Con objeto de validar el método diseñado para la adopción de tecnología y siguiendo las propuestas de DESMET, se deben evaluar utilizando un análisis mediante encuesta, tanto sus características generales como las características específicas de cada métrica. Ello generará un alto nivel de confianza y de profundidad en la investigación realizada, factor clave según Kitchenham [1996]. Para realizar esta encuesta de evaluación fueron seleccionados cuatro prestigiosos científicos expertos, que actuaron como usuarios en virtud de la experiencia que tienen en procesos de adopción de la tecnología por la industria química.

Se entregaron cuestionarios a cada uno de los expertos para evaluar las características del modelo, los cuales fueron respondidos según la escala definida en la tabla 5 donde el porcentaje de respuestas positivas son calculadas a partir de las respuestas dadas con valor 1. Para cada característica del modelo, el nivel de aceptación fue definido con el setenta y

cinco por ciento (75%) de las respuestas de los expertos son positivas (valor 1).

Las respuestas fueron valoradas en 1=si y 0=no. Esto permitió cuantificar si una característica y/o métrica del modelo era aceptada o no. El tener cuatro respuestas para cada ítem a evaluar, nos permitió sacar el nivel de pertinencia, completitud, adecuación y precisión para las características de pertinencia, factibilidad, profundidad y escala en las métricas del modelo. Si una métrica no supera el nivel mínimo de aceptación del 75% será desechada al momento de adoptar una tecnología por parte de la industria química.

4. DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al cuantificar las respuestas de los expertos, se obtuvo un promedio de aceptación para todas las características del modelo de alrededor del 96 %, el cual está por encima del nivel de aceptación del 75% propuesto para la evaluación. Como se puede apreciar en la Fig. 3, los resultados para todas las características del modelo fueron valores positivos.

Sub- Característica	Métrica	Pregunta	Formulación
Característica: Establecimiento del proceso (ESP)			
Nivel de asimilación EPR 01	Compromiso Organizacional	¿Se documenta el análisis del compromiso organizacional con el proceso de adopción de tecnológica?	0= No 1= Si
	Difusión	¿Se documenta la campaña publicitaria para dar a conocer el proceso de adopción entre los miembros de la organización.	0= No 1= Si
Revisión Continua EPR 02	Inspección	¿Se documenta la inspección durante el desarrollo del proceso?	0= No 1= Si
	Minimización de errores o fallas	¿Se documentan las mitigaciones de errores o fallas en el proceso durante el proceso de revisión continua?	0= No 1= Si
Comunicación Organizacional EPR 03	Memos de contacto	¿Se documentan los memorandums de contacto?	0= No 1= Si
	Efectividad de la comunicación	¿Se documenta el análisis de la efectividad de la comunicación organizacional durante el proceso?	0= No 1= Si

Tabla 4: Métricas asociadas a la categoría organizacional Fuente: Elaboración Propia

Característica General	Descripción	Escala
Pertinencia del Modelo Sistémico	Se refiere si el Modelo Sistémico es pertinente o no dentro del proceso de especificación de calidad del proceso de adopción tecnológica.	1: significa que el Modelo Sistémico es pertinente 0: significa que el Modelo Sistémico no es pertinente
Completitud de las categorías involucradas	Se refiere si las categorías cliente-proveedor, soporte, ingeniería, gestión y organizacional dan cobertura total al Modelo	1: significa que el Modelo Sistémico de es completa en cuanto a las categorías utilizadas 0: significa que de acuerdo al contexto existen categorías del deberían ser consideradas.
Adecuación al contexto	Se refiere si la especificación de la calidad del Modelo es adecuada en el contexto de la evaluación	1: significa que el Modelo se adecua al proceso de evaluación 0: significa que el Modelo no es adecuada en el contexto de evaluación
Precisión del nivel de calidad especificado por Modelo de Adopción de la Tecnología Química	Se refiere si la calidad especificada por el Modelo en el proyecto piloto fue específica	1: significa que el nivel de calidad especificado es preciso 0: significa que el nivel de calidad especificado no es preciso

Tabla 5: Característica para la evaluación del modelo. Fuente: Adaptado de Sosa, (2006)

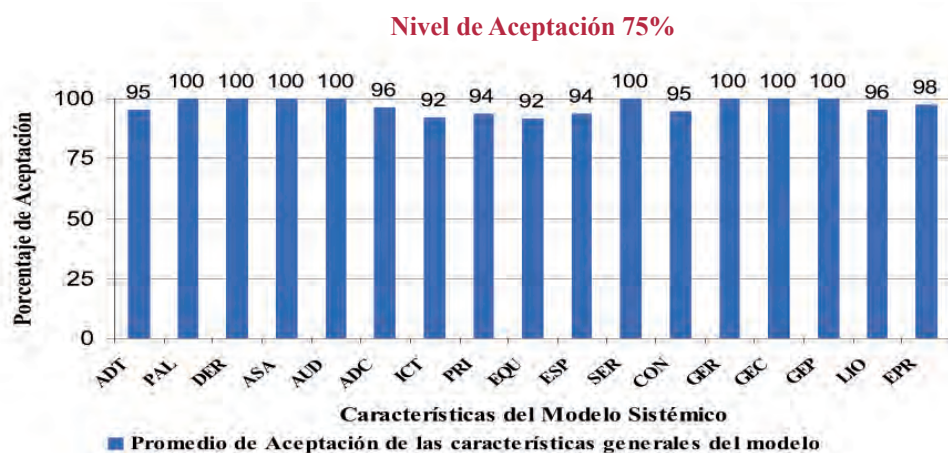


Figura 3: Evaluación de las características generales del modelo.
 Fuente: Elaboración propia

Los porcentajes de aceptación más bajos son los asociados a las características de Información Cinética y Termodinámica (ICT) y Equipos (EQU) con un nivel de aceptación promedio del 92%, esto lo podemos observar en la Fig. 3 donde este valor se encuentra por encima del nivel de aceptación del 75%. En la Fig.4 se observa que para la característica del modelo ICT, el porcentaje más bajo de aceptación es del 87% y está referido al aspecto de completitud, y el más alto un 100% referido al aspecto de pertinencia.

Como uno de los aspectos más importantes de validación del modelo es su pertinencia, esto se verifica al observar que su nivel promedio de aceptación es del 99%, mayor que el nivel general de aceptación. Los valores extremos de la pertinencia se encuentran en las características del modelo Especificaciones (ESP) y Equipos (EQU) con un porcentaje de aceptación del 96%, siendo este el más bajo; y

un porcentaje de aceptación del 100% (más alto) se encuentra en 14 de las 17 características del modelo. Estos resultados permiten afirmar que, a partir de la evaluación del Modelo Sistémico de Adopción de la Tecnología por la Industria Química, existe un aceptable nivel de pertinencia del mismo.

En cuanto al aspecto de evaluación de su completitud, se verifica que el nivel promedio de aceptación es del 98%, mayor que el nivel de aceptación, tal como lo presenta la Fig. 4. Los valores extremos de la completitud se encuentran en la característica del modelo Información Cinética y Termodinámica (ICT) con un porcentaje de aceptación del 87%, siendo este el más bajo; y un porcentaje de aceptación del 100% (más alto) encontrado en 12 de las 17 características del modelo. Por lo tanto se considera que el Modelo Sistémico de Adopción de la Tecnología por la Industria Química presenta un aceptable nivel de completitud, entendiendo que es una representación de la realidad y que no pretende recoger todas las variables que intervienen en el proceso de Adopción de la Tecnología por la Industria Química.

Al observar el aspecto de evaluación de la adecuación, se verifica que el nivel promedio de aceptación es del 95%, mayor que el nivel de aceptación, tal como lo presenta la Figura 4. Los valores extremos de la adecuación se encuentran en la característica del modelo Aseguramiento de la Calidad (ADC) con un porcentaje de aceptación del 87%, siendo este el más bajo, y un porcentaje de aceptación del 100% (más alto) encontrado en 8 de las 17 características del modelo. Por ello se estima que el Modelo Sistémico de Adopción de la Tecnología por la Industria Química es adecuado, según el proceso de evaluación del mismo.

Al observar el aspecto de evaluación del modelo de su precisión, se verifica que el nivel promedio de aceptación es del 95%, mayor que el nivel de aceptación, tal como lo presenta la Figura 4. Los valores extremos de la precisión se encuentran en las características del modelo Equipos (EQU), Especificaciones (ESP) y Control (CON) con un porcentaje de aceptación del 89%, siendo este

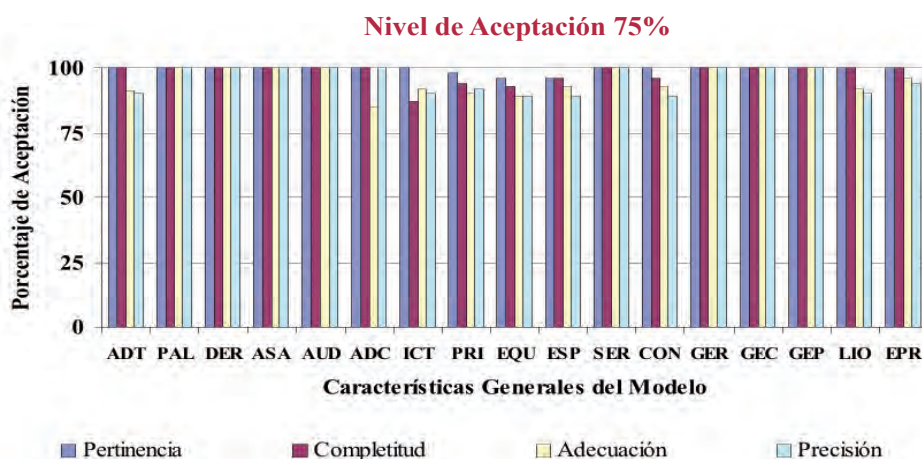


Figura 4: Desglose de la evaluación de las características generales del modelo.
 Fuente: Elaboración propia

el más bajo; y un porcentaje de aceptación del 100% (más alto) encontrado en 9 de las 17 características del modelo. Estos resultados permiten afirmar que el nivel de calidad especificado por el Modelo Sistémico de Adopción de la Tecnología por la Industria Química es preciso.

4.2. COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

Analizando los resultados de la evaluación de los expertos, se observa que las respuestas son positivas para todos los aspectos generales del modelo: pertinencia, factibilidad, adecuación y precisión. De esto se desprende la idea de que la definición de las características del Modelo Sistémico constituye un apropiado punto de partida cuando evaluamos un proceso de Adopción de la Tecnología por la Industria Química y es una herramienta que las plantas químicas pueden utilizar para el diagnóstico de este proceso.

A su vez, respecto a las características de “información cinética y termodinámica”, “especificaciones” y “procesos industriales” se propone iniciar una investigación que logre identificar las relaciones existentes entre estas características, sus aspectos técnicos y científicos en mayor detalle y la influencia de estas características en el proceso de adopción de la tecnología química; de manera que se generen propuestas mejoradas del modelo.

*NOTA DEL EDITOR

Aunque este enfoque está dirigido a la industria química, similares consideraciones podrían hacerse para estudiar eventuales adopciones de tecnología por cualquier otro sector industrial

5. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Ghailani H, Moor W. "Technology Transfer to Developing Countries". Journal Technology Management. 1995 Vol. 10-7,8 p. 687-703.
- Alvarez M, Rincón G, Pérez M, et. al. "Evaluation and Selection of Discrete-Event Simulation Software for the Oil Industry". Latin American Applied Research. 2008. Indexada en el Science Citation Index. Vol. 38 p. 305 – 312
- Alvarez M, Rincón G, Pérez M. "Initiatives to Face the Logistic Challenges of the Clean Fuel Age: A Software Selection Case". 7thWorld Congress of Chemical Engineering Glasgow Reino Unido JuPOR 2005. CD: Congress Manuscripts 7o World Congress Chemical Engineering p. 1 – 8
- Antunes A, Souza C, Dutra L. "Desarrollo de la tecnología en la Industria Química de Brasil y Venezuela: Énfasis en Patentes". Revista Espacios. 2001 Vol. 22-2 p.1-8.
- Ávalos I. "El Desarrollo Tecnológico como Soporte del Desarrollo Industrial. Estrategias, planificación y gestión de ciencia y tecnología". 1989 Editorial Nueva Sociedad p. 1-120.
- Durrani T, Forbes S, Broadfoot Ch (1999). "An Integrated Approach to Technology Acquisition Management". Journal Technology Management 1998. Vol. 17-6. p. 597 – 617.
- Galvis A, Vargas V. "Modelo de Selección de Tecnología en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano". Seminario Agua y Sostenibilidad Conferencia Internacional Colombia 1998. p. 1-5.
- Kitchenham B. "Evaluating Software Engineering Methods and Tools. Part 3: Selecting an Appropriate Evaluation Methods- Practical Issues". ACM SIGSOFT - Software Engineering Notes 1996. 9-12. p. 21.
- Mendoza L, Pérez M, Griman, A. "Propuesta del Modelo Sistémico de Calidad (MOSCA) del Software". Revista Computación y Sistemas 2005. Vol. 8-3 p. 196-221.
- Pérez M, Rojas T, Mendoza L, et. al. "Systemic Methodological Framework for IS Research". Proceedings of the Tenth Ameritas Conference on Information Systems. 2004 New York.
- Rincón G. "Etapas de un Proyecto para la Industria de Procesos". Trabajo de Ascenso a la categoría de Asociado en el área de Procesos Químicos. Departamento de Procesos y Sistemas Universidad Simón Bolívar Caracas Venezuela. 2006
- Rincón G, Pérez M, Alvarez M, et. al. "A Discrete-Event Simulation and Continuous Software Evaluation on a Systemic Quality Model: an Oil Industry Case". Information & Management 2005. Indexada en el Social Sciences Citation Index. Vol. 42-8 p. 1051 – 1061
- Sosa J. "Perspectiva Humana en la Calidad Sistémica de los Sistemas de Información". Trabajo de Grado para optar al título de Magíster en Ingeniería de Sistemas Universidad Simón Bolívar Caracas Venezuela. 2006
- Turton R, Bailie R, Whiting W, et. al "Analysis Synthesis and Design of Chemical Processes". Prentice Hall PTR. 2da Edición. New Jersey E.E.U.U. 1998 ISBN: 013-06-4792-6

La mejora de sistemas de producción de Ingeniería contra pedido: Un estudio empírico



Ander Errasti-Opacua*
Sandra Martínez-Miguel*
Javier Santos-García*
Raúl Poler-Escoto**

Doctor Ingeniero Industrial
Ingeniera en Organización Industrial
Doctor Ingeniero Industrial
Doctor Ingeniero Industrial

* TECNUN. Universidad de Navarra. Paseo Manuel Lardizabal, 13 – 20018 Donostia.
Tfno: +34 943 219877. aerrasti@tecnun.es

** UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. Centro de Investigación Gestión e Ingeniería de Producción. Camino de Vera, s/n - 46022 Valencia. Tfno: +34 963 879680.

Recibido: 24/01/2011 • Aceptado: 09/05/2011

Engineer to Order production systems improvement: An empirical study

ABSTRACT

• Introduction

To investigate the adoption and transfer of some good practices in the Construction Sector is the aim of the following research. The GRAI Methodology and the DGRAI technique are associated to improve the operational performance of the supply chain. They are already known and have been studied by researchers; however the development of these techniques in the field of Construction has not been so deep.

Method

The proposed research method is based on Action Research. This is a variant of Case Studies in which the researchers are involved in the changing process. This method has been chosen because it is a theory extension or refinement. In the last three years the researchers have been involved in using an experimental model that uses GRAI and DGRAI for the diagnosis, strategy formulation and deploy of these practices to improve the performance of one top firms related to Construction sector.

Results

Two years after the starting up of the reengineering process has improved the Quality of Service and reduced fixed costs due to the reduction of stocks needed.

Conclusion

It has shown that the benefits of subcontractors and suppliers integration, the improvement of planning and control system of the extended enterprise aided by GRAI and DGRAI as well as Action Research utility for this type of Research are completely demonstrated.

• **Keywords:** Project Management, GRAI DGRAI, Engineer to Order, Construction sector and Mass Customization.

RESUMEN

Introducción

El objetivo del siguiente estudio es investigar la adopción y transferencia de algunas buenas prácticas al Sector de la Construcción. La Metodología GRAI y la técnica DGRAI están asociadas a la mejora del rendimiento operativo de la cadena de suministro siendo ya conocidas y estudiadas por investigadores. Sin embargo, su desarrollo en el ámbito de la construcción no ha sido tan profundo.

Método

El método de investigación propuesto se basa en la Experimentación Activa o *Action Research*. Este método es una variante de los Estudios de Caso en la cual los investigadores están involucrados en el proceso de cambio. En los últimos tres años, los investigadores han estado implicados en el uso de un modelo experimental que utiliza GRAI y DGRAI para el diagnóstico, la formulación y el despliegue de la estrategia de operaciones para mejorar el desarrollo de una empresa relacionada con el Sector de la Construcción.

Resultados

Después de dos años desde el comienzo del proceso de reingeniería se ha mejorado la Calidad de Servicio y se han reducido los costes de inmovilizado debido a la reducción de los stocks necesarios.

Conclusiones

Se ha demostrado los beneficios de la integración de subcontratistas y proveedores, de la mejora del sistema de planificación, del control de la producción y del aprovisionamiento de la empresa con la ayuda de GRAI y DGRAI, así como la utilidad de la *Action Research* para este tipo de investigación.

Palabras clave: Producción por Proyectos, GRAI, DG-RAI, Ingeniería Bajo Pedido, Personalización en Masa, Sector de la Construcción.

1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

1.1. INTRODUCCIÓN

La posibilidad de transferir buenas prácticas de producción al Sector de la Construcción han sido identificadas en la literatura (Ngowi, 2000) (Anumba et al, 2000), en particular Ngowi (2000) ha sugerido que: “La gestión de la cadena de suministro y las técnicas de reducción del plazo de suministro requieren de una estrecha cooperación interfuncional para ser implantadas con éxito en los sistemas productivos y existe la posibilidad de su utilización en el sector de construcción a nivel de proyecto”. Además, se ha argumentado que la implementación de estos principios pueden ser extendidos más allá de los límites de las organizaciones llegando a incluir a sus proveedores (Gunasekaran, 1998) (Towill, 1999). De hecho, un número cada vez mayor de publicaciones se refieren a proyectos entre empresas (Soderlund, 2004).

Aunque existen evidencias de la aplicación de estos principios en empresas fabricantes y subcontratistas principales en el Sector de Construcción (Errasti et al, 2006) (Errasti et al 2008), hay pocas evidencias de su desarrollo en entornos que realizan su producción, una vez se haya realizado la ingeniería según el pedido del cliente y más concretamente en el Sector de la Construcción.

Este artículo se estructura del siguiente modo: se comienza con una revisión de la literatura sobre las Cadenas de Suministro en el Sector de la Construcción que trabaja por proyectos y de los principios asociados, de la Personalización en Masa y de la integración de los proveedores. Seguidamente se presenta la pregunta de investigación y se expone el método que los investigadores han llevado a cabo para alcanzar los Objetivos de la Investigación, que incluyen la construcción de la teoría y el testeo de la teoría en una empresa real. Por último, se exponen los resultados alcanzados en la experimentación, las conclusiones y las futuras líneas de investigación.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. CADENAS DE SUMINISTRO EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

En el Sector de la Construcción, los diseñadores definen el producto cumpliendo con los requisitos del cliente, tanto de diseño como de costes. Posteriormente, se entrega el proyecto al contratista que será el responsable de la construcción total de la instalación o infraestructura. Suele ser habitual el hecho de que el contratista subcontrate parte del trabajo que tiene a su cargo, eligiendo a subcontratistas especializados en los distintos conjuntos a suministrar.

Los proyectos de construcción, por lo general, requieren de la contribución de proveedores con conocimientos especializados abarcando una amplia gama de disciplinas tanto de la construcción como de la producción (Fig.1).

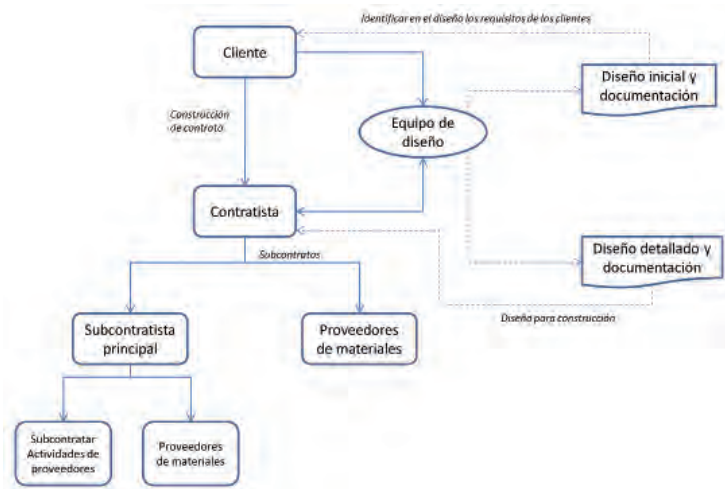


Fig. 1: Agentes involucrados en el diseño y la construcción de proyectos y sus relaciones, adaptada de Thomas (2002)

Estos subcontratistas están sujetos a una gran presión en términos de calidad, servicio y coste (Chan et al, 1999). Con frecuencia aparecen conflictos entre los acuerdos contractuales y el resultado real en plazo, calidad y coste del suministro, lo cual se trata de atenuar mediante el establecimiento de sanciones y penalizaciones por no cumplimiento (Haque, 2003).

Los subcontratistas están, además, obligados a crear valor si quieren sobrevivir en un ambiente competitivo, que cada vez es más global en su alcance y dependiente en el desarrollo de la red de proveedores. El valor en este contexto está definido como “la cantidad que el cliente está dispuesto a pagar por lo que una compañía es capaz de ofrecerles” (Porter, 1980). Debido a esto, algunos autores (Porter, 1985) han sostenido que el análisis de valor no debería estar únicamente restringido al valor añadido por la compañía, sino que se debería incluir al resto de agentes de la cadena de suministro, por ejemplo, los proveedores, el diseño de los equipos, los contratistas, los subcontratistas y resto de agentes involucrados. En consecuencia, el concepto de Cadena de Valor (Porter, 1985) debe extenderse y abarcar todos los agentes de la red de distribución que contribuyen a la propuesta de valor. En este sentido, el desarrollo de una estrategia de cadena de suministro que proporcione una perspectiva holística de la Cadena de Valor es muy importante ya que se asegurará que las estrategias de los distintos agentes están alineadas con los objetivos generales del proyecto.

En este contexto, los subcontratistas deben desarrollar estrategias de producción que tengan en cuenta la posición de la compañía en la cadena de valor (Thomas et al,

2002). En el Sector de Construcción, los contratistas y subcontratistas trabajan dentro de un sistema basado en proyectos (*“Engineer to Order”*) y la tendencia en dicha gestión es hacia una mayor integración de la organización (Schemerhorn, 1993). Las oportunidades de repetición de producciones son, por lo general, limitadas, en otras palabras se trata de un entorno de *“bajo volumen y alta variedad”* (Slack, 2004) donde la mano de obra, el equipamiento y los materiales deben ser trasladados al lugar donde el producto se monta final. Además, los proyectos de construcción se caracterizan frecuentemente por un alto grado de incertidumbre operativa (Kolveit, 2004). Pueden transcurrir semanas o incluso meses para completar el montaje de un gran número de componentes y subsistemas que se realizan fuera de sitio.

2.1.1. Principios de la personalización en masa: paradigma de los sistemas de producción por proyectos

Haque (2003) afirma que las razones para poner en marcha un programa de mejora de una empresa subcontratista son: mejorar la calidad del producto, reducir el tiempo de mercado, reducir los costes de producción y mejorar la eficiencia de los recursos humanos. El tiempo de suministro al cliente, se entiende cada vez más como una fuente importante de ventaja competitiva (Mahmoud-Jouini et al, 2004) también en el sector de construcción (Errasti et al, 2006). Otro elemento diferenciador importante es cómo los clientes valoran el nivel de personalización y adaptación de los productos a sus necesidades. La creación de productos únicos sólo es posible si el cliente puede influir sobre los requerimientos, es decir, el producto tiene que estar por definir cuando el cliente expresa sus necesidades y, una vez realizado el pedido, será necesario realizar un proceso de ingeniería de detalle según las especificaciones que el cliente solicita. A esta forma de suministro se le denomina ingeniería contra pedido o *“Engineer to Order”* (ETO). En este contexto, las actividades de diseño, compra y aprovisionamiento, fabricación y montaje se efectúan mientras el cliente está esperando, pero, algunas de las actividades puede que tengan que desarrollarse basadas en previsiones debido al hecho de que el tiempo de todo el proceso o periodo de maduración es mayor que el tiempo de entrega requerido por el cliente.

Un concepto de uso frecuente para captar este aspecto de la estrategia de operaciones es el punto de desacople (DP, *Decoupling Point*), entendiéndose como el punto que indica el grado de penetración del pedido del cliente en el flujo de materiales (de la cadena logística) (Hoekstra y Romme, 1992). Este punto separa las actividades dirigidas por los pedidos de los clientes (aguas abajo), de las actividades dirigidas por previsión y planificación (aguas arriba). Típicamente, mediante el posicionamiento del DP, se definen cuatro tipos de fabricación: fabricación contra inventario o stock (*Make to Stock*), fabricación contra pedido (*Make to Order*), montaje bajo pedido (*Assemble to Order*) e ingeniería contra pedido (*Engineer to Order*) (Olhager, 2003). En el sector de la construcción es habitual el desarrollo de proyectos según

ingeniería bajo pedido. Eso significa que el proyecto se construirá bajo pedido, lo que significa que las actividades de valor añadido de fabricación, incluso las de montaje, son desencadenadas por pedidos en lugar de por pronósticos. Mediante la realización de actividades de valor añadido bajo pedido, una compañía evitaría incurrir en los riesgos de previsiones de eventos inciertos (Salvador et al, 2005). Rudberg (2004) introduce la dimensión de la ingeniería en el punto de desacoplamiento del pedido del cliente (*Customer Order Decoupling Point, CODP*). Una vez que el producto está diseñado se podría interpretar como si el diseño del producto está ya en stock o en stock virtual listo para ser fabricado y montado cuando sea necesario.

Estos sistemas de producción, llamados ingeniería contra pedido, normalmente son sistemas de producción por proyectos donde los elementos de repetición son limitados, es decir, *“de bajo volumen y alta variedad”* (Slack et al, 2004)

Sin embargo, la Producción en Masa Personalizada podría permitir aumentar el volumen de producción. En este caso, se tendrían sistemas de producción por proyectos de *“alto volumen y alta variedad”*. Por lo tanto, la aplicación de este concepto ayudaría a las empresas a acortar ambos tiempos (de producción y entrega) y ofrecer valor a los clientes en términos de productos únicos dentro de un sistema de alto volumen de producción.

2.1.2. Integración de los proveedores en la industria de la construcción

En el Sector de la Construcción, ningún proyecto puede ser realizado por una sola organización sin un cierto grado de subcontratación, incluso de diseño o método de construcción (Anumba et al, 2000). Rara vez se puede decir que una sola empresa posee toda la experiencia técnica, recursos o capital de inversión necesario. *“Los contratistas principales y los proveedores deben ser introducidos en la fase de diseño para que las actividades aguas abajo del proceso de construcción puedan ser abordadas”* (Gunasekaran, 1998).

Los proveedores, por lo general, se dedican a la fabricación de componentes o subsistemas que posteriormente suministrarán para que se proceda al ensamblaje final en los lugares de fabricación o montaje. Algunos contratistas puede que sean expertos en algunos de los componentes o subsistemas, por lo que suministran en más de un proyecto.

El diseño de detalle de los componentes no es secuencial con el aprovisionamiento y la fabricación. Esto crea procesos múltiples y paralelos. Las operaciones en paralelo son al mismo tiempo interdependientes, por lo que generan interrupciones y perturbaciones en los procesos de fabricación y montaje.

Los principales fabricantes subcontratistas responden a estos desafíos trabajando más estrechamente con sus proveedores y clientes a través de la creación de una empresa que se extiende en toda la cadena de valor. Eso significa la vinculación en términos de coordinación en el diseño, el desarrollo y el coste de empresas independientes (Jagdev et

al, 1998) y una estrecha relación y compromiso entre los fabricantes y proveedores en función de un intercambio eficaz de información para tener un mejor rendimiento (Jagdev et al, 1998) (Neng et al, 1995) (Childe, 1998) (Yu et al, 2001).

Aún cuando muchas empresas están sacrificando la rentabilidad y la satisfacción del cliente, porque no son capaces de colaborar con los proveedores, no todas las relaciones comerciales son colaborativas (Spekman, 1998). Los compradores son mucho más escépticos sobre los beneficios que ofrece una integración, porque son conscientes de la dependencia que genera este tipo de forma de trabajo, debido a que fuerza a trabajar con un número más reducido de proveedores.

Las ventajas que se podrían obtener en el Sector de Construcción gracias a una colaboración estrecha son:

- Coste y ahorros de la calidad en el proyecto durante el diseño del proceso (Thomas, 2002)
- La ejecución del proyecto podría ser más eficiente si la coordinación operativa evita malentendidos en el proceso de fabricación.
- La ejecución del proyecto podría ser más eficiente si el proyecto de fabricación y la facilidad de montaje se tienen en cuenta (Anumba, 2000).

La falta de aplicación de principios de cadena de suministro y gestión de la logística en un entorno de proyectos tiene una influencia significativa en los sistemas de fabricación. Además, a esto hay que añadir que el menor desempeño en costes y plazos puede ser atribuible a fallos de calidad, malos entendidos y falta de comunicación entre los participantes.

Es evidente que, para aprovechar las ventajas y controlar los riesgos, las relaciones de colaboración entre empresas en el Sector de Construcción tienen gran potencial. Esto significa que las compañías deben rediseñar sus procesos de negocio operativos para facilitar mejoras en el intercambio de información, el desarrollo de estrechas relaciones de cooperación y en última instancia, la colaboración en proyectos de beneficio mutuo.

2.1.3. Metodología GRAI

El modelado empresarial es una herramienta que ofrece un adecuado soporte para afrontar este tipo de problemas. Los métodos de modelado ayudan a realizar la reingeniería de procesos asociados a una empresa o una cadena de suministro. En las últimas décadas han emergido varias arquitecturas para el análisis y rediseño de sistemas empresariales, entre ellas destacan: CIMOSA, GIM y PERA.

Uno de los subsistemas más complejos de análisis y diseño de una organización es el sistema de decisiones. La arquitectura GIM y, en particular, la metodología GRAI (Doumeingts, 1984) permite el estudio de los Sistemas de Gestión de Producción (SGP) desde el punto de vista de las decisiones que se toman, por tanto, tiene por objeto dar soporte al análisis y rediseño de sistemas de decisión. Se centra en el análisis del conjunto de decisiones que se

toman a nivel del SGP tanto en los modos normales de funcionamiento como en los perturbados.

GIM parte de la construcción del modelo conceptual del sistema actual (etapa de análisis) y evoluciona hacia su conversión al modelo conceptual del futuro sistema (etapa de diseño). Por tanto, se centra en la etapa de análisis y diseño del sistema decisional y lo analiza a nivel conceptual y estructural

A nivel conceptual, el modelo GRAI está compuesto de tres sistemas: el sistema físico, el sistema de decisión y el sistema de información (Fig.2).

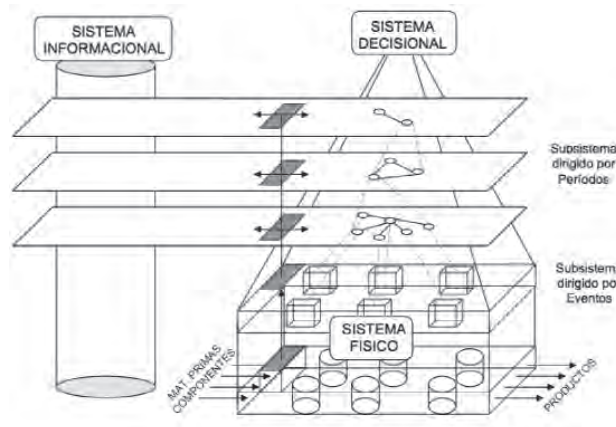


Fig.2: Sistemas del modelo GRAI

El sistema de decisión está dividido en niveles de decisión. Por lo tanto, GRAI propone una estructura jerárquica para definir el sistema de decisión de una empresa. El formalismo de modelado utilizado para la representación de los centros de decisión es la Rejilla GRAI. Dichos centros de decisión se organizan en la rejilla según funciones y niveles temporales de decisión (Fig.3).

	Function 1	Function 2	Function 3	...	Function n-1	Function n
H1 P 1						
H2 P2						
...						
Hn Pn						
Real Time						

Fig.3: Rejilla GRAI

Para el análisis y mejora de sistemas de decisión se parte de modelos de referencia, en los cuales se estructuran las funciones, niveles y centros de decisión que deberían existir en cada tipo de sistema. La Fig. 4 muestra un modelo de referencia para un Sistema de Gestión de Producción.

	Informaciones Externas	Gestionar los Productos COMPRAS	Gestionar los Productos APROVISIÓN	PLANIFICAR	Gestionar los Recursos TÉCNICOS	Gestionar los Recursos HUMANOS	Informaciones Internas
H=1 año P=6 meses	Información del entorno, mercado, competencia	Plan Gestión Compras. Negociar contratos, fijar parámetros de compra. Búsqueda de proveedores	Plan Gestión Aprovisionamiento	Plan Gestión Producción	Inversión a LP	Estrategia de gestión de personal. Plan de contratación	
H=6 meses P=1 mes	Ofertas. Previsiones de demandas	Comprar artículos críticos	Plan Agregado Aprovisionamiento. Aprovisionar artículos críticos en plazo. Fijar los parámetros de gestión. Gestionar los aprovisionamientos LP	Plan Agregado Producción	Adaptación de los recursos. Reglas de subcontratación	Programas de formación. Adaptación de efectivos	Nivel de stock de artículos críticos. Cargas agregadas
H=1 mes P=1 semana	Pedidos	Programa de compra artículos no críticos	Aprovisionar artículos según MRP, SRC y SRP	Plan Maestro Producción. Planificación de las cargas de producción y necesidades	Reserva de capacidad	Ajustar los efectivos	Nivel de stock. Cargas
Tiempo Real	Pedidos urgentes	Seguimiento de incidencias y acciones de mejora definitivas	Programación entradas y suministro a línea de producción. Reprogramación de aprovisionamiento, gestión de incidencias y acciones correctoras	Programación de fabricación y gestión incidencias	Asignar recursos	Asignar personal	En curso. Avance. Stocks

Fig. 4: Modelo de referencia de un SGP

El modelo DGRAI (Poler et al., 2002) es una extensión del método GRAI, cuyo objetivo básico es la simulación de sistemas de decisión. DGRAI permite simular los procesos de decisión a capacidad finita de los recursos humanos involucrados en tareas de decisión (Poler and Lario, 2001). La simulación permite identificar los problemas asociados a la coordinación de las decisiones, los cuellos de botella en los agentes que deciden y el impacto de los retardos en la ejecución de actividades de toma de decisión. Aunque existen otras propuestas relacionadas con la simulación de sistemas de decisión en el marco del método GRAI (Akif, 1991) (Wadhwa, 1998), solo proponen una simulación macro, a nivel de rejilla GRAI, mientras que DGRAI permite simular al nivel de actividades de toma de decisión. Por otro lado, el modelo DGRAI permite realizar un modelado más natural de un sistema de toma de decisiones periódicas y multinivel (estratégico, táctico y operativo) respecto a otros modelos más apropiado para el análisis de procesos de negocio (Aguilar-Sommar y Poler, 2006). DGRAI permite el modelado de sistemas de decisión de varias empresas pertenecientes a una cadena de suministro y ha sido aplicado a diferentes sectores, como el de automoción (Hernández et al., 2008). En el presente estudio se extiende el modelo DGRAI a cadenas de suministro con sistemas de producción de ingeniería bajo pedido con la finalidad de analizar el impacto de la localización de los proveedores y los períodos de tránsito.

3. OBJETIVOS

Aunque algunos autores sostienen que en realidad son pocas las empresas dedicadas a poner en marcha un proceso de integración de agentes (clientes, fabricantes y proveedores) en una cadena de suministro (Fawcett et al, 2002), los autores de este artículo establecen que la metodología GRAI es de gran utilidad para afrontar un proyecto de reingeniería con el fin de mejorar el rendimiento de la cadena de suministro global. Para la mejora de un sistema de producción de ingeniería contra pedido (ETO) se requiere un nuevo enfoque de planificación y control de producción y aprovisionamiento y de evaluación de las necesidades de coordinación entre agentes que permita tener entregas fiables con menores plazos de entrega. El modelo DGRAI permite la simulación de los sistemas de decisión a fin de validar los sistemas de planificación y control de producción propuestos. Estas herramientas se han aplicado ya con éxito en sistemas de producción contra stock (Errasti et al, 2006) y parcialmente en sistemas de producción de ingeniería bajo pedido (Errasti et al, 2007). Sin embargo, la necesidad de la coordinación y sincronización no ha sido estudiada en profundidad en estudios de caso de “alto volumen-alta variedad”.

Por lo tanto, este artículo explora el método en el cual el rediseño de los procesos de planificación y control de producción de aprovisionamiento externos e internos deberían integrarse; con la ayuda de la rejilla GRAI y el modelo DGRAI, con el objetivo de mejorar el rendimiento

global de una cadena de suministro que produce bajo pedido una vez realizada la ingeniería.

4. MÉTODO

La metodología de investigación del trabajo que se muestra en este artículo es:

- **Construcción de la teoría:** se comienza con una extensa revisión bibliográfica para identificar los factores a considerar en la aplicación de la metodología GRAI y la técnica DGRAI a las cadenas de suministro.
- **Testeo de la teoría:** esta fase ha sido diseñada alrededor de los principios del *Action Research* que puede verse como una variante de las investigaciones del estudio de caso (Yin, 1994), en los cuales el investigador no es un observador independiente (Westbrook, 1995), (Vignalli, 2003)...

Esta investigación se ha validado aplicándola a un caso real para dar respuesta a las dificultades mencionadas anteriormente.

4.1. MÉTODO CONSTRUCCIÓN DE LA TEORÍA: FACTORES A CONSIDERAR AL IMPLEMENTAR GRAI EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

El rediseño de un sistema de decisiones en una cadena de suministro supone importantes implicaciones en todas las áreas de la red productiva y logística (Acur, 2000). Por lo tanto, la decisión de acometer un proyecto de este tipo debe calificarse de estratégica.

Para el desarrollo de la estrategia, son necesarias cinco etapas (entradas, análisis, formulación de la estrategia, implementación de la estrategia y revisión de la misma) y para este propósito se pueden utilizar herramientas analíticas y de gestión.

Los autores de este artículo han aceptado este acercamiento, sin embargo esta investigación simplifica este proceso y lo adapta a la estrategia de operaciones de la unidad de negocio (Platts, 1990) considerando los siguientes factores. La metodología o guía tiene en cuenta la posición de la unidad de negocio en la Cadena de Valor (Browne, 1995) y establece las etapas que ayudarán a crear valor (Porter, 1980). En esta etapa, la rejilla GRAI y modelo DGRAI (Poler et al, 2002) respaldan el análisis del sistema actual y del sistema futuro. El diagnóstico, por un lado, contribuye a elegir el contenido de la estrategia (Gunn, 1987) y definir o formular la estrategia (Platts, 1990). Por otro, ayuda a monitorizar las ventajas y desventajas de los futuros sistemas de decisión relacionados con la tecnología de información (especificaciones de hardware y software), tecnología de fabricación (especificaciones de herramientas y equipos) y organización (sistema físico y estructura de gestión).

Posteriormente, se establece una etapa de despliegue de la estrategia formulada (Feurer, 1995). El despliegue de la estrategia es una tarea orientada a los proyectos (Maruchek

et al, 1990), donde se establece un proceso de monitorización y revisión de la estrategia para facilitar la alineación de la organización a dicha estrategia. En la Figura 5 se ilustra el método descrito.

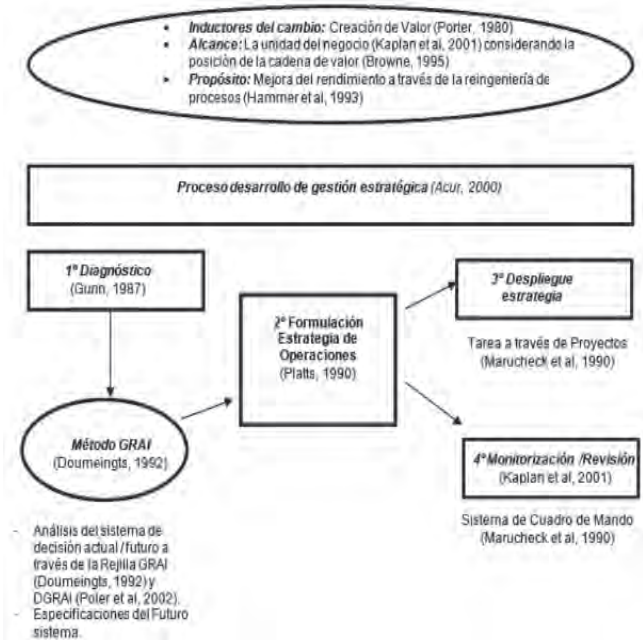


Fig. 5: Representación esquemática del método y factores a considerar (Errasti et al, 2006)

4.2. TESTEO DE LA TEORÍA: ESTUDIO EMPÍRICO

El fabricante principal que ha liderado la mejora de la cadena de suministro, pertenece a un grupo industrial español dedicado al diseño, fabricación y montaje de ascensores. Con el objetivo de facilitar la comprensión del estudio de caso, las principales características de la cadena de suministro externa (distribuidores y red de proveedores) y la cadena de suministro interna (almacén de componentes y planta de producción) se describen en esta sección (Fig. 6).

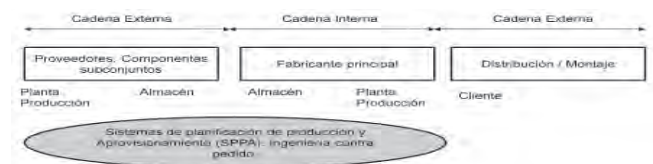


Fig.6: Cadena de suministro interna y externa considerada en el estudio de caso

En la cadena de suministro externa de distribuidores los módulos y los subsistemas de los ascensores son entregados por los distribuidores al lugar de la construcción, donde son montados.

En la cadena de suministro interna, el principal subcontratista planifica su producción cuando el equipo de diseño termina la etapa de personalización de cada ascensor o escalera mecánica. Es ahí cuando la planta de producción trabaja como un sistema de producción de ingeniería

bajo pedido. Esta planta está basada en los conceptos de producción en masa personalizada, por lo que intenta explotar las ventajas de la producción en masa junto con la personalización del producto para cada cliente. Para este propósito el producto debe tener alta modularidad y partes comunes que permitan una alta personalización, combinando diferentes módulos en la parte final del proceso (montaje).

En la cadena de suministro externa de proveedores, teniendo en cuenta el volumen de logística o el peso por unidad suministrada, número de referencias, distancia de los proveedores y valor por unidad suministrada, los proveedores se clasifican como proveedores J.I.T. volumen, proveedores J.I.T. subconjuntos, proveedores tradicionales contra pedido y proveedores tradicionales contra stock. (Fig. 7)

FACTORES	CLASIFICACIÓN PROVEEDORES			
	Proveedor J.I.T. cercano volumen	Proveedor J.I.T. cercano subconjuntos	Proveedor tradicional Make to Stock	Proveedor tradicional Make to Order
Volumen logístico o peso por unidad suministrada	↑ ↑ ↑ ↑	↑ ↑	↑	↑ ↑
Número de referencias suministradas	↑	↑ ↑ ↑ ↑	↑	↑ ↑
Distancia al fabricante principal (o.e.m)	↑	↑	↑ ↑ ↑ ↑	↑ ↑
Valor por unidad suministrada	↑	↑ ↑ ↑ ↑	↑ ↑	↑ ↑

Fig.7: Clasificación de proveedores teniendo en cuenta los factores logísticos

El fabricante principal, cuya cadena de suministro es motivo de análisis, pretende mejorar la eficiencia de su cadena de suministro para obtener, de este modo, una ventaja competitiva sostenible. Para este propósito, el equipo investigador ha facilitado esta labor asistido por el método desarrollado (Fig.5). En la fase diagnóstica para el análisis del sistema actual y el diseño del sistema futuro se ha utilizado la rejilla GRAI (Fig.8) y la simulación mediante DGRAI. En la Fig. 8 se pueden apreciar todos los centros de decisiones existentes en la empresa y las relaciones que existen entre ellos.

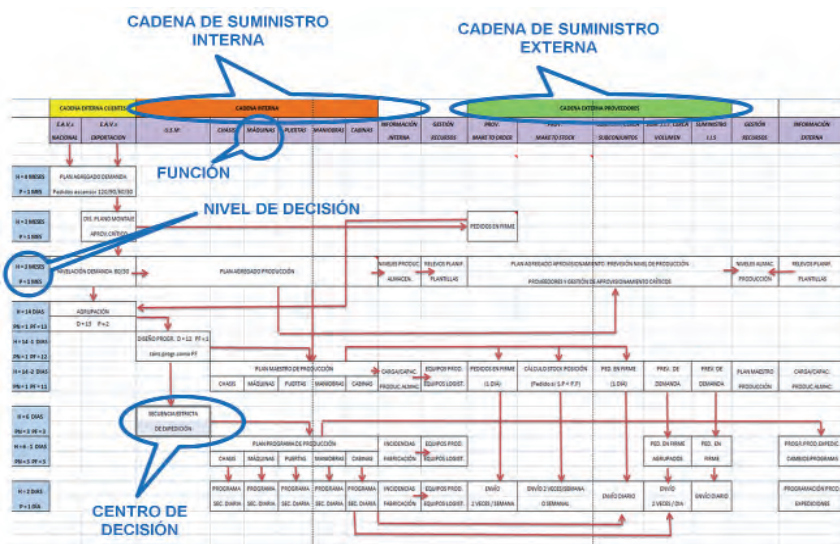


Fig.8: Rejilla GRAI aplicada a la empresa

Los objetivos concretos perseguidos fueron la mejora de la calidad de servicio (reducir el plazo de entrega y cumplimentar en fecha el mayor porcentaje los pedidos realizados) a través del rediseño del sistema de planificación de producción y aprovisionamiento (SPPA) del fabricante y la red de proveedores, así como reducir el coste total de la cadena de suministro. Para explicar la metodología seguida basándose propiamente en el caso de dicha empresa, se puede observar la Fig. 9.

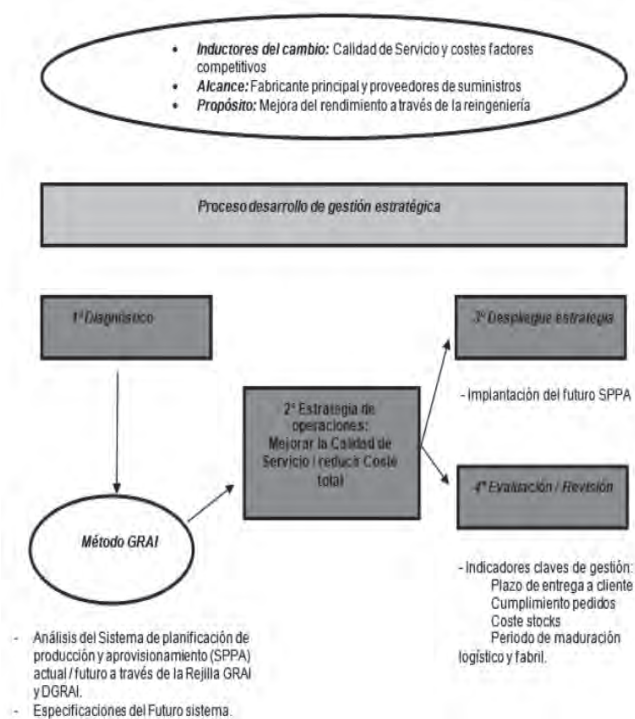


Fig.9: Representación esquemática de la metodología adaptada al caso

5. RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL DE LA CADENA DE SUMINISTRO (AS IS) Y DISEÑO DEL FUTURO SISTEMA (TO BE)

Para analizar la producción y el sistema de planificación de inventario y material (SPIM) actual de la cadena de suministro interna y externa (As Is), se monitoriza el sistema de decisión empleando la rejilla GRAI, mostrando las principales características del sistema de decisión (niveles de decisión, centros de decisión, periodos de planificación, frecuencias de planificación, alternativas de decisión, información, etc.).

El SPIM debe ser diseñado para equilibrar la oferta y la demanda, manteniendo el flujo de materiales y el valor añadido de la actividad en la fabricación sin

interrupciones. Se trabaja bajo pedido una vez que la etapa de ingeniería está realizada. El horizonte de planificación es de 20 días y el periodo de planificación es de 2 días. A esta combinación se le denomina “D+20:2”, ya que las plantas productivas suministran a los distribuidores los ascensores para montar, que ha acabado su diseño en el día “D”, 20 días después. Mediante la rejilla GRAI se identifica la siguiente limitación: el flujo de materiales total está limitado por el

horizonte de planificación y el periodo de planificación a nivel de planificación maestra de la producción. Esto tiene un importante impacto en el periodo de maduración del sistema y consecuentemente en la fecha de entrega de los stocks de componentes necesarios para trabajar sin interrupciones.

Para el diseño del futuro SPIM se establecen varias alternativas de reducción del horizonte y el periodo de la planificación maestra de producción. En concreto se analiza el sistema de planificación “D+13:2” con un periodo de planificación de 2 días y un horizonte de planificación de 13 días. La otra alternativa es “D+13:1”, con un periodo de planificación de 1 día y un horizonte de 13 días. En teoría, el nuevo sistema podría funcionar con menos trabajo en proceso, ya que supone una respuesta más rápida de las plantas de fabricación para el montaje final.

Sin embargo, para analizar la eficacia del futuro sistema, se monitorizan aspectos de tecnologías de información, tecnologías de fabricación y organización de la cadena de suministro interna y externa (Fig.10).

Al analizar la eficiencia para operar con el futuro SPIM, las herramientas DGRAI permiten realizar un seguimiento pudiendo comprobar si hay cuellos de botella o problemas de capacidad en la planificación de la producción y el inventario. Con el fin de comparar la calidad y el comportamiento dinámico de ambos sistemas, se lleva a cabo una simulación de un año de duración mediante DGRAI (Fig. 11). En la Fig.

D+20:2 vs D+13:2 D+20:2 vs D+13:1	CADENA SUMINISTRO INTERNA	CADENA SUMINISTRO EXTERNA
TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN	- Generación de órdenes de fabricación en el subcontratista principal. - Generación y emisión de pedidos de aprovisionamientos a proveedores.	- Recepción de pedidos de proveedores
TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN	- Tamaño de lotes de producción. - Eficiencia puentes de botella. - Trabajo en proceso.	- Tamaño de lotes de producción en proveedores.
ORGANIZACIÓN	- Sistema Pull de fabricación. - Componentes y materiales almacenados en almacenes del subcontratista principal. - Tiempo de gestión del sistema de planificación producción y aprovisionamientos. - Tiempo de gestión de los sistemas de inventarios.	- Componentes y materiales almacenados en almacenes de producto terminado de proveedores. - Sistemas de suministro de proveedores eficientes.

Fig. 10: Tecnologías de la información, tecnologías de fabricación y factores de organización críticas que se tuvieron en cuenta al implementar el Sistema Futuro

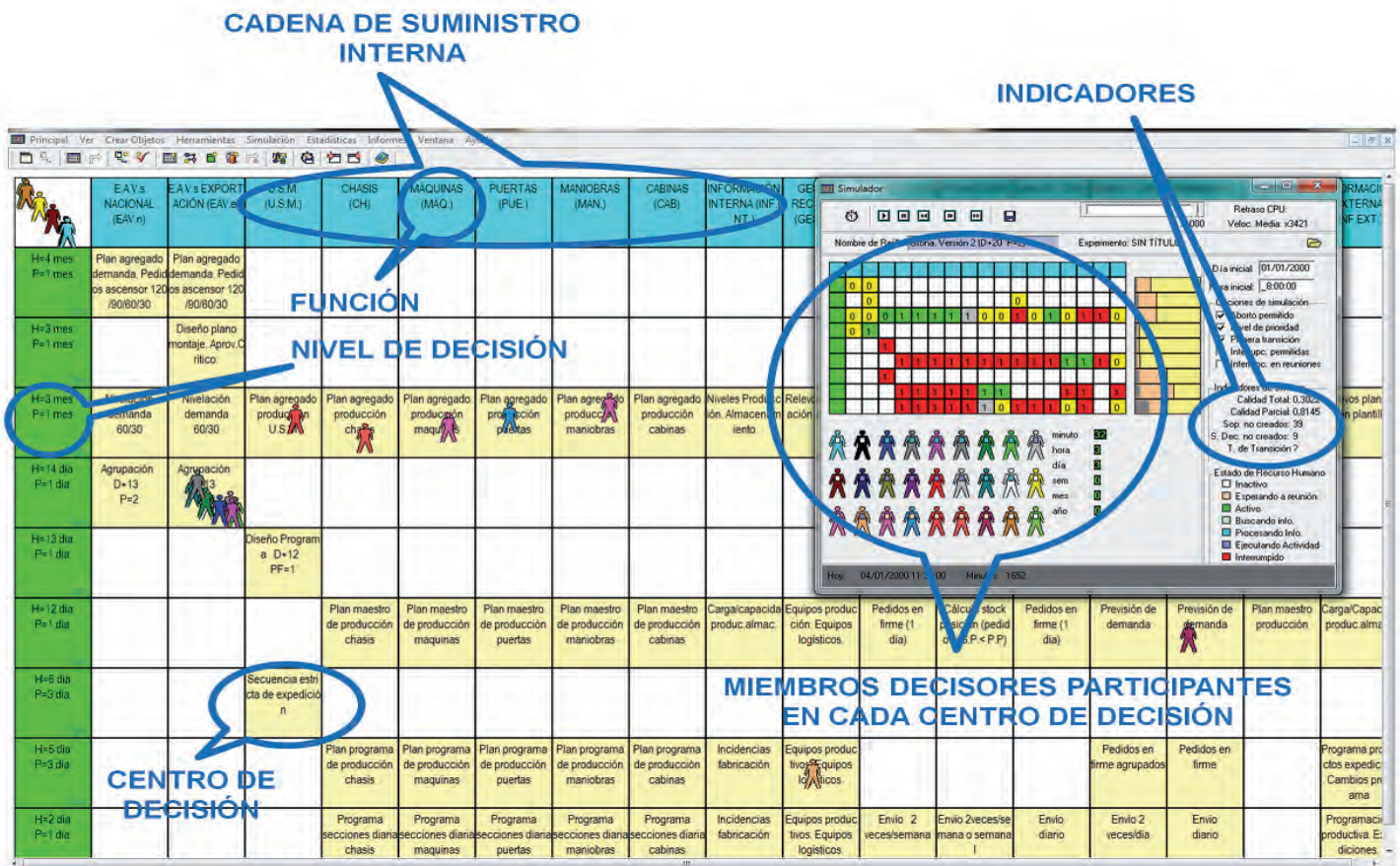


Fig. 11: Simulación en DGRAI. Las conclusiones obtenidas fueron:

11 se muestra un instante concreto de la simulación donde se pueden observar varias informaciones. Por ejemplo, la pantalla de datos que aparece a la derecha muestra qué centros de decisión han sido ya ejecutados (color amarillo), cuáles están siendo ejecutados (color verde) y cuáles están sin ejecutar (color rojo).

- Ambos sistemas de planificación alternativos son correctos desde el punto de vista de la coordinación de suministros. La simulación no evidencia problemas de sincronización entre la cadena de suministro externa e interna.
- En relación a la dedicación de recursos humanos al sistema, el sistema de planificación “D+13:2” necesitaba un recalcado cada dos días del plan maestro de producción, frente al sistema de planificación “D+13:1” que utiliza un recalcado diario. La simulación muestra que el “D+13:1” necesitaba un 40% más de horas de dedicación de los recursos humanos para la toma de decisiones que el “D+13:2” por lo que es más caro desde el punto de vista de coste de personal.
- Con respecto al impacto de la capacidad de los recursos humanos en el rendimiento del sistema de soluciones, un indicador interesante es la cantidad de decisiones que tienen en cola los responsables de tomar decisiones a lo largo del tiempo. Ambos sistemas de planificación tienen un comportamiento similar en cuanto al número máximo de decisiones en cola, pero el tiempo de cola es mayor en “D+13:1”: el número medio de decisiones en la cola es de un 50% más alto en “D+13:1” que en “D+13:2”. En particular, el jefe de planificación de la cadena de suministro interna se encuentra especialmente sobrecargado en todo momento en “D+13:1”.
- Referente a la evolución del indicador de la Calidad Total de Sistema de Decisión (TDQS), el cual mide de manera agregada el buen funcionamiento del sistema de decisión, el sistema “D+13:1” es, en promedio, un 4% mejor respecto al “D+20:2”. TDQS se calcula como la media ponderada de la calidad de las decisiones en un momento dado. La calidad de una decisión depende de la calidad de la información utilizada y de la calidad de los recursos humanos que la toman, y ésta disminuye con el tiempo hasta su regeneración en cada período de revisión.

Evaluando los resultados que se consiguieron simulando ambos escenarios y siguiendo el consejo de los investigadores que han llevado a cabo el estudio, la empresa finalmente ha tomado la decisión de implantar el sistema “D+13:2”.

6. RESULTADOS EN TÉRMINOS DE EFECTIVIDAD

Los gerentes de la unidad de negocio de ascensores valoran las ventajas y desventajas expuestas a través las herramientas GRAI y deciden poner en práctica el nuevo SPIM. Después de dos años desde el comienzo del proceso de reingeniería las mejoras más destacables son:

- Una reducción de un 35% del plazo de entrega y de

un 10% de aumento en el cumplimiento pedidos de las obras de montaje.

- Una reducción de un 30% del trabajo en proceso en el subcontratista principal.
- Un 30% de reducción de stock en los almacenes de proveedores J.I.T. de módulos.
- Un 20% de incremento de stock en proveedores contra pedido obligados a trabajar como montaje contra pedido con un nuevo punto de desacople.
- Un 30% de reducción de stock en parte de los proveedores contra almacén.

7. CONCLUSIONES

El equipo multidisciplinar involucrado en el proyecto de reingeniería ha valorado como muy útil el método planteado. A su vez ha demostrado la aplicabilidad de la rejilla GRAI y la simulación DGRAI como herramientas analíticas en entornos de sistemas de producción de ingeniería bajo pedido. Además, se ha ampliado la aplicación del modelo DGRAI a cadenas de suministro con sistemas de producción de ingeniería bajo pedido, en los que la localización de los proveedores y los períodos de tránsito tienen especial importancia, integrándolo en la metodología propuesta en el presente artículo.

En relación a la integración operativa entre los proveedores y los subcontratistas principales, los beneficios de la reducción de stock se pueden conseguir en los almacenes de los proveedores/clientes o en los almacenes del propio subcontratista. Por lo tanto, el esfuerzo de realizar el análisis y su negociación es necesario en ambos casos.

Como futuras líneas de investigación los autores de este artículo sugieren las siguientes:

- Identificar las mejores prácticas de contratación que permitan una mejor colaboración entre los subcontratistas y los proveedores en sistemas de producción por proyectos que cubre una amplia gama de productos o servicios, además de los tipos de acuerdos de los niveles de capacidad de los proveedores.
- Analizar el impacto de la localización de los proveedores cuando se suministran módulos complejos en secuencia y sincronización con la producción para cumplir con los tiempos de respuesta cortos y las alternativas para desacoplar los proveedores con períodos de tránsito grandes.
- Conseguir una nivelación de los pedidos en los Sistemas de Producción de Ingeniería Bajo Pedido, ya que, una vez que los pedidos están diseñados, podrían ser retenidos para tratar de satisfacer la fecha de entrega de los diferentes clientes (pedidos de exportación, pedidos regionales...), haciendo que se nivele la capacidad de la planta productiva.
- Extender el Método GRAI y el Modelo DGRAI a otros análisis de sistemas de producción de Ingeniería bajo pedido.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Acur N and Biticci U. (2000), "Active assessment of strategy performance in proceedings of the IFP WG 5.7", International Conference on Production Management, Tromso, Norway.
- Aguilar-Sommar RS, Poler R. (2006) "Integrated analysis of the production planning process using Trampolin and DGRAI as process modelling tools" *Production Planning & Control*, Vol. 17, No. 1, January 2006, 31-43
- Anumba CJ, Baugh C, Khalfan MA. "Organisational structures to support concurrent engineering in construction". *Industrial Management Data System*. 2000 Vol.102 p.260-270
- Anumba CJ, Siemieniuch CE, Sinclair MA. "Supply chain implications of concurrent engineering" *Physical Distribution and Logistic*. 2000 Vol.30-7 p.566-597
- Akif JC. (1991) "Consistency analysis of P.M.S. Based on GRAI modelling. *Computer Applications in Production and Engineering: Integration Aspects*". Elsevier Science Publishers B.V. (Noth-Holland)
- Badr Haque. "Problems in concurrent new product development: an in-depth comparative study of three companies". *Integrated Manufacturing System*. 2003 Vol.14-3 p.191-207.
- Browne J, Sackett PJ and Wortmann JC. "Future Manufacturing Systems-towards the extended enterprise". *Computers in Industry*, 1995 Vol.25 p.235-254.
- Chan Albert PC, Fan Linda CN, Yu Ann TW. "Construction process reengineering: a case study". *Logistic Information Management*, 1999 Vol.12-6 p.467-75.
- Caron F. and Fiore A. "Engineer to order companies : how to integrate manufacturing and innovative processes". *Project Management*. 1995 Vol.13-5 p.313-319.
- Childe SJ. " The extended enterprise-a concept of cooperation". *Production Planning and Control*. 1998. Vol. 9-4 p.320-327
- Doumeingts G. "Méthode GRAI: Méthode de conception des systèmes en productique". Thèse d'état : Automatique. 1984, Université de Bordeaux
- Errasti A, Poler R, Oyarbide A and Santos J. "Supply chain improvement based on GRAI Method: an empirical study" *Proceedings of 13th Euroma International Conference 2006*, Glasgow, Great Britain
- Errasti A, Poler R, Eguren, JA, Igartua, JI." Mejora de un Sistema de Producción por Proyectos basada en la metodología GRAI : un estudio empírico", XI Congreso de Ingeniería de Organización, 2007, Madrid.
- Errasti A, Beach R and Apaolaza U. "Close coupling value chain functions to improve subcontractor manufacturing performance" *Project Management*, 2008.
- Fawcett S. and Magnan G. "The rhetoric and reality of supply chain integration", *Physical Distribution and Logistics Management*. 2002 Vol.32-5 p.339-361
- Feurer R, Chaharbaghi K and Wargin J. "Analysis of strategy formulation and implementation at Hewlett Packard", *Management Decision*. 1995 Vol.33-10 p.4-16.
- Gunasekaran A, Love PED. "Concurrent engineering a multi-disciplinary approach for construction". *Logist Information Management*. 1998. Vol.11-5 p.295-300.
- Gunn TG. (1987), "Manufacturing for Competitive Advantage: Becoming a World Class Manufacturer", Ballinger Publishing Company, Boston M.A.
- Hernández JE, Mula J, Ferriols F, Poler R. (2008) "A conceptual model for the production and transport planning process: An application to the automobile sector" *Computers in Industry* 59 842-852
- Hoekstra S and Romme J. *Integrated Logistics Structures: Developing Customer Oriented Goods Flow*. London: Mc Graw-Hill, 1992. 180p. ISBN-10: 0831130377
- Jagdev HS and Browne J." The extended Enterprise-a context for manufacturing".*Production Planning and Control*. 1998 Vol.9-3 p. 216-229
- Huan Neng Chiu "The integrated logistics management system: a framework and case study" *Physical Distribution & Logistics Management*, 1995 Vol. 25-6 p.4-22
- Kolltveit BJ. "The importance of the early phase: the case of construction and building project". *Project Management*. 2004 Vol.22-5 p.45-51.
- Mahmoud-Jouini SB, Midler C, Garel G. "Time-to-market vs. time-to-delivery: managing speed in engineering, procurement and construction projects". *Project Management*.2004 Vol.22-5 p.59-67
- Maruchek A, Pannesi R and Anderson C. "An exploratory study of the manufacturing strategy in practice" *Operations Management*. 1990 Vol.9-1 p.101-23.
- Ngowi AB. "Construction procurement based on concurrent engineering principles". *Logistic Information Management*. 2000 Vol.13-6 p.361-8.
- Olhager J. "Strategic positioning of the order penetration point". *Production Economics*, 2003 Vol. 85-3 p.319-29
- Platts KW. "Manufacturing audit in the process of strategy formulation", PhD dissertation, 1990.University of Cambridge, Cambridge.
- Poler R and Lario FC. "Simulation using the Dynamic Model of Decision Systems", *International Conference on industrial Engineering and Production Management (IEPM)*, Quebec IEEE Press, 2001 p.1004-1012.
- Poler R, Lario FC and Doumeingts G. "Dynamic Model of Decision Systems (DMDS)" *Computers in Industry*, 2002 Vol.49, p.175-193.
- Porter ME. *Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors*. New York: The Free Press; 1980. 397p. ISBN-10: 0684841487
- Porter ME. *Competitive advantage*. New York: The Free Press; 1985. 576p. ISBN 0029250900
- Rudberg M, Wikner J. (2004), "Mass customization in terms of the customer order decoupling point", *Production Planning & Control*, Vol. 15 No.4, pp.445-58.
- Salvador F, Rungtusanatham M , Forza C And Trentin A.. "Understanding synergies and trade-offs between volume flexibility and mix flexibility in Build-to-Order strategies". *Proceedings of 12th Euroma International Conference*. 2005, Budapest, Hungary
- Schermerhorn J. *Management for productivity* New York: Wiley; 1993. 848p. ISBN-10: 0471599913
- Slack N, Chambers S. And Johnston R. *Operations Management*, 4ª edición. Londres : Pearson, 2004. 670p. ISBN: 978-0-273-73046-0
- Söderlund J. "On the broadening scope of the research on projects: a review and a model for analysis". *Project Management*. 2004 Vol.22-6 p.55-67.
- Towill DR and McCullen PL. "The impact of agile manufacturing on supply chain dynamics ", *Logistics Management*. 1999. Vol.10-1, p.83-96
- Thomas S. and Skitmore M. (2002) "Contractor Risks in Design, Novate and Construct Contracts". *Project Management*. 2002. Vol.20-2 p. 119-126
- Vignalli C."The marketing management process and heuristic devices: an action research investigation". *Market Intelligence Plann*. 2003. Vol.21-4 p.205 - 219.
- Wadhwa S. (1998) "Simulation study of shop floor control systems under decision and information delays using GRAI macro reference model" 5th International Workshop AUGRAI. Glasgow.
- Westbrook R. "Action Research : a new paradigm for research in production and operations management ", *Operations and Production Management*, 1995 Vol.15-12 p.6-20
- Yin R.K. *Case Study Research: Design and Methods* . 3ª edición. Londres : Sage Publications, 1994. 192p. ISBN 0-7619-1946-5
- Zhenxin Yu, Hong Yan TC, Edwin Cheng "Benefits of information sharing with supply chain partnerships" *Industrial Management and Data Systems*. 2001. Vol.101-3 p.114-119

La rentabilidad económica explicada a través del tamaño.

Las empresas de ingeniería civil en España



Fernando Campa-Planas
Ana Beatriz Hernández-Lara
María Victoria Sánchez-Rebull
Vicenç Veses-Ibáñez

Dr. en Gestión de Empresas
Dra. en Organización de Empresas
Dra. en Gestión de Empresas
Ingeniero Industrial

Universidad Rovira i Virgili. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Dpto. de Gestión de Empresas. Avda Universitat, 1 – 43204 Reus (Tarragona). Tfno: +34 977 759872.
fernando.campa@urv.cat

Recibido: 21/01/2011 • Aceptado: 21/03/2011

Firm size as a measure of economic profitability. Civil engineering companies in Spain

ABSTRACT

• The profit and loss account shows the difference between incomes and expenses of a company during a financial year. However, the net income, as an absolute figure does not allow identifying the organizational efficiency or the efficiency in the use of resources. This explains the usefulness of economic profitability, among other indicators, to analyse efficiency. In this research, based on the analyses of the Spanish civil engineering sector, we have determined three ways to calculate the economic profitability, considering the operating income and three indicators of firm size. These indicators, proposed by the Spanish Accounting Plan as criteria to measure the size of the company, are the total amount of assets, the average number of employees in the financial year and the revenues from operations. The main objective of this work is two-fold. On one hand, we seek to group Spanish civil engineering firms in terms of their economic profitability. On the other hand, we try to determine the firm size indicators that characterize each group.

Our findings show three groups of civil engineering firms in Spain, called star group, advance group and standard group. For each one of these categories, it has been determined which is the relationship between the different measures of economic profitability and the group assigned. The results show that the companies of the star group have a positive relationship with revenue from operations; companies of the advance group have a high return with regard to assets and a low number of employees; whereas the standard companies are being positively influenced by the number of employees and negatively by revenue from operations and assets.

• **Key words:** Economic profitability, firm size, civil engineering, financial statement analysis, financial ratios.

RESUMEN

La cuenta de resultados, tomada en valores absolutos, no permite identificar la eficiencia organizativa ni en la utilización de recursos, motivo por el que se utiliza, entre otros indicadores, la rentabilidad económica. En este trabajo se han determinado tres formas de calcular la rentabilidad económica, poniendo en relación el resultado de explotación con el tamaño organizativo. Para ello, se han utilizado tres variables de tamaño: el total de inmovilizado, el número medio de empleados en el ejercicio y los ingresos de explotación.

Estas consideraciones permiten plantear el doble objetivo de esta investigación, que se ha centrado en un sector de indudable importancia en España, el de la ingeniería civil. Por un lado, se pretende realizar una categorización de las empresas de ingeniería civil españolas en función de su rentabilidad económica, de modo que se puedan identificar distintos tipos de empresas en este sector según su grado de rentabilidad. Por otro lado, se trata de determinar qué indicadores de tamaño organizativo ayudan a explicar la pertenencia a cada una de las categorías de empresas establecidas.

Los resultados obtenidos muestran tres grupos de empresas en el sector considerado, que se han denominado estrella, avanzado y pelotón. Para cada uno de estos grupos se ha determinado cuál es la relación existente entre los diferentes indicadores de tamaño y la pertenencia a cada uno de estos grupos; observando que las empresas estrella tienen una relación positiva con los ingresos de explotación; las empresas del grupo avanzado tienen una alta rentabilidad en relación al inmovilizado y menor número de empleados;

mientras que las empresas del grupo pelotón se ven afectadas de forma positiva por el número de empleados y negativamente por los ingresos de explotación y los activos inmovilizados.

Palabras clave: Rentabilidad económica, tamaño organizativo, ingeniería civil, análisis de balances, ratios económico-financieros.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenta de resultados muestra la diferencia entre ingresos y gastos de una empresa en un ejercicio determinado, de manera que la obtención de un resultado positivo refleja normalmente el buen funcionamiento de la compañía.

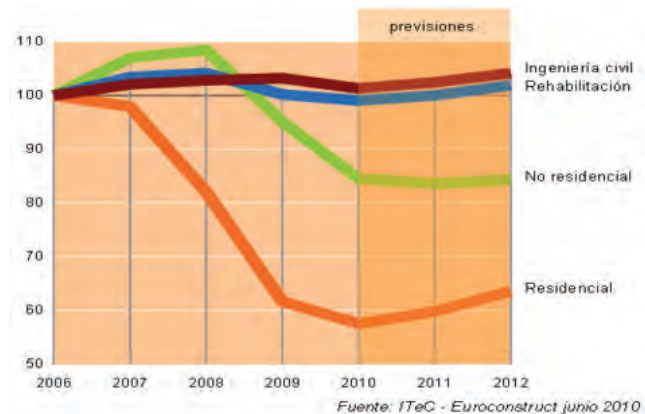
Sin embargo, existen distintas formas de medir la eficiencia organizativa. La rentabilidad financiera, por ejemplo, considera la forma en la que se financian los activos, y por lo tanto depende de la estructura de capital de la empresa. La rentabilidad económica, por su parte, está considerada como la mejor medida de eficiencia de la empresa cuando se considera la utilización de sus activos (González et al., 2000). Esta medida depende de la capacidad y los recursos de la empresa para el desarrollo de su actividad, y mide el rendimiento obtenido a través del activo disponible.

A pesar de la abundancia de estudios que han tratado de explicar los determinantes de la rentabilidad económica, lo cierto es que aún se desconocen las verdaderas razones que explican dicha rentabilidad. Esto puede deberse a la gran diversidad de variables que pueden estar implicadas, y los diferentes efectos que estas variables pueden ejercer sobre la rentabilidad económica.

En este trabajo de investigación pretendemos aportar nueva evidencia sobre los efectos de una variable de gran importancia a la hora de explicar la rentabilidad económica, como es el tamaño organizativo. Para ello, consideramos apropiado desarrollar estos análisis dentro de un sector específico de actividad para, de esta forma, tratar de aislar los efectos que pueden provocar elementos externos a la empresa. En concreto, el sector que se analiza es el de la ingeniería civil en España.

El sector de la ingeniería civil se caracteriza por su gran relevancia económica, que viene motivada por diferentes factores. En primer lugar, se trata de un sector que ejerce un efecto de arrastre sobre otros sectores económicos vinculados a él, y que, por lo tanto, produce un efecto multiplicador en la economía. En segundo lugar, constituye un sector intensivo en mano de obra y que ejerce una gran influencia en la creación de empleo - tanto directa como indirecta. Por último, el esfuerzo de construcción de infraestructuras, que se desarrolla concretamente en el ámbito de la ingeniería civil, ha experimentado un crecimiento generalizado por parte de los gobiernos europeos como medida anticrisis en la coyuntura actual, lo que ha marcado una evolución más positiva de este sector que del resto de actividades relacionadas con la

construcción, todas ellas con un gran peso en el producto interior bruto (PIB). Esta evolución positiva del sector de la ingeniería civil respecto a otras actividades de construcción a nivel europeo puede observarse en la Figura 1.



Índices de producción a precios constantes, base 2006=100

Fig. 1: Evolución de los distintos sectores relacionados con la construcción en el mercado europeo

Estas características, que explican la relevancia económica del sector de la ingeniería civil, no son las únicas que lo definen y diferencian de otros sectores. También destacan rasgos de carácter más interno, sobre las características organizativas de las compañías del sector (el bajo perfil tecnológico de estas empresas, la importancia de las actividades relacionadas con los aspectos logísticos y de transporte, y el tamaño reducido de la mayoría de sus empresas), y otros rasgos más externos relacionados con el entorno, (como la acusada inestabilidad del sector, la escasez de barreras de entrada y la fuerte competencia).

Sin embargo, a pesar de su relevancia económica y de las particularidades que diferencian el sector de la ingeniería civil, hasta la fecha no ha despertado un gran interés por parte de la investigación. El desconocimiento que existe, en general, sobre este sector es la principal motivación que anima a iniciar distintos tipos de análisis que permitan conocer en mayor profundidad su funcionamiento y las claves de su rendimiento.

Así, podemos concluir que el principal objetivo de esta investigación es doble. Por un lado, se pretende realizar un estudio exploratorio que permita obtener una categorización de las empresas de ingeniería civil en España en función de su rentabilidad económica, de modo que se puedan identificar distintos tipos de empresas en este sector según su grado de rentabilidad. Por otro lado, se tratará de determinar qué indicadores de tamaño organizativo ayudan a explicar la pertenencia a cada una de las categorías de empresas establecidas.

Para alcanzar estos objetivos el trabajo se organiza de la siguiente manera: tras la introducción, se revisan las principales conclusiones de la investigación previa que

vincula tamaño y rentabilidad económica; a continuación, se describe el método aplicado en este trabajo, cómo se obtuvieron los datos y cómo se definen las variables que se han utilizado. La siguiente sección explica los análisis efectuados y los resultados logrados; por último, la sección final plantea una discusión sobre los principales hallazgos y las conclusiones más importantes que pueden extraerse de este estudio.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE LA RELACIÓN ENTRE LA RENTABILIDAD ECONÓMICA Y EL TAMAÑO

A pesar de la abundancia de variables que pueden explicar y ser determinantes de la rentabilidad económica, buena parte de la literatura que ha analizado dicha rentabilidad, ha prestado una atención especial al tamaño organizativo. De hecho, una revisión de la literatura sobre la relación entre rentabilidad económica y tamaño permite diferenciar tres tipos de trabajos fundamentalmente.

En primer lugar, son frecuentes los estudios que incorporan ambas variables, tamaño y rentabilidad económica, como rasgos caracterizadores de una compañía, y los incorporan como variables de control cuando se analiza la relación que mantienen otras variables entre sí (Ghosh, 2010).

En segundo lugar, destacan los estudios que han considerado los efectos que ambas variables, rentabilidad económica y tamaño organizativo, pueden ejercer sobre determinadas estrategias, ratios o resultados empresariales. Algunos ejemplos recientes serían los estudios que han relacionado rentabilidad y tamaño con el pago de dividendos (Kim y Gu, 2009; Al-Kuwari, 2010), el apalancamiento financiero (Teker et al., 2009; Nunkoo y Boateng, 2010), las políticas de retribución de los altos directivos (Fong et al., 2010), las políticas de diversificación (Ferris et al., 2010), el intervencionismo de los grupos de interés (Judge et al., 2010), las decisiones de inversión (Bokpin y Onumah, 2009), de exportación (Kneller y Pisu, 2010), la responsabilidad social corporativa (Aras et al., 2010), indicadores relacionados con la innovación, como el gasto y la intensidad en I+D, o las patentes (Battisti y Iona, 2009; Chen y Chang, 2010), etc.

Por último, el tamaño organizativo ha servido para explicar, junto a otras variables, la rentabilidad económica de la empresa. De hecho, la literatura que trata de identificar qué factores contribuyen al resultado empresarial cuenta con una larga tradición, y ha reconocido dos grandes tipologías en dichos factores. Por un lado, los factores de carácter empresarial o internos, como sería el caso del tamaño organizativo o la antigüedad de la empresa. Por otro lado, la literatura reconoce los factores de carácter externo, que tienen en cuenta las características del sector al que pertenece la organización (Scherer y Ross, 1990). De hecho, como afirman Fernández et al. (1996) el denominado efecto industria puede llegar a explicar hasta un 20% de la varianza de las rentabilidades económicas de las empresas.

La relación conjunta de factores de carácter empresarial

y externo, como sería el caso del tamaño organizativo y del factor industria, ha sido estudiada simultáneamente sin que se hayan llegado a obtener resultados concluyentes (Lafuente y Salas, 1983; Rodríguez, 1989; y González et al., 2000). Algunos autores, por el contrario, sí han podido constatar que el efecto industria explica un menor porcentaje de varianza en los resultados que las características particulares de la empresa (Rumelt, 1991). Esto significa que dentro del mismo sector de actividad las diferencias en los resultados empresariales pueden ser muy significativas, incluso más que si se comparan diferentes sectores de actividad entre sí.

La literatura que ha considerado la relación entre el tamaño organizativo y la rentabilidad económica, pone de manifiesto que, a priori, puede suponerse que un mayor tamaño permite disponer de mayores recursos para trabajar en el mercado y obtener mayores rendimientos mediante economías de escalas, sinergias, mayor fuerza en negociación con proveedores y clientes, etc. (Fariñas et al., 1992; Galve y Salas, 1993; González y Correa, 1998)

Sin embargo, los resultados de la investigación que relaciona tamaño y rentabilidad económica no son determinantes (Bueno y Lamothe, 1986), y también pueden destacarse trabajos que evidencian una relación negativa (Ocaña et al., 1994; González et al., 2000). Dicha relación inversa la justifican aludiendo a que la mayor intensidad de capital con que operan las grandes empresas puede suponer menores tasas de beneficio, y a los conflictos de agencia entre directivos y accionistas que pueden afectar a estas organizaciones, que pueden desplazar el objetivo de la maximización de beneficios hacia otros más cercanos a la gerencia, como la supervivencia o el crecimiento.

Por último, en algunos casos, ni tan solo llega a encontrarse ningún tipo de relación (Galán y Vecino, 1997), pues se considera que las empresas carecen de una dimensión óptima absoluta. O incluso hay trabajos, que debido a esta inconsistencia en los resultados previos, se han esforzado por demostrar una relación no lineal entre ambas variables (Lee, 2009; Nunes et al., 2010).

A modo de síntesis se puede concluir que los resultados de la investigación sobre la influencia del tamaño en la rentabilidad económica no son concluyentes, y, además, esta falta de consistencia se puede ver acentuada por las diferentes formas utilizadas en la investigación para determinar cuál es el tamaño y la rentabilidad económica de una empresa. En el caso del tamaño, éste puede venir representado por el número de empleados, los fondos propios, el total de activos, las ventas netas, el valor añadido, etc. (Camisón, 2001). En el caso de la rentabilidad económica, para su determinación se han utilizado diversas variables como el resultado de explotación, el resultado de explotación antes de amortizaciones (EBITDA), el valor económico añadido (EVA), etc. (Sánchez y García, 2003; Campa, 2009).

Los argumentos expuestos indican la necesidad de aportar nuevas evidencias en la relación que vincula el tamaño empresarial con la rentabilidad económica. En este sentido, consideramos apropiado desarrollar estos análisis

dentro de un sector específico de actividad, en nuestro caso, el sector de la ingeniería civil en España. De esta forma se trata de evitar al máximo problemas en la comparabilidad de los datos financieros de las empresas, así como aislar los efectos que sobre la rentabilidad económica pueden originar otros factores al margen de la empresa.

La inexistencia de trabajos similares en el sector de la ingeniería civil en el ámbito español, que analicen la relación entre rentabilidad económica y tamaño organizativo, aconseja realizar un estudio de carácter exploratorio que permita responder a dos preguntas de investigación.

La primera sería: ¿pueden identificarse empresas de diferente perfil en cuanto a su rentabilidad económica en el sector de la ingeniería civil en España? La segunda hace referencia a ¿qué indicadores de tamaño caracterizarían a las empresas con distinto perfil de rentabilidad económica en este sector?

3. MÉTODOS

3.1. OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Para realizar este trabajo se consideraron las empresas españolas de gran tamaño pertenecientes en 2008 al sector de la ingeniería civil, con código CNAE¹ 42. Los datos se obtuvieron a través de la base de datos SABI (Sistema de Análisis de Balances Ibéricos).

Para la obtención de las empresas se emplearon los siguientes criterios de búsqueda, además de la pertenencia al sector de actividad referido:

- tener disponible la información de cuentas anuales del ejercicio 2008.
- disponer de una opinión de auditoría externa favorable en las cuentas de 2008.
- presentar cuentas anuales individuales para así garantizar que las empresas elegidas eran sociedades mercantiles individuales, y facilitar su comparabilidad.
- figurar como empresa “activa”.
- cumplir unos criterios mínimos de facturación, activo y empleados; de acuerdo con los valores siguientes²:
 - Facturación superior a 2.000.000 de euros
 - Total de activo superior a 1.000.000 de euros
 - Número de empleados promedio superior a 10.

¹ CNAE-2009 es la Clasificación Nacional de Actividades Económicas establecida por el Instituto Nacional de Estadística, que tiene como objetivo establecer un conjunto jerarquizado de actividades económicas que pueda ser utilizado para: favorecer la implementación de estadísticas nacionales que puedan ser diferenciadas de acuerdo con las actividades establecidas y clasificar unidades estadísticas y entidades según la actividad económica ejercida.

² Criterios fijados en el Plan General de Contabilidad de 2007, para clasificar las empresas en pequeñas y medianas (las que no alcanzaban dos de estos tres criterios durante dos años consecutivos) y grandes empresas (las que cumplían dichos criterios).

Cumplieron todos estos requisitos 189 empresas. Posteriormente, al obtener la correspondiente información económica se detectó que en alguno de los casos no toda la información estaba disponible, así, la muestra final objeto de análisis se redujo a 184 empresas.

3.2. MEDICIÓN DE LAS VARIABLES

La rentabilidad económica se determinó a través de los tres ratios siguientes:

- RE.1, rentabilidad económica 1; medida como resultado de explotación³ sobre total inmovilizado; en términos porcentuales.
- RE.2, rentabilidad económica 2; medida como resultado de explotación sobre número medio de empleados en el ejercicio; en miles de euros.
- RE.3, rentabilidad económica 3; medida como resultado de explotación sobre ingresos de explotación, en términos porcentuales.

En relación al tamaño organizativo, de la pluralidad de indicadores destacados por la literatura para medir esta variable elegimos tres: el total de activo inmovilizado y los ingresos de explotación (en miles de euros) y el número medio de empleados durante el ejercicio.

4. RESULTADOS

Todos los análisis estadísticos efectuados en el desarrollo de este trabajo se realizaron con el software libre R, versión 2.11.1 (*R Development Core Team, 2009*).

En concreto, se desarrollaron dos tipos de análisis, cada uno de ellos centrado en dar respuesta a las dos preguntas de investigación planteadas.

El primer análisis consistió en una agrupación de las empresas de ingeniería civil españolas en determinados grupos en función de su perfil de rentabilidad económica. Para ello se realizaron diversos análisis gráficos que nos permitieron visualizar los datos de las tres rentabilidades económicas para las empresas analizadas. Estos análisis gráficos nos aconsejaron considerar tres grupos de empresas (Fig. 2). Para ello se aplicó el algoritmo de agrupamiento *k-means* (MacQueen, 1967), uno de los más simples y conocidos algoritmos para dividir los datos en *k* grupos fijados de antemano. El primer grupo de empresas al que denominaremos “**grupo estrella**”, cuyos miembros se reconocen con el número 1 negro en la Fig. 2, está constituido por aquellas compañías con una alta rentabilidad económica de tipo 2 y 3, y una rentabilidad económica de tipo 1 moderada. El segundo grupo de empresas, cuyos miembros se reconocen en la Fig. 2 con el número 2 rojo, es el que denominamos “**grupo pelotón**”, y está formado

³ Resultado de explotación, definido tal como establece el Plan General de Contabilidad de 2007.

por las compañías con una rentabilidad económica de tipo 1 moderada, y de tipo 2 y 3 baja. Por último, llamamos “**grupo avanzado**” al conjunto de empresas de ingeniería civil con una rentabilidad económica tipo 1 elevada, y tipo 2 y 3 moderadas. Éste es el grupo cuyos miembros se reconocen con el número 3 verde en la Figura 2.

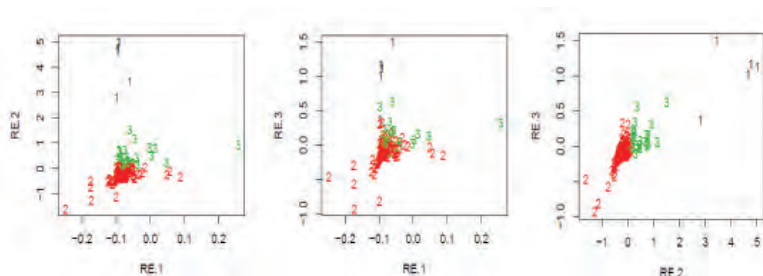


Fig. 2: Relación entre las rentabilidades económicas y determinación de los grupos de empresas

- RE.1: Resultado de explotación sobre total de inmovilizado
- RE.2: Resultado de explotación sobre número medio de empleados
- RE.3: Resultado de explotación sobre ingresos de explotación

El número 1 (negro) simboliza las empresas del **grupo estrella**

El número 2 (rojo) simboliza las empresas del **grupo pelotón**

El número 3 (verde) simboliza las empresas del **grupo avanzado**

Para adquirir una idea más clara de lo que significa obtener unos niveles de rentabilidad elevados, moderados o bajos, incluimos la Tabla 1, que muestra la media y la desviación estándar en cada grupo de empresas para los tres indicadores de rentabilidad.

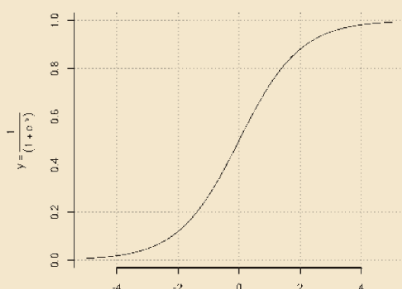
En segundo lugar, se realizaron análisis para determinar qué variables de tamaño organizativo consiguen explicar de forma significativa la pertenencia a los diferentes grupos de empresas constituidos.

Para ello, se llevaron a cabo tres regresiones logísticas (cuadro explicativo 1) a través de modelos lineales generalizados (glm), para determinar qué variables de tamaño explicaban mejor la pertenencia a cada uno de los tres grupos de empresas. La utilización de regresiones logísticas en lugar de otras técnicas estadísticas multivariantes, como el caso del análisis discriminante, se justifica fundamentalmente por el carácter exploratorio y explicativo que tiene nuestro estudio. Así, se puede afirmar que el análisis discriminante se usaría para predecir la rentabilidad económica de una determinada empresa, considerando en nuestro caso diferentes variables de tamaño. Para conseguir este objetivo, el análisis discriminante determinaría si existen diferencias significativas entre los grupos de empresas, para posteriormente desarrollar un procedimiento de clasificación sistemática que permita predecir a qué grupo pertenecerían nuevas empresas en función de los distintos indicadores de tamaño. Sin embargo, la regresión logística tiene un carácter más explicativo, que encaja con la naturaleza exploratoria de nuestro estudio, ya que nuestro objetivo no es predecir la rentabilidad económica de las empresas en el sector de la ingeniería civil, sino determinar los indicadores de tamaño que de forma significativa explican la pertenencia a un determinado grupo de empresas.

Variables	Grupo estrella		Grupo avanzado		Grupo pelotón	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación Estándar	Media	Desviación estándar
RE.1	24,8%	0,37	125,7%	1,62	32,3%	0,74
RE.2	232,9	49,2	44,6	17,8	8,13	11,4
RE.3	52,9%	0,18	13,2%	0,08	3,8%	0,06

Tabla 1: Media y desviación estándar de la rentabilidad económica en los tres grupos de empresas

REGRESIÓN LOGÍSTICA



Consiste en un modelo de regresión que pretende explicar cómo influyen algunas variables en otra de carácter dicotómico (sí/no). En este trabajo, la variable dicotómica se describe como la pertenencia o no a cada uno de los tres grupos de empresas creados. Por este motivo, se han tenido que realizar tres regresiones logísticas, una para cada grupo. En la figura que se incluye en este cuadro se representa gráficamente la función logística que describe este tipo de regresión.

En las tablas siguientes pueden observarse los resultados obtenidos de los análisis de regresión logística.

La Tabla 2 muestra los resultados de la regresión logística que considera la pertenencia al “grupo estrella”.

Variables de tamaño	β	Error estándar	Estadístico z
Ingresos de explotación	1,56	0,48	3,22 **
Total activos inmovilizados	1,49	1,28	1,17
Número de empleados	-6,11	3,83	-1,60

*** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; + $p < 0,1$

Tabla 2: Análisis de regresión logística pertenencia al “grupo estrella”

Estos resultados ponen de manifiesto que la pertenencia al “grupo estrella” viene condicionada de forma positiva y significativa (coeficiente $\beta = 1,56$; $p < 0,01$) por la obtención de ingresos de explotación.

Por su parte, la Tabla 3 hace referencia a la regresión logística que considera la pertenencia al “grupo pelotón”.

Variables de tamaño	β	Error estándar	Estadístico z
Ingresos de explotación	-0,52	0,28	-1,87 +
Total activos inmovilizados	-1,63	0,58	-2,79 **
Número de empleados	3,81	1,25	3,05 **

*** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; + $p < 0,1$

Tabla 3: Análisis de regresión logística pertenencia al “grupo pelotón”

La Tabla 3 muestra que la pertenencia al “grupo pelotón” depende de forma positiva y significativa (coeficiente $\beta = 3,81$; $p < 0,01$) del número de empleados de la empresa. Además, los ingresos de explotación y el total de activos inmovilizados de la empresa influyen de forma negativa y significativa (coeficiente $\beta = -0,52$; $p < 0,1$ y coeficiente $\beta = -1,63$; $p < 0,01$, respectivamente) sobre el hecho de pertenecer a dicho grupo.

Por último, la Tabla 4 refleja los resultados de la regresión cuando se considera como variable dependiente la pertenencia al “grupo avanzado”.

Variables de tamaño	β	Error estándar	Estadístico z
Ingresos de explotación	-0,83	0,93	-0,90
Total activos inmovilizados	2,01	0,69	2,90 **
Número de empleados	-3,61	1,30	-2,78 **

*** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; + $p < 0,1$

Tabla 4: Análisis de regresión logística pertenencia al “grupo avanzado”

Esta última tabla pone de manifiesto que la pertenencia al “grupo avanzado” viene condicionada por los activos inmovilizados de la empresa de forma positiva y significativa (coeficiente $\beta = 2,01$; $p < 0,01$), y por el número de empleados negativamente (coeficiente $\beta = -3,61$; $p < 0,01$).

A modo de síntesis se puede afirmar que la variable que más condiciona la pertenencia al “grupo estrella” es la obtención de unos elevados ingresos de explotación. Por su lado, las empresas del “grupo pelotón” son aquellas con menores activos inmovilizados e ingresos de explotación, pero un mayor número de empleados. Por último, las empresas con más activos y menor número de empleados pertenecen al “grupo avanzado”.

5. DISCUSIÓN

Los principales objetivos de investigación de este trabajo se han centrado en determinar si se podían identificar empresas de diferente perfil, en el sector de la ingeniería civil en España, en función de distintas formas de medir su rentabilidad económica. Adicionalmente, pretendíamos determinar si diferentes indicadores de tamaño podían caracterizar a las empresas con distinto perfil de rentabilidad económica en este sector.

Los resultados del trabajo han permitido determinar tres grupos de empresas:

- Empresas del “grupo estrella”, caracterizadas por una alta rentabilidad económica relacionada con las ventas y los empleados, y en las cuales se obtiene una vinculación positiva con los ingresos de explotación.
- Empresas del “grupo avanzado”, caracterizadas por una alta rentabilidad económica en relación al inmovilizado de que disponen, y para las que se ha demostrado que la pertenencia al grupo viene condicionada de forma negativa por el número de empleados y positivamente por los activos inmovilizados.
- Finalmente empresas del “grupo pelotón”, que son las que exhiben niveles moderados o bajos de rentabilidad económica. La pertenencia a este grupo viene determinada de forma negativa por los

ingresos de explotación y los activos inmovilizados, y positivamente por el número de empleados.

Por lo tanto, una contribución importante de este trabajo es haber conseguido establecer distintas categorías de empresas en el sector de la ingeniería civil en España, en función de diversos niveles de rentabilidad. De esta forma, los gestores de las empresas del sector podrán comprobar, en función de su rentabilidad económica, en cuál de los grupos de empresas indicadas se encuentra la suya. Esta contribución es relevante para las empresas a nivel estratégico, ya que proporciona información útil sobre cómo se posiciona cada empresa en el sector y sobre el volumen de competidores que obtienen una rentabilidad económica similar a la suya.

Además, los resultados de este trabajo también muestran qué variables de tamaño organizativo son más características en cada uno de los grupos de empresas considerados en el sector de la ingeniería civil en España. De modo que, conociendo el valor de cada uno de los tres indicadores de tamaño, se podrá determinar aproximadamente de qué tipo de empresa se trata y su posición competitiva en el sector. Así, las empresas con mayores ventas es probable que pertenezcan al “grupo estrella”, las de mayor número de empleados al “grupo pelotón” y las de mayores activos inmovilizados al “grupo avanzado”. Esto no significa que no pueda haber empresas del “grupo estrella”, por ejemplo, que tengan unos elevados activos inmovilizados, sino que lo que caracteriza la pertenencia a este grupo de forma significativa son las ventas. Lo mismo se podría afirmar para los otros dos grupos, que se caracterizan por las variables que han resultado significativas en nuestro estudio, al margen de que sus empresas puedan, en un momento dado, presentar otras características.

Por último, merece la pena destacar que estas distinciones son relevantes porque ayudan a apreciar que, cuando hablamos de empresas grandes o de empresas de alta rentabilidad económica, se está aportando una información demasiado genérica, y que sería de gran utilidad precisarla un poco más.

En cuanto a las futuras líneas de investigación habría que destacar, en primer lugar, que el estudio podría extenderse a empresas de ingeniería civil en toda la Unión Europea, lo que nos daría una idea más adecuada del posicionamiento competitivo de las empresas del sector en un territorio más amplio.

En segundo lugar, para analizar de manera más amplia los determinantes del rendimiento empresarial en este sector, sería conveniente incluir otras variables organizativas: estilo de liderazgo, cómo estas empresas se posicionan en el mercado, cómo gestionan el conocimiento y el uso de la tecnología, etc.

En tercer lugar, sería interesante incluir otros sectores, lo que permitiría establecer comparaciones intersectoriales en términos de la influencia del tamaño sobre la rentabilidad económica. En este sentido, la comparación del sector de la ingeniería civil con sectores de servicios intensivos en conocimiento podría ser de gran relevancia y utilidad.

Por último, sería conveniente ampliar el estudio con análisis longitudinales, que consideraran datos de rentabilidad económica e indicadores del tamaño empresarial en años sucesivos. Estos análisis permitirían comprobar si la composición de los grupos de empresas en el sector de la ingeniería civil en España permanece más o menos estable en el tiempo, y si el perfil de las empresas pertenecientes a cada uno de estos grupos va experimentando una evolución sustancial como consecuencia de la influencia del ciclo económico. Todos estos análisis constituyen líneas de investigación futura que incrementarán, sin duda, el interés y la relevancia de los resultados obtenidos hasta la fecha en cuanto a la relación entre rentabilidad económica y tamaño, en un sector de gran peso económico como es el de la ingeniería civil.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen todos los comentarios y sugerencias realizados por los revisores y por el Editor de la Revista así como las aportaciones del investigador Dr. Alexandre Perera Lluna de la UPC. Este estudio se enmarca en el Proyecto DER2010-15507 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Kuwari D. "To pay or not to pay: Using emerging panel data to identify factors influencing corporate dividend payout decisions" *International Research Journal of Finance and Economics*, no. 42, pp. 19-36, 2010.
- Aras G, Aybars A, Kutlu O. "Managing corporate performance: Investigating the relationship between corporate social responsibility and financial performance in emerging markets" *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 59, no. 3, pp. 229-254, 2010.
- Battisti G y Iona A. "The intra-firm diffusion of complementary innovations: Evidence from the adoption of management practices by British establishments" *Research Policy*, vol. 38, no. 8, pp. 1326-1339, 2009.
- Bokpin GA y Onumah JM. "An empirical analysis of the determinants of corporate investment decisions: Evidence from emerging market firms" *International Research Journal of Finance and Economics*, no. 33, pp. 134-141, 2009.
- Bueno E y Lamothe P. "Tamaño y rentabilidad de la gran empresa española: Un análisis empírico de su relación basado en un método multicriterio". II Congreso de AECA, Ed. IPC, Madrid, pp. 697-709, 1986.
- Camisón Zornoza C. "La investigación sobre la PYME y su competitividad. Balance de la cuestión desde las perspectivas narrativa y meta-analítica". *Papeles de*

- Economía Española*, no. 89-90, pp. 43-86, 2001.
- Campa F. "Análisis de Estados Financieros: Análisis de la rentabilidad de la empresa". Material Docente de la Universitat Oberta de Catalunya, pp 10-14. 2009.
 - CNAE Clasificación Nacional de Actividades Económicas, 2009. [Consulta: 13 de septiembre 2010], <http://www.ine.es>.
 - Chen YS y Chang KC. "Analyzing the nonlinear effects of firm size, profitability, and employee productivity on patent citations of the US pharmaceutical companies by using artificial neural network" *Scientometrics*, vol. 82, no. 1, pp. 75-82, 2010.
 - Fariñas JC, Calvo JL, Jaumandreu JM, Lorenzo MJ, Huergo E y De la Iglesia C. "La Pyme industrial en España", Ed. Civitas, Madrid, 1992.
 - Ferris SP, Sen N, Thu NTA. "Firm value and the diversification choice: International evidence from global and industrial diversification" *Applied Economics Letters*, vol. 17, no 11, pp. 1027-1031, 2010.
 - Fernández E, Montes JM, Vázquez CJ "Efecto industria y conducta empresarial". *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*. Vol. 5, no. 2, pp.149-158, 1996.
 - Fong EA, Misangyi VF, Tosi Jr HL. "The effect of ceo pay deviations on CEO withdrawal, firm size, and firm profits" *Strategic Management Journal*, vol. 31, no 6, pp. 629-651, 2010.
 - Galán JL y Vecino J.: "Las fuentes de rentabilidad de las empresas", *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, vol. 6, no. 1, pp. 21-36, 1997.
 - Galve C. y Salas V. "Propiedad y resultados de la gran empresa española". *Investigaciones Económicas*, vol. 17, no. 2, pp. 207-238, 1993.
 - Ghosh S. "Affiliation and firm performance: Evidence from Indian Business Groups" *Manchester School*, vol. 78, no. 3, pp. 183-200, 2010.
 - González A y Correa A. "Crecimiento y tamaño, un estudio empírico", *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, vol. 27, no. 95, pp. 541-573, 1998.
 - González JI, Hernández MC, Rodríguez T. "Contribución del tamaño y el sector en la explicación de la rentabilidad empresarial". *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, vol. 29, no. 106, pp. 903-930, 2000.
 - Judge WQ, Gaur A, Muller-Kahle M. "Antecedents of shareholder activism in target firms: Evidence from a multi-country study" *Corporate Governance*, vol. 18, no. 4, pp. 258-273, 2010.
 - Kim H y Gu Z. "Financial features of dividend-paying firms in the hospitality industry: A logistic regression analysis" *International Journal of Hospitality Management*, vol. 28, no. 3, pp. 359-366, 2009.
 - Kneller R y Pisu M. "The returns to exporting: evidence from UK firms" *Canadian Journal of Economics*, vol. 43, no. 2, pp. 494-519, 2010.
 - Lafuente A y Salas V. "Concentración y resultados de la empresa en la economía española". *Cuadernos Económicos de ICE*, no. 22-23, pp. 7-34, 1983.
 - Lee J. "Does size matter in firm performance? Evidence from US public firms" *International Journal of the Economics of Business*, vol. 16, no. 2, pp. 189-203, 2009.
 - MacQueen JB. "Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations" En: *Proceedings of the Fifth Symposium on Math, Statistics and Probability* (Berkeley: University of California Press), pp. 281-297, 1967.
 - Nunes PM, Serrasqueiro ZS, Leitão J. "Are there nonlinear relationships between the profitability of Portuguese service SME and its specific determinants?" *Service Industries Journal*, vol. 30, no. 8, pp. 1313-1341, 2010.
 - Nunkoo PK y Boateng A. "The empirical determinants of target capital structure and adjustment to long-run target: Evidence from Canadian firms" *Applied Economics Letters*, vol. 17, no. 10, pp. 983-990, 2010.
 - Ocaña C, Salas V, Vallés J. "Un análisis empírico de la financiación de la pequeña y mediana empresa manufacturera española: 1983-1989", *Moneda y Crédito*, no. 199, pp. 57-96, 1994.
 - R Development Core Team, "R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing" (Vienna: <http://www.R-project.org>), 2009.
 - Plan General de Contabilidad. Real Decreto 1514/2007, de 16 de noviembre, por el que se aprueba el Plan General de Contabilidad, España, BOE no. 278 de 20 de noviembre de 2007. Disponible en web: www.icac.meh.es/Documentos/PGC_2007.pdf.
 - Rodríguez L. "Rentabilidad económica y crisis industrial: evolución de la rentabilidad y sus factores explicativos", *Papeles de Economía Española*, no. 39, pp. 356-373, 1989.
 - Rumelt RP. "How much does industry matter?". *Strategic Management Journal*, vol. 12, pp. 167-185, 1991.
 - SABI [Recurso electrónico]: sistema de análisis de balances ibéricos. [Consulta: 14 de septiembre de 2010], <http://sabi.bvdep.com/version-20101014/cgi/template.dll?product=27&user=ipaddress>.
 - Sánchez JP y García D. "Influencia del tamaño y la antigüedad de la empresa sobre la rentabilidad: un estudio empírico". *Revista de Contabilidad*, vol. 6, no. 12, pp. 169-206, 2003.
 - Scherer FM y Ross D. "Industrial market structure and economic performance", 3º ed. Houghton Mifflin Co., Boston, 1990.
 - Teker D, Tasseven O, Tukul A. "Determinants of capital structure for turkish firms: A panel data analysis" *International Research Journal of Finance and Economics*, vol. 1, no. 29, pp. 179-187, 2009.

Botellas para el transporte a presión de gases: Diseño y optimización



Ramon Miralbes-Buil

Dr. Ingeniero Industrial

Universidad de Zaragoza. Dpto de Ingeniería de Diseño y Fabricación. C. María de Luna, s/n – 50001 Zaragoza. Tfno: +34 976 761000. miralbes@unizar.es

Recibido: 05/01/2011 • Aceptado: 05/03/2011

Bottles for pressure gas transport: Design and optimization

ABSTRACT

• In this paper it is established an analytical design methodology for pressure gas bottles based on strength analytical technics. This methodology can be used not only for metal (steel or aluminium) bottles but also for mixed metal and composite (one or more layers).

To make the analysis and the design some aspects must take in mind: resistance, weight and price and the methodology must allow solving easily and quickly any material combination. As well it can be analyzed each zone of the bottle: head, body and button.

In this paper some materials have been analyzed: steel, aluminium, carbon fibre, basalt fibre and some material combinations too.

To end, it has been verified the analytical obtained results in terms of resistance using numerical methods, like finite elements method (FEM)

• **Key words:** bottle, composite, gas, resistance, FEM, design, analytical.

RESUMEN

En este artículo se presenta una metodología de diseño de botellas para el transporte de gases a presión utilizando técnicas analíticas de cálculo de resistencia de materiales. Esta metodología se puede utilizar tanto para botellas únicamente metálicas (acero o aluminio) como para botellas diseñadas mediante combinaciones de un metal y una o varias capas de material compuesto recubriéndolo.

Para realizar el análisis y el diseño se tienen en cuenta diversos aspectos: resistencia, peso y precio y se debe poder analizar cualquier combinación de materiales de una forma fácil y sencilla. Además se puede analizar y diseñar la botella en cada una de las zonas por separado: cabeza, virola y fondo.

En este artículo se han analizado varios materiales: acero, aluminio, fibra de carbono, fibra de basalto y fibra de vidrio y diversas combinaciones de materiales.

Por último se han verificado los resultados obtenidos en resistencia mediante técnicas analíticas con los obtenidos mediante la técnica numérica de los elementos finitos (MEF). Con ello se verifica que no es necesario la

utilización del MEF para el cálculo de este tipo de botellas y se puede realizar únicamente mediante cálculos analíticos.

Palabras clave: botella, material compuesto, gas, resistencia, MEF, diseño, analítico.

1. INTRODUCCIÓN

Este artículo está orientado al diseño de botellas de hidrógeno destinadas a vehículo para transporte de gases a presión utilizando técnicas analíticas de resistencia de materiales. El transporte se suele realizar mediante vehículos pesados articulados, los cuales tienen una capacidad de carga limitada por el *Peso Máximo Autorizado* (PMA), que es en este caso de 36 Tn o 40 Tn. Es por ello que, para maximizar la capacidad de carga del vehículo y reducir el coste de transporte unitario, se deben diseñar botellas más ligeras que permitan transportar en cada vehículo una mayor cantidad de hidrógeno. En dichas botellas el hidrógeno se introduce a presiones elevadas (actualmente se están utilizando 200 bar y 300 bar para el transporte), lo que implica que las botellas deben ser lo

suficientemente resistentes para soportar las cargas debidas a la presión con unos niveles de seguridad aceptables.

Tradicionalmente las botellas para el transporte de gases suelen ser de acero, por lo que el peso propio de una botella que soporte una presión de 200 bar suele ser muy elevada (72 Kg. para una capacidad de 100 litros a 1.83 Kg. de H₂). Esto implica que, cuando se transporta un gas en botellas a presión, el peso se debe sobre todo al peso propio de la botella.

Por ello, si se transporta el gas utilizando botellas, la capacidad de carga de un vehículo vendrá determinada por su *Peso Máximo Autorizado* (PMA) que no podrá ser superado y, si se descuenta el peso propio del vehículo (TARA), quedará una determinada carga máxima a transportar. Si la carga está compuesta por botellas de gas a presión, el peso de la carga se debe fundamentalmente al peso de las botellas como se ha visto anteriormente, por lo que el peso propio de cada botella determinará la cantidad máxima de botellas a transportar y, por tanto, el volumen máximo de gas. Una forma de incrementar la capacidad de carga es reducir el peso propio de cada botella sin modificar la resistencia de las mismas, ya sea modificando el diseño o modificando los materiales utilizados. Otra forma de aumentar la capacidad de carga es aumentar la presión del gas (tradicionalmente se utilizaban 200 bar, pero se está empezando a utilizar presiones de 300 bar, aunque es muy poco habitual ya que los usuarios necesitan una preparación especial). Esto implica una mayor capacidad de gas en cada botella, pero también la necesidad de utilizar botellas más resistentes y, por tanto, pesadas; sin embargo, el aumento de la capacidad de carga suele compensar esta penalización de peso.

Es por ello que se ha propuesto una metodología de diseño que permita obtener de forma analítica la resistencia de una botella en función de la presión interna, las dimensiones geométricas y los materiales utilizados. Además se puede obtener el peso propio y el precio unitario estimado por botella.

2. NORMATIVA APLICABLE

Al analizar la normativa existente en diversos países de la Unión Europea, incluyendo España, existen diversas normativas aplicadas al diseño de botellas gas:

- EN 1964: botellas de gas en acero^[1]
- EN 1975: botellas en aluminio^[2]
- EN 1800:1999: botellas de acetileno^[3]
- EN 12257: botellas transportables de gas en material compuesto.^[4]
- EN 12245: botellas transportables de gas en material compuesto.^[5]

Tras analizar las diversas normativas se puede observar que los casos que hay que analizar son:

- Ensayos de caracterización de materiales (test 1 y 2 de la norma EN 12257)

- Ensayos de rotura de la botella dinámico (test 3 de EN 12257)
- Ensayo de estabilidad de la presión
- Ensayo de rotura de la botella estático (test 5)
- Ensayo a fatiga
- Ensayo en ambiente salino
- Ensayo a altas temperaturas
- Ensayo de impacto de bala

Para el diseño desde un punto de vista estructural, el ensayo más importante es el “*Ensayo de rotura de la botella estático*”, con el cual se han realizado los cálculos para cada tipo de botella.

Para este ensayo, las diversas normativas establecen la presión de ensayo de la botella, en función de la presión de trabajo. Así pues la presión de ensayo debe ser 1.5 veces la presión de trabajo. En este caso particular se trabajará con una presión de trabajo de 200 bares, por lo que la presión de ensayo será 300 bares y servirá como base para el cálculo resistente. Así pues la única carga que debe soportar la botella ensayada es una presión interna de 300 bares. En el caso de botellas diseñadas para una presión de trabajo de 300 bares la de prueba sería de 450 bares.

3. MATERIALES

Hay que destacar que las diversas normativas (EN 12257 y EN 12245) establecen que las botellas deben estar fabricadas en un material metálico (acero o aluminio), pero que pueden estar recubiertas con una o varias capas de otros materiales que aporten resistencia a la botella.

La forma más sencilla, barata y con poco peso añadido de aportar resistencia a una botella es utilizando una arrollamiento continuo de fibra preimpregnada.

Los materiales susceptibles de ser utilizados deben poseer una rigidez similar o superior a la del metal, de otra forma, no podría ser utilizados para reforzarlo porque si la rigidez es comparativamente baja, el material de refuerzo no soporta prácticamente esfuerzos y estos son soportados íntegramente por el metal por lo que el refuerzo no actúa. Por ello debe poseer una resistencia específica lo suficientemente alta.

Los materiales susceptibles de ser utilizados son la fibra de carbono y la fibra de basalto, con una matriz epoxi, que aisle el posible par galvánico que puede generar corrosión en el metal.

La fibra de vidrio ha sido descartada de antemano, ya que presenta una elevada resistencia específica (superior a la del acero) y una rigidez baja. También se ha descartado la fibra de aramida por su baja rigidez y la de boro por su excesiva fragilidad.

Para realizar el cálculo y el diseño estructural será necesario únicamente las propiedades de rigidez (*módulo de Young*), resistencia (límite elástico y límite de rotura) y para el análisis posterior de pesos la densidad y para el de precio el coste estimado por Kg. de material utilizado.

Con respecto al criterio de seguridad elegido, para el acero y el aluminio, es el siguiente criterio:

$$\sigma_{adm} = \min(0.75 \cdot R_e \cdot \lambda, 0.5 \cdot R_m \cdot \lambda) \quad (1)$$

donde:

R_e = límite elástico aparente de los aceros

R_m = resistencia a rotura del material a tracción

Dentro de estos valores, se utilizarán para cada material los mínimos especificados según las normas de materiales EN 10002-1.

λ = coeficiente de minoración debido al debilitamiento de los materiales por el proceso de soldadura:

- $\lambda=0.8$: verificación de todos los cordones de soldadura en lo posible de forma visual por las dos caras y ensayos no destructivos por muestreo.
- $\lambda=0.9$: control no destructivo de la totalidad de los cordones longitudinales, todos los nodos y el 25 % de los cordones circulares y las soldaduras de ensamble con un diámetro importante.
- $\lambda=1$: control no destructivo de todos los cordones de soldadura, verificación en lo posible de forma visual de las soldaduras por ambas caras y se sacará una muestra de una probeta de soldadura.

Para este caso particular, y debido a las sollicitaciones y la peligrosidad de este tipo de botellas, será necesario emplear el coeficiente $\lambda=0.9$ y que realizar esas verificaciones en la fabricación.

En el caso de la fibra se ha utilizado de criterio de seguridad el *criterio de Tsai-Wu*:

$$K_{seg}^2 \cdot \left(\frac{\sigma_z^2}{X'^2} + \frac{\sigma_\theta^2}{Y'^2} - \frac{\sigma_z \cdot \sigma_\theta}{X' \cdot Y'} \right) \leq 1 \quad (2)$$

siendo en coordenadas cilíndricas:

$$X'_1 = \frac{X}{\cos^2 \alpha} \quad X'_2 = \frac{Y}{\text{seno}^2 \alpha} \quad X'_3 = \frac{S}{\cos \alpha \cdot \text{seno} \alpha} \quad X' = \min(X'_1, X'_2, X'_3)$$

$$Y'_1 = \frac{X}{\text{seno}^2 \alpha} \quad Y'_2 = \frac{Y}{\cos^2 \alpha} \quad Y'_3 = \frac{S}{\cos \alpha \cdot \text{seno} \alpha} \quad Y' = \min(Y'_1, Y'_2, Y'_3)$$

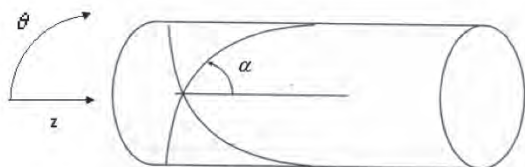
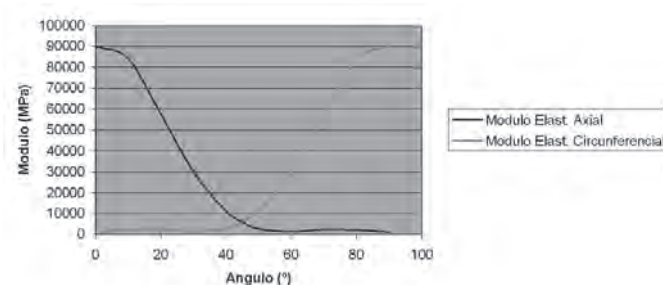


Fig. 1: Ángulo de arrollamiento en la virola

En este caso el K_{seg} utilizado ha sido $0.5 \cdot 0.9 = 0.45$ que se obtiene de la Ecuación 1.

Con respecto al tema de materiales, se han utilizado materiales habituales: acero St-52, aluminio 5186, fibra de basalto *Kamedy* y fibra de carbono unidireccional T-300 con preimpregnación epoxi.

Los enrollamientos unidireccionales, tanto la de basalto como la de Carbono se caracterizan por tener unas propiedades mecánicas ortótropas, que dependen del ángulo de arrollamiento de dicha fibra. Es por ello, que el límite elástico de esta fibra depende de dicho ángulo, al igual que el módulo elástico. Como consecuencia de este hecho, ha sido necesaria la parametrización del módulo elástico de la fibra. Para ello, partiendo de la gráfica con los módulos elásticos axiales y circunferenciales para cada ángulo de arrollamiento, se ha obtenido una ecuación polinómica que se adapte a ella (ver Gráfica 1).



Gráfica 1: Módulo de Young de la Fibra de Carbono

4. METODOLOGÍA DE CALCULO DE RESISTENCIA

Como punto de partida se ha utilizado la geometría y las dimensiones de una botella comercial de acero de 100 l de capacidad y 200 bar, similar a la presentada en la Figura 2. Este es el tipo de botellas más utilizadas para esta aplicación, aunque la metodología puede aplicarse en cualquier tipo de botella y con cualquier tipo de dimensiones y geometría o con cualquier presión de trabajo.

Para realizar el cálculo teórico, se supone que la botella presenta una presión uniforme en todo su interior. Tras ello, analizando la geometría, se puede observar que existen tres zonas claramente diferenciadas: cabeza de la botella, fondo de la botella y virola.

Por lo tanto, será necesario, como punto de partida, el análisis de cada una de estas zonas por separado para obtener los esfuerzos; esto permitirá obtener la tensión existente y el coeficiente de seguridad.

Para todas las zonas se ha supuesto la condición de lámina delgada, por lo que el espesor no influye en los resultados.



Fig. 2: Botella comercial inicial

4.1. CALCULO DE LA VIROLA

La zona de la virola, está sometida a dos esfuerzos claramente diferenciables. Por un lado, aparecen unos

esfuerzos axiales (Fig. 4) debidos a la presión ejercida por el gas sobre la cabeza y el fondo de la botella y, por otro lado, aparecen unos esfuerzos radiales (Fig. 3) debida a la presión ejercida por el gas sobre la virola.

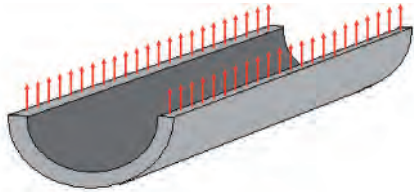


Fig. 3: Sección Transversal de la Virola

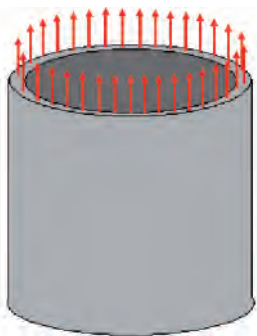


Fig. 4: Sección Vertical de la Virola

Así pues, para los esfuerzos radiales, dividiendo el cilindro por la mitad, se observa que:

$$\sum F_{\text{cuerpo}} = P \cdot A_{\text{proyectada}} = P \cdot L_{\text{cuerpo}} \cdot D_{\text{int}} \quad (3)$$

donde P es la presión interna que será igual a la presión de prueba hidráulica, $A_{\text{proyectada}}$ es el área proyectada del cilindro en dirección transversal y que, por tanto, será igual a la longitud del cuerpo (L_{cuerpo}) por el diámetro interno (D_{int})

Ello genera en el material unos esfuerzos radiales:

$$\sigma_{\theta, \text{cuerpo}} = \frac{\sum F_{\text{cuerpo}}}{A_{\text{resistente, cuerpo}}} = \frac{P \cdot L_{\text{cuerpo}} \cdot D_{\text{int}}}{2 \cdot L_{\text{cuerpo}} \cdot e_{\text{cuerpo}}} = \frac{P \cdot D_{\text{int}}}{2 \cdot e_{\text{cuerpo}}} \quad (4)$$

Donde e_{cuerpo} es el espesor de la pared.

En relación a los esfuerzos axiales, dividiendo el cilindro transversalmente, en este caso el $A_{\text{proyectada}}$ vendrá determinada por el área proyectada verticalmente, es decir, el área de un círculo de diámetro D_{int}

luego:

$$\sum F_{\text{cuerpo}} = P \cdot A_{\text{proyectada}} = P \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{int}}}{2}\right)^2 = \frac{P \cdot \pi \cdot D_{\text{int}}^2}{4} \quad (5)$$

Todos estos esfuerzos se distribuyen a lo largo del espesor de la botella.

4.2. CALCULO DE LA CABEZA Y EL FONDO

La cabeza y el fondo de una botella pueden tener muchas formas diferentes; entre ellas, podemos encontrar una forma semi-esférica. Para esta:

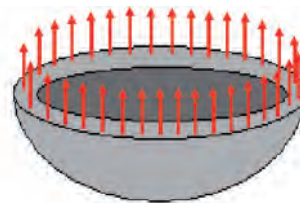


Fig. 5: Sección de la cabeza

$$\sum F_{\theta, \text{cabeza}} = P \cdot A_{\text{proyectada}} = P \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{int}}}{2}\right)^2 = \frac{P \cdot \pi \cdot D_{\text{int}}^2}{4} \quad (6)$$

Esta ecuación es idéntica a la Ecuación 3 al igual que la 4 es idéntica a la 6.

Y por ello:

$$\sigma_{\text{cabeza}} = \frac{F_{\text{cabeza}}}{A_{\text{proyectada}}} = \frac{P \cdot \pi \cdot D_{\text{int}}^2 / 4}{\pi \cdot D_{\text{int}} \cdot e_{\text{cabeza}}} = \frac{P \cdot D_{\text{int}}}{4 \cdot e_{\text{cabeza}}} \quad (7)$$

Por otro lado, para el resto de formas, si consultamos la norma BS 4994:1987^[6], esta establece la tensión máxima en cada una de las zonas en función del tipo de geometría:

$$\sigma_{\text{cabi/fondo}} = \frac{P \cdot D_{\text{int}} \cdot K_s}{2 \cdot e_{\text{cabi/fondo}}} \quad (8)$$

Donde K_s es el factor de forma:

h/D _i	t/D _i	K _s		
		toro esférica 0.1 < r/D _i < 0.15	r/D _i > 0.15	Semi-elipsoidal
0,2	0,005	2,95	No permitido	2
	0,01	2,85		2,1
	0,02	2,65		2,2
	0,04	2,35		2,25
	0,05	2,25		2,35
0,25	0,005	2,35	1,9	1,3
	0,01	2,25	1,8	1,35
	0,02	2,1	1,75	1,45
	0,04	1,85	1,7	1,45
	0,05	1,75	1,7	1,45
0,32	0,005	1,95	1,45	0,84
	0,01	1,85	1,45	0,95
	0,02	1,6	1,4	1
	0,04	1,4	1,35	1,05
	0,05	1,3	1,3	1,1
0,5	Cualquier valor	0,6	0,6	0,6

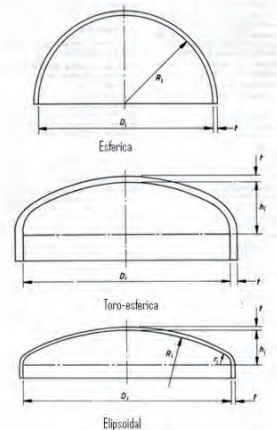


Tabla 1: Coeficientes K_s de la cabeza y el fondo

En el caso particular de una cabeza esférica tenemos que:

$$\sigma_{\text{adm}} = \sigma_{\text{mises}} = \sqrt{0,5 \cdot [(\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_{\theta})^2 + (\sigma_z - \sigma_{\theta})^2]} \quad (9)$$

Todo ello, permite calcular los esfuerzos en cada una de las zonas que forman las botellas.

Estos esfuerzos obtenidos corresponden a los que existiría de media en todo el espesor, por lo que habrá que repartir posteriormente las tensiones en cada material en los casos en los que exista un arrollamiento de fibra en el exterior.

Antes de ello se va a analizar un caso particular de botella en acero o en aluminio.

5. CALCULO DE BOTELLAS DE ACERO O DE ALUMINIO Y SU PRESIÓN DE PRUEBA MÁXIMA ADMISIBLE

La tensión máxima que puede soportar el acero o el aluminio, según lo indicado en la Ecuación 2, es σ_{adm} y, en el caso óptimo debe ser igual a la tensión de Von Mises^[7,8] en cada zona:

$$\sigma_{adm} = \sigma_{vmises} = \sqrt{0.5 \cdot [(\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2]} \quad (10)$$

Por todo ello, partiendo de las tensiones obtenidas anteriormente en el apartado 4, se obtiene que para el cilindro:

$$\begin{aligned} \sigma_{vmises, cilindro} &= \sqrt{0.5 \cdot [(\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2]} = \\ &= \sqrt{0.5 \cdot [(\sigma_z)^2 + (\sigma_\theta)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2]} = \\ &= \sqrt{0.5 \cdot [(\sigma_z)^2 + (\sigma_\theta)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2]} = \\ &= \sqrt{0.5 \cdot \left[\left(\frac{P \cdot D_{int}}{4 \cdot e_{cilindro}} \right)^2 + \left(\frac{P \cdot D_{int}}{2 \cdot e_{cilindro}} \right)^2 + \left(\frac{P \cdot D_{int}}{2 \cdot e_{cilindro}} - \frac{P \cdot D_{int}}{4 \cdot e_{cilindro}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{P \cdot D_{int}}{4 \cdot e_{cilindro}} \cdot \sqrt{3} \end{aligned} \quad (11)$$

Para el fondo y la cabeza:

$$\sigma_{vmises} = \sqrt{\sigma^2} = \sigma = \frac{P \cdot D_{int} \cdot K_s}{4 \cdot e_{cab/fondo}} \quad (12)$$

Por todo ello, para la el cilindro:

$$\sigma_{adm} = \sigma_{max} = \frac{P_{max} \cdot D_{int} \cdot \sqrt{3}}{4 \cdot e_{cilindro}} \Rightarrow P_{max} = \frac{4 \cdot \sigma_{adm} \cdot e_{cilindro}}{D_{int} \cdot \sqrt{3}} \quad (13)$$

Para la cabeza y el fondo:

$$\sigma_{adm} = \sigma_{max} = \frac{P_{max} \cdot D_{int} \cdot K_s}{2 \cdot e_{cabeza/fondo}} \Rightarrow P_{max} = \frac{2 \cdot \sigma_{adm} \cdot e_{cabeza/fondo}}{D_{int} \cdot K_{s,cabeza/fondo}} \quad (14)$$

Por ello, la presión máxima será la mínima a que pueda soportar cada una de las zonas.

A la vista de estos resultados, se observa que es posible definir una relación de espesores entre la cabeza de las botellas y el cuerpo, de forma que la presión máxima admisible sea la misma para todas las zonas, y, con ello, lograr la optimización de los espesores de cada una de las zonas. Así pues:

$$\begin{aligned} \frac{P \cdot D_{int} \cdot K_{s,cabeza}}{2 \cdot e_{cabeza}} &= \frac{P \cdot D_{int} \cdot K_{s,fondo}}{2 \cdot e_{fondo}} = \frac{P \cdot D_{int}}{4 \cdot e_{cilindro}} \cdot \sqrt{3} \\ \Rightarrow \frac{e_{cabeza}}{K_{s,cabeza}} &= \frac{e_{fondo}}{K_{s,fondo}} = \frac{2 \cdot e_{cuerpo}}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (15)$$

Hay que destacar que, tras observar la Tabla 1 para la cabeza y los fondos, la forma óptima es en forma de casquete esférico. Así pues, para esta configuración, los espesores óptimos son aquellos que cumplen:

$$\frac{e_{cabeza}}{0.6} = \frac{e_{fondo}}{0.6} = \frac{2 \cdot e_{cuerpo}}{\sqrt{3}} \Rightarrow e_{cabeza} = e_{fondo} = 0.6928 \cdot e_{cuerpo} \quad (16)$$

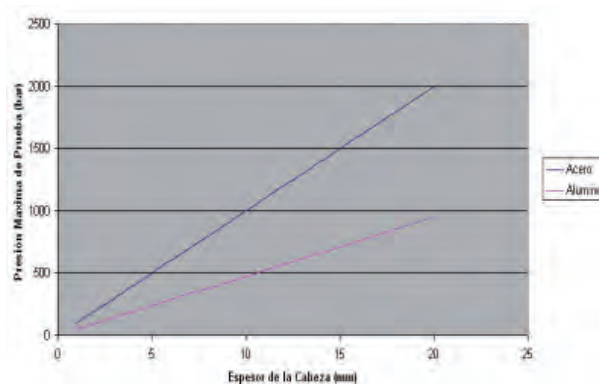
Por otro lado, también será necesario tener en cuenta los

espesores de acuerdo entre las diversas zonas, para evitar concentraciones de tensiones y debilitamientos locales de las botellas.

Normalmente además se tiene que cumplir la condición de que la botella sea capaz de sostenerse verticalmente sobre el fondo sin caerse por lo que se suele emplear una botella con fondo toro esférico de K_s 1.3. Así pues:

$$\frac{e_{cabeza}}{0.6} = \frac{e_{fondo}}{1.3} = \frac{2 \cdot e_{cuerpo}}{\sqrt{3}} \Rightarrow e_{cabeza} = 0.462 \cdot e_{fondo} = 0.6928 \cdot e_{cuerpo} \quad (17)$$

Con ello, en la siguiente grafica aparece la presión máxima que puede soportar una botella de estas características en función del espesor, tanto si está construido en acero ST-52 como en aluminio Al 5186 y un diámetro de 260 mm se obtiene que:



Gráfica 2: Espesor de la Cabeza frente a la presión de prueba en botellas de acero y de aluminio

Estos cálculos se han realizado para una presión de prueba de 300 bar (200 de trabajo) y sería necesario un espesor en la cabeza de 7 mm para el aluminio y de 3.2 para el acero, o, lo que es lo mismo, un espesor en el cuerpo aproximado de 14 mm para el aluminio y de 6 para el acero, que se corresponden con los valores habituales observados en diversos estudios de botellas de hidrógeno. Sin embargo hay que resaltar que para evitar zonas de transición en la cabeza semi cilíndrica se suele utilizar el mismo espesor que en el cuerpo, mientras que en el fondo se suele dejar la zona de transición. Esto se debe a que el cuerpo es la zona que mayor peso tiene de la botella y la cabeza comparativamente tiene un peso mucho menor, por lo que la utilización de un espesor en la cabeza mayor para evitar zonas de transición repercute positivamente en una reducción en el precio final sin modificar sustancialmente el peso. Esto no se puede hacer con respecto al fondo, ya que habitualmente tiene un espesor mayor que el cuerpo por lo que se debe emplear una zona de transición entre el cuerpo y el fondo.

Este caso particular nos permite diseñar cualquier tipo de botella de acero o aluminio y, variando el tipo de material utilizado, se pueden obtener botellas más ligeras y de menor espesor, por ejemplo utilizando aceros de alto límite elástico como el DOMEX 500.

6. CALCULO DE BOTELLAS DE FIBRA DE CARBONO Y DE BASALTO CON DOS ANGULOS DE ARROLLAMIENTO

Una tipología de botellas que, desde un punto de vista resistente, podría funcionar adecuadamente sería la en fibra por arrollamiento, pero están prohibidas por normativa, ya que se requiere una capa metálica o no metálica; además podría haber fugas en la misma. Sin embargo se ha decidido incluirla para analizar como debería ser su diseño.

Debido a los esfuerzos que aparecen en las diversas partes de la botella, es necesario para fabricar una botella en fibra, colocar al menos dos capas de fibra con dos ángulos de arrollamiento diferentes, para que sean capaces de soportar los esfuerzos que generará la presión, sin que se produzca delaminación.

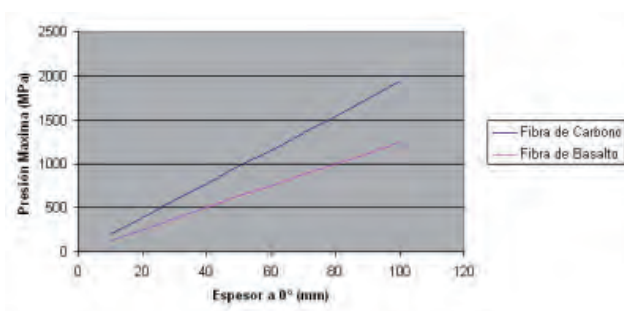
Por ello, tras observar los esfuerzos a los que está sometida una botella de estas características, podemos ver que, tanto la cabeza como el fondo, están sometidos a unos esfuerzos en todas las direcciones, con lo cual en esos elementos el ángulo de arrollamiento óptimo sería 0° y 90°, mientras que en el cuerpo los esfuerzos mayoritarios son perpendiculares, por lo que el ángulo óptimo sería 90°. Por ello, lo que se pretende es realizar un arrollamiento a 0° y un arrollamiento a 90°, este último de un mayor espesor que el anterior. Concretamente la relación de espesores debe ser la siguiente (obtenida de la Ecuación 13):

$$2 \cdot e_{0^\circ} = K_r \cdot e_{90^\circ} \tag{18}$$

Con ello, para nuestro caso particular, obtenemos que:

$$e_{0^\circ} = 0,65 \cdot e_{90^\circ} \tag{19}$$

Hay que destacar que, a la hora de fabricar la botella, será imposible realizarla mediante arrollamiento de fibras en dos direcciones totalmente, ya que en el fondo y en la cabeza será imposible alcanzar el ángulo de 90° en toda la zona mediante este procedimiento.



Gráfica 3: Espesor de la Cabeza frente a la presión de prueba en botellas de fibra de carbono y de basalto

A partir de las anteriores gráficas obtenemos que, para soportar una presión de prueba de 300 bares, necesitamos un

arrollamiento a 0° en carbono de 17 mm y a 90° de 27 mm, mientras que, en basalto, necesitamos a 0° 26 mm y a 90° 40 mm.

En este caso se debe utilizar un único espesor tanto en la cabeza, en el cuerpo y en el fondo, para cada fibra. Por ello se debe obtener primero el espesor a 0° de la Ecuación 3 y después obtener el de 90° con la Ecuación 17.

7. CALCULO DE BOTELLAS COMPUESTAS POR ARROLLAMIENTO DE FIBRA DE CARBONO O DE BASALTO SOBRE ACERO O ALUMINIO

Después de ver los resultados obtenidos para el acero y para la fibra por separado, se observa que puede ser interesante la combinación en las botellas de aluminio o acero con arrollamientos de fibra de carbono o de basalto; se ha tenido en cuenta también la imposibilidad de realizar arrollamientos en los fondos a determinados ángulos.

Para realizar el cálculo analítico, hay que distribuir los esfuerzos de cada zona de la botella entre las diversas capas y calcular la máxima presión que puede soportar cada capa en cada zona.

Por ello, es necesario definir unos coeficientes de reparto^[8] de los esfuerzos que denominaremos K_r , los cuales dependerán de la dirección (axial o circunferencial), del material y de la zona (cabeza, cuerpo o fondo). Así pues, se definirá:

$$K_{r,direccion,material,zona} = \frac{E_{direccion,material,zona} \cdot e_{material,zona}}{\sum_{i=1}^k E_{direccion,material_i,zona} \cdot e_{material_i,zona}} \tag{18}$$

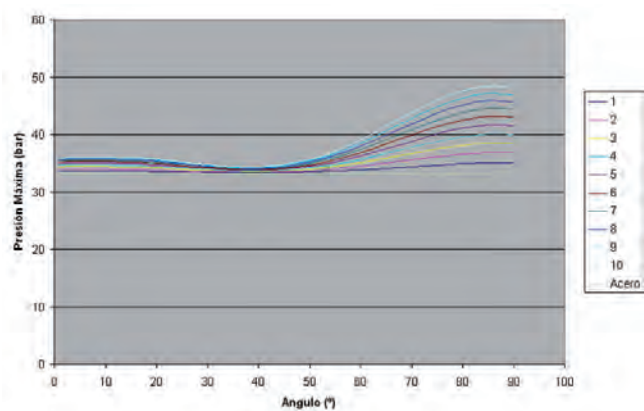
Con ello, se podrán repartir los esfuerzos de la siguiente forma:

$$\sigma_{direccion,material,zona} = \sigma_{total,direccion,zona} \cdot K_{r,direccion,material,zona} \tag{19}$$

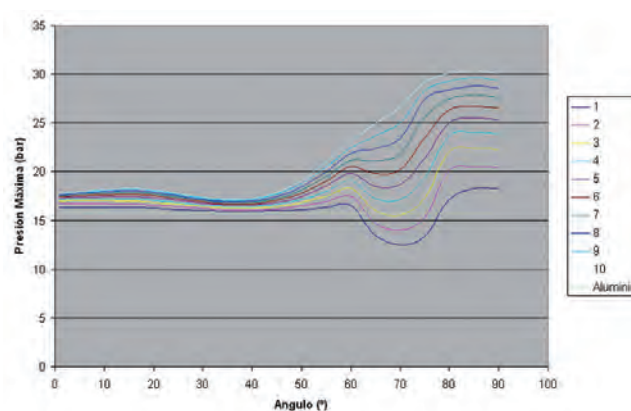
Esto nos permite en una botella compuesta por varios materiales obtener los esfuerzos en cada una de los materiales que la componen y en cada una de las zonas.

Una vez obtenidos los esfuerzos que actúan en cada una de las zonas, el siguiente paso es el cálculo resistente de cada una de las zonas, utilizando el *criterio de Von Mises* o el de *Tsai-Wu*^[10].

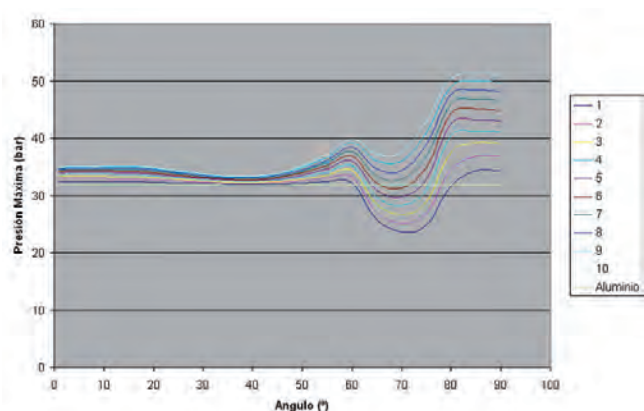
Una vez establecido el criterio de rotura y la forma de cálculo (apartado 3), el siguiente paso es establecer una configuración óptima de espesores de los materiales y ángulos de arrollamiento. Para ello inicialmente se ha observado como varía la máxima presión admisible en una botella de acero, con unos espesores en el acero iguales a la botella de acero capaz de soportar 300 bares y con la de aluminio, arrollando fibra de carbono o de basalto con un determinado espesor y un determinado ángulo.



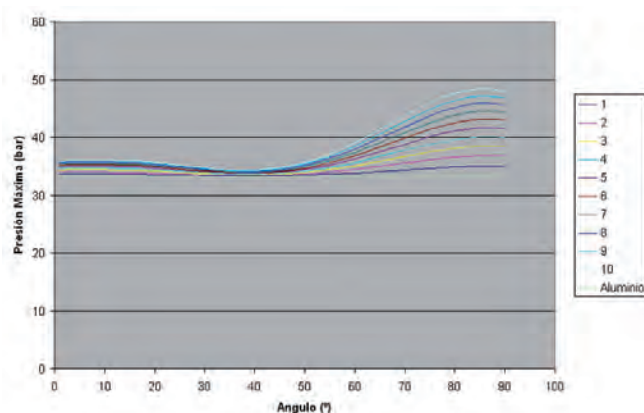
Gráfica 4: Ángulo de Arrollamiento frente a la presión de prueba en botellas de acero y fibra de carbono



Gráfica 7: Ángulo de Arrollamiento frente a la presión de prueba en botellas de aluminio y fibra de basalto



Gráfica 5: Ángulo de Arrollamiento frente a la presión de prueba en botellas de aluminio y fibra de carbono



Gráfica 6: Ángulo de Arrollamiento frente a la presión de prueba en botellas de acero y fibra de basalto

Tras observar con detenimiento las anteriores gráficas, obtenidas mediante el programa MATLAB tras implementar las diversas ecuaciones de cálculo analítico, observamos que, el ángulo de arrollamiento óptimo para este tipo de botellas es de 90°, como era de esperar, ya que, los máximos

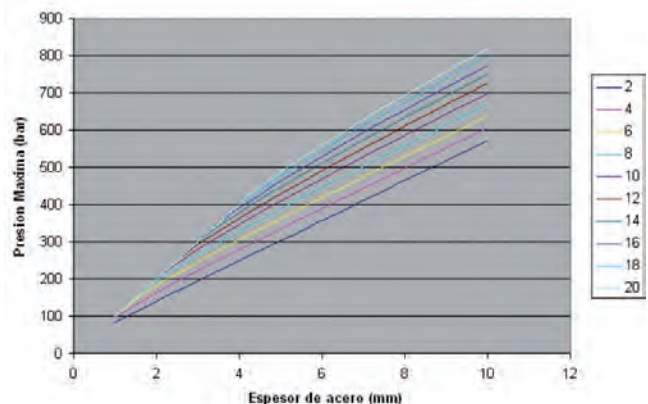
esfuerzos aparecen en el cuerpo en dirección θ . Cabe destacar que el arrollamiento a 90° es óptimo en la zona de la virola, mientras que en los fondos el arrollamiento óptimo sería a 0°.

Por ello, para obtener una botella optimizada en términos de peso y de precio, aparecen dos posibles configuraciones:

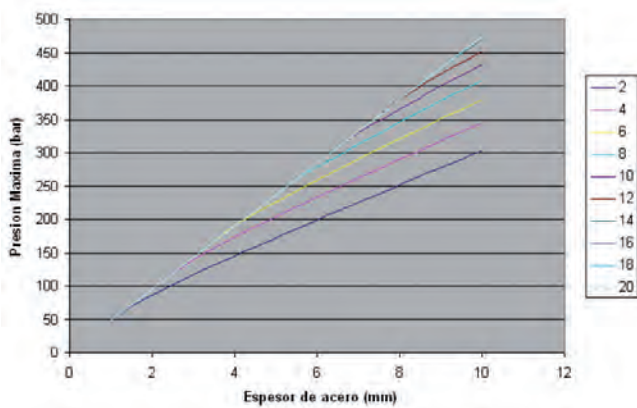
- Arrollamiento a 90° solo en la virola
- Arrollamiento a 0° en toda la botella hasta que cumpliera la cabeza y el fondo, y posteriormente a 90° únicamente en el cuerpo hasta que cumpliera este.

Debido a que en el arrollamiento a 0° y 90° existen tres variables que pueden variar (espesor del acero/aluminio, espesor de la fibra 0° y espesor de la fibra a 90°), es imposible establecer en una gráfica los resultados conjuntos de todas estas configuraciones, por lo que se presentarán a continuación los resultados del arrollamiento a 90° en la virola, aunque, en el posterior análisis económico se presentaran los resultados obtenidos para la segunda configuración, de forma que la botella sea capaz de soportar una presión de 300 bares.

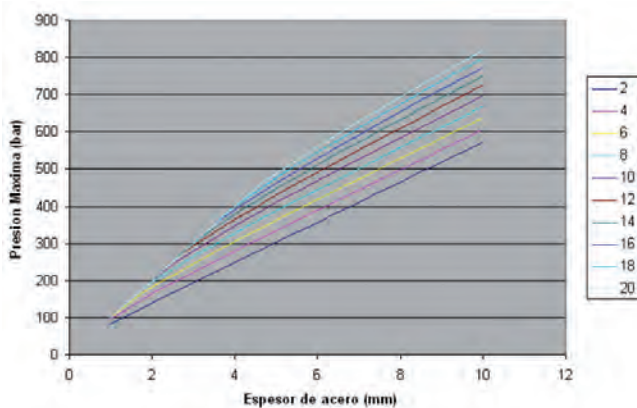
En las Gráficas 8 - 11, obtenidas también del cálculo analítico mediante MATLAB, se puede observar la variación de la presión máxima admisible en el diseño, en función del espesor de acero para diversas configuraciones de materiales.



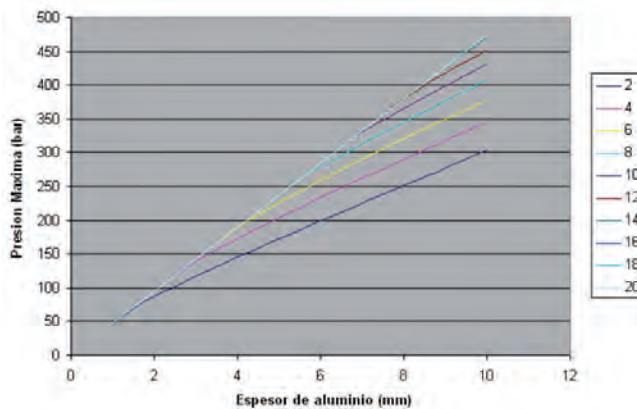
Gráfica 8: Espesor de la Virola frente a la presión de prueba en botellas de acero y fibra de carbono a 90° en función del espesor de esta última



Grafica 9: Espesor de la virola frente a la presión de prueba en botellas de aluminio y fibra de carbono a 90° en función del espesor de esta última



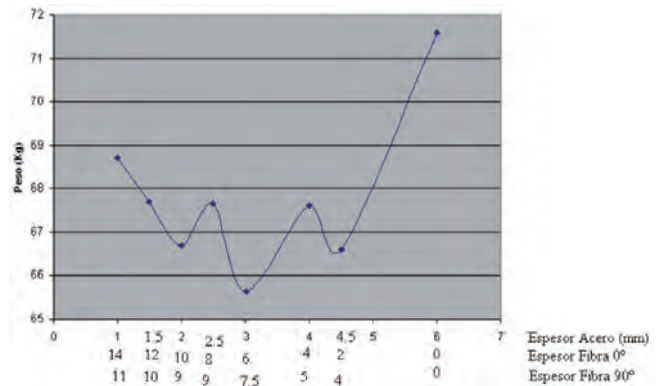
Grafica 10: Espesor de la Virola frente a la presión de prueba en botellas de acero y fibra de basalto a 90° en función del espesor de esta última



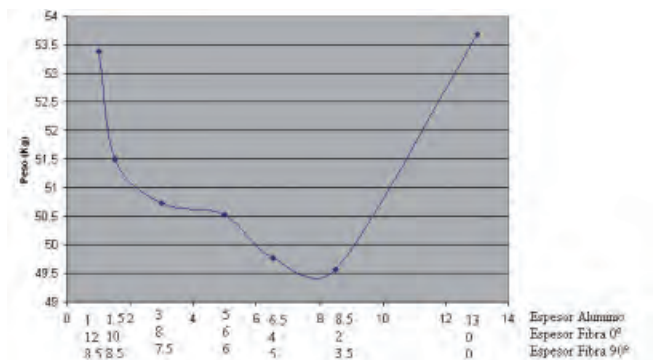
Grafica 11: Espesor de la Virola frente a la presión de prueba en botellas de aluminio y fibra de basalto a 90° en función del espesor de esta última

8. ANALISIS ECONOMICO Y DE PESO DE LAS DIVERSAS CONFIGURACIONES ELEGIDAS

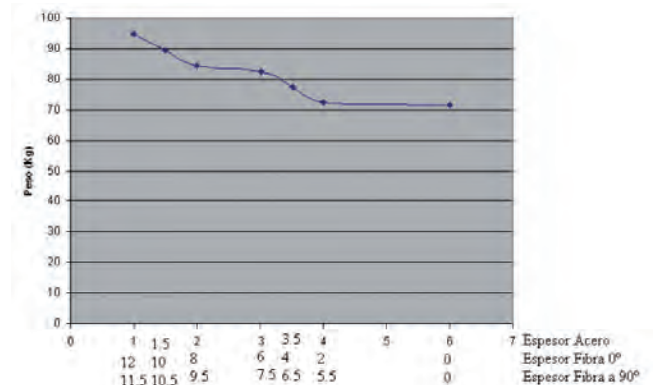
Una vez considerada cada una de las posibles opciones de espesores y materiales, el siguiente paso es analizar un caso concreto de botella, para lo cual se analizará en una



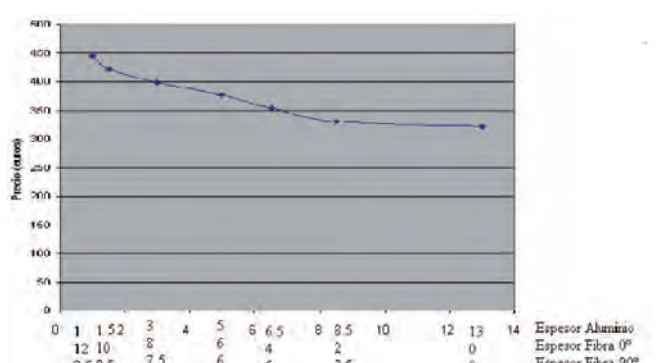
Grafica 12: Espesor de los materiales frente al peso total de la botella en botellas de acero y fibra de carbono a 0° y 90° para una presión de prueba de 300 bares



Grafica 13: Espesor de los materiales frente al peso total de la botella en botellas de aluminio y fibra de carbono a 0° y 90° para una presión de prueba de 300 bares



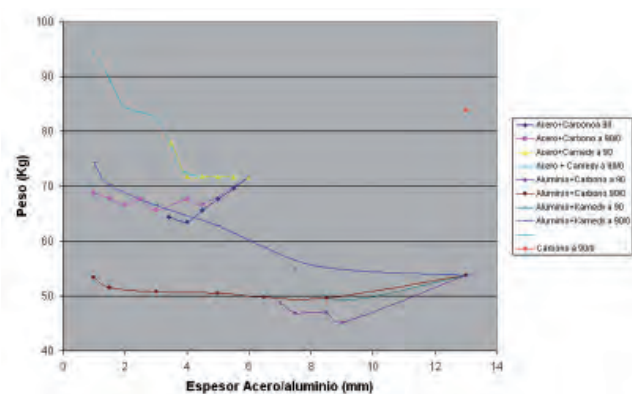
Grafica 14: Espesor de los materiales frente al peso total de la botella en botellas de acero y fibra de basalto a 0° y 90° para una presión de prueba de 300 bares



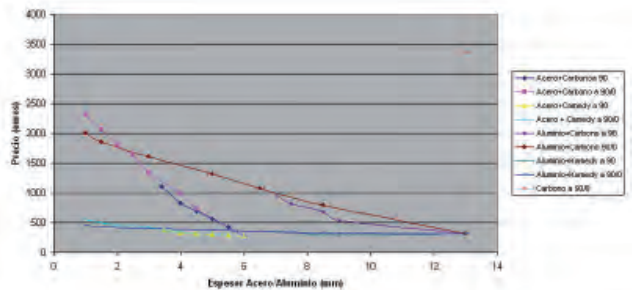
Grafica 15: Espesor de los materiales frente al peso total de la botella en botellas de acero y fibra de carbono a 0° y 90° para una presión de prueba de 300 bares

botella con las mismas características de la botella origen, es decir, una botella capaz de soportar una presión de prueba de 300 bares. Hecho esto, aparecen varias configuraciones de materiales y espesores; el siguiente paso es seleccionar la botella en términos de peso y de precio. En las siguientes graficas se muestran los pesos de las diversas configuraciones de espesores para las botellas calculadas en el apartado 8 con una configuración de la fibra de 0° y 90°. Estos datos son el resultado obtenido en la simulación mediante MATLAB. Para el cálculo de precios se ha considerado un precio final tras la manufactura de 3 €/kg en acero, 6 en el aluminio, 40 en la fibra de carbono y 12 en la de basalto, incluyendo el precio del material base y la manufactura.

Debido a la gran cantidad de configuraciones posibles de espesores y materiales, no se han incluido todas en el artículo, ya que podría ser excesivamente extenso. Sin embargo, si que se incluyen dos graficas en las que se muestra el peso y el precio de la botella con las diversas configuraciones de espesores y de materiales posibles, a excepción de la botella de fibra de basalto a 0°/90° por tener un peso excesivo de 200 Kg.



Grafica 16: Espesor del aluminio/acero en las diversas configuraciones de botellas frente al peso total de ésta, para una presión de prueba de 300 bares



Grafica 17: Espesor del aluminio/acero en las diversas configuraciones de botellas frente al precio total de ésta, para una presión de prueba de 300 bares

Analizando los resultados de las graficas, se observa que la opción más económica es la botella únicamente en acero, mientras que la opción con un menor peso es una configuración de aluminio y fibra de carbono solo en el cuerpo a 90°. Esta última opción presenta aproximadamente

un precio doble al de una botella de aluminio equivalente pero solo un ahorro en peso del 15%.

También es interesante la configuración de una botella en aluminio y fibra de basalto a 90° en el cuerpo, ya que presenta frente a la botella en aluminio un ahorro en peso de 7.5% y un precio solo un 2.5% superior al aluminio.

Hay que destacar también que las configuraciones de botellas solo en fibra de carbono o de basalto no resultan competitivas ni en precio ni en peso.

Por otro lado, en términos de precio, los mejores resultados se obtienen con botellas en acero, siendo posible su aligeramiento mediante fibra de carbono, pero no mediante fibra de basalto debido a su menor rigidez específica.

En cuanto al aluminio, presenta las mejores configuraciones en términos de peso, siendo posible su aligeramiento tanto mediante la utilización de fibra de carbono como fibra de basalto, aunque, puedan resultar más caras.

Con respecto a la configuración del refuerzo de las botellas de acero o aluminio con arrollamiento, se observa que - tanto en términos de peso como de precio - la mejor configuración posible se produce con arrollamiento de fibra a 0° únicamente en la virola.

9. COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS ANALITICOS CON LOS OBTENIDOS MEDIANTE EL M.E.F.

Una vez establecida para cada configuración de espesores la configuración óptima, el siguiente paso es respaldar los resultados obtenidos teóricamente con los obtenidos mediante el M.E.F., por lo cual se van a comparar en cada una de las zonas (cabeza, virola y fondo) las tensiones de Von Mises y los coeficientes de Tsai-Wu para la configuración óptima de espesores en cada una de las posibles configuraciones de materiales. Para ello se ha realizado un cálculo mediante el MEF^[9] utilizando el programa comercial ABAQUS.

En las siguientes figuras se pueden observar diversas vistas del modelo de elementos finitos y algunos resultados:

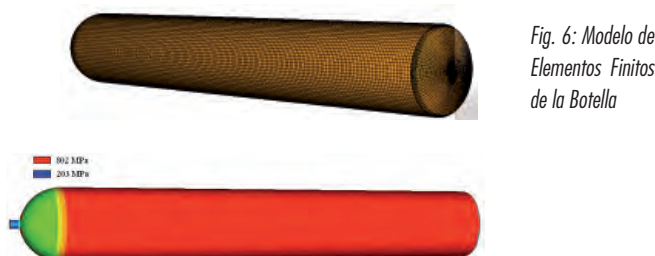


Fig. 6: Modelo de Elementos Finitos de la Botella

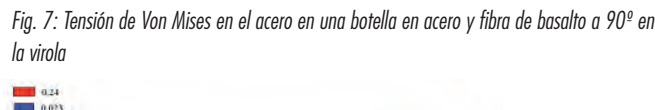


Fig. 8: Coeficiente de Tsai-Wu en una botella en aluminio y fibra de basalto a 0° y 90° en la fibra a 90° en la virola

	Cabeza			Cuerpo			Fondo		
	Espesor (mm)	Tensión V. Mises Analítico	Tensión V. Mises/ Tsai-Wu MEF	Espesor (mm)	Tensión V. Mises/ Tsai-Wu Analítico	Tensión V. Mises/ Tsai-Wu MEF	Espesor (mm)	Tensión V. Mises/ Tsai-Wu Analítico	Tensión V. Mises/ Tsai-Wu MEF
Acero	3.30	800.00	802.00	6.00	800.00	783.00	7.20	800.00	805.00
Aluminio	7.20	380.00	380.00	13.00	380.00	378.00	15.60	380.00	381.00
Acero+	Acero	4.50	498.00	513.00	4.50	792.00	798.00	6.70	776.00
Fibra de Carbono a 0 y a 90	Fibra a 0°	2.00		0.32	2.00		0.09	2.00	0.45
	Fibra a 90°			4.00		0.02			
Acero+	Acero	4.00	667.00	716.00	4.00	789.00	802.00	6.00	447.00
Fibra de Carbono a 90	Fibra a 90°			8.00		0.38			
Acero+	Acero	4.00	797.00	789.00	4.00	800.00	796.00	6.00	538.00
Fibra de basalto a 0 y a 90	Fibra a 0°	2.00		0.39	2.00		0.08	2.00	0.47
	Fibra a 90°			5.50		0.30			
Acero+	Acero	4.00	641.00	670.00	4.00	782.00	802.00	6.00	447.00
Fibra de basalto a 90	Fibra a 90°			8.00		0.33			
Aluminio+	Aluminio	8.50	368.13	375.00	8.50	380.00	381.00	12.61	240.00
Fibra de Carbono a 0 y a 90	Fibra a 0°	2.00		0.38	2.00		0.27	2.00	0.33
	Fibra a 90°			3.50		0.13			
Aluminio+	Aluminio	9.00	298.30	302.00	9.00	380.00	380.00	13.35	199.50
Fibra de Carbono a 90	Fibra a 90°			4.00		0.07			
Aluminio+	Aluminio	8.50	233.70	239.10	8.50	380.00	381.00	12.61	368.13
Fibra de basalto a 0 y a 90	Fibra a 0°	2.00		0.39	2.00		0.23	2.00	0.34
	Fibra a 90°			3.50		0.15			
Aluminio+	Aluminio	9.00	298.30	306.00	9.00	369.00	365.00	13.35	199.50
Fibra de basalto a 90	Fibra a 90°			4.00		0.17			

Tabla 2: Correlación de resultados entre el método analítico y el de elementos finitos

De ello se extrae la Tabla 2 que muestra las principales desviaciones de los resultados.

Tras observar la Tabla 2, se concluye que el método analítico permite obtener la tensión de Von Mises máxima en el acero o en el aluminio de una forma muy fiable en todas las zonas de la botella.

No ocurre igual en el caso de la fibra tanto de basalto como de carbono, donde los resultados obtenidos son similares solo en el cuerpo de la botella para todas las configuraciones.

En dicha tabla, no se ha podido incluir el coeficiente de Tsai-Wu de la fibra, ya que lo que se ha hecho analíticamente es calcular la presión máxima que pueden soportar las diversas zonas y, a partir de esto, calcular la mínima presión admisible. Con ello, sabiendo la presión máxima de cada zona, es posible correlacionar la presión máxima analítica con la tensión de Von Mises, pero no con el coeficiente de Tsai-Wu, debido a la forma de calcular estos coeficientes. Sin embargo, los coeficientes de Tsai-Wu obtenidos mediante el M.E.F. son inferiores a 1.

El modelo de elementos finitos se ha realizado según los criterios del artículo "Pressure vessel manufacturing: Mechanical analysis of gas bottles with convex end-plates"^[12], en el cual se correlacionan los resultados numéricos obtenidos mediante técnicas numéricas con los resultados extensiométricos con un alto grado de correlación.

10. CONCLUSIONES

Tras observar los resultados obtenidos, podemos afirmar que, utilizando el método anteriormente propuesto, se puede calcular de una forma fácil y sencilla todo tipo de botellas utilizando técnicas analíticas de resistencia de materiales, con el objetivo de obtener una presión de uso determinada; la metodología anteriormente expuesta permite variar las propiedades, los espesores de las diversas capas, la geometría de la botella y los ángulos de arrollamiento rápidamente, sin necesidad de utilizar programas más laboriosos como los de elementos finitos.

Por otro lado, se observa que los resultados obtenidos mediante elementos finitos y de forma analítica son muy similares, por lo que no es necesario utilizar técnicas tan complejas para el diseño de este tipo de elementos.

Respecto a la optimización de las botellas, se observa que, la mejor forma de optimizar la botella en cuanto a peso y precio para una determinada presión, es mediante la

combinación de aluminio y fibra de carbono en el cuerpo a 90° con el espesor anteriormente mencionado.

Se observa también que no es aconsejable la fabricación de botellas únicamente en fibra de carbono o de basalto con configuraciones a 0° y 90°, al tener un peso y un precio disuasorio y no estar permitidas por la normativa.

Hay que resaltar que el método analizado permite diseñar la botella para los casos de presión estática; sin embargo, existen una serie de casos adicionales que requieren de la construcción de un prototipo y del ensayo real: ensayo de impacto de bala, ensayo de fatiga, ensayo de corrosión, ensayo de caracterización de los materiales y ensayo a altas temperaturas.

11. BIBLIOGRAFÍA

- EN 1964, "Transportable Gas Cylinders - Specification for the Design and Construction of Refillable Transportable Seamless Steel Gas Cylinders of Water Capacities from 0,5 Litre up to and Including 150 Litres"
- EN 1975: "Transportable gas cylinders. Specification for the design and construction of refillable transportable seamless aluminium and aluminium alloy gas cylinders of capacity from 0,5 litre up to 150 litre"
- EN 1800:1999: "Transportable gas cylinders. Acetylene cylinders. Basic requirements and definitions"
- EN 12257: "Transportable gas cylinders - Seamless, hoop-wrapped composite cylinders"
- EN 12245: "Transportable gas cylinders - Fully wrapped composite cylinders"
- BS4994:1987. "Specification for design and construction of vessels and tanks in reinforced plastics". British Standards
- Giacomelli E, "Pressure vessel design for reciprocating compressors applied in refinery and petrochemical plants" ASME 2005 Pressure Vessels and Piping Conference, July 2005, Denver, Colorado, USA. ISBN: 0-7918-4190-1
- Timoshenko SP. "Theory of elastic stability". 2ª Edición., McGraw-Hill, N.Y., 1961, ISBN: 978-0070647497
- Miravete A, Castejón L, et al. "Materiales Compuestos", 2ª edición, Barcelona: Ed. Reverte, 2000, ISBN: 84-921349-7-6, p. 767.
- W Tsai S. & Miravete A. 1988. "Diseño y Análisis de Materiales Compuestos". 1ª edición, Barcelona: Ed. Reverte, 1988, ISBN: 84-291-4889-2.
- Zienkiewicz OC, Taylor RL, "El Método de los Elementos Finitos. Vol. 1, las bases". 6ª Edición., McGraw- Hill, N.Y., 2010, ISBN: 9788496736740
- Nicolich M, "Pressure vessel manufacturing: Mechanical analysis of gas bottles with convex end-plates" International Journal of Pressure Vessels and Piping Volume 55, Issue 3, 1993, Pages 423-433

Medida de energía en condiciones de distorsión y desequilibrio



Carlos Roncero-Clemente*
 María Isabel Milanés-Montero*
 Enrique Romero-Cadaval*
 Eva González-Romera*
 Fermín Barrero-González*

Ingeniero en Organización Industrial
 Doctora Ingeniero Industrial
 Doctor Ingeniero Industrial
 Doctora Ingeniero Industrial
 Doctor Ingeniero Industrial

* Universidad de Extremadura. Escuela de Ingenierías Industriales. Grupo PE&ES. Avda. de Elvas, s/n - 06006 Badajoz. Tfno: +34 924 289300 (ext. 86787). roncero@peandes.unex.es; milanes@unex.es; eromero@unex.es; evagzlez@unex.es; fbarrero@unex.es

Recibido: 14/12/2010 • Aceptado: 21/03/2011

Energy meters quality under distorted and imbalanced systems

ABSTRACT

• Nowadays the study of power quality is a critical issue due to the proliferation of “nonlinear” consumers connected to the grid, most of them electronic loads which produce voltage and current waveforms distortion, causing a worse operation of the power system and leading to higher losses. At present, “bad customers” of power energy are only penalized due to reactive power consumption. The measurement of this consumption is made by using conventional energy meters designed to operate under sinusoidal and balanced systems with parameters within the required limits. In this paper the experimental validation of these devices in low voltage power systems with harmonic distortion and imbalance is carried out. Finally, a new ratio is proposed for the electrical billing, to penalize at the same time the reactive power consumption, the harmonic pollution and the imbalance.

• **Keywords:** Power quality, harmonic distortion, imbalance, power, energy meter, power factor, electrical billing.

RESUMEN

El estudio de la calidad del producto energía eléctrica es fundamental en la actualidad debido al incremento de conexiones a red de consumidores “no lineales”, fundamentalmente compuestos por cargas electrónicas, que distorsionan la forma de onda, tanto de tensión como de corriente, provocando un peor funcionamiento de todo el sistema eléctrico y generando mayores pérdidas. Hoy en día, lo único que está contemplado en la normativa para penalizar a los “malos consumidores” de energía eléctrica es el consumo de energía reactiva. La medida de este consumo se realiza con contadores convencionales, que están diseñados para su funcionamiento dentro de sistemas equilibrados, con formas de onda de tensión y corriente perfectamente senoidales y con parámetros dentro de los márgenes exigidos. En este artículo se estudia experimentalmente la validez de estos dispositivos en el escenario de redes eléctricas de baja tensión en las que hay presentes distorsiones armónicas y desequilibrios. Finalmente, se propone un nuevo ratio a tener en cuenta en la tarifa eléctrica para penalizar

conjuntamente el consumo de potencia reactiva, la polución armónica y el desequilibrio.

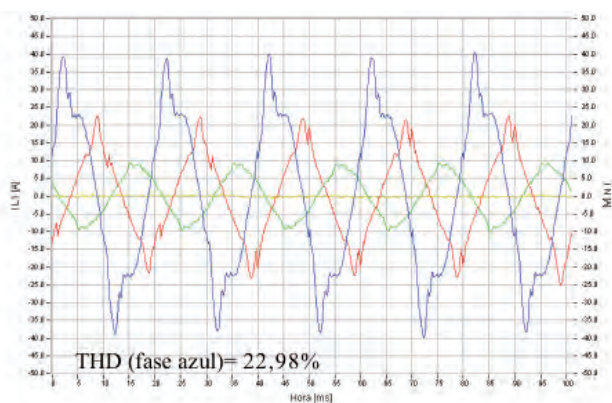
Palabras clave: Calidad de suministro, distorsión armónica, desequilibrio, potencia, contador de energía, factor de potencia, tarifa eléctrica.

1. INTRODUCCIÓN

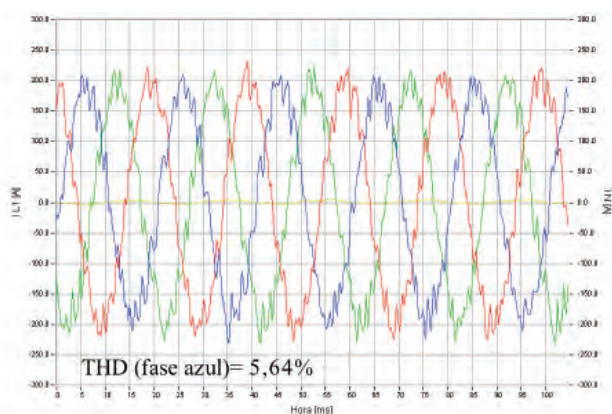
La calidad del suministro eléctrico hace referencia a la forma de onda como uno de los parámetros que actualmente requiere mayor control y exigencia [1], debido al notable aumento de receptores “no lineales”, tanto identificados como no identificados [2], que se han conectado a la red eléctrica en los últimos años. Estos consumidores son principalmente aparatos electrónicos que producen distorsiones en la forma de onda, tanto de tensión como de corriente, dejando ésta de ser perfectamente senoidal, de frecuencia 50 Hz y con la amplitud adecuada. Esto ocasiona disparos de protecciones de líneas debido a sobrecargas en las mismas, cortocircuitos, caídas de tensión y, en

general, un peor funcionamiento de todo el sistema eléctrico, ya que todos los dispositivos de protección y maniobra en las líneas, los conductores y receptores están diseñados para funcionar correctamente dentro de rangos determinados de valores próximos a sus parámetros nominales.

Por otra parte, la proliferación de fuentes de generación distribuida, especialmente plantas de energía solar fotovoltaica conectadas a la red de baja tensión, ha aumentado el contenido armónico en esta red, debido a que los inversores o convertidores DC/AC que inyectan la energía a la red, no lo hacen con la calidad adecuada. Como aportación de datos cuantitativos de la problemática de esta situación de demanda o inyección de corrientes armónicas y desequilibradas, se muestran, a modo de ejemplo, medidas realizadas en un centro de transformación de un núcleo urbano [Fig. 1 (a)], así como las medidas realizadas en una instalación solar fotovoltaica conectada a una red de distribución de baja tensión [Fig. 1 (b)] en las que se indica las tasas de distorsión armónica total de las corrientes medidas.



(a)



(b)

Fig.1: Formas de onda de corriente registradas en la provincia de Badajoz. (a) Centro de Transformación de núcleo urbano. (b) Instalación solar fotovoltaica.

La potencia aparente es una de las magnitudes de mayor uso en los términos de potencia eléctrica. Su significado en sistemas monofásicos y sistemas trifásicos senoidales equilibrados es claro, pero no es así cuando nos encontramos con sistemas distorsionados y/o desequilibrados, donde no hay un acuerdo unánime para definir los términos de potencia. Entre los grupos de investigación que estudian esta problemática cabe destacar el Grupo de Trabajo en situaciones no sinusoidales del *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), que propone definiciones efectivas desde un punto de vista práctico a los términos de potencia que aparecen cuando las tensiones y/o corrientes son distorsionadas y/o desequilibradas. Los resultados de este grupo se han recogido en el estándar IEEE 1459-2010 “*IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions*” [3], recientemente publicado.

Ante esta situación, es fundamental analizar y comprobar la operación de los aparatos de medida de consumo de energía para saber si la medición de potencia, tanto activa como reactiva, que realizan en condiciones de polución armónica y/o desequilibrio, es la correcta cuando se dan estas condiciones y, así, conocer si la facturación que están realizando las compañías eléctricas es la adecuada.

La orden ITC/3519/2009 de 28 de Diciembre [4], revisa las tarifas eléctricas aplicables desde el 1 de enero de 2010 e indica cómo calcular el término de facturación de energía reactiva para suministros efectuados en Baja Tensión con potencia contratada mayor a 10 kW. y en Alta Tensión (Tabla 1).

$\cos \varphi$	€/kVAr	(1)
$0,80 \leq \cos \varphi < 0,95$	0,041554	
$\cos \varphi < 0,80$	0,062332	

Tabla 1: Término de facturación de energía reactiva [4]

Sin embargo la medida del $\cos \varphi$ sólo es válida para cuantificar la potencia reactiva en caso de sistemas monofásicos o trifásicos senoidales equilibrados alimentando a cargas lineales y solamente penaliza la demanda de energía reactiva inductiva, no contabilizándose, en ningún caso, la sobrecompensación de capacitiva. En [5] se presentan varios casos correspondientes a diversas medidas de campo aplicándose la normativa vigente en el año 2003, en la que incluso se bonificaba a los consumidores que tuviesen un $\cos \varphi$ superior a 0,95, demostrándose que en la mayor parte de las facturaciones corresponde un descuento del 4% por energía reactiva; sin embargo, atendiendo a las pérdidas originadas en la línea de distribución de la compañía eléctrica, debería gravarse su consumo con un elevado recargo.

Debido a esta situación, las compañías eléctricas pueden estar interesadas en actualizar los criterios de facturación de la energía eléctrica, pues la inyección de corrientes armónicas y el desequilibrio deberían ser tenidos en cuenta

en la tarificación. Para ello, sería necesario el diseño de aparatos de medida capaces de separar los términos de potencia propuestos en las nuevas definiciones de potencia en régimen no sinusoidal y calcular las nuevas figuras de mérito propuestas en [3], al tiempo que se establezcan unos nuevos conceptos tarifarios en los que se bonifique el consumo sinusoidal equilibrado y el factor de potencia unitario. A día de hoy, los avances tecnológicos en la instrumentación de medida permitirían llevar a cabo este propósito, como se manifiesta en los trabajos de investigación realizados en [6-8].

Con este objetivo, se realiza el estudio descrito en este artículo, consistente en la verificación de la medida de tres contadores comerciales que representan más del 70% de los contadores instalados para uso doméstico e industrial en Baja Tensión por la empresa *Endesa Distribución SL*, al someterlos a una batería de ensayos con diferentes condiciones de alimentación y carga. Teniendo en cuenta que las penalizaciones aplicadas sobre el consumo de energía sólo depende de la medida del $\cos \varphi$, resulta interesante comprobar qué medida hacen de esta variable los contadores que actualmente utilizan las compañías eléctricas en caso de

distorsión armónica o desequilibrio en la red. Finalmente, se propone un nuevo ratio a tener en cuenta en la tarifa eléctrica, que sustituiría al actual $\cos \varphi$ para penalizar conjuntamente el consumo de potencia reactiva, la polución armónica y el desequilibrio.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El Standard IEEE 1459- 2010 [3], intenta resolver el cálculo de los diferentes términos de potencia en condiciones de desequilibrio y/o presencia de armónicos en la red. En la Tabla 2 se resumen las definiciones propuestas en este documento en el caso de sistemas monofásicos, para una mejor comprensión del desarrollo y resultados obtenidos en los ensayos realizados.

En esta tabla, P_1 hace referencia a la potencia activa fundamental y P_H es la potencia activa armónica. En el caso de la potencia reactiva, Q , se distingue análogamente entre potencia reactiva fundamental, Q_1 , y la potencia reactiva armónica, Q_H . Según estas nuevas propuestas, la potencia aparente S se compone de dos términos: la potencia aparente

Sistemas monofásicos	
Potencia aparente (S)	$S = UI; S^2 = S_1^2 + S_N^2; S_1 = U_1 I_1$
Potencia activa (P)	$P = P_1 + P_H; P_1 = U_1 I_1 \cos j_1; P_H = U_0 I_0 + \sum_{h \neq 1} U_h I_h \cos j_h$
Potencia reactiva (Q)	$Q = Q_1 + Q_H; Q_1 = U_1 I_1 \text{sen} j_1; Q_H = \sum_{h \neq 1} U_h I_h \text{sen} j_h$
Factor de potencia (PF)	$PF = \frac{P}{S} = \frac{P_1 + P_H}{S}$
Factor de potencia fundamental (PF_1)	$PF_1 = \cos j_1 = \frac{P_1}{S_1}$

Tabla 2: Definiciones para el cálculo de potencias en sistemas monofásicos según IEEE 1459- 2010.

Sistemas trifásicos	
Potencia aparente equivalente (S_e)	$S_e = 3U_e I_e; S_e^2 = S_{e1}^2 + S_{eN}^2$
Potencia aparente fundamental equivalente (S_{e1})	$S_{e1} = 3U_{e1} I_{e1}; S_{e1}^2 = S_1^{+2} + S_{U1}^2$
Potencia aparente fundamental de secuencia positiva (S_1^+)	$S_1^+ = 3U_1^+ I_1^+; S_1^{+2} = P_1^{+2} + Q_1^{+2}$
Factor de potencia (PF)	$PF = \frac{P}{S_e} = \frac{P_1^+ + P_{U1} + P_H}{S_e}$
Factor de potencia fundamental de secuencia directa (PF_1^+)	$PF_1^+ = \frac{P_1^+}{S_1^+}$

Tabla 3: Definiciones para el cálculo de potencias en sistemas trifásicos según IEEE 1459 - 2010

fundamental S_f que incluye los valores de P_f y Q_f , ya citados, y el término S_N , correspondiente a la potencia aparente no fundamental, que engloba los términos de potencia debido a tensión y/o corriente distorsionada.

Según el estándar, el factor de potencia total (PF) cuantifica la efectividad del flujo de energía eléctrica en un sistema, y el factor de potencia fundamental (PF_f) mide el flujo de potencia fundamental no polucionada.

Para el caso de sistemas trifásicos, en los que además de distorsión armónica puede aparecer desequilibrio, se definen los términos de potencia que se recogen en la Tabla 3. En esta tabla, el subíndice “e” hace referencia a términos de tensión, corriente o potencia “equivalente” [3], [9-10].

De modo análogo al caso de sistemas monofásicos, la potencia aparente equivalente se descompone en los términos de potencia aparente fundamental equivalente (S_{ef}) y potencia aparente no fundamental equivalente (S_{eN}). La diferencia estriba en que, en el caso de sistemas trifásicos, los cálculos se realizan con los valores eficaces de tensión y corriente equivalentes, U_e e I_e . La potencia aparente fundamental se descompone en potencia aparente fundamental de secuencia positiva o directa, S_f^+ , y potencia aparente fundamental de desequilibrio, S_{Uf} . El subíndice “U” engloba las componentes de secuencia inversa y homopolar. El factor de potencia total (PF) se calcula del mismo modo que en el caso de sistemas monofásicos, mientras que el factor de potencia fundamental de secuencia directa (PF_f^+) mide el flujo de potencia fundamental de secuencia positiva no polucionada (ni por armónicos ni por desequilibrios).

El lector interesado en conocer la definición y el procedimiento de cálculo de cada uno de los términos de potencia incluidos en las Tablas 2 y 3 puede encontrarlo detalladamente en [3].

Una vez expuestos los conceptos de potencia que se van a utilizar, se pasa a describir el material utilizado durante los ensayos realizados a los contadores y el procedimiento seguido.

2.1. CONTADORES ENSAYADOS Y DISPOSITIVOS EMPLEADOS DURANTE LAS PRUEBAS

En la Fig. 2 se muestran los contadores que han sido sometidos a ensayo. Las especificaciones de estos contadores, siguiendo un orden de derecha a izquierda en dicha figura, se detallan a continuación:

- Contador monofásico de Clase 1, destinado a uso en viviendas.
- Contador trifásico de Clase 2, destinado a uso en viviendas.
- Contador trifásico bidireccional de Clase 1 para potencia activa y Clase 2 para reactiva, destinado a uso industrial.

Para poder realizar la batería de ensayos a los contadores descritos en esta sección, se han utilizado los siguientes equipos e instrumentación de medida:



Fig. 2: Contadores sometidos a ensayo

- Fuente de perturbaciones programable HP modelo 6834B, para la generación de la forma de onda deseada (Fig. 3).
- Cargas trifásicas lineales variables $R-L-C$, de módulos DISTESA (Fig. 4).
- Osciloscopio TEKTRONIX, modelo TDS 5034 (Fig. 5).
- Medidor de calidad QUAME basado en el estándar IEEE 1459- 2010 (Fig. 6). [11]
- Cargas trifásicas alineales formada por tres ordenadores portátiles. (Fig. 7).
- Medidor Topas 1000 de LEM. (Fig. 8).



Fig. 3: Fuente de perturbaciones programable como sistema generador.

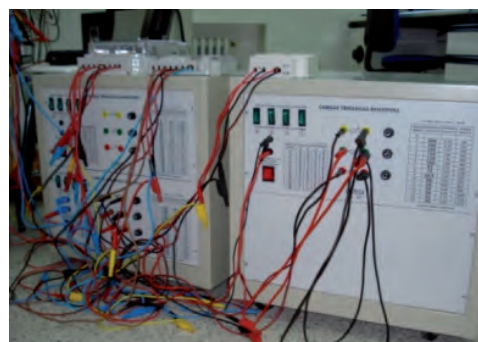


Fig. 4: Cargas trifásicas lineales variables $R-L-C$ de módulos DISTESA.



Fig. 5: Osciloscopio para ver formas de onda.

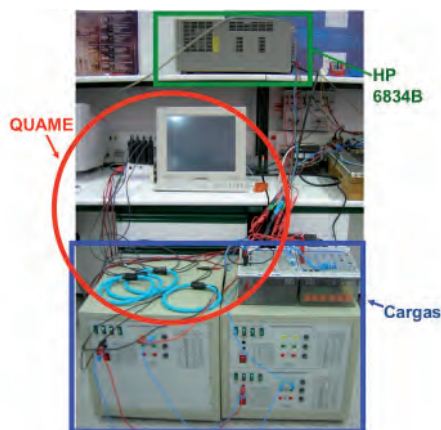


Fig. 6: Medidor de Calidad (QUAME).



Fig. 7: Cargas alineales.



Fig. 8: Medidor Topas 1000 de LEM.

2.2. PROCEDIMIENTO LLEVADO A CABO

En la Fig. 9 se muestra el esquema del montaje utilizado para realizar los ensayos. Se genera una forma de onda distorsionada y/o desequilibrada mediante el software que incorpora la fuente de perturbaciones y se alimenta con ella a las distintas cargas, estando los tres contadores y el QUAME conectados al circuito, para así efectuar la medición a la vez. También se conecta un amperímetro en serie en una fase y un voltímetro entre fase y neutro. Los contadores, a través de los impulsos de su LED frontal permiten calcular la potencia activa y, en el caso del contador 3, también la potencia reactiva que se está demandando instantáneamente. Por último, comprobamos si coincide esta medida con los cálculos teóricos y con los resultados del medidor QUAME basado en el estándar IEEE1459 - 2010.

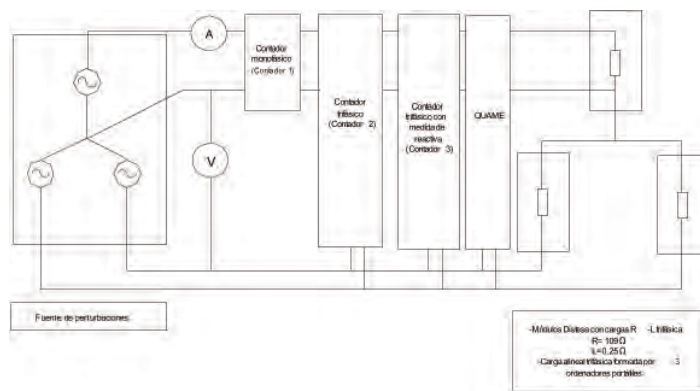


Fig. 9: Esquema del montaje utilizado en los ensayos

3. RESULTADOS

Antes de someter los contadores a las situaciones de no idealidad que interesa estudiar, los conectamos a un sistema senoidal (Tabla 4) equilibrado con carga *R-L* equilibrada, con el objetivo de comprobar si todos los contadores muestran la misma lectura en estas condiciones. En este ensayo previo, la tensión fase-neutro de alimentación tiene un valor eficaz de 230 V, siendo los parámetros de la carga conectada $R = 109 \Omega$ y de $L = 0,25 H$. Las lecturas de los contadores, en este caso, fueron las mostradas en la Tabla 5.

THD_u	0%
THD_i	0%

Tabla 4: Tasas de distorsión del ensayo de calibración

	Contador 1	Contador 2	Contador 3	QUAME
$P (W)$	319	958	958	958
$Q (VAR)$			690,5	690,48
$S_e (VA)$				1180,91

Tabla 5: Medidas de potencia de los contadores y del QUAME en casos de sistemas senoidales equilibrados con carga lineal *R-L*

El sistema de la Fig. 9 se somete a continuación a tres ensayos, el primero con tensión de alimentación distorsionada equilibrada, mientras que en el segundo, la tensión no contiene armónicos, pero sí existe desequilibrio, siendo en ambos casos la carga lineal. En el tercer ensayo, la tensión es senoidal, pero las cargas conectadas demandan corrientes distorsionadas.

ENSAYO 1

En el primer ensayo los contadores se encuentran conectados a un sistema trifásico equilibrado con componente fundamental y un 50% de 5º armónico, (Fig. 10 en trazo azul). Como carga para este ensayo se ha conectado la carga lineal mostrada en la Fig. 9. En la Tabla 6 se indican las tasas de distorsión armónica de las señales de tensión y corriente medidas por el contador, calculadas según la norma UNE-EN 50160 [12] y [13]. Por último, en la Tabla 7 se recogen las lecturas de los tres contadores y del medidor QUAME.

THD _U	50%
THD _I	16,16%

Tabla 6: Tasas de distorsión armónica del ensayo 1

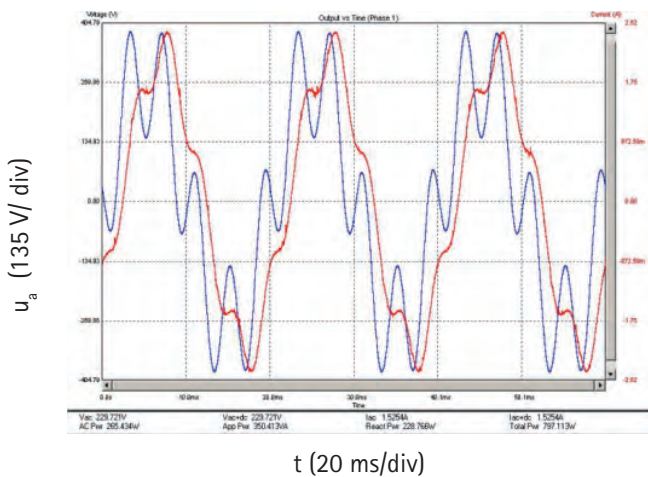


Fig. 10: Forma de onda de la tensión fase-neutro de alimentación (azul) y de corriente (rojo) en la fase a en el ensayo 1

	Contador 1	Contador 2	Contador 3	QUAME
P (W)	259	777,5	777,5	777,5
Q (VAR)			512,1	477,7
S _e (VA)				1071

Tabla 7: Medidas de potencia de los contadores y QUAME en el ensayo 1

ENSAYO 2

En el segundo ensayo, los contadores se encuentran conectados a un sistema desequilibrado en tensión (Fig. 11) siendo la carga conectada es la misma que la del ensayo 1. En la Tabla 8 se muestran las tasas de desequilibrio de las señales de tensión y corriente medidas por el contador, calculados según [12] y [13].

$\frac{U_1^-}{U_1^+}$	21,46%	$\frac{I_1^-}{I_1^+}$	21,46%
$\frac{U_1^0}{U_1^+}$	12,22%	$\frac{I_1^0}{I_1^+}$	12,22%

Tabla 8: Tasas de desequilibrio en tensiones y corrientes del ensayo 2

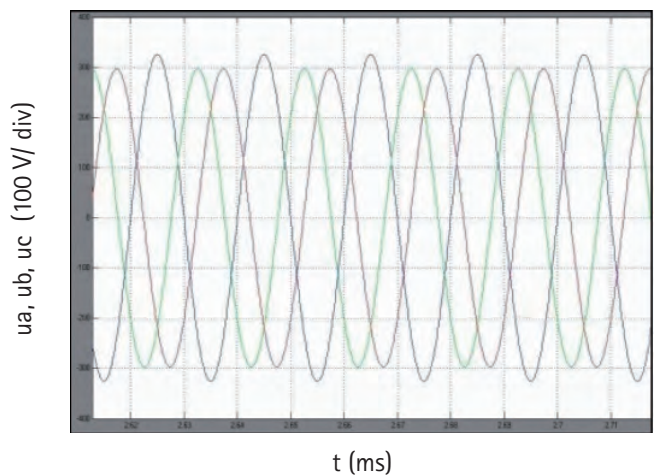


Fig. 11: Formas de onda de las tensiones fase-neutro de alimentación en el ensayo

Para este caso, las lecturas de los contadores, así como las potencias calculadas con el QUAME, se muestran en la Tabla 9.

	Contador 1	Contador 2	Contador 3	QUAME
P (W)	-	843	844	843
Q (VAR)			576,2	610,4
S _e (VA)				1067

Tabla 9: Lecturas de los contadores y medición del QUAME en el ensayo 2

ENSAYO 3

En el tercer ensayo, los contadores se encuentran conectados en un sistema trifásico senoidal equilibrado, con cargas no lineales muy frecuentes en instalaciones domésticas (Fig.9) que demandan corrientes con un alto contenido armónico. También se ha conectado al montaje el medidor de calidad Topas 1000 de Lem (Fig.8) para registrar las formas de onda de tensión y de corriente y obtener un mayor número de datos durante el ensayo.

Para la realización del ensayo, se ha utilizado la tensión disponible en el laboratorio con un valor eficaz de 230 V y un valor de THD_U medido por el QUAME del 2,4%. Esta distorsión se debe a la caída de tensión en la impedancia de red, ocasionada por corrientes no lineales demandadas por otros receptores, que provocan que la tensión en el punto de conexión común (PCC) (Fig. 12) no sea perfectamente senoidal. El valor de THD_U medido es del 162,4%. La forma de onda de las corrientes demandadas durante este ensayo la podemos ver en la Fig. 13.

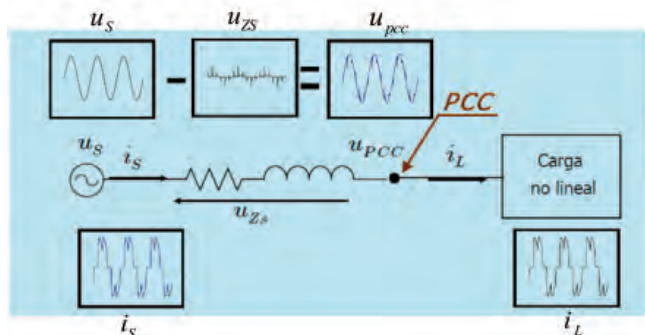


Fig. 12: Efecto en el PCC de una carga no lineal

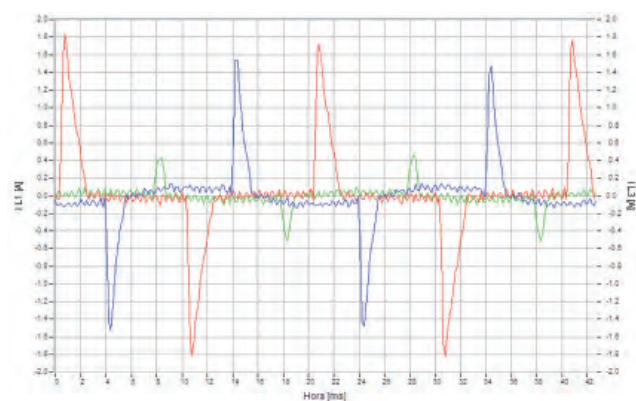


Fig. 13: Corrientes demandadas durante el ensayo 3

En este caso, las lecturas de los contadores, así como las potencias calculadas con el QUAME, se muestran en la Tabla 10.

	Contador 1	Contador 2	Contador 3	QUAME
P (W)	36,5	109,27	110,26	109,97
Q (VAR)			-30,41	-37,97
S_e (VA)				244,67

Tabla 10: Lecturas de los contadores y medición del QUAME en el ensayo 3

	Ensayo 1 (Sistema distorsionado)		Ensayo 2 (Sistema desequilibrado)		Ensayo 3 (Cargas alineales)	
	Contador 3	QUAME	Contador 3	QUAME	Contador 3	QUAME
Potencia reactiva (VAR)	512,1	477,7	576,2	610,4	-30,41	-37,97
Factor de potencia	0,83514	0,72596	0,82589	0,79006	0,45	0,408

Tabla 11: Tabla comparativa de valores mostrados por los contadores y por el medidor de calidad

Se puede apreciar que la lectura que realizan los contadores corresponde a potencia reactiva negativa, debido a la naturaleza capacitiva de las cargas conectadas. Este fenómeno supondría una sobrecompensación de energía reactiva que daría lugar a sobretensiones que pudieran afectar negativamente a otros usuarios.

4. DISCUSIÓN

4.1. CONCLUSIONES OBTENIDAS TRAS LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS A LOS CONTADORES

A partir de los ensayos efectuados ante diferentes condiciones de alimentación con armónicos o desequilibrios y cargas lineales o alineales, se puede concluir lo siguiente:

- La medida de energía activa efectuada por todos los contadores es correcta, a pesar de que existan armónicos y/o desequilibrios en la alimentación y demanda de corrientes armónicas. Esto significa que a aquellos abonados a los que se les facture exclusivamente por consumo de energía activa, se les está realizando una adecuada tarificación con los contadores ensayados.
- En cuanto a la medida de energía reactiva que realiza el tercer contador, ésta es correcta cuando la tensión de alimentación es perfectamente senoidal y equilibrada. Sin embargo, ante armónicos o desequilibrios en la tensión de red y/o en la corriente demandada, la medida que realiza es inadecuada. Los resultados se resumen en la Tabla 11.
- Si para calcular el término de facturación de energía reactiva se tiene en cuenta exclusivamente el $\cos \varphi$ (véase ecuaciones (1) y, teniendo en cuenta que este parámetro en aquellos contadores que miden energía reactiva (como es el caso del contador número 3 que ha sido ensayado), suele calcularse como:

$$\cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}}, \quad (4)$$

siendo W_a la energía activa registrada en kWh y W_r la energía reactiva en KVARh, si la lectura de la potencia reactiva no es correcta, el cálculo del $\cos \varphi$ no sería adecuado y, por tanto, tampoco la facturación de energía reactiva.

- A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 11 puede apreciarse que, en los tres ensayos, el valor del $\cos \varphi$ calculado con la lectura del contador a partir de (4) es superior al valor teórico del PF , calculado con el QUAME a partir de (3) siguiendo el estándar

IEEE 1459-2010 que tiene en cuenta los términos de potencia que no producen potencia activa (potencia no activa). Esto implica que la facturación utilizando el $\cos \varphi$ es inferior a la que se obtendría utilizando el PF en las ecuaciones (1). En este caso, se trataría de un nuevo término, que podríamos denominar “término de facturación de energía no activa”, suponiendo nuevos valores de precio unitario en las ecuaciones (1).

4.2. NUEVO PARÁMETRO PROPUESTO PARA LA FACTURACIÓN

- El grupo de investigación PE&ES propone como factor a tener en cuenta para la facturación un nuevo parámetro que denominamos *Quality Factor (QF)* y que se calcula como:

$$QF = \frac{P_1^+}{S_e} = \frac{P_1^+}{S_1^+} \frac{S_1^+}{S_{e1}} \frac{S_{e1}}{S_e} = PF_1^+ \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{S_{U1}}{S_1^+}\right)^2}} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{S_{eN}}{S_{e1}}\right)^2}}, \quad (5)$$

siendo PF_1^+ el factor de potencia fundamental de secuencia directa, $\left(\frac{S_{U1}}{S_1^+}\right)$ el ratio de polución por desequilibrio y $\left(\frac{S_{eN}}{S_{e1}}\right)$ el ratio de polución armónica. Los términos que intervienen en estos ratios pueden obtenerse fácilmente a partir de las expresiones (3). De este modo, el nuevo factor propuesto, que sustituiría al actual $\cos \varphi$ en las expresiones (1), tendría en cuenta los tres ratios definidos en el estándar IEEE 1459 – 2010 [3] como factores que se alejan de la situación ideal, que consistiría en un sistema perfectamente senoidal, equilibrado, en el que la tensión y la corriente están en fase. En tal situación el valor del QF sería unitario. El término de facturación, en este caso, debería denominarse “facturación de energía no activa fundamental de secuencia directa”.

Si se aplica este nuevo factor a los tres casos no ideales analizados, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 12.

	Ensayo 1 (Sistema distorsionado)	Ensayo 2 (Sistema desequilibrado)	Ensayo 3 (Cargas alineales)
QF	0,7158	0,7507	0,395

Tabla 12: Valores del coeficiente QF propuesto por PE&ES en cada una de las pruebas

Se demuestra, a partir de los resultados obtenidos, que el QF es un parámetro aún más exigente que el PF propuesto en el estándar IEEE 1459 - 2010 e incluso, que los factores propuestos por otros grupos de investigación, como son el “factor de potencia equivalente” [14] y el “factor de calidad” [5]. La facturación a partir del QF penalizaría todo aquel consumo que no fuera potencia activa fundamental de secuencia positiva, es decir, el consumo de potencia reactiva fundamental, y potencia debida a componentes armónicas y potencia debida a componentes de desequilibrio.

Si este factor propuesto fuera tenido en cuenta en las tarifas eléctricas, obligaría a los consumidores a tomar medidas tales como el empleo de filtros activos, acondicionadores de potencia, etc. que cancelarían la demanda de armónicos y/o desequilibrios provocando una mejora de la calidad de red y una reducción de pérdidas en las líneas, incrementando la eficiencia del flujo de potencia en el sistema eléctrico.

5. AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración y financiación de *Endesa de Distribución SL*. También ha formado parte en el desarrollo de los ensayos D. Víctor Manuel Miñambres Marcos, Becario FPU del grupo de Investigación PE&ES.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Martínez García S. “Descripción, causas, efectos y solución de las perturbaciones en la red eléctrica”, XI Reunión de Grupos de Investigación en Ingeniería Eléctrica, ETSI Industriales, Badajoz, Abril-2001.
- [2] Akagi H. “New Trends in Active Power Line Conditioners”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.33, No. 3, pp. 263- 268. Mayo 1994.
- [3] Standard IEEE 1459-2010. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, 19 March 2010.
- [4] Orden ITC/3519/2009, de 28 de diciembre, por la que se revisan los peajes de acceso a partir de 1 de Enero de 2010 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial
- [5] Eguluz LI. “Potencia en Régimen no-sinusoidal”, Servicio de publicaciones de la Universidad de Cantabria.2003.
- [6] Gherasim C, Van den Keybus J; Driesen J, Belmans R. “DSP Implementation of Power Measurements According to the IEEE Trial- Use Standard 1459”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 53, No 4, pp. 1086- 1092. Agosto 2004.
- [7] Arseneau R. “Calibration System for Power Quality Instrumentation”, Power Engineering Society Summer Meeting, 2002. Vol. 3, , Page(s):1686 – 1689. Julio 2002.
- [8] Arseneau R. “What is measured by digital revenue meters? Power Engineering Society General Meeting 2005 IEEE, pp.1384-1386, 12-16 Junio 2005.
- [9] Emanuel AE, “Summary of IEEE Standard 1459: Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 40, No. 3, pp. 869- 876. Mayo /Junio 2004.
- [10] Gunther EW, McGranaghan MF. “Power Measurement in Distorted and Unbalanced Conditions – An Overview of IEEE Trial- Use Standard 1459- 2000”, Power Engineering Society Summer Meeting 2002 IEEE, ol.2; pp. 930-934. 21-25 Julio 2002.
- [11] Milanés-Montero MI, Miñambres-Marcos VM, Romero-Cadaval E, Barrero-González F. “Quality Meter of Electric Power Systems based on IEEE Standard 1459-2000”. Compatibility and Power Electronics CPE2009, 6th International Conference-Workshop. Actas de Congreso. Badajoz (España). Mayo, 2009.
- [12] AENOR “UNE-EN 50160: Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución”. 2001.
- [13] AENOR, “UNE-EN 61000. Compatibilidad electromagnética”.
- [14] Eguluz LI. “Facturación de la electricidad: Calidad y eficiencia”, Seminario Nuevo Marco Energético. Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Julio 2003.

Análisis experimental de hormigones expuestos al fuego. Evaluación de variables hidro-térmicas



Jorge Arturo Capote-Abreu
Manuel Daniel Alvear-Portilla
Jorge Crespo-Álvarez

Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos
Dr. Ingeniero Industrial
Ingeniero Civil

Universidad de Cantabria. GIDAI. Dpto. Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos.
Avda. Los Castros, s/n – 39005 Santander. Tfno: +34 942 201826.
jorge.crespo@unican.es

Recibido: 17/12/2010 • Aceptado: 05/07/2011

Experimental analysis of concrete exposed to fire. Assessment of hydro-thermal variables

ABSTRACT

• Conventional thermogravimetric analysis requires small sample volumes to perform the experiments and, in the case of concrete, it is very difficult to take into account the effects of aggregates and moisture migration during tests. In the present work, an experimental methodology inspired in thermogravimetric methods was developed. The methodology proposed permits to assess the behaviour of small concrete samples exposed to a fast unidirectional heating, taking into account the effects of aggregates and moisture. For validation purposes, three types of normal strength concretes under two different heat exposures have been analyzed. Cylindrical concrete samples of 150 x 300 mm were cast. After curing cylindrical cores of 95 millimetres in diameter were extracted and shaped to 48 ± 2 mm in height. The samples were exposed to a two different heat fluxes (35kW/m^2 and 75kW/m^2) for 30 or 60 minutes. Mass loss rate and temperatures were measured every 1 second. Additionally, the heat transfer process was also monitored using infrared thermography. Experimental results shows that the methodology proposed is suitable to evaluate different hydro-thermal processes that take place in concrete exposed to fire as the free water release, decomposition of calcium silicate hydrated and the decomposition of Portlandite. Initial moisture content of concrete plays a direct influence on mass loss rate at high exposure condition. No significant differences were observed at the lower heat flux. At the same exposure conditions, samples with lower moisture content shows lower mass loss rate.

• **Key Words:** concrete, experimental methodology, materials characterization, fire, physic-chemical transformation.

RESUMEN

El presente estudio presenta una metodología experimental inspirada en métodos termogravimétricos, la cual permite evaluar el comportamiento de muestras de hormigón expuestas a un flujo de calor unidireccional, considerando el efecto de los áridos y la humedad. Por el contrario, los análisis termogravimétricos convencionales requieren volúmenes muy pequeños del material para la realización de los ensayos: lo cual, en el caso del hormigón, imposibilita tener en cuenta el efecto de los áridos y la migración de la humedad en su interior.

A efectos de calibración y validación de la metodología propuesta se analizaron tres tipos de hormigones. Fueron confeccionadas probetas cilíndricas de 150 x 300 mm, de las cuales se extrajeron núcleos cilíndricos de 95 mm de diámetro. Estos núcleos fueron posteriormente cortados para formar probetas de 48 ± 2 mm de altura. Las muestras fueron expuestas a niveles de radiación térmica de 35kW/m^2 y 75kW/m^2 durante intervalos de 30 y 60 minutos, realizándose un muestreo de la pérdida de masa y las temperaturas en diferentes puntos de la probeta. Adicionalmente se monitorizó el proceso de transferencia térmica mediante termografía infrarroja.

Mediante el método propuesto fue posible determinar diferentes procesos hidro-térmicos en el hormigón como la expulsión del agua libre, la descomposición del silicato de calcio hidratado y la descomposición de la Portlandita. Los resultados mostraron que el contenido de humedad inicial ejerce una influencia directa en la velocidad de pérdida de masa de las muestras sometidas a elevados valores de flujo de calor. A valores de flujo de calor

bajos, la influencia es prácticamente nula, mientras que, en las mismas condiciones de ataque térmico, las muestras con menor contenido de humedad presentaron menor velocidad de pérdida de masa.

Palabras Clave: hormigón, metodología experimental, caracterización de materiales, incendio, transformaciones físico-químicas.

INTRODUCCIÓN

Incendios relevantes en túneles y estructuras, tales como los ocurridos en el *túnel del Canal de la Mancha* en 1996 (Francia-Inglaterra), el *túnel de Tauern* 1999 (Austria), el *túnel de Mont Blanc* 1999 (Francia), el *Edificio Windsor* en 2005 (España), etc. han mostrado que las condiciones de exposición térmica de incendios confinados con una elevada carga de combustible y un incremento rápido de las temperaturas, pueden provocar afectaciones muy severas a las estructuras de hormigón, manifestándose diversos fenómenos como el desconchamiento explosivo (*spalling*): eso provoca una disminución súbita de la sección resistente, comprometiendo la integridad de la estructura y su capacidad para soportar las cargas actuantes.

Por otra parte, resulta cada vez más frecuente el empleo de nuevos tipos de hormigones (alta resistencia, autocompactantes, ultraalta resistencia, etc.) en la construcción. Estos hormigones, dada su baja permeabilidad y su elevada resistencia, son mucho más susceptibles a sufrir los efectos de un incendio que los hormigones convencionales, manifestándose una disminución mucho más aguda de sus propiedades mecánicas con el incremento de las temperaturas y una mayor propensión a la ocurrencia de explosiones. En ese sentido, minimizar la ocurrencia de *spalling* constituye uno de los factores principales a tener en consideración durante la evaluación de la respuesta estructural de elementos de hormigón armado en caso de incendio.

En la actualidad, la naturaleza de la ocurrencia de explosiones en el hormigón, producto del ataque térmico, continúa siendo objeto de análisis en la comunidad científica, aunque existe un consenso más o menos generalizado que durante el calentamiento del hormigón ocurre simultáneamente un incremento de la presión de poros y un deterioro del material producto de los esfuerzos térmicos [1-3], atribuyéndose el carácter explosivo del fenómeno a la presión de poros.

Cuando el hormigón es sometido a elevadas temperaturas, este experimenta una serie de reacciones físico-químicas que afectan tanto a su microestructura como al contenido de humedad. Estos procesos termo-hídricos se refieren a una cinética particular que tiene lugar en el interior del elemento de hormigón cuando este se calienta [4-6].

Por una parte, la difusión de la temperatura a través del hormigón calienta el agua en el interior de los poros, causando su evaporación y el aumento, por consecuencia, de la presión.

Para restaurar el equilibrio, se produce un transporte de vapor de agua hacia las zonas de baja presión (principalmente por mecanismos de gradiente de presión de tipo *Darcy*): 1) el vapor se evacua hacia el exterior por la superficie caliente, causando la pérdida de masa en el material, y 2) migra hacia el interior del elemento, donde comienza a condensarse en cuanto lo permiten las condiciones termodinámicas (presión, volumen y temperatura), formando gradualmente un frente casi saturado de agua líquida en las proximidades de la superficie expuesta (*moisture clog*), [4].

Este mecanismo termo-hídrico, responsable de la creación de la barrera saturada (*moisture clog*) y de la aparición de presiones de poros importantes, está fuertemente influenciado por las propiedades de transferencia del hormigón y, en particular, de la permeabilidad al gas. Además, en hormigones de baja permeabilidad, la eliminación de las moléculas de agua se ve severamente ralentizada (según la *ley de Darcy*), ofreciendo así, para un poro determinado, una mayor propensión a la generación de vapor, aumentando la presión de poros en su seno.

Actualmente, los análisis termogravimétricos (TGA) permiten evaluar fenómenos y transformaciones que se producen en los materiales con el incremento de la temperatura. Sin embargo, para el caso del hormigón, esta técnica no permite realizar el análisis conjunto de todos los materiales constituyentes ni el efecto de la migración de humedad en su interior, producto de las limitadas dimensiones de las muestras. En ese sentido, los estudios se han centrado fundamentalmente en el análisis por separado de los áridos [7,8] y la pasta de cemento [9,10].

En estudios recientes [11,12] se proponen análisis de pérdida de masa sobre muestras de mayores dimensiones sometidas a un proceso de calentamiento lento. Sin embargo, este tipo de enfoque no permite reproducir el carácter dinámico del fenómeno de transferencia de masa y energía en hormigones expuestos al fuego, en donde existen grandes gradientes de temperatura en el material. En ese sentido resulta necesario disponer de un método de ensayo capaz de reproducir más adecuadamente las condiciones de exposición térmica del material en condiciones de uso final, que permita realizar una evaluación más realista del fenómeno.

A falta de consenso entre los autores sobre la metodología más adecuada para cuantificar el incremento de la presión de poros en el hormigón y describir los procesos de transferencia de masa y energía, en el presente estudio se presenta una metodología inspirada en métodos termogravimétricos [13], basada en otras normativas y estudios de referencia [14-16]. El método propuesto permite analizar el comportamiento de hormigones sometidos a una agresión térmica unidireccional mediante el empleo de un calorímetro de pérdida de masa y una serie de termopares.

Este procedimiento permitió evaluar de manera simultánea la pérdida de masa, la velocidad de pérdida de masa y la evolución de las temperaturas en diversos puntos de la muestra en una sola medición sobre una muestra de pequeño tamaño. Adicionalmente, el proceso de transferencia

térmica que tiene lugar en las muestras ha sido monitorizado además mediante el empleo de termografía infrarroja.

1. MATERIAL Y MÉTODOS

1.1. MÉTODO DE ENSAYO

La metodología experimental propuesta se basa en el muestreo simultáneo de la pérdida de masa y la evolución de las temperaturas en muestras de hormigón sometidas a un ataque térmico unidireccional, generado mediante un quemador troncocónico que irradia calor como un cuerpo gris, basado en la configuración del método de ensayo del calorímetro de pérdida de masa[15].

El elemento calefactor del equipo tiene una emisividad de 0.99 y puede ser operado a una temperatura máxima de 1000°C. Esta configuración garantiza una homogeneidad en el flujo de calor en toda la superficie de la cara expuesta de la muestra. La intensidad de flujo de calor entregado puede ser ajustada dentro del rango de 0.1 a 100 kW/m², permitiendo reproducir condiciones correspondientes a diferentes estadios de desarrollo del incendio.

La energía de radiación transferida por el quemador a la muestra está determinada por la Ec. (1):

$$q = A_1 F_{1-2} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (1)$$

Donde: A_1 es el área de la superficie emisora, F_{1-2} es el factor de forma, T_1 es la temperatura del emisor, T_2 es la temperatura de la cara expuesta y s es la constante de Stefan-Boltzman.

El factor de forma es obtenido mediante la integración de la Ec. (2), dando para esta configuración de ensayo un valor de 0.73.

$$F_{1-2} = \frac{1}{A_2} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 dA_1 dA_2}{\pi r^2} \quad (2)$$

Donde: A_1 es el área de la superficie emisora, A_2 es el área de la cara expuesta de la muestra, φ_1 es el ángulo normal al plano de la superficie A_1 , φ_2 es el ángulo normal al plano de la superficie A_2 y r es la distancia entre la superficie A_1 y A_2 .

El equipo dispone de una célula de carga, con una precisión de 0,1 gramos y un rango de lectura de 0,1 a 2350 gramos a la cual se acopla un dispositivo para la colocación de la muestra mediante un vástago de acero. La altura del vástago es regulable, de forma tal que se garantiza que la separación de la muestra al quemador sea de 25 mm, tal como se muestra en el esquema de la Fig. (1).

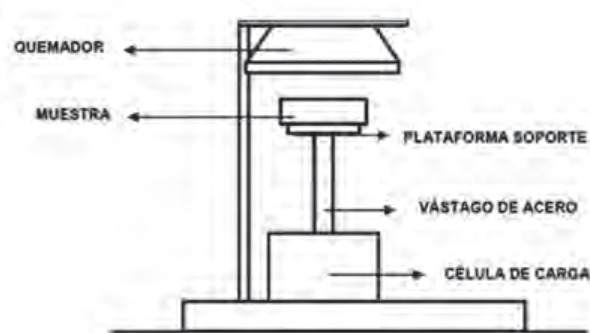


Fig. 1: Esquema de la configuración del ensayo

Previo a la realización de los ensayos, las muestras son instrumentadas mediante termopares tipo K lo cual permite el muestreo de las temperaturas en la superficie y el interior de la muestra según Fig. (2).

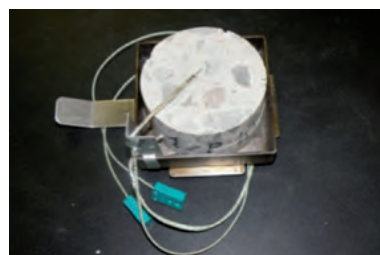


Fig. 2: Probeta colocada sobre el porta-muestras e instrumentada con termopares

Los datos de los termopares fueron recogidos con un tiempo de paso de 1 segundo para los ensayos. Los datos fueron recogidos mediante un equipo de adquisición de datos, procesándose para obtener las gráficas de variación de estos parámetros en el tiempo.

Durante el proceso de diseño del experimento se seleccionó un diseño completamente aleatorio con dos factores primarios (intensidad de ataque térmico y tiempo de exposición). El experimento compara los valores de las variables respuesta (pérdida de masa, velocidad de pérdida de masa y temperatura) basado en los diferentes niveles de los factores primarios. Estos niveles han sido asignados aleatoriamente a las unidades experimentales, entendiéndose por aleatoriamente que la secuencia de ejecución de las unidades experimentales es determinada al azar.

A partir del criterio anterior, se establecieron dos niveles para cada uno de los factores primarios. Se seleccionaron dos intensidades de ataque térmico: una relativamente baja de 35 kW/m² y otra relativamente alta de 75 kW/m² y dos tiempos de exposición: 30 y 60 minutos. El cálculo del tamaño de muestra para este tipo de diseño se realizó mediante la expresión:

$$N = k * L * n \quad (3)$$

Donde N es el número de ensayos, k es el número de factores, L es el número de niveles del factor primario y n es el número de réplicas del experimento.

Con el fin de maximizar la sensibilidad de los análisis estadísticos subsecuentes, el número de replicas debe ser el mismo para cada nivel del factor. Además, se ha tenido en cuenta que el número mínimo de réplicas está también condicionado por el procedimiento metodológico del calorímetro de pérdida de masa. En ese sentido, el procedimiento establece el ensayo de tres muestras como mínimo por material para una adecuada caracterización. La Tabla 1 muestra un resumen del número de muestras considerando dos factores primarios con dos niveles y tres réplicas por experimento.

Dimensiones de la muestra	Nº de muestras para ensayo de calorimetría		
	Flujo de calor	35 kW/m ²	75 kW/m ²
95 x 50 mm			
Tipo de Ensayo	Temp: 30 min	3	3
	Temp: 60 min	3	3
Total	12		

Tabla 1: Número de muestras mínimas para los ensayos a diversos flujos de calor

1.2. MATERIALES

A efectos de calibración y validación de la metodología propuesta se realizaron una serie de pruebas preliminares sobre muestras de tres hormigones confeccionados con áridos calizos los cuales han sido designados como G, H y P.

En la Tabla 2 se presenta un resumen con las principales características de los tres hormigones empleados en los estudios.

Para la confección de las muestras se emplearon moldes cilíndricos estándares de 150 x 300 mm. Una vez hormigonadas, las probetas fueron mantenidas en el molde durante 24 horas sumergidas en agua a una temperatura de 23° ± 2°C. Posteriormente fueron transferidas a un ambiente de temperatura y humedad controlada ≥ 95 % HR y 20°C

Designación	Tipo de Hormigón	f _c [N/mm ²]	T _{Máx} Árido [mm]	Cemento (kg)	Agua (kg)	Relación a/c	Agua de Hidratación (kg) (estimada)*	Contenido de Humedad (%) (estimada)
G	HA-25	36.4	10	300	162	0.54	58.4	4.02
H	HA-25	33.6	20	300	171	0.57	58.4	4.28
P	HA-30	43.7	20	400	180	0.45	77.9	3.89

$$M_{\text{Hid}} = 0.21M_{\text{cem}} \left(\frac{\text{Edad}}{23 + \text{Edad}} \right)^{1/2}$$

Tabla 2: Características de los hormigones empleados

± 2°C, según UNE-EN 12390-2:2009 hasta los 28 días de edad, fecha en la cual se procedió a su envío al laboratorio.

Una vez recibidas las probetas y a fin de ajustarlas a las condiciones requeridas para los ensayos se procedió a la extracción de testigos cilíndricos de 95 mm de diámetro y 300 mm de longitud. Estos testigos fueron posteriormente cortados de manera tal que la altura de los especímenes estuviese dentro del rango de 48 ± 2 mm tal como se muestra en la Fig. (3).



Fig. 3: Muestras obtenidas a partir de la extracción y corte de testigos

Una vez cortadas las muestras fueron conservadas a una temperatura de 25 °C ± 2°C y 50 % ± 3 % de humedad relativa hasta los 90 días de edad, tras lo cual se procedió a la realización de los ensayos.

1.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El método de ensayo propuesto permite el análisis de muestras de pequeño tamaño (dimensiones máximas de 100 x 100 x 50 mm³ y peso máximo 2 Kg.).

Los termopares tipo K fueron ubicados en la cara de la probeta expuesta a la radiación del quemador troncocónico, y en el interior, a 25 mm de la cara expuesta, a fin de poder realizar un perfil de la penetración térmica que se produce en la muestra en función del tiempo.

Para la colocación del termopar en el centro de la muestra se perforó un orificio mediante un taladro de 2.5 mm de diámetro y 45 mm de profundidad. Los termopares fueron colocados y fijados en su posición mediante un dispositivo de sujeción, teniendo especial cuidado de que los termopares no quedasen demasiado tirantes y esto afectase las lecturas de pérdida de masa.

Los ensayos fueron realizados siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

- Previamente a la realización del ensayo, se procedió a la realización de un control visual y fotográfico de las muestras a fin de detectar anomalías en las mismas.
- Se procedió a la colocación de los termopares en la posición indicada y se configuraron los equipos de adquisición de datos para la identificación y el tratamiento posterior de los resultados.
- Posteriormente se procedió a la colocación del portamuestras con la muestra y el dispositivo de sujeción de los termopares sobre la célula de carga, comprobándose que el cable de termopar no interfiriese en el muestreo de la masa.
- Una vez configurados los equipos de adquisición de datos y calibrado, el flujo del quemador se dio inicio al ensayo, iniciando de manera sincronizada la toma de datos de pérdida de masa, temperaturas mediante

termopares y termografía infrarroja y la grabación en video de todo el ensayo.

- Se dio la instrucción a los operarios de que, en caso de ocurrencia de algún suceso extraordinario (ocurrencia de *spalling* o cualquier otro), pulsasen la tecla correspondiente en el software de adquisición de datos para que quedase registrado en el tiempo.
- Una vez alcanzado el tiempo previsto para cada uno de los ensayos, se procedió a cerrar el *shutter* del quemador, deteniéndose la adquisición de datos provenientes de la célula de carga, los termopares y la cámara termográfica.
- Finalizada la adquisición de los datos, las muestras fueron retiradas del equipo y dejadas enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente se realizó una nueva inspección visual y fotográfica de las muestras, señalándose las áreas afectadas mediante un rotulador para su mejor identificación.

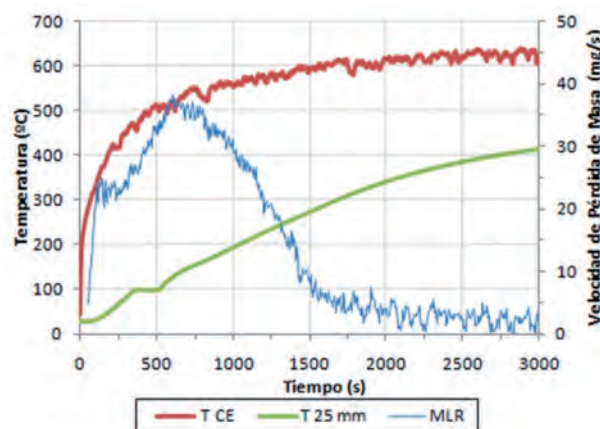
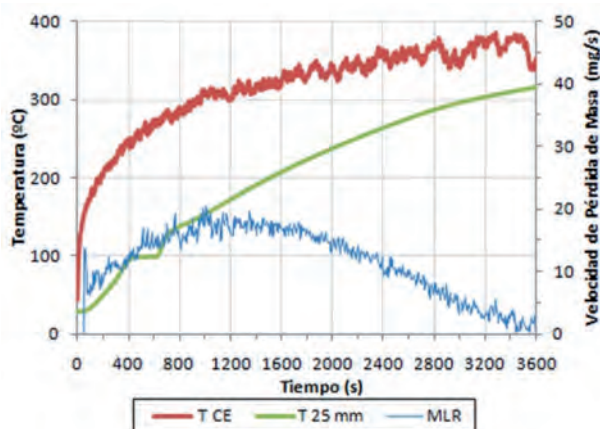


Fig. 4: Velocidad de pérdida de masa y temperaturas experimentadas por el hormigón G durante los ensayos a flujos de calor de 35 kW/m² (izquierda) y 75 kW/m² (derecha)

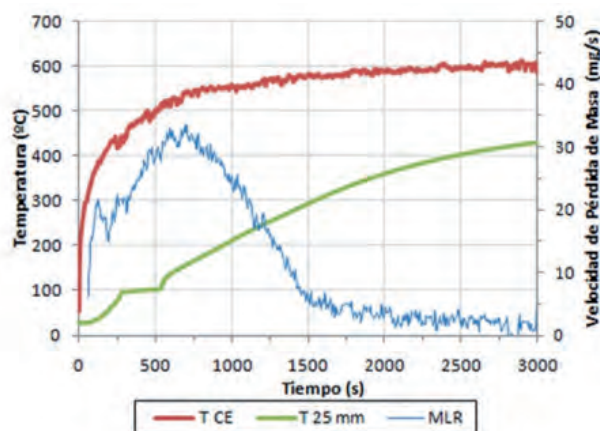
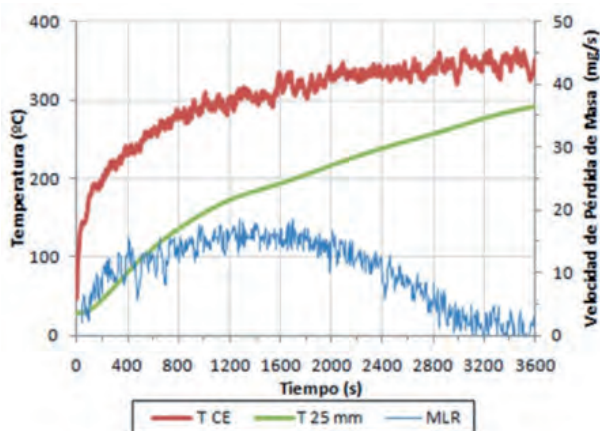


Fig. 5: Velocidad de pérdida de masa y temperaturas experimentadas por el hormigón H durante los ensayos a flujos de calor de 35 kW/m² (izquierda) y 75 kW/m² (derecha)

2. RESULTADOS

En las Fig. (4, 5 y 6) se muestran las gráficas de velocidad de pérdida de masa y temperaturas experimentadas por los tres hormigones objeto de estudio para los flujos de calor de 35 kW/m² y 75 kW/m² durante el ensayo de 60 minutos de duración. Tal como se aprecia en las figuras, el hormigón P, que presentaba el menor contenido de humedad, fue el que mayor aumento de temperatura experimentó durante los ensayos.

La Fig. (7) muestra las gráficas de la pérdida de masa acumulada experimentadas por los tres hormigones para los flujos de 35 kW/m² y 75 kW/m² durante el ensayo de 60 minutos de duración. Tal como se observa en la figura, el hormigón que mayor pérdida de masa experimentó a los dos flujos de ensayos fue el hormigón P.

En la Fig. (8) se presenta una comparativa de la velocidad de pérdida de masa experimentada por los tres

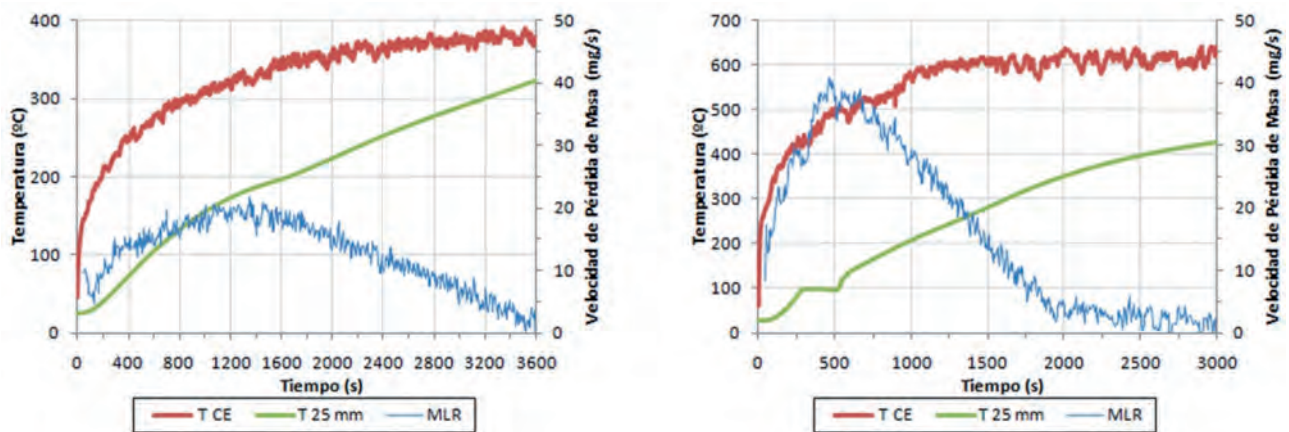


Fig. 6: Velocidad de pérdida de masa y temperaturas experimentadas por el hormigón P durante los ensayos a flujos de calor de 35 kW/m² (izquierda) y 75 kW/m² (derecha)

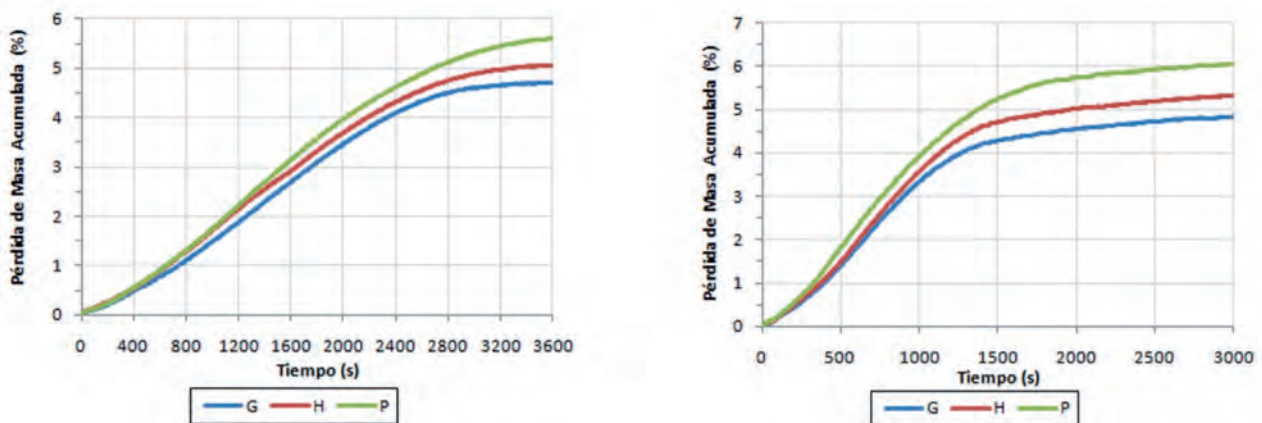


Fig. 7: Pérdida de masa acumulada experimentadas por los hormigones durante los ensayos a flujos de calor de 35 kW/m² (izquierda) y 75 kW/m² (derecha)

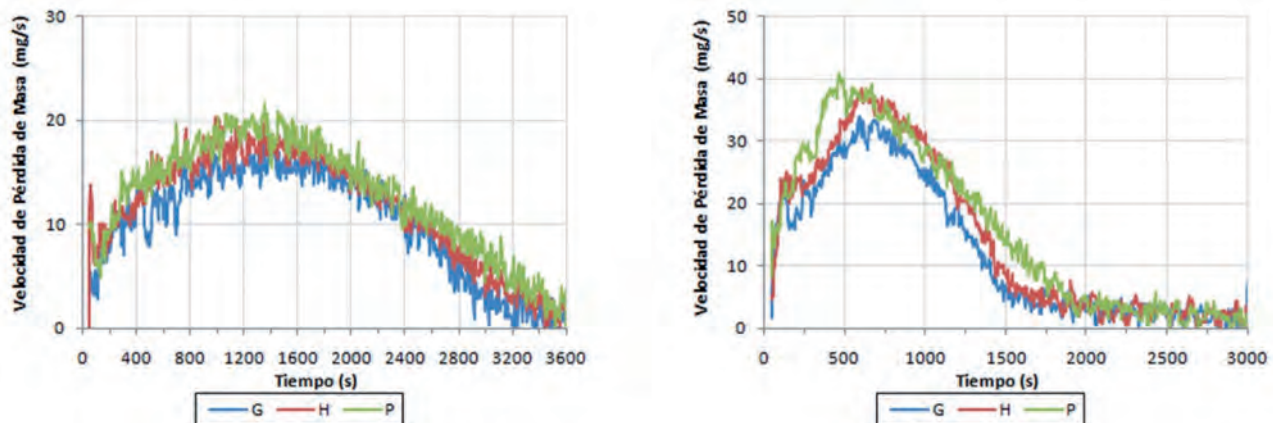


Fig. 8: Comparación de las velocidades de pérdida de masa experimentadas por los hormigones durante los ensayos a flujos de calor de 35 kW/m² (izquierda) y 75 kW/m² (derecha)

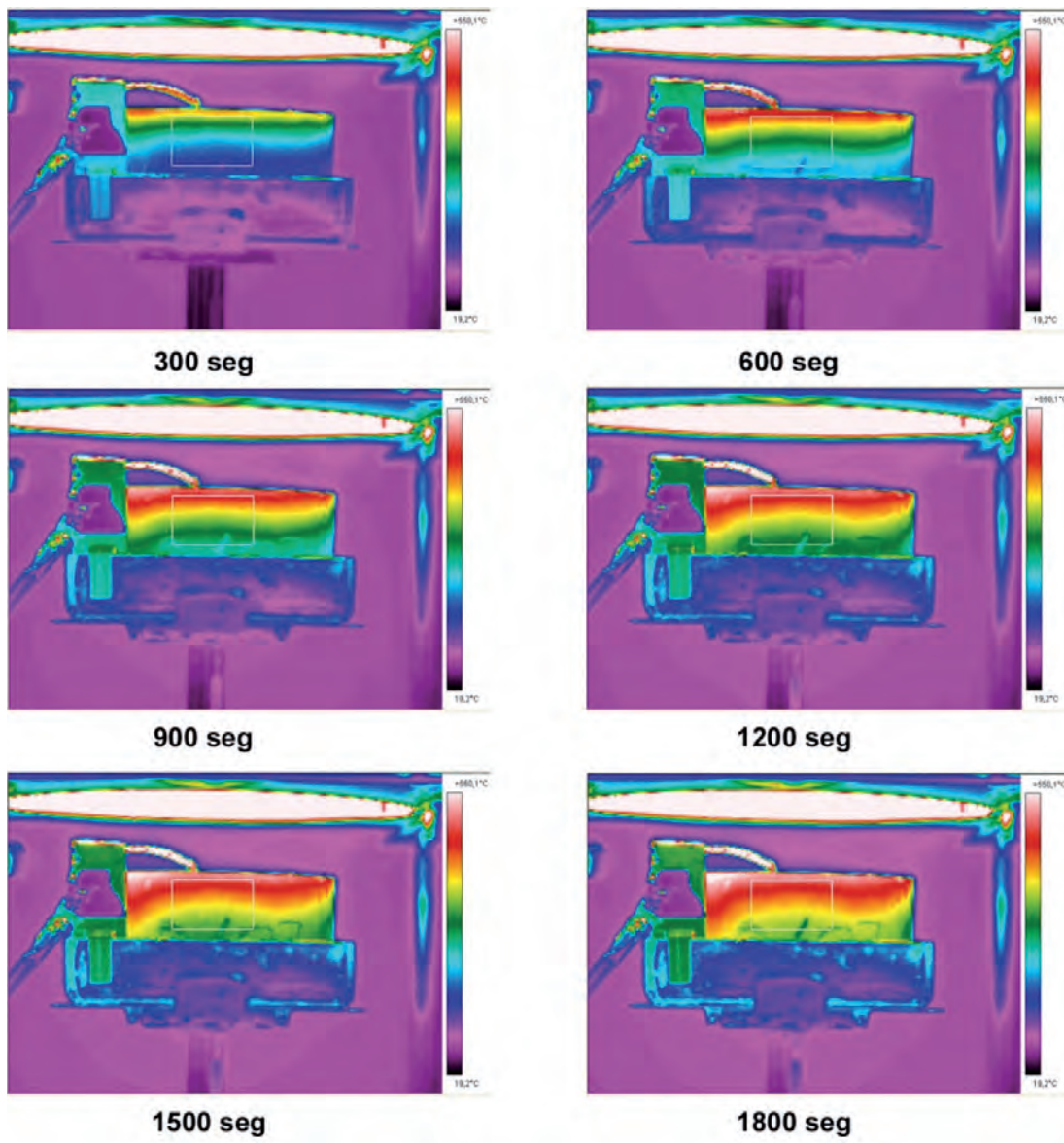


Fig. 9: Perfil de Temperaturas observados mediante termografía infrarroja en una de las muestras del hormigón P en el ensayo para un flujo de calor de 75 kW/m² y 30 minutos de duración

hormigones objeto de estudio para los dos flujos analizados durante el ensayo de 60 minutos. Tal como se aprecia en las figuras, las velocidades máximas de pérdida de masa que se experimentaron durante los ensayos al flujo de calor de 75 kW/m² fueron entre un 60 % y un 70 % superiores en relación a los ensayos al flujo de calor de 35 kW/m².

La Fig. (9) presenta la progresión del ataque térmico y la temperatura a 25 mm de la cara expuesta en una de las muestras del hormigón G en el ensayo de flujo de calor de 75 kW/m² y 30 minutos de duración. Tal como se aprecia en la Tabla 3, la correlación entre los valores de temperatura obtenidos mediante termografía y los obtenidos de las lecturas del termopar presentan un *coeficiente de correlación Pearson* (R²) muy elevado de 0.9912.

Tiempo	Temp. 25 mm TP	Temp. 25 mm CT
300	98.0	124.3
600	137.6	170.7
900	193.3	206.8
1200	247.0	238.5
1500	294.4	291.8
1800	337.5	338.6
Coef. Corr.	0.9912	

Tabla 3: Correlación entre las temperaturas reportadas por el termopar y las observadas con la cámara termográfica

En la Tabla 4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para las muestras analizadas.

de masa se registraron en aquellos hormigones con mayor contenido inicial de humedad. Para esta condición, los resultados muestran que a medida que se incrementa el

Código	A	B	C	D	E	F	G
G-35-30	793.6	767.6	26.0	370.0	214.6	26	-
H-35-30	786.3	759.8	27.5	367.5	217.2	27	-
P-35-30	762.2	732.5	29.7	380.9	221.4	28	-
G-35-60	776.4	739.9	36.5	382.9	288.9	25	-
H-35-60	794.5	762.1	32.4	360.0	319.3	26	-
P-35-60	817.1	771.3	45.8	385.7	322.9	28	-
G-75-30	775.0 732.6		42.4	553.5	317.6	38	-
H-75-30	779.6	741.4	38.2	551.5	366.5	42	-
P-75-30	782.4	742.0	40.4	575.7	337.5	60	x
G-75-60	765.7	723.0	42.7	637.9	427.8	37	-
H-75-60	817.7	774.2	43.5	611.9	411.4	40	-
P-75-60	797.1	749.4	47.7	642.4	422.5	45	-
A: Masa Inicial (g) B: Masa Final (g) C: Pérdida de Masa (g) D: Temperatura Máxima Cara Expuesta (°C) E: Temperatura Máxima Centro de la Muestra (°C) F: Velocidad Máxima de Pérdida de Masa (mg/s) G: Ocurrencia de Spalling							

Tabla 4: Resumen de los resultados obtenidos en los ensayos.

3. DISCUSIÓN

Tal como se aprecia en los resultados presentados de la Tabla 4, las temperaturas dentro de las muestras de hormigón se vieron influenciadas por el contenido de humedad. A medida que se incrementa el contenido de humedad se produce una disminución en las temperaturas reportadas por los termopares durante el ensayo. Este fenómeno evidencia el efecto de enfriamiento que produce la evaporación del agua dentro del hormigón, lo cual retarda el incremento de las temperaturas.

La velocidad máxima de pérdida de masa presentó una dependencia directa con la cantidad de agua de amasado. A mayor cantidad de agua de amasado mayor fue la velocidad de pérdida de masa experimentada por las muestras durante los ensayos.

El instante de tiempo en el que se produce la máxima velocidad de pérdida de masa también es dependiente del contenido de humedad. Los resultados para los ensayos de 35 kW/m² muestran que a menor contenido de humedad inicial, mayor es el tiempo necesario para alcanzar la velocidad máxima de pérdida de masa.

Para el caso de exposición a un flujo de 75 kW/m², se observó que los mayores valores de velocidad de pérdida

de humedad de las muestras disminuye el tiempo en el cual se alcanza esta velocidad máxima.

Estos resultados recalcan el hecho de la gran influencia que ejerce la condición de ataque térmico y el contenido de humedad inicial sobre los mecanismos de liberación de la humedad en el hormigón.

Una de las muestras del hormigón P presentó *spalling* explosivo de superficie en el ensayo de 75 kW/m² y 30 minutos de duración, sin embargo este fenómeno no se repitió en ninguna otra muestra de este hormigón ensayadas a 30 o 60 minutos. Cabe destacar que los experimentos han sido diseñados para evaluar la adecuación de la metodología experimental para evaluar los fenómenos de transferencia de masa y energía y no para reproducir *spalling*.

De los resultados obtenidos de los ensayos se puede inferir la siguiente tendencia:

- El contenido de humedad inicial de la muestra influye en la velocidad con que se alcanzan los 100 °C a 25 mm de la cara expuesta. A mayor contenido de humedad, mayor tiempo, debido a que parte de la energía calorífica suministrada a la muestra se consume en el proceso de evaporación del agua.
- Según se ha podido constatar, la velocidad máxima de pérdida de masa está influenciada por la magnitud del

ataque térmico sobre la probeta. Los valores máximos de velocidad de pérdida de masa se producen para el flujo de 75 kW/m^2 , los cuales son entre un 60 y un 70 % superiores que los observados para el flujo de 35 kW/m^2 .

- Para las mismas condiciones de exposición térmica, a medida que la cantidad de agua utilizada durante el amasado es menor, menor resulta la velocidad máxima de pérdida de masa.
- A medida que aumenta la cantidad de agua utilizada durante el amasado, aumenta el tiempo para que se produzca la expulsión del agua libre del hormigón. No obstante, se sugiere el desarrollo de ensayos de porosidad y de permeabilidad al vapor para poder describir de manera más aceptada el comportamiento de este parámetro.
- Las temperaturas alcanzadas en la cara expuesta de las muestras sometidas al flujo de 75 kW/m^2 son lo suficientemente elevadas para provocar la deshidratación de la pasta de cemento y la descomposición del hidróxido de calcio.
- Los tres hormigones reportaron un plateau de evaporación a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ por el termopar ubicado a 25 mm de la cara expuesta. Durante el tiempo en que se mantuvo esta condición se observó la salida de agua líquida y burbujas de gas por las inmediaciones del termopar.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha presentado una metodología experimental para evaluar los fenómenos de transferencia de masa y energía en hormigones sometidos a elevadas temperaturas, que ha permitido determinar con precisión tanto la pérdida de masa experimentada por las muestras como la evolución de las temperaturas en su interior.

Los resultados de los ensayos sobre los tres hormigones estudiados han demostrado que la metodología experimental propuesta es sensible a la variación de los parámetros considerados en el estudio, destacando el papel determinante que ejerce la velocidad y la intensidad de la agresión térmica en el comportamiento del hormigón.

Se ha evidenciado que el contenido de humedad inicial ejerce influencia tanto en el incremento de las temperaturas como en la velocidad máxima de pérdida de masa y el tiempo necesario para la expulsión de la humedad del hormigón.

Los resultados del análisis de pérdida de masa al flujo de calor de 75 kW/m^2 mostraron que es posible asociar la pérdida de masa que se produce a partir de la estabilización de la velocidad de pérdida de masa entorno a los 2000 segundos con la deshidratación del silicato de calcio hidratado.

Sin embargo, en la rama ascendente de la curva se está produciendo de forma combinada la expulsión del agua libre y la expulsión del agua de deshidratación, lo cual dificulta el análisis del proceso. En ese sentido, se recomienda realizar también ensayos sobre muestras secadas previamente a 105°C a fin de poder aislar estos fenómenos.

La porosidad y la permeabilidad del hormigón se encuentran estrechamente relacionadas con la cantidad de agua utilizada durante el amasado y con el contenido de humedad. En ese sentido, los resultados obtenidos en los análisis para ambas condiciones de ataque térmico de los hormigones G y H, los cuales difieren básicamente en la relación agua-cemento, ponen de manifiesto la relación directa que existe entre la permeabilidad y la porosidad y la velocidad de pérdida de masa, siendo mayor esta última para el hormigón H, el cual presenta la relación agua-cemento más alta.

La utilización de la termografía infrarroja para monitorizar la penetración de la onda térmica en el hormigón ha demostrado ser un método bastante fiable para estimar las temperaturas en las muestras. En ese sentido, el análisis de correlación de las lecturas mediante termografía y los termopares ha sido positivo, por lo que esta técnica puede aplicarse para estimar las temperaturas en zonas en las que no se han colocado termopares.

Se ha comprobado que el tamaño de muestras empleado es lo suficientemente grande para evaluar la salida de agua desde el interior de la muestra a diferencia de los análisis termogravimétricos convencionales, los cuales requieren volúmenes muy pequeños de material en polvo para el desarrollo de los experimentos.

La metodología propuesta ha demostrado ser adecuada para describir el proceso de transferencia de masa y energía que tiene lugar en el interior del hormigón producto del ataque térmico. En ese sentido, es posible aplicar el método propuesto para evaluar diversos tipos de fenómenos, tales como la efectividad de las fibras de polipropileno para la liberación de humedad y la reducción de la presión de poros, etc. En este sentido, como líneas de continuidad de los trabajos se señala el establecer las relaciones que existen entre la permeabilidad, la porosidad y la pérdida de masa.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente Estudio ha sido desarrollado al amparo del Convenio de Colaboración entre el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones IECA y el Grupo GIDAI de la Universidad de Cantabria para el "Análisis del Comportamiento al Fuego de Hormigones de Alta Resistencia Reforzados con Fibras".

6. BIBLIOGRAFÍA

- Msaad Y. "Comparison between Hydraulic and Thermal Spalling in Heated Concrete Based on Numerical Modeling", *Journal of Engineering Mechanics*. June 2007. Vol. 133-6, P. 608-615.
- Zeiml M, Lackner R. "Experimental Investigation on Spalling Mechanisms in Heated Concrete", En: *Proceeding 6th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FramCos-6)*. (Catania 2007), P. 1723-1728.
- Jansson R, "Material properties related to fire spalling of concrete", Licentiate Thesis, Lund University of Technology, 2008.
- Harmathy TZ. "Effect of moisture on the fire endurance of building elements". *ASTM Special Technical Publication 385*. January 1965. P.74-95.
- Kalifa P, Chéné G, Gallé C. "High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres: From spalling to microstructure". *Cement and Concrete Research*. October 2001. Vol. 31-10. P.1487-1499.
- Lottman BBG. "Fire in bored tunnels. Structural behaviour, during fire conditions, of bored tunnels made with a concrete segmental lining". Master Thesis. Delft University of Technology, 2007.
- Bazant ZP, Kaplan MF. *Concrete at High Temperatures: Material Properties and Mathematical Models*. 1 edition. Longman, 1996. 424p. ISBN 978-0582086265.
- *Fib Bulletin*. International Federation for Structural Concrete. 2007, vol 38. Fire design of concrete structures – material, structures and modeling: International Federation for Structural Concrete, 2007. ISBN 978-2-88394-078-9.
- Ye G, Liu X, De Schutter G, et al. «Phase distribution and microstructural changes of self-compacting cement paste at elevated temperature». *Cement and Concrete Research*. June 2007. Vol.37-6. p.978-987.
- Diederichs U, Jumppanen U M, Pentalla V. "Behaviour of high strength concrete at high temperature". Report 92. Helsinki University of Technology, Department of Structural Engineering, 1992.
- Jansson R, Bostrom L. "Experimental study on the influence of polypropylene fibres on material properties and fire spalling of concrete". From: fib Task Group 4.3 Workshop "Fire design of concrete structures – from materials modelling to structural performance". Coimbra, Portugal, 2007.
- Mindeguia JC, Pimienta P, Noumowé A, et al. "Temperature, pore pressure and mass variation of concrete subjected to high temperature – Experimental and numerical discussion on spalling risk". *Cement and Concrete Research*. March 2010. Vol. 40-3. p.477-487.
- Crespo-Álvarez J, Capote-Abreu JA, Alvear-Portilla MD. "Analysis of the Moisture Release Mechanisms of Concrete at Elevated Temperatures". En: *Proceeding of 37th IAHS World Congress on Housing "Design, Technology, Refurbishment, and Management of Buildings"*, (Santander 26-29 October 2010), XXXVII IAHS World Congress. Topic IX: Paper 936, ISBN: 978-84-693-6657-8, 2010.
- Sarvaranta L, Mikkola E. "Fibre Mortar Composites in Fire Conditions". *Fire and Materials*. January/February 1994. Vol. 18-1. P.45-50.
- ASTM. Measurement of Mass Loss and Ignitability for Screening Purposes Using a Conical Radiant Heater. ASTM E 2102-04a. American Society for Testing and Materials, 2004.
- ISO. Reaction-to-fire tests -- Heat release, smoke production and mass loss rate -- Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method). ISO 5660-1:2002. International Organization for Standardization, 2002.

Mejora del tráfico ferroviario mediante programación lineal entera.

Gestión de sistemas ferroviarios densos mediante el desarrollo y la aplicación de modelos de optimización



Álvaro García-Sánchez*
Miguel Ortega-Mier*
Natalia Ibáñez-Herrero*
Aitor Goti-Elordi**

Dr. Ingeniero
Dr. Ingeniero
Ingeniera en Organización Industrial
Dr. Ingeniero

* Universidad Politécnica de Madrid. ETSII, Dpto. de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística. Calle José Gutiérrez Abascal, 2 – 28006 Madrid. Tfno: +34 913 363206. alvaro.garcia@upm.es

** Universidad de Mondragón. Escuela Politécnica Superior de Mondragón. Dpto. Mecánica y Producción Industrial. Calle Loramendi, 4 – 20500 Mondragón. Tfno: +34 943 794700. agoti@eps.mondragon.edu

Recibido: 12/01/2011 • Aceptado: 09/05/2011

*Improvement of railway system traffic using integer linear programming.
Management of dense railway systems through the development and application of optimization models*

ABSTRACT

- Managing railway systems poses problems with different scope. One of these problems consists in determining the number of transport units that are needed to attend a set of trips, defined by their corresponding origins and destinations and their departure and arrival times. Alternatively, it may be of interest to determine how to use a pool of transport units to meet that demand in the most efficient manner. This paper presents an Integer Linear Programming model for addressing both problems. In particular, a case study is described, corresponding to the C5 line, in the commuting railway system of the region of Madrid.
- **Keywords:** Optimization, Scheduling, Railway Systems.

RESUMEN

La gestión de los sistemas ferroviarios plantea problemas de diferente alcance. Uno de ellos se refiere a la determinación del número de unidades de transporte necesarias para atender un conjunto de trayectos, definidos por sus respectivos orígenes y destinos y por las horas de partida y de llegada. Alternativamente, puede resultar interesante determinar cómo gestionar un determinado conjunto de unidades de transporte para atender dicha demanda haciendo el uso más eficiente de aquellas. En este artículo se presenta un modelo de Programación Lineal Entera para atender estos problemas. En particular, se describe un caso de estudio correspondiente a una de las líneas de la red de Cercanías de la región de Madrid.

Palabras clave: Optimización, Programación Lineal Entera, Secuenciación, Sistemas ferroviarios.

1. INTRODUCCIÓN

Gran cantidad de la actividad económica está ligada a la utilización de sistemas ferroviarios, tanto de mercancías como de pasajeros, y tanto en largas como en cortas distancias.

Actualmente, el desplazamiento de pasajeros ha crecido de forma continuada en España a lo largo de los años pasados y está previsto que esta tendencia continúe. Teniendo en cuenta que algunos de los sistemas de transporte se están utilizando al límite de su capacidad, este crecimiento supone un importante reto para las partes implicadas, tales como gestores de infraestructuras y operadores de transporte de pasajeros.

Por ello, es de gran interés que estos sistemas estén gestionados de forma eficaz y eficiente. Existe una gran gama de problemas relacionados con la gestión ferroviaria que pueden ser abordados mediante la utilización de modelos con los que poder mejorar la gestión de estos sistemas.

En concreto, el problema que se describe en este artículo trata el problema de gestión del material rodante en sistemas ferroviarios densos en un contexto metropolitano.

El problema de la gestión del material rodante en redes ferroviarias densas trata de la asignación de un conjunto de unidades de transporte a unos servicios planificados con anterioridad. Una unidad de transporte (en adelante, UT) es la unidad mínima de material rodante a partir de la cual se pueden componer trenes. El problema consiste en determinar el número de UTs que deben asignarse a cada trayecto para que la operación del sistema sea óptima. En la medida en que el problema esté mejor resuelto, los sistemas serán más eficaces y eficientes y se podrá ofrecer un mejor servicio con el mismo coste o el mismo servicio con un coste menor.

Este problema es de especial relevancia para los operadores ferroviarios. Desde un punto de vista estratégico, la adquisición del material rodante es costosa y representa una inversión a largo plazo. Por otro lado, los costes de operación suelen ser relevantes y se encuentran directamente relacionados con el número de kilómetros realizados por el material rodante.

Para poder obtener una mejor adaptación entre el material rodante y la demanda, es posible cambiar la composición de los trenes en determinadas estaciones añadiendo o quitando UTs de los mismos.

El trabajo que se presenta en este artículo se puede aplicar a un conjunto amplio de sistemas. En particular, los modelos desarrollados se han aplicado en la línea C5 de cercanías de Madrid, lo cual ha permitido evaluar la validez y utilidad de los mismos, con resultados satisfactorios.

En la literatura se pueden encontrar gran cantidad de artículos que tratan problemas relativos a la gestión de sistemas ferroviarios densos. Existen dos grandes enfoques en la literatura para abordar problemas de naturaleza similar al que se presenta a continuación: los basados en la optimización y los basados en la simulación.

Los modelos de optimización son normativos y ofrecen, por la propia naturaleza del enfoque, soluciones óptimas o buenas, ya que la optimización va ligada a una función objetivo y a algún tipo de algoritmo de búsqueda de buenas soluciones o, incluso, de la solución óptima (o las soluciones óptimas, si hubiera varias). Cuanto más operativa sea la naturaleza del problema estudiado mediante optimización, los modelos correspondientes necesarios para abordar el problema mediante este enfoque exigen un mayor nivel de detalle y la eficiencia del algoritmo de búsqueda disminuye hasta el punto de poder darse el caso de que el problema no se puede abordar mediante este método.

Los modelos de simulación permiten representar los sistemas estudiados con mayor detalle, pero, como

LA PROGRAMACIÓN LINEAL

La Programación Lineal es una disciplina dentro del campo de la optimización consistente en la búsqueda de un conjunto de valores para unas variables que cumplen un conjunto de ecuaciones, llamadas restricciones, y que ofrecen el mayor o el menor valor posible para una función, llamada función objetivo, con la particularidad de que tanto las restricciones como la función objetivo son combinación lineal de las variables. A continuación se presenta un ejemplo sencillo a modo de ilustración.

Una empresa fabrica bicicletas y triciclos. Con la venta de una bicicleta se obtiene un beneficio de 10 unidades monetarias (um) y con la de un triciclo 5 um. Como es natural, cada bicicleta necesita dos ruedas y cada triciclo de tres. Tanto las bicicletas como los triciclos necesitan el mismo tipo de manillar. Si la empresa dispone de semanalmente de 100 ruedas y de 30 manillares, ¿cuál es el plan de producción que le reporta un mayor beneficio?

Si se define x_1 como el número de bicicletas producidas semanalmente y x_2 el de triciclos, el beneficio se puede computar como $10x_1 + 5x_2$. Por otro lado, el consumo de ruedas sería $2x_1 + 3x_2$ y no puede superar las 100 ruedas disponibles, con lo que debería cumplirse $2x_1 + 3x_2 \leq 100$. Igualmente, para los manillares deberá cumplirse $x_1 + x_2 \leq 30$.

Por último, se debe cumplir que $x_1 \geq 0$ y que $x_2 \geq 0$, porque no tiene sentido producir un número negativo de bicicletas o de triciclos.

$$\text{máx } z = 10x_1 + 5x_2$$

sujeito a:

$$2x_1 + 3x_2 \leq 100 \quad x_1 + x_2 \leq 30 \quad x_1, x_2 \geq 0$$

Este es un ejemplo muy sencillo de modelo de Programación Lineal donde todas las variables son continuas. Se podría imponer que solo se pueden producir números enteros de bicicletas o de triciclos, lo que implicaría definir x_1 y x_2 como variables enteras no negativas. Los problemas en los que las variables son enteras se conocen como problemas de Programación Entera o Programación Lineal Entera. Si existen variables de ambos tipos, se habla de Programación Entera Mixta o Programación Lineal Entera Mixta. Por último si las variables, además de ser enteras, deben ser binarias, se habla de Programación Binaria y de Programación Binaria Mixta, según haya únicamente o no variables binarias.

Existen técnicas específicas para cada uno de los problemas. En particular, la imposición de que algunas variables sean enteras incrementa la complejidad del problema y exige la utilización de técnicas de resolución específicas. En ocasiones, las técnicas generales para estos problemas no son eficaces (no permite obtener la solución óptima) o no son eficientes (no permiten obtener el óptimo en un tiempo suficientemente reducido como para que la información sea útil). Cuando ocurre esto es necesario utilizar técnicas específicas o emplear enfoques diferentes al de la Programación Lineal.

contrapartida, no son modelos normativos sino descriptivos, es decir, ofrecen al decisor el comportamiento esperado del sistema pero no ofrecen la mejor solución. El decisor debe hacer uso del modelo para experimentar y, con él, tomar decisiones.

Las decisiones estratégicas requieren un menor nivel de detalle, con lo que la optimización es una técnica muy adecuada. Por su parte, resulta más apropiado el uso de la simulación para el tratamiento de las decisiones operativas que entrañan un gran nivel de detalle (hasta operaciones de frenado, por ejemplo).

El nivel de detalle necesario para tratar este problema, como se comenta más adelante, permite abordarlo mediante un modelo suficientemente simple, por un lado, y con el suficiente detalle, por el otro, como para representar al sistema real pero bajo la asunción de una serie de hipótesis. Las decisiones involucradas se encuentran entre las de tipo operativo y las de tipo estratégico. A continuación se presentan los trabajos más relevantes relacionados con el problema que se presenta más adelante.

En particular, Schrijver (1993) minimizan el número de unidades de tren que deben ser empleadas en una línea para impedir que los pasajeros se queden de pie. Solo se considera un tipo de tren. La única restricción es disponer de los vehículos necesarios en el lugar y el momento que se necesitan.

Brucker y otros (1998) enrutan los vagones en la red conocido el horario, se centran en el reposicionado de los vagones de una estación a la siguiente. Cordeau y otros (2000) se plantean la asignación táctica y periódica de máquinas y vagones para satisfacer el horario con el mínimo coste operacional, para lo que utilizan descomposición de Benders. Posteriormente extienden el modelo anterior incluyendo las restricciones necesarias en la aplicación como es el mantenimiento, las penalizaciones por dividir o componer los trenes, etc. Lingaya y otros (2002) utilizando el modelo anterior se plantean el problema de VIA Rail en Canada, incluyen en el modelo los pasajeros esperados, permitiendo el acoplamiento y desacoplamiento de los vagones, para lo que tiene en cuenta el orden de los mismos en el tren, utilizan descomposición de Dantzig-Wolfe.

Alfieri y otros (2002) se plantean el problema en una sola línea y día. Peeters y Kroon (2003) minimizan los costes y la capacidad disponible, teniendo en cuenta el número de cambios en la composición de los trenes. Fiole y otros (2008) además consideran la combinación y división de los trenes. Emplean relajación lineal para poder resolver el modelo a través del paquete de optimización basado en Programación Lineal con CPLEX. Brucker y otros (2003) se plantean el reentrenamiento de la flota a partir de una solución de no factibilidad como consecuencia del tamaño y composición de la misma, para lo que se plantean la concordancia entre el número del material requerido y del disponible. El modelo es resuelto con ayuda de recocido simulado.

Este documento está organizado de la siguiente manera. En el epígrafe 2, se comienza describiendo el problema para,

posteriormente, en el epígrafe 3, presentar el modelo lineal que lo representa. En el epígrafe 4, se detallan aspectos relativos a la implementación del modelo. Seguidamente, en el epígrafe 5, se aborda la aplicación al caso concreto de la línea C5 de cercanías Renfe de Madrid, presentando algunos de los resultados obtenidos. Por último, se termina con las principales conclusiones del trabajo desarrollado y se citan posibles continuaciones del mismo.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En esta sección se presentan en primer lugar las principales características del sistema que son relevantes para problema tratado. Posteriormente, se describen las decisiones que es necesario tomar para, a continuación, evaluar los criterios que se proponen para determinar cómo de buena es una solución. Por último, se propone una representación gráfica del problema que resulta especialmente útil para comprender el problema y formularlo en términos analíticos.

2.1. OPERACIÓN DEL SISTEMA

El problema abordado en este artículo se refiere a una línea de ferrocarril formada por distintas estaciones que están conectadas entre sí. El problema consiste en determinar el número de UTs que debe formar cada uno de los trenes de manera que se atienda la demanda y se optimice algún aspecto relevante para el rendimiento del sistema.

2.1.1. Decisión

Se define un servicio como un viaje con salida desde una estación origen en un cierto instante y que llega a una estación destino después de algún tiempo de recorrido. A cada servicio se le asigna un conjunto de material rodante (una UT, dos UTs, etc.) cuya composición no cambia a lo largo de todo el trayecto correspondiente a ese servicio.

Aunque la programación de horarios cíclicos se caracteriza por una cierta simetría en los servicios realizados, los desequilibrios en el movimiento de trenes hacen que se produzca una deslocalización del material rodante. Esto es producido a causa de las diferencias en la demanda en función del momento del día.

Para dar respuesta a este problema es necesario introducir una serie de trenes denominados trenes sin servicio. Gracias a los movimientos de este tipo de trenes se consigue tener el material rodante necesario en cada momento preparado para su puesta en marcha.

Por otro lado, también puede ser necesario el movimiento de trenes sin servicio en los casos en los que las capacidades de almacenamiento de las estaciones, principalmente durante el día, sean demasiado pequeñas como para almacenar los trenes que terminen sus servicios en ellas.

Sin la incorporación de los trenes sin servicio no sería posible obtener, con unos recursos limitados, soluciones factibles para la gran generalidad de las planificaciones de horarios necesarias en redes ferroviarias densas.

2.1.2. Restricciones

Desde el punto de vista de la modelización del problema, sólo serán importantes aquellas estaciones donde se puedan tomar decisiones acerca del material rodante, es decir, aquellas en las que se pueda modificar la composición de los trenes o aquellas en las que se puedan almacenar vagones.

Es necesario conocer la demanda de un servicio para poder asignar un determinado número de UTs al mismo y que la demanda no quede insatisfecha o el sistema sea ineficiente. Sin embargo, sólo será útil la demanda correspondiente al arco de flujo máximo puesto que la composición de los trenes no varía a lo largo de un mismo servicio.

Se admite que el material rodante que se utiliza en esa línea se mantiene constante a lo largo de un mismo día.

2.1.3. Funciones Objetivo: Criterios de decisión

La determinación de la composición (número de UTs) de cada uno de los servicios, así como la de los trenes que se desplazan en vacío (sin prestar servicio), puede atender a dos posibles criterios para evaluar la bondad de las soluciones y que, en términos del modelo lineal, dan lugar a dos funciones objetivos diferentes.

Minimizar el número de UTs empleadas para cubrir la demanda. Este criterio es pertinente en decisiones relativas al dimensionamiento del parque móvil necesario para atender la demanda de una línea. Dados unos servicios que hay que atender, cuanto menor sea la inversión en UTs tanto más eficiente será el sistema.

Minimizar el número de kilómetros recorridos por las UTs que circulan por el sistema. Este segundo criterio es relevante cuando, dado que se dispone de un conjunto de UTs, conviene emplearlas de manera que los costes operativos asociados sean lo menor posible. Un índice que da cuenta de dichos costes operativos es la utilización que se hace del material rodante, es decir, el número de kilómetros que recorre dicho material rodante.

2.2. SELECCIÓN DEL ENFOQUE

Para abordar el problema propuesto, se adoptó un enfoque basado en la construcción de un modelo de Programación Lineal Entera con ayuda de un modelador (AIMMS) y la posterior resolución mediante un software general (CPLEX).

La Programación Lineal Entera resultó ser un enfoque adecuado. En efecto, fue posible formular un modelo lineal que ofrecía una representación formal correcta del problema con el nivel de detalle adecuado. Adicionalmente, los métodos de resolución de carácter general permitían resolver problemas de forma eficaz y eficiente, con lo que disponer de la solución óptima a cada problema resultaba poco costo en términos computacionales.

Por último, el uso de AIMMS como modelador facilitó enormemente el tratamiento de los datos de entrada al modelo y, sobre todo, la construcción de los elementos gráficos con los cuales representar las soluciones obtenidas.

2.3. GRAFO ASOCIADO AL PROBLEMA

El problema de gestión del material rodante puede representarse en términos de un grafo como el de la Figura 1.

Este gráfico está formado por tantas circunferencias como estaciones en las que es posible modificar la composición de los trenes o donde es posible almacenar UTs, si no en cualquier momento, sí al menos durante ciertos períodos del horizonte de tiempo considerado.

En cada circunferencia, hay un conjunto de nodos que representan todos aquellos eventos en los que ocurre algo, es decir, aquellos instantes en los que se producen salidas o llegadas de trenes a la estación correspondiente. El tiempo avanza en sentido horario (t_1, t_2 , por ejemplo) y en cada circunferencia se representan todos los eventos correspondientes a cada estación que tienen lugar en las 24 horas del día.

Un evento se caracteriza por una estación y un instante en el que se produce la salida o la llegada de un tren. Por ejemplo, el evento (E_3, t_2) , en la Figura 1, corresponde a un instante en el que un tren llega a la estación E_3 proveniente de E_4 en el instante t_2 .

Estos eventos están conectados por arcos que pueden ser de dos tipos:

- Arcos que conectan dos eventos consecutivos de una misma circunferencia.

Los flujos asociados a estos arcos representan el número de UTs que permanecen en esa estación durante el período de tiempo transcurrido entre los dos instantes correspondientes a los dos eventos que forman el arco. Es decir, son UTs que quedan almacenadas. Un ejemplo de este tipo de arco es el que une los eventos $(E_1, t_3)-(E_1, t_4)$. El valor asociado a este arco representa el número de UTs que han permanecido en la estación E_1 entre los instantes t_3 y t_4 .

Dentro de este tipo de arcos, existe un conjunto de arcos especiales que son los que conectan el último evento del día de cada estación con el primer evento del día siguiente de esa misma estación. Este es el caso del arco que une el último evento del día de la estación E_1 con el primer evento del día de la misma, $(E_1, t_5)-(E_1, t_1)$ y representa el número de UTs que permanecen durante la noche en la estación E_3 .

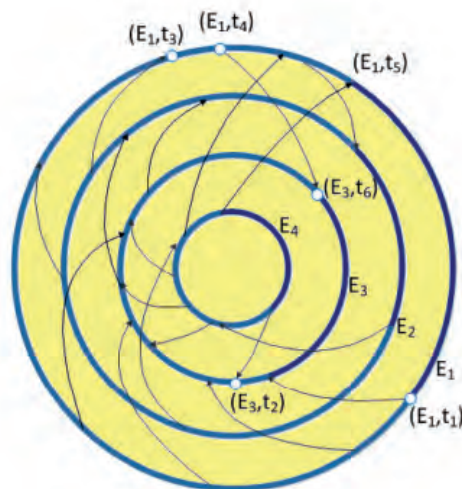


Figura 1: Representación gráfica del problema de gestión del material rodante

Haciendo uso de estos arcos resulta sencillo calcular el número total de UTs de una solución particular. El material rodante se mantiene constante a lo largo del día. Por ello, el número de UTs necesarias para satisfacer un conjunto de servicios es igual al número de UTs que se encuentran almacenadas en el conjunto de todas las estaciones al final de la jornada (momento en el que ningún tren está en circulación). Es decir, el número de UTs utilizadas es igual a la suma de los flujos de los arcos nocturnos.

- Arcos que conectan los eventos entre diferentes circunferencias.

Este otro tipo de arcos está asociado al desplazamiento de UTs entre dos estaciones. El flujo de cada uno de estos arcos representa el número de UTs que salen de una estación en un instante determinado y llegan a otra algún tiempo después. El arco que une los eventos (E_1, t_4) - (E_3, t_6) representa el número de UTs que parten de la estación E_1 en el instante t_4 y llegan a la estación E_3 en el instante t_6 .

Debe conservarse el flujo de UTs en cada nodo o evento. Por ejemplo, el número de UTs que permanecieron almacenadas en E_1 entre los instantes t_3 y t_4 es igual a los que permanecen tras t_4 en dicha estación más los que parten hacia E_3 en t_4 . Además, la naturaleza circular del grafo automáticamente impone la condición de que el número de UTs del sistema se mantiene constante a lo largo de un mismo día.

3. FORMULACIÓN DEL MODELO

A continuación, se presenta el modelo lineal que permite representar el problema descrito.

3.1. CONJUNTOS

- $S(s)$: Conjunto de estaciones
 $T(t)$: Conjunto de instantes
 $E(e)$: Conjunto de eventos $E(e) \subset S(s) \times T(t)$, donde un evento se define por una estación y un instante determinado en el cual llega o sale un tren.

Un arco es la unión de dos eventos. Hay cuatro tipos de arcos:

- $A^P(a)$: Conjunto de arcos de trenes con servicio o trenes de pasajeros, que salen en un evento $e \in E$ y llegan en otro $e' \in E$, perteneciendo ambos eventos a estaciones distintas y produciéndose en instantes diferentes.
 $A^M(a)$: Conjunto de arcos de trenes de no movimiento correspondientes a los trenes que se almacenan entre dos eventos $e \in E$ y $e' \in E$, donde ambos eventos comparten la misma estación y pertenecen a dos eventos consecutivos de la misma.
 $A^E(a)$: Conjunto de arcos de trenes sin servicio (vacíos), que salen en un evento $e \in E$ y llegan en otro $e' \in E$, perteneciendo ambos eventos a estaciones distintas.

- A^O : Conjunto de arcos nocturnos, que unen el último evento del día de una estación $s \in S$ con el primer evento del día de la estación del mismo. Hay que fijarse en que $A^O \subset A^M$, es decir, A^O contiene los arcos de no movimiento correspondientes a la transición entre un día y el siguiente.
 $A(a)$: Conjunto de arcos, $A = A^P \cup A^M \cup A^E$.
 $d^*(e)$: Conjunto de arcos que tiene por extremo el evento e .
 $d^-(e)$: Conjunto de arcos que tiene por origen el evento e .

3.2. PARÁMETROS

- $Dem(a)$: Máxima demanda (en número de pasajeros) del arco $a \in A^P$.
 Cap_w : Capacidad (en número de pasajeros) de una UT.
 $CapEstacion_a$: Capacidad de almacenamiento de una estación (en número de UTs) definido sobre el conjunto de arcos de no movimiento $a \in A^M$.
 $Max(a)$: Máximo número de unidades que puede formar un tren con servicio o sin servicio de un arco $a \in A^P \cup A^E$.
 $D(a)$: Distancia física correspondiente a un arco $a \in A$ y que es recorrida por una UT. Esta distancia es la existente entre las dos estaciones de ese arco. Conviene notar las siguientes propiedades:

$$D(a) = 0, \forall a \in A^M \cup A^E \quad (1)$$

$$D(a) = D(a) \quad \forall a \in A^P \quad (2)$$

3.3. VARIABLES

- $f(a)$: Número de UTs que se mueven por el arco $a \in A$. Dependiendo del tipo de arco, puede representar el número de UTs de un servicio, el número de UTs de un tren vacío o el número de UTs que permanecen en una estación entre dos instantes. $f(a) \in \mathbb{Z}^+$

3.4. RESTRICCIONES

Un tren no puede estar formado por más de un número determinado de UTs:

$$f(a) \leq Max(a) \quad \forall a \in A^P, \forall a \in A^E \quad (3)$$

La demanda máxima debe ser satisfecha para todos arcos con servicio:

$$f(a) \cdot CAP_w \geq Dem(a) \quad \forall a \in A^P \quad (4)$$

Los trenes almacenados en una estación no pueden superar la capacidad de cada estación.

$$f(a) \leq CapEstacion_a, \forall a \in A^{NM} \quad (5)$$

Se debe cumplir la conservación de UTs en cada nodo. Como no se admite que llegue un tren en el mismo instante

en el que sale otro de dicha estación, esto se traduce en una de las dos condiciones siguientes. El número de UTs que había en una estación inmediatamente antes de un determinado instante más las que llegan en ese instante es igual al número de las que permanecen después de ese instante. Alternativamente, el número de UTs que hay en una estación inmediatamente antes de un instante es igual al número de UTs que salen en ese instante más los que permanecen en la estación inmediatamente después de dicho instante. Con carácter general y, en términos lineales esto se impone mediante la restricción correspondiente a la Ecuación 6:

$$\sum_{a \in d^+(e)} f(a) = \sum_{a \in d^-(e)} f(a) \quad \forall n, \forall e \in E \quad (6)$$

3.5. FUNCIONES OBJETIVO

Como se ha citado en apartados anteriores, es posible considerar varias funciones objetivo, una referida al conjunto de UTs y otra a la distancia recorrida por las UTs disponibles.

3.5.1. Número de unidades

Una posible función objetivo (f_{o1}) sería minimizar el número de UTs correspondientes a los arcos nocturnos. Resulta computacionalmente sencillo calcular el número total de UTs de esta manera puesto que el material rodante se mantiene constante a lo largo del día y durante la noche los trenes se encuentran únicamente almacenados en los depósitos ($f(a) \ a \in A^O$).

$$\min \sum_{a \in A^O} f(a) \quad (7)$$

3.5.2. Distancia recorrida por las unidades

Alternativamente, la función objetivo puede consistir en minimizarse los kilómetros recorridos por las UTs (f_{o2}), tal y como queda descrito en la restricción 8, donde cada término de la suma es la distancia recorrida por una UT a lo largo de un arco $a \in A^P \cup A^E$.

$$\min \sum_{a \in A^P \cup A^E} D(a) \cdot f(a) \quad (8)$$

4. IMPLEMENTACIÓN

El modelo ha sido desarrollado usando AIMMS 3.8 (Bisschop y Roel, 1999) y resuelto con CPLEX 11.1 (ILOG, 2006) con un procesador Intel Core 2 Duo 6320 1.86 GHz, memoria RAM de 2Gb que se ejecuta con Windows XP.

La Figura 2 muestra las interacciones entre los distintos elementos externos necesarios y el propio modelo.

Es necesario alimentar el modelo anterior con datos de entrada relativos a la configuración de la línea objeto de estudio, así como, a los horarios programados que han sido proporcionados por Renfe.



Figura 2: Implementación del modelo: interrelación entre los distintos elementos

La lectura e introducción de dichos datos se realiza a través de bases de datos. Se han utilizado bases de datos de dos tipos: bases de datos estáticas o archivos de texto y bases de datos dinámicas construidas con Microsoft Access, utilizando de esa manera de forma directa la información en el mismo formato que utiliza el gestor ferroviario.

El resultado del problema de gestión del material rodante puede representarse en términos de un gráfico como el representado en la Figura 3.

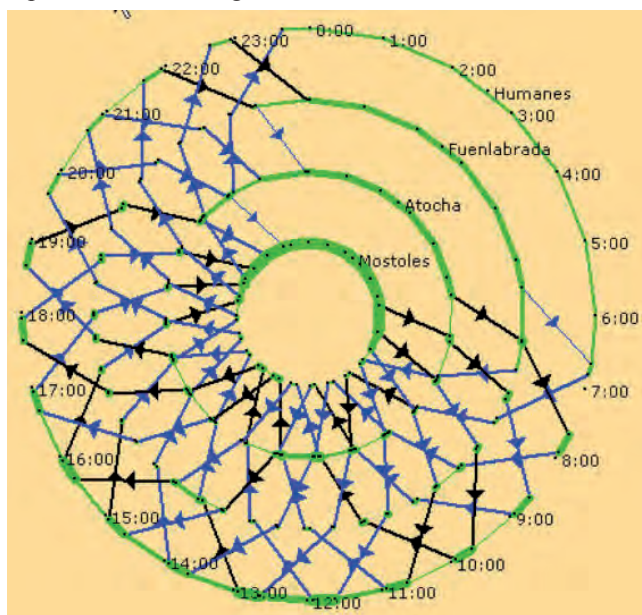


Figura 3: Grafo del problema de gestión del material rodante en AIMMS

AIMMS es un software para el desarrollo de modelos de optimización que incorpora la posibilidad de desarrollar interfaces gráficas con las cuales representar diferentes aspectos de un problema. Esto ha permitido desarrollar una página de resultados con las que mostrar de forma gráfica los resultados obtenidos y que, además, es muy parecida a la que emplean los gestores de Renfe Cercanías.

5. RESULTADOS DEL CASO DE ESTUDIO: LÍNEA C5

El modelo anterior se puede aplicar a cualquier sistema o subsistema que funcione como el descrito. Este es el caso de

la línea C5 de cercanías Renfe de Madrid. A continuación, se presentan las principales características de la citada línea y se muestran algunos de los resultados obtenidos.

5.1. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA C5

La línea C5 consta de 23 estaciones. Las estaciones en las que se pueden acoplar y desacoplar los trenes son: Fuenlabrada, Humanes y Móstoles el Soto. Además, también permiten el almacenamiento de UTs tanto por la noche como por el día.

En la estación de Madrid-Atocha no se pueden acoplar o desacoplar UTs a pesar de ser una de las estaciones más concurridas del sistema. Sin embargo, si está permitido el almacenamiento de éstas, pero sólo durante la noche.

Esta línea no comparte el material rodante con ninguna otra del sistema, es decir, que se puede considerar que éste se mantiene constante a lo largo del día.

El tipo de tren utilizado en la línea C5 es el modelo 446. La línea C5 presenta la opción de que éste tipo de tren circule en sencillo (una UT) o en doble (dos UTs).

La Figura 4 ofrece un esquema simplificado de la línea C5, objeto de estudio.



Figura 4: Estructura simplificada de la línea C5 de cercanías de Madrid

La demanda de la línea se conoce en todo momento. Debido a que la composición de los trenes no se puede modificar en estaciones intermedias, no resulta relevante conocer el flujo entre todas las estaciones consecutivas, sino que solamente se requiere conocer el arco de flujo máximo para cada servicio.

5.2. RESULTADOS COMPUTACIONALES

El modelo se alimenta con:

- los datos de entrada relativos a la configuración de la línea C5 (capacidad de almacenamiento de las estaciones, distancia entre estaciones consecutivas, etc.).

- y con los horarios comerciales programados para un día en concreto. La programación de los servicios de la línea C5 de ese día (proporcionados por Renfe Cercanías) utilizada consta de 344 servicios de los cuales 17 corresponden a trenes sin pasajeros y el resto a trenes de pasajeros.

La instancia correspondiente está formada por 1305 restricciones y 995 variables, todas ellas enteras. Los tiempos de ejecución son reducidos y muy semejantes para las distintas funciones objetivo. Se encuentran en el rango de las décimas de segundo.

5.2.1. Análisis Monocriterio

La Tabla 1 presenta los resultados obtenidos, en cuanto a número de UTs necesarias y kilómetros recorridos tras la resolución del modelo con las dos funciones objetivo propuestas.

Como se puede observar en la tabla, la solución óptima para la función objetivo que minimiza el número de UTs es de 61 UTs necesarias y 48.453 kilómetros recorridos. Al minimizar los kilómetros recorridos por las UTs, se necesitan 63 UTs que recorren 36.899 kilómetros.

Función objetivo	nº UTs	nº km
Minimizar nº UTs (f_{01})	61	48453
Minimizar nº km (f_{02})	63	36899

Tabla 1: Resultados del modelo de gestión del material rodante

A la vista de los resultados obtenidos, será función de cada gestor seleccionar el criterio adecuado para su sistema. Atendiendo a costes operativos, el material rodante debe realizar al menos 36899 km. Si se atiende a los costes relativos a la inversión en material rodante, serán necesarias al menos 61 UTs.

Sin embargo, ambos criterios se encuentran relacionados y no son independientes. En efecto, al tratar de minimizar el número de UTs sin prestar atención al número de kilómetros realizados se obtiene un valor de 61 UTs, que recorren 48453 kilómetros. Al contrario, cuando se atiende exclusivamente al número de kilómetros de forma independiente, el resultado arroja un número mayor de UTs.

La lógica subyacente con este análisis monocriterio apunta que, si se dispone de menos UTs, tal vez sería necesario realizar un mayor número de desplazamientos. Es decir, realizar una menor inversión en material rodante supone un incremento de los costes operativos.

5.2.1. Análisis Bi-criterio

En el apartado anterior se han presentado la resolución del problema atendiendo por separado a cada uno de los dos criterios y se ha comentado brevemente la relación entre

ambos. En este apartado, se presenta una forma rigurosa de abordar el tratamiento conjunto de los dos criterios y se aplica al caso de estudio presentado. El objeto último es conseguir soluciones no dominadas, es decir, la llamada curva de Pareto, que contiene el conjunto de soluciones no dominadas y de entre las cuales el decisor puede elegir.

El procedimiento consiste, básicamente, en la obtención de dos soluciones extremas no dominadas y, después, todas las soluciones o algunas de ellas (según el caso) ubicadas entre ambas. A continuación se presenta esto con detalle.

1. Resolver con el problema minimizando la función objetivo $fo_1 + a fo_2$, con a suficientemente pequeño.

Al resolver este problema se obtiene en mínimo número de UTs que permite atender la demanda y, además, el mínimo número de kilómetros que deben recorrer dicho número de UTs, que el en gráfico de la Figura 5 corresponde al punto P_1 . Es decir, se obtienen de forma jerárquica, el número mínimo de UTs y para ese número el mínimo número de kilómetros.

2. Resolver con el problema minimizando la función objetivo $fo_2 + a' fo_1$ con a' suficientemente pequeño.

Simétricamente, al resolver este problema, se obtiene el mínimo número de kilómetros que se deben realizar para atender la demanda. Para ese número de kilómetros, se obtiene el mínimo número de UTs que permite realizarlo.

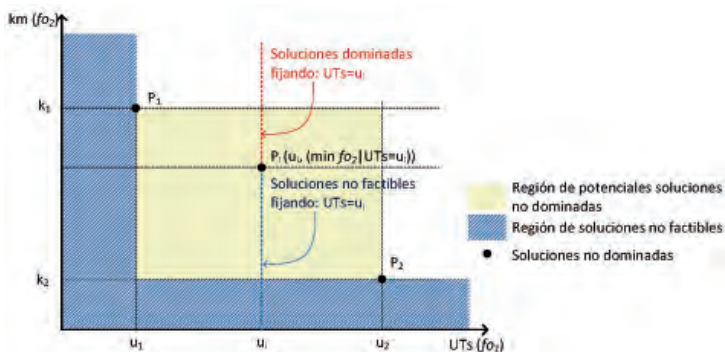


Figura 5: Curva de Pareto

Con las soluciones anteriores, se obtienen dos soluciones extremas, P_1 y P_2 , y se dispone de la siguiente información.

- No es posible atender la demanda sin realizar menos de k_2 kilómetros y sin disponer de menos de u_1 UTs, lo cual determina la región de soluciones no factibles del problema.
 - Para cualquier solución que implique realizar más de k_1 kilómetros existe otra en la que se pueden hacer menos kilómetros con el mismo número de UTs.
 - Para cualquier solución que exija disponer de más de u_2 UTs es posible encontrar otra en la que utilizan menos UTs realizando el mismo número de kilómetros.
 - Es decir, los puntos P_1 y P_2 permiten definir una región de soluciones no dominadas.
3. Obtención del resto de soluciones no dominadas.

Para cualquier valor de UTs, u_i , entre u_1 y u_2 , podemos obtener una solución no dominada resolviendo el problema consistente en minimizar la función objetivo fo_2 fijando el número de UTs en u_i . Alternativamente, para cualquier valor de kilómetros entre k_i , entre k_1 y k_2 , podemos obtener una solución no dominada resolviendo el problema consistente en minimizar la función objetivo fo_1 fijando el número de kilómetros en k_i .

Si los valores de u_1 y u_2 son relativamente parecidos, puede tener sentido obtener todas las soluciones, que serán pocas, y ofrecérselas al decisor para que elija (ponderando explícita o implícitamente) los dos criterios.

Si los valores de u_1 y u_2 son muy diferentes, la evaluación de todas las soluciones tiene menos sentido. En este caso se podrían ofrecer diferentes valores intermedios para orientar la búsqueda hacia una zona de la región de soluciones no dominadas y evaluar esa zona de forma exhaustiva. Alternativamente, se podría solicitar al decisor el valor de ponderación para cada función objetivo y resolver el problema correspondiente.

Al analizar el caso de la C5 de Renfe-Cercanías Madrid y tras resolver los problemas correspondientes a los puntos 1 y 2 del procedimiento descrito, se obtienen los valores de la Tabla 2. Se han elegido dos valores de a y a' (diferentes) tales que la función objetivo que queda multiplicado por ese factor es suficientemente pequeña sin dar lugar a inestabilidades numéricas.

Función objetivo	nº UTs	nº km
$fo_1 + a fo_2$ ($a = 10^{-6}$)	61	36899
$fo_2 + a' fo_1$ ($a' = 10^{-2}$)	61	36899

Tabla 2: Soluciones de Pareto extremas

Al comparar las soluciones atendiendo a cada criterio por separado con las obtenidas a partir de las dos funciones objetivo ponderadas, se observa que son iguales, solución P^* , y que las soluciones obtenidas previamente, atendiendo a los criterios por separado, están dominadas por P^* .

En este caso, se obtiene una curva de Pareto degenerada que contienen un solo punto porque simultáneamente se minimizan las funciones objetivo fo_1 y fo_2 , tal y como queda representado en la Figura 6.

Para este caso, lo que ocurre es que el mínimo número de UTs para atender la demanda se puede gestionar de forma que el número de kilómetros sea también mínimo. Con carácter general y para garantizar un análisis riguroso, habría que seguir el procedimiento descrito más arriba. En este caso, como se ha discutido, no tiene sentido estudiar valores de UTs diferentes de 61 o de kilómetros recorridos diferentes de 36899.

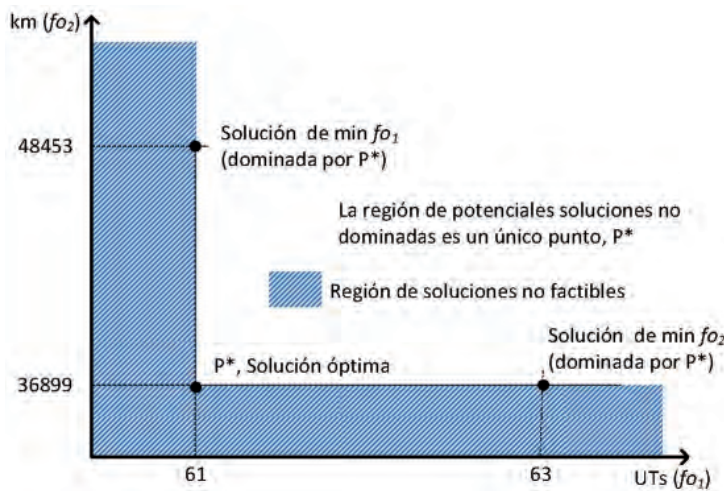


Figura 6: Curva de Pareto degenerada para el caso de estudio

6. DISCUSIÓN DE CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

En este artículo se ha presentado un modelo de Programación Lineal Entera de carácter táctico para abordar el problema de gestión del material rodante que se ha aplicado al caso concreto de la línea C5 de cercanías Renfe de Madrid.

El modelo de gestión del material rodante desarrollado representa de manera válida los sistemas ferroviarios densos y en concreto, la línea C5 de cercanías de Madrid y permite conocer la asignación óptima de una flota del material rodante a unos horarios planificados.

A modo de conclusión global, el trabajo realizado ofrece la posibilidad de utilizar la Programación Lineal Entera para representar sistemas complejos, tanto para evaluar comportamientos pasados, como presentes y futuros, resultando un útil instrumento de apoyo en la toma de decisiones.

Además, el trabajo realizado puede servir como partida para desarrollos futuros, como la aplicación a otras líneas con distinta configuración a la de la C5. Otra posibilidad podría ser el desarrollo de modelos que permita no satisfacer la demanda en su totalidad con el objetivo de minimizar los costes de operación. Incluso se podría optar por adoptar otras técnicas de modelado, como por ejemplo, el recocido simulado (descrito en Goti, García, Ortega y Uradniecek, 2010).

Una ampliación potencialmente interesante del trabajo presentado se refiere a la generación de horarios de trenes sin servicio. Se podría incorporar en el procedimiento de decisión la posibilidad de que existan nuevos trenes sin servicio en la programación, diferentes de los inicialmente previstos, de manera que el espacio de soluciones factibles sea más amplio de manera que se pueda reducir el grado de deslocalización del material rodante y se obtengan soluciones mejores a las obtenidas hasta el momento.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado bajo el amparo de un proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Fomento, titulado “Modelos de optimización aplicados a la planificación robusta y la gestión de los servicios metropolitanos de transporte público en caso de emergencia” (Código: PT-2007-003-08CCPP).

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alfieri A, Groot R, Kroon L, Schrijver L. “Efficient circulation of railway Rolling stock”. *Transportation Science*. 2006. Vol. 40 p.378-391.
- Bisschop J, Roelofs M (2009). “AIMMS 3.8 – The User’s Guide”. Haarlem: Paragon Decision Technology BV. p.232. Netherlands.
- Brucker J, Hurink JL, Rolfes T. “Routing of railway carriages: A case study”. *Journal of Global Optimization*. 2002. Vol.27 p.313-332.
- Cordeau JF, Soumis F, Desrosiers J. “A Benders decomposition approach for the locomotive and car assignment problem”. *Transportation Science*. Mayo 2000. Vol.34 p.133-149.
- Fioole PJ, Kroon L, Maroti G, Schrijver A. “A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains”, *European Journal of Operational Research*. Octubre 2006. Vol.174 p.1281-1297.
- Goti-Elordi A, García-Sánchez Á, Ortega-Mier M, Uradniecek J. “Optimización del punto de pedido: Solución realista a un problema extensamente estudiado, pero pobremente resuelto”. *DYNA Ingeniería e Industria*. Septiembre 2010. Vol.85-6 p.473-479.
- ILOG CPLEX 11.1 “User’s Manual (2006)” ILOG, Inc., Incline Village, Nevada.
- Kroon L, Romeijn HE, Zwaneveld PJ. “Routing trains through railway stations: model formulation and algorithms”, *Transportation Science*. Agosto 1996. Vol.30 p.181-194.
- Lingaya N, Cordeau JF, Desaulniers G, Desrosiers J, Soumis, F. “Operational car assignment at Via Rail Canada”. *Transportation Research B*. Noviembre 2002. Vol.36 p.755-778.
- Peeters L.W.P., Kroon L G. “Circulation of railway rolling stock: A Branch-and-Price approach”. *Computer & Operations Research*. Febrero 2008. Vol.35 p. 538-556.
- Schrijver A. “Minimum circulation of railway stock”. *CWI Quarterly*. 1993. Vol.6 p.205-217.
- Schrijver A. “A rolling stock circulation model for combining and splitting of passenger trains”. *European Journal of Operational Research*. Octubre 2006. Vol.174 p.1281-1297.

Entorno y actividad emprendedora: Un enfoque de dinámica de sistemas



Claudia Álvarez
David Urbano

Doctora en Administración y Dirección de Empresas
Doctor en Administración y Dirección de Empresas

Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas,
Universidad de Medellín, Edifici B - 08193 Bellaterra Cerdanyola del Vallés (Barcelona).
Tel. (+34) 935811209. david.urbano@uab.es

Recibido: 20/01/2011 • Aceptado: 05/07/2011

Environment and entrepreneurial activity: A system dynamics approach

ABSTRACT

- In the recent decades the role of new firms has been recognized as one of the key elements for economic and social development. While governments dedicated their efforts to design policies and strategies for the support of the entrepreneurial activity, the academy has focused its interest, among other topics, on the analysis of conditioning factors to entrepreneurship.

Concretely, scholars from Babson College (USA) and London Business School (United Kingdom) launched in 1999 the Global Entrepreneurship Monitor (GEM) with the aim to analyze the level of entrepreneurial activity around the world. Specifically, this Project studies the variation of entrepreneurship over time, the differences among the countries, the entrepreneurship support policies and the relationship between entrepreneurial activity and economic development.

The GEM Project is based on a theoretical model characterized for the holistic vision of the entrepreneurial activity and the interdependence among the variables. The complexity of this model highlights some limitations of the econometric instruments. Consequently, taking into account that one of the main objectives of the GEM Project is to propose and formulate support policies to new firm creation, system dynamics is considered an adequate tool for this aim.

In this context, the paper evaluates, through system dynamics, policies and strategies to support entrepreneurial activity, according the GEM theoretical model. The causal model is presented with the results of the study.

- **Key words:** Entrepreneurial activity, entrepreneurship, new firm creation, Global Entrepreneurship Monitor, GEM, support policies, system dynamics.

RESUMEN

En las últimas décadas se observa un mayor interés en el papel de las nuevas empresas como motor de desarrollo económico y social. Las diferentes instancias gubernamentales se han interesado en la formulación de políticas y estrategias de fomento a la actividad emprendedora, mientras que la academia se ha centrado en los factores que condicionan la creación de empresas, entre otros.

En concreto, el sector académico, a través del proyecto *Global Entrepreneurship Monitor* (GEM) creado en el año 1999, analiza el nivel y la variación en el tiempo de la actividad emprendedora en diferentes países y regiones, así como las políticas que pueden estimular el emprendimiento y la relación entre la actividad emprendedora y el crecimiento económico.

Desde su inicio, el Proyecto GEM se sustenta en un modelo teórico en el que se destaca la visión holística de la actividad emprendedora, así como la interdependencia entre las diferentes variables. Sin embargo, justamente las anteriores características hacen que los modelos econométricos planteados hasta el momento deban limitarse debido a la complejidad del modelo teórico GEM. Teniendo en cuenta que uno de los objetivos del GEM está relacionado con la formulación de políticas de fomento a la actividad emprendedora, la dinámica de sistemas se considera entonces una de las herramientas adecuadas para tal fin.

Este trabajo evalúa, por medio de Dinámica de Sistemas, políticas y estrategias de fomento a la actividad emprendedora, basadas en el modelo teórico del GEM. Se presenta el modelo causal junto con algunos resultados del estudio.

Palabras clave: Actividad emprendedora, Emprendi-

miento, Creación de empresas, Global Entrepreneurship Monitor, GEM,, Políticas de fomento, Dinámica de sistemas.

1. INTRODUCCIÓN

Es bien conocida la importancia de la creación de empresas para el desarrollo económico y social de cualquier territorio, lo que ha contribuido a despertar un gran interés tanto por parte de los investigadores como por parte de las instituciones públicas responsables del fomento de la actividad emprendedora.

Es así como la *Babson College* (EEUU) y la *London Business School* (Reino Unido) crearon en 1999 el proyecto *Global Entrepreneurship Monitor* (GEM), con el fin de encontrar respuestas, a partir de investigaciones empíricas, a las siguientes preguntas: ¿cuál es el nivel de actividad emprendedora de los diferentes países y cuánto varía en el tiempo? ¿por qué algunos países son más emprendedores que otros? ¿qué políticas puede estimular el nivel de actividad

emprendedora de un país? ¿cuál es la relación entre actividad emprendedora y crecimiento económico?.

Con más de 60 equipos de investigación GEM procedentes de diferentes países y con una participación regular en los últimos años de más de 40, el proyecto GEM es de obligada referencia en la investigación sobre la actividad emprendedora a nivel mundial.

Entre 1999 y 2010 se han encuestado millones de personas, se han realizado miles de entrevistas a expertos, se han publicado numerosos informes sobre la actividad emprendedora de los países y un número creciente de artículos de las principales revistas académicas en el área de Emprendimiento hacen uso de las bases de datos del GEM.

Desde su inicio en 1999, el Proyecto GEM se sustenta en un modelo teórico (ver Figura 1) en el que se destaca la

visión holística de la actividad emprendedora, así como la interdependencia entre las diferentes variables. Sin embargo, las investigaciones realizadas hasta el momento se han caracterizado por aproximaciones a través de modelos econométricos que deben limitarse debido a la complejidad del modelo teórico (Levie y Autio, 2008).

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos más relevantes de este Proyecto se relaciona con la formulación de políticas de fomento a la actividad emprendedora, y como se anotó anteriormente, teniendo en cuenta la complejidad del modelo teórico del GEM, se considera que una aproximación a partir de la Dinámica de Sistemas es un gran aporte en la comprensión del fenómeno de la creación de empresas.

El objetivo de este trabajo es evaluar, por medio de Dinámica de Sistemas, políticas de fomento a la actividad emprendedora, basadas en el modelo teórico del GEM.

2. ASPECTOS TEÓRICOS DE LA ACTIVIDAD EMPRENDEDORA

En las últimas décadas, numerosos autores han investigado el tema del emprendimiento (Gartner, 1985; Gnyawali y Fogel, 1994; Shane y Venkataraman, 2000; Verheul et al., 2001; Busenitz et al., 2003; entre otros).

A grandes rasgos podría hablarse de tres enfoques principales para aproximarse al fenómeno del emprendimiento: a) el enfoque económico, donde se imponen los aspectos relativos a la racionalidad económica y que plantea que la actividad emprendedora obedece a cuestiones puramente de carácter económico (Audretsch y Keilbach, 2004; Parker 2004; Wenckers et al., 2005, entre otros). b) el enfoque psicológico que postula que son los factores individuales o rasgos psicológicos de las personas los que determinan el emprendimiento (Collins et al., 1964; McClelland, 1967; Carsrud

y Johnson, 1989; entre otros). c) el enfoque sociológico o institucional que argumenta que es el entorno socio-cultural el que condiciona la decisión de crear una empresa (Shapero y Sokol, 1982; Steyaert y Katz, 2004; Manolova et al., 2008; entre otros).

En el presente trabajo se toma como marco conceptual esta última aproximación y especialmente el modelo teórico del GEM mencionado anteriormente (ver Figura 1). En el

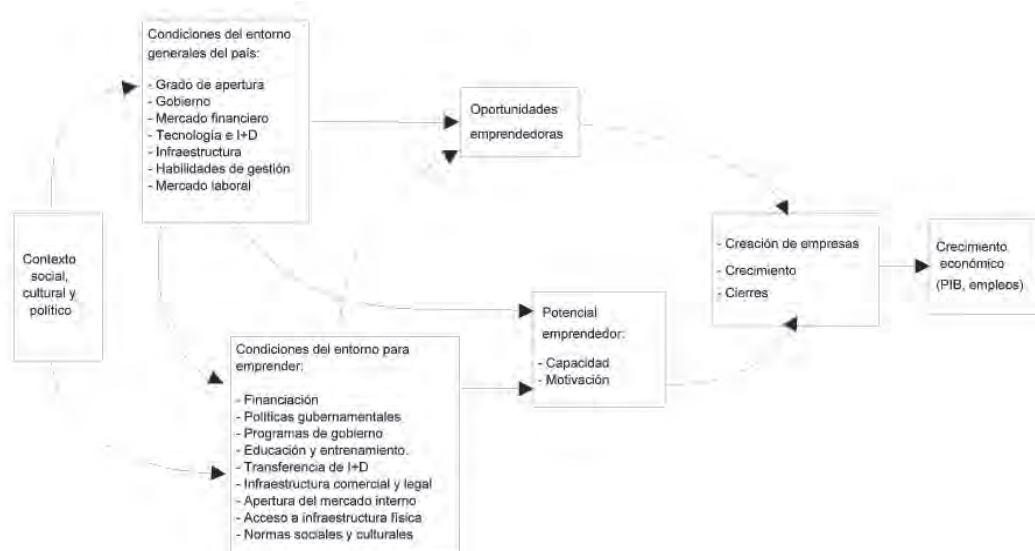


Figura 1. Modelo conceptual del Proyecto GEM

Fuente: Reynolds et al., 2005

Proyecto GEM se entiende por actividad emprendedora el conjunto de iniciativas de negocio de cualquier tipo y sector, incluido el autoempleo, que están en funcionamiento por un período no superior a 42 meses. Superada dicha etapa, la actividad pasa a ser considerada como consolidada. El GEM ofrece, además de la estimación de la actividad que está en fase emprendedora, la estimación de emprendedores potenciales (personas que afirman tener en mente emprender a corto plazo) en la población adulta. El proceso emprendedor según el modelo GEM puede verse en la Figura 2.



Figura 2. Proceso emprendedor
Fuente: Reynolds et al., 2005

En el modelo GEM se contempla un amplio conjunto de factores asociados con las variaciones que se producen en la actividad emprendedora entre los diferentes países participantes, considerando también las principales características contextuales (Reynolds et al., 2005). Así, el modelo reúne un conjunto de elementos fundamentales que se relacionan e interactúan entre ellos. Las variables claves se distinguen en siete grandes grupos: contexto social, cultural y político; condiciones generales del entorno nacional; condiciones específicas para emprender; oportunidades emprendedoras; potencial emprendedor; dinámica empresarial; y crecimiento económico nacional.

Según el modelo GEM, el desarrollo económico de un país depende de una combinación exitosa entre la fuerza de las grandes empresas y la actividad emprendedora. Así pues, es esta conexión entre el crecimiento económico del país y la dinámica interrelacionada entre las empresas ya consolidadas y las nuevas empresas lo que le da un carácter diferente e integrador al modelo GEM, y a su vez es lo que permite comprender de forma más clara por qué el emprendimiento es vital para la economía global.

No sorprende entonces que el apoyo en la creación de nuevas empresas, tanto a través de acciones gubernamentales como mediante el reconocimiento social, se consideren un objetivo primordial en las últimas décadas, bajo el supuesto de que el uso de mecanismos de promoción y un entorno social favorable pueden tener un efecto positivo en el número de empresas creadas y en sus tasas de supervivencia.

El papel del entorno en la decisión de crear una empresa se ha convertido en un aspecto crítico, no sólo en lo que respecta a las cuestiones jurídicas, políticas públicas y servicios de apoyo, sino principalmente en lo relativo al contexto social y cultural. Las creencias, valores, percepciones y actitudes de una sociedad dada, determinan las decisiones y el comportamiento de sus miembros y pueden afectar sig-

nificativamente la decisión de una persona para convertirse en empresario.

En este sentido, en el presente trabajo se consideran algunas de las condiciones específicas del entorno del modelo GEM que afectan la actividad emprendedora, tales como las siguientes: normas sociales y culturales (Arenius y Minniti, 2005; Vaillant y Lafuente, 2007; Aidis et al., 2008), políticas y procedimientos gubernamentales; van Stel et al., 2007; Stephen et al., 2009), asistencia financiera y no financiera (Maula et al. 2005; Roper y Scott 2009), habilidades emprendedoras y empresariales (De Clercq y Arenius, 2006; Levie y Autio, 2008) (para detalle de dichos estudios consultar Alvarez y Urbano, 2011).

3. MODELACIÓN DINÁMICA DE LA ACTIVIDAD EMPRENDEDORA

La modelación de sistemas socio-económicos con propósitos descriptivos y proyectivos es un proceso laborioso y de capacidad de síntesis, que pretende explicar el funcionamiento de un sistema de una manera simple pero precisa. El problema en este sentido, no reside tanto en la búsqueda de modelos óptimos, sino en la formulación de aquellos que sean adecuados para los fines de planeación. En la determinación de componentes, la selección de variables y la descripción de ecuaciones reside el arte de la modelación (Serman, 2000). El objetivo de la Dinámica de Sistemas es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el conocimiento del sistema, a partir de la modelación continua de sistemas complejos utilizando ecuaciones diferenciales.

La Dinámica de Sistemas permite versatilidad, fortaleza y utilidad como herramienta para la evaluación de políticas y estrategias. Ofrece además facilidades para gestionar los procesos de realimentación y control del sistema, así como en la forma de tratamiento de los retardos entre la toma de decisiones y su efecto sobre las instituciones. Su potencia no radica en la capacidad predictiva, sino en la posibilidad de apoyar el diseño de políticas y proveer respuestas a preguntas del tipo ¿qué pasaría si...? Los resultados obtenidos son, por tanto, trayectorias posibles, deducidas del examen de diversas políticas en la conducción de las entidades (Dyner, 1993; Serman, 2000).

Las técnicas de modelación de sistemas parten inicialmente del entendimiento del funcionamiento del sistema, basado en conocimiento experto y bibliografía afín. Luego se procede al modelamiento como tal, donde es necesaria la búsqueda de información de diferentes fuentes. Finalmente, el modelo se estimula mediante estrategias para observar cambios significativos en los objetivos que se persiguen.

Usualmente, en las metodologías estadísticas se parte de datos históricos de las variables analizadas con el fin de realizar un ajuste numérico de los modelos a esos datos. En cambio, la Dinámica de Sistemas considera secundario el ajuste del modelo a los datos históricos mientras que la información relevante está relacionada con las interacciones

de las variables del sistema, aunque sea en principio información cualitativa (Aracil y Gordillo, 1997).

En el presente trabajo y en el marco del modelo GEM, para evaluar las diversas opciones de políticas de fomento a la actividad emprendedora, es importante establecer cuál es el efecto que tendrían a largo plazo unas normas sociales y culturales que favorezcan (o no) el emprendimiento, cambios en la educación en áreas relacionadas con la creación de empresas y un mayor (o menor) acceso a la financiación.

El diseño de políticas de fomento a la actividad emprendedora presenta características particulares que permiten suponer que la Dinámica de Sistemas es adecuada para abordar su estudio. Inicialmente se parte de la demografía empresarial de un territorio, que claramente está compuesta por flujos de entrada y salida de empresas y que afectan el nivel acumulado de empresas existentes en un determinado momento. Las condiciones del entorno condicionan la actividad emprendedora de diferentes formas según el tiempo de creación de la empresa, y además, se presenta realimentación y retardos en dicho sistema.

Para analizar las condiciones del entorno que afectan la creación de empresas, se parte de un diagrama causal inicial (ver Figura 3), basado en el proceso emprendedor del GEM. Un primer ciclo de balance (B1), basado en dicho proceso emprendedor del GEM, en el que los emprendedores potenciales, ante condiciones favorables, toman la decisión de crear su empresa, incrementando el total de nuevas empresas. Así mismo, un mayor número de nuevas empresas incrementa el total de empresas consolidadas y esto a su vez, incrementa el cierre de empresas, que disminuye el total de empresas nuevas (B2) y consolidadas (B3) y además envía señales negativas a los emprendedores potenciales, que podrían declinar sus intenciones de emprender con un aumento en el cierre de empresas.

do tiene en una sociedad determinada y el índice de creación de empresa de empresas (Reynolds et al., 1999). Algunos valores sociales que afectan la actividad emprendedora son: la independencia, la autonomía, la propensión al riesgo, entre otros. Las normas sociales y culturales también puede influir en el fenómeno emprendedor a través de la percepción de oportunidades empresariales (Verheul et al., 2001) influyendo en la motivación para emprender. Puede verse entonces que normas sociales y culturales favorables a la actividad emprendedora incrementan el total de emprendedores potenciales y el nivel de nuevas empresas y empresas consolidadas. Así mismo, las políticas y programas gubernamentales están condicionados por las normas sociales y culturales.

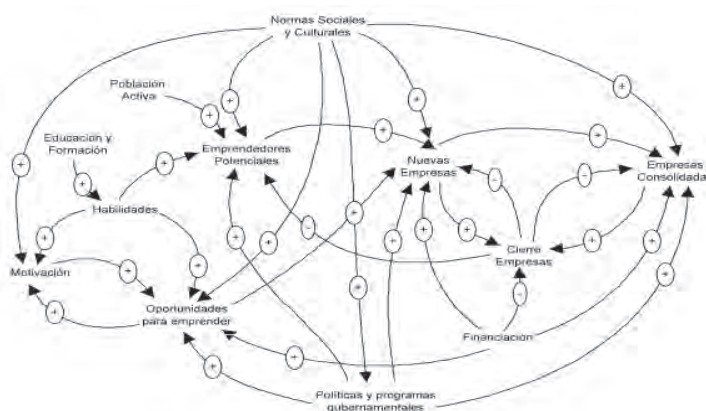


Figura 4: Diagrama causal¹
 Fuente: Elaboración propia

En este sentido, las políticas y programas gubernamentales de fomento a la actividad emprendedora pueden estar dirigidas a aspectos como la reducción de impuestos, apoyo a la internacionalización, capacitación laboral, apoyo a la innovación, fomento del espíritu emprendedor. De esta forma pueden tener un efecto positivo en las oportunidades para emprender, así como en el nivel de emprendedores potenciales que estarían dispuestos a poner en marcha su negocio. Además, el nivel de nuevas empresas y de empresas consolidadas también se incrementa.

Otra condición del entorno a considerar es el acceso a la financiación. En un estudio realizado con personas que contaban con una idea de negocio, pero que no habían decidido crear la empresa, van Auken (1999) encontró que las restricciones financieras eran el principal obstáculo. En este sentido, Bhave (1994) afirma que los recursos necesarios para iniciar una nueva empresa están, por lo general, fuera del alcance de la mayoría de nuevos empresarios. La falta de financiación podría ser, pues, una razón para que los poten-

¹ El uso de grandes modelos es usual en la Dinámica de Sistemas. Uno de los casos más conocidos es el modelo presentado al Club de Roma en el informe "Los límites al crecimiento", que analiza la evolución de variables agregadas a nivel mundial como la población, los recursos y la contaminación (Meadows, 1972).

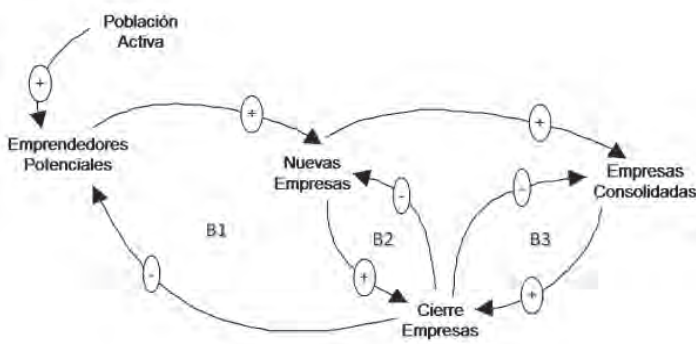


Figura 3: Diagrama causal del proceso emprendedor
 Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las condiciones del entorno para emprender (ver Figura 4), específicamente en referencia a las normas sociales y culturales, investigaciones previas han encontrado una correlación positiva entre el prestigio que el empresaria-

ciales emprendedores abandonen el proceso de creación de empresas (Blanchflower y Oswald, 1998). A su vez, diversos estudios han demostrado que las políticas orientadas a aumentar el acceso al crédito bancario mediante la disminución de requisitos de capital, creación de sociedades de inversión, créditos con reducidas tasas de interés, sistemas de garantía de crédito, entre otros, contribuyen a la creación de nuevas empresas (Gnyawali y Fogel, 1994). En esta línea, puede observarse en el diagrama causal que a más financiación (capital semilla, préstamos para iniciar el negocio, etc.), mayor número de nuevas empresas y mayor número de empresas consolidadas, al contar con los recursos financieros necesarios en la etapa de crecimiento. La financiación además, disminuye el cierre de empresas e incrementa la percepción de oportunidades para emprender.

Por otro lado, la literatura sostiene que habitualmente, los comportamientos de las personas estarían condicionados por sus conocimientos y habilidades. En particular, altos niveles de educación tienen un efecto positivo sobre la probabilidad de crear una empresa (Davidsson y Honig, 2003; Arenius y Minniti, 2005; De Clerq y Arenius, 2006), y por el contrario, un bajo nivel de habilidades en gestión y administración de empresas puede inhibir la actividad emprendedora (Davidsson, 1991; Gnyawali y Fogel, 1994). En términos generales, los individuos podrían estar más inclinados a tomar la decisión de crear una empresa si creen que cuentan con los conocimientos necesarios para llevar a cabo con éxito dicha actividad (Arenius y Minniti, 2005; Davidsson y Honig, 2003). En el diagrama causal se observa entonces que a más educación y formación en creación de empresas, más habilidades para emprender, mayor motivación y mayor percepción de oportunidades emprendedoras. Además, a más habilidades emprendedoras se incrementa el número de emprendedores potenciales.

En este modelo las variables son inicializadas a partir de los datos del informe GEM España 2002, mientras que los resultados del informe GEM España 2008 son utilizados

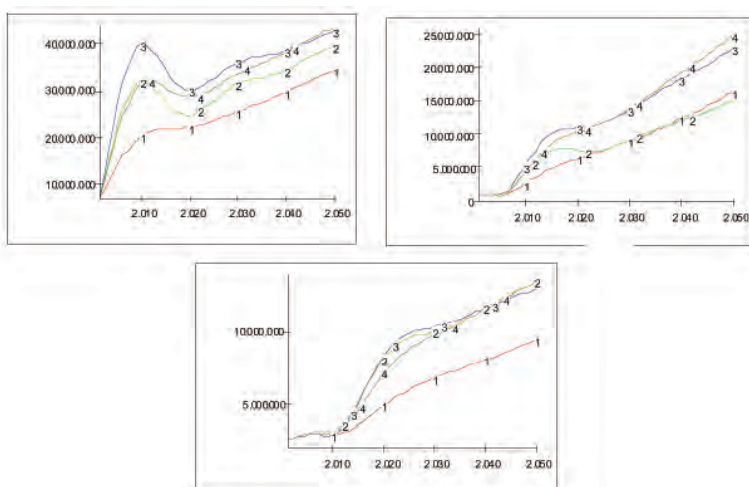


Figura 5: Resultados

Fuente: Elaboración propia

para una primera aproximación a la validación del modelo. El modelo de simulación se corrió para un periodo de 50 años con un paso de simulación anual.

4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS POLÍTICAS DE FOMENTO A LA ACTIVIDAD EMPRENDEDORA

El modelo general del Proyecto GEM propone que la creación de empresas requiere tanto de personas emprendedoras como de entornos favorables, específicamente evalúa nueve condiciones del entorno para emprender (ver Figura 1 anterior), así. Financiación, políticas gubernamentales, programas de gobierno, educación y entrenamiento, transferencia de I+D, infraestructura comercial y legal, apertura del mercado interno, acceso a infraestructura física y normas sociales y culturales. La metodología GEM evalúa estas condiciones del entorno a partir de entrevistas a expertos, quienes proporcionan valoraciones en escalas de 5 puntos sobre cada condición del entorno. Además, cada experto indica obstáculos y apoyos a la actividad emprendedora y recomendaciones de políticas públicas para el fomento de la actividad emprendedora.

En este trabajo, para evaluar el impacto de diferentes políticas de fomento a la actividad emprendedora, se plantean cuatro escenarios posibles (ver Figura 5), correspondientes a cuatro condiciones del entorno así:

Escenario 1. Se consideran los indicadores de las condiciones del entorno presentadas por el informe GEM 2002. Se parte del caso España y se simula que pasaría con la actividad emprendedora si en los siguientes 50 años se mantienen constantes las condiciones del entorno.

Escenario 2. Se simula un incremento en las normas sociales y culturales favorables al emprendimiento. Es decir, considerando que las otras condiciones del entorno permanecen constantes, con los mismos valores indicados por los expertos para España en el año 2002, se incrementa el valor de las normas sociales y culturales y se analiza que pasaría con el total de emprendedores potenciales, nuevas empresas y empresas consolidadas.

Escenario 3. Se supone un incremento en la educación en emprendimiento, manteniendo constantes las otras condiciones del entorno.

Escenario 4. Incremento en la financiación, bajo el supuesto de que las condiciones del entorno permanecen con los mismos valores dados por los expertos para España en el año 2002.

Como se muestra en esta figura, los resultados indican cambios considerables en el nivel de emprendedores potenciales, según el escenario planteado. En todos los casos se observa una tendencia creciente, con un pico hacia el año 2010, seguido de un descenso. Para entender dicho descenso, es necesario observar la gráfica de las nuevas empresas, don-

de puede verse que el descenso en el nivel de emprendedores potenciales indica que gracias a las condiciones del entorno favorables se incrementa el nivel de nuevas empresas, es decir que más individuos han tomado la decisión de iniciar su negocio. Se observa también que la política que más impacto tiene en el nivel de emprendedores potenciales es la educación en emprendimiento. Este resultado indicaría que si bien políticas como la financiación ayudan a tomar la decisión de emprender, a largo plazo la mejor política está relacionada con la educación, tal y como lo propone la OECD al afirmar que la educación es el primer y probablemente más importante paso para lograr una cultura innovadora en Europa (Wilson, 2008).

Siguiendo con el nivel de nuevas empresas, las políticas relacionadas con la educación y la financiación son las que tienen un mayor impacto, sin embargo, en el nivel de empresas consolidadas no se observan notables diferencias en estos dos escenarios. Si bien facilitar el acceso a la financiación es una medida necesaria, los resultados indican que la mejor política para el fomento de la creación de empresas es la educación para el emprendimiento, que permite cambios a largo plazo, mejorando las habilidades para emprender, la percepción de oportunidades y la motivación para crear empresa.

La figura relativa a las empresas consolidadas indicaría la necesidad de políticas gubernamentales específicas para esta fase del ciclo de vida empresarial. Por lo tanto, dado que la simulación indica un número de empresas consolidadas similar en los anteriores escenarios, podría decirse que no hay mucha diferencia en cuanto a las políticas aplicadas para el fomento de la creación de empresas, bien sea normas sociales, educación o financiación.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se evalúan, por medio de Dinámica de Sistemas, políticas de fomento a la actividad emprendedora, basadas en el modelo teórico GEM. El modelo de simulación se corrió para un período de 50 años con un paso de simulación anual, evaluando cuatro escenarios diferentes: un primer escenario base de condiciones del entorno, a partir de los datos del informe GEM 2002; un segundo en el que las normas sociales y culturales favorecen especialmente la actividad emprendedora; un tercer escenario de incremento en la educación para crear empresas y un último escenario donde aumenta la financiación.

Los resultados indican que las políticas que más impactan en la actividad emprendedora son la educación y la financiación.

Tradicionalmente el fenómeno emprendedor se ha analizado a partir de herramientas como la econometría, específicamente con datos del proyecto GEM se han propuesto modelos de regresión lineal múltiple (van Stel et al. 2007; Wennekers et al. 2005, entre otros), modelos *logit*, *probit* y *tobit* (Aidis et al. 2008; Arenius y Minniti 2005; Levie 2007, entre otros), y datos de panel; Levie y Autio 2008; Stephen

et al. 2009, entre otros). Sin embargo, considerando las múltiples relaciones no lineales del fenómeno emprendedor y la dificultad de estudiarlas con las técnicas estadísticas tradicionales, en este trabajo se propone la dinámica de sistemas, que es particularmente aplicable para entender el comportamiento de sistemas con causalidad compleja y tiempo (Davis et al., 2007). Así pues, puede verse que dicha herramienta es apropiada para el análisis de la actividad emprendedora ya que permite una visión dinámica de la estructura y la demografía empresarial y la realimentación entre las condiciones del entorno.

Algunas de las futuras líneas de investigación que se desprenden del presente estudio, apuntan a profundizar en las políticas de fomento, teniendo en cuenta aspectos como educación primaria, secundaria y universitaria, educación específica en gestión y administración de empresas; diferente financiación para las nuevas empresas y para las empresas consolidadas, y analizar diferentes programas gubernamentales por ejemplo la reducción de impuestos, la reducción de trámites, entre otros.

Así mismo, en futuras extensiones del presente trabajo, con la finalidad de dar mayor robustez al marco teórico utilizado, podría considerarse el enfoque institucional de North (1990 y 2005) distinguiendo en el contexto del Proyecto GEM y concretamente en las condiciones del entorno, los factores formales –tales como las políticas y procedimientos de gobierno, la educación en emprendimiento, la asistencia financiera y no financiera- de los factores informales –tales como las normas sociales y culturales- (Alvarez et al., 2011).

Por último, se propone comparar y complementar los resultados del modelo de dinámica de sistemas con modelos econométricos derivados de datos empíricos como el proyecto GEM.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aidis R, Estrin S, Mickiewicz T. "Institutions and entrepreneurship development in Russia: A comparative perspective". *Journal of Business Venturing*. 2008. Vol. 23-6, p.656-672.
- Alvarez C, Urbano D, Coduras A, Ruiz J. "Environmental conditions and entrepreneurial activity: A regional comparison in Spain". *Journal of Small Business and Enterprise Development*. 2011. Vol.18-1 p.120-140
- Alvarez C, Urbano D. "Una década de investigación sobre el GEM: logros y retos". *Academia Revista Latinoamericana de Administración*. 2011. 46 p.16-37
- Aracil J, Gordillo F. *Dinámica de Sistemas*. Alianza Editorial S.A., Madrid, 1997. 200p.
- Arenius P, Minniti M. "Perceptual Variables and Nascent Entrepreneurship". *Small Business Economics*. 2005. Vol.24-3 p.233-247
- Audretsch DB, Keilbach M. "Does Entrepreneurship Capital Matter?". *Entrepreneurship: Theory & Practice*. 2004. Vol.28-5 p.419-429

- Bhavé PB. "A Process Model of Entrepreneurial Venture Creation". *Journal of Business Venturing*. 1994. Vol.9 p.223-242
- Blanchflower DG, Oswald AJ. "What Makes an Entrepreneur?". *Journal of Labor Economics*. 1998. Vol.16-1 p.26-60
- Busenitz LW, West GP, Shepherd D, et al. "Entrepreneurship Research in Emergence: Past Trends and Future Directions". *Journal of Management*. 2003. Vol.29-3 p.285-308
- Carsrud AL, Johnson RW. "Entrepreneurship: A Social Psychological Perspective". *Entrepreneurship & Regional Development*. 1989. Vol.1 p.21-31
- Collins OF, Moore DG, Unwalla DB. *The enterprising man*. Michigan: MSU Business Studies, 1964. 254p.
- Davidsson P, Honig B. "The role of social and human capital among nascent entrepreneurs". *Journal of Business Venturing*. 2003. Vol.18-3 p.301-331
- Davidsson P. "Continued Entrepreneurship: Ability, Need and Opportunity as Determinants of Small Firm Growth". *Journal of Business Venturing*. 1991. Vol.6-6 p.405-429
- Davis JP, Eisenhardt KM, Bingham CB. *Developing theory through simulation methods*. *Academy of Management Review*. 2007. Vol.32-2 p.480-499
- De Clercq D, Arenius P. "The Role of Knowledge in Business Start-up Activity". *International Small Business Journal*. 2006. Vol.24-4 p.339-358
- Dyer I. *Dinámica de Sistemas y simulación continua en el proceso de planificación*. Bogotá: Colciencias, 1993. 160p. ISBN: 9789589037249.
- Gartner WB. "A Conceptual Framework for Describing the Phenomenon of New Venture Creation". *Academy of Management Review*. 1985. Vol.10-4 p.696-706.
- Gnyawali DR, Fogel DS. "Environments for Entrepreneurship Development: Key Dimensions and Research Implications". *Entrepreneurship: Theory & Practice*. 1994. Vol.18-4 p.43-62
- Levie J, Autio E. "A theoretical grounding and test of the GEM model". *Small Business Economics*. 2008. Vol.31-3 p.235-263
- Manolova TS, Eunn RV, Gyoshev BS. "Institutional Environments for Entrepreneurship: Evidence from Emerging Economies in Eastern Europe". *Entrepreneurship: Theory & Practice*. 2008. Vol.32-1 p.203-218
- Maula M, Autio E, Arenius P. "What drives micro-angel investments?". *Small Business Economics*. 2005. Vol. 25-5, p.459-475.
- McClelland DC. *The Achieving Society*. The Free Press, 1967. 532p. ISBN: 0-02-920510-7
- Meadows DH, Meadows DL, Randers J, Behrens III WW. *The Limits to Growth*. Universe Books, New York, 1972. 205p
- North DC. *Institutions, institutional change and economic performance*, 1990. Cambridge: Cambridge University Press. 192p. ISBN: 0-521-39734-0
- North DC. *Understanding the process of economic change*. 2005. Princeton: Princeton University Press. 208p. ISBN: 0-691-11805-1
- Parker SC. *The Economics of Self-Employment and Entrepreneurship*. United Kingdom: Cambridge University Press. 2004. 298p. ISBN: 0-521-82813-9
- Reynolds P, Bosma N, Autio E, et al. "Global Entrepreneurship Monitor: Data Collection Design and Implementation 1998-2003". *Small Business Economics*. 2005. Vol.24-3 p.205-231.
- Roper S, Scott JM. "Perceived financial barriers and the start-up decision: An econometric analysis of gender differences using GEM data". *International Small Business Journal*. 2009. Vol.27-2 p.149-171
- Shane S, Venkataraman S. "The promise of entrepreneurship as a field of research". *Academy of Management Review*. 2000. Vol.25-1 p.217-226
- Shaper A, Sokol L. "The social dimensions of entrepreneurship". En Kent CA, Sexton DL, Vesper KH (Eds.). *Encyclopedia of entrepreneurship* Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall. Inc. 1982. p.72-90.
- Stephen F, Urbano D, van Hemmen S. "The responsiveness of entrepreneurs to working time regulations". *Small Business Economics*. 2009. Vol.32-3 p.259-276
- Stermán JD. *Business Dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin/McGraw-Hill, 2000. 982p. ISBN: 978-0072389159.
- Steyaert C, Katz J. "Reclaiming the space of entrepreneurship in society: geographical, discursive and social dimensions". *Entrepreneurship & Regional Development*. 2004. Vol.16-3 p.179-196
- Thornton PH, Ribeiro-Soriano D, Urbano D. "Socio-cultural factors and entrepreneurial activity: An overview". *International Small Business Journal*. 2011. Vol.29-2 p.105-118
- Vaillant Y, Lafuente E. "Do different institutional frameworks condition the influence of local fear of failure and entrepreneurial examples over entrepreneurial activity?". *Entrepreneurship & Regional Development*. 2007. Vol.19-4 p.313-337
- van Auken HE. "Obstacles to Business Launch". *Journal of Developmental Entrepreneurship*. 1999. Vol.4-2 p.175-187
- van Stel A, Storey DJ, Thurik R. "The effect of business regulations on nascent and young business entrepreneurship". *Small Business Economics*. 2007. Vol.28-2,3 p.171-186
- Verheul I, Wenneker S, Audretsch DB, et al. "An eclectic theory of entrepreneurship: policies, institutions and culture". En Audretsch DB. (Ed.). *SMEs in the Age of Globalization*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2001, p.533-606.
- Wennekers S, van Stel A, Thurik R, et al. "Nascent Entrepreneurship and the Level of Economic Development". *Small Business Economics*. 2005. Vol.24-3 p.293-309
- Wilson K. "Entrepreneurship Education in Europe". En Potter J. (Ed). *Local Economic and Employment Development (LEED) Entrepreneurship and Higher Education*. OECD Publishing. 2008. p.119-137.

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

Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (BOE 29/07/2011)

Con la nueva ley de residuos y suelos contaminados, se transpone al ordenamiento jurídico interno, la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008, sobre residuos y se deroga la Ley 10/1998, de 21 de abril de Residuos, posibilitando la adaptación del marco legislativo en materia de residuos al derecho comunitario, así como la actualización y mejora del régimen previsto en la anteriormente vigente.

El objetivo de la ley es establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de residuos, así como la previsión de medidas para prevenir su generación y para evitar o reducir los impactos adversos, sobre la salud humana y el medio ambiente, asociados a la generación y gestión de los mismos. Igualmente, esta ley tiene por objeto regular el régimen jurídico de los suelos contaminados.

En el título I la ley además de introducir conceptos claves como “residuo doméstico”, “comercial” e “industrial”, “subproducto”, “fin de la condición de residuo”, “negociante”, agente”, “suelo contaminado” o “composta”, se establece una nueva jerarquía en el orden de prioridad en las actuaciones en la política de residuos:

- 1º Prevención (en la generación de residuos)
- 2º Preparación para la reutilización
- 3º Reciclado
- 4º Otros tipos de valorización (incluida la energética)
- 5ª Eliminación

Asimismo, se recoge que en los casos en los que se establezca, en aplicación de las normas de responsabilidad ampliada del productor del producto, los costes de la gestión de los residuos recaerán sobre el productor de los mismos o sobre el productor del producto, que con el uso se convierte en residuo.

Por último, en el citado título, la norma clarifica la distribución competencial existente en la ley anterior e

incluye la creación de una Comisión de coordinación en materia de residuos, como órgano de cooperación técnica y colaboración entre las distintas administraciones.

En el título segundo, se regulan los instrumentos de política de residuos, entre los que cabe destacar, los programas de prevención de residuos, que establecerán las medidas y objetivos de prevención.

El título III recoge tres capítulos dedicados a las obligaciones de los productores u otros poseedores iniciales de residuos, las obligaciones de los gestores de residuos y el régimen de comunicaciones y autorizaciones en materia de residuos.

Entre los objetivos que se establecen en la ley, cabe mencionar los siguientes:

- **Antes de 2015**, deberá estar establecida una recogida separada para, al menos, los materiales siguientes: papel, metales, plástico y vidrio.
- **Antes de 2020**, la cantidad de residuos domésticos y comerciales destinados a la preparación para la reutilización y el reciclado para las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, biorresiduos u otras fracciones reciclables, deberá alcanzar, en conjunto, como mínimo el 50% en peso.
- **Antes de 2020**, la cantidad de residuos no peligrosos de construcción y demolición destinados a la preparación para la reutilización, el reciclado y otra valorización de materiales, con exclusión de los materiales en estado natural definidos en la categoría 17 05 04 de la lista de residuos, deberá alcanzar como mínimo el 70% en peso de los producidos.

En cuanto al Régimen de autorización, en el capítulo II se indica, que quedarán sometidas al régimen de autorización por el órgano ambiental competente de la Comunidad Autónoma, donde estén ubicadas las instalaciones donde vayan a desarrollarse operaciones de tratamiento de residuos, incluido el almacenamiento en el ámbito de la recogida en espera de tratamiento, así como la ampliación, modificación sustancial o traslado de dicha instalación.

Asimismo, deberán obtener autorización las personas físicas o jurídicas, para realizar una o varias operaciones de tratamiento de residuos.

Por otro lado, deberán presentar una comunicación previa al inicio de sus actividades, ante el órgano ambiental competente de la Comunidad Autónoma donde estén ubicadas, las entidades o empresas que se encuentren en alguno de los supuestos siguientes:

- instalación, ampliación, modificación sustancial o traslado de industrias o actividades, que produzcan residuos peligrosos o que generen más de 1000 t/año de residuos peligrosos
- realización de actividades que estén exentas de autorización, por ser entidades o empresas que llevan a cabo la eliminación de sus propios residuos no peligrosos en el lugar de producción o que valorizan residuos no peligrosos.

Además, deberán presentar comunicación previa al inicio de sus actividades, las entidades o empresas que recojan residuos sin una instalación asociada, las que transporten residuos con carácter profesional y los negociantes o agentes.

Por otro lado, dicho título cuarto regula el régimen de los traslados de residuos en el interior del territorio del Estado, es decir, el transporte de residuos desde una Comunidad Autónoma a otra, para su valorización o eliminación, así como la entrada y salida de residuos del territorio nacional.

El título V, contiene la regulación de suelos contaminados, en la que se matiza la determinación de los sujetos responsables de la contaminación de los suelos de la siguiente manera: estarán obligados a realizar las operaciones de descontaminación y recuperación, los causantes de la contaminación, que cuando sean varios responderán de estas obligaciones de forma solidaria y, subsidiariamente, por este orden, los propietarios de los suelos contaminados y los poseedores de los mismos.

Por último, el título VI se dedica al Registro e información sobre residuos y el título VII a la responsabilidad, vigilancia, inspección y control, así como el régimen sancionador.

<http://www.boe.es/boe/dias/2011/07/29/pdfs/BOE-A-2011-13046.pdf>

Proyecto de Real Decreto de fondo de carbono para una economía sostenible

La Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible crea, en su artículo 91, un fondo para la compra de créditos de carbono adscrito a la Secretaría de Estado de Cambio Climático, con el objeto de generar actividad económica baja en carbono y contribuir al cumplimiento de los objetivos, sobre reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asumidos por España.

Por lo tanto, el objeto del presente proyecto de Real Decreto es desarrollar y dar concreción a lo dispuesto en el artículo

91 de la Ley de Economía Sostenible, de cara a una efectiva puesta en funcionamiento del fondo.

El Real Decreto está dividido en tres capítulos y tres disposiciones finales:

El primer capítulo contiene una serie de disposiciones generales, que establecen la denominación y los objetivos del fondo.

El capítulo II recoge las normas que regirán las operaciones del fondo.

El fondo se dedicará con carácter prioritario a la adquisición de créditos de carbono, si bien, también se prevé que puedan ser financiados, a cargo de las dotaciones del fondo, los gastos de tipo administrativo en que pueda incurrir.

Asimismo, el Real Decreto pretende hacer del fondo un instrumento flexible, que pueda efectuar cualquiera de las diferentes figuras jurídicas que se dan de manera habitual en los mercados de carbono, tanto de adquisición como de enajenación, por lo que tendrá la capacidad de realizar sus operaciones, a través de cualquier negocio jurídico habitual en derecho.

El capítulo II también regula los aspectos financieros del Fondo y, por último, el capítulo III está dedicado a los aspectos organizativos del mismo.

Borrador de Real Decreto del Fondo de Carbono para una Economía Sostenible-Participación pública- Cambio climático- Participación pública- Marm.es



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
- 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
- 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
- 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
- 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-tetd-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.



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CEPADE

**INDUSTRIALES
ESCUELA DE NEGOCIOS**

Universidad Politécnica de Madrid

PROGRAMAS MBA y MASTER ESPECIALIZADOS*

[Profesional y Executive]

Español o Inglés

- Presencial
- Semi Presencial
- On Line



* Títulos y Diplomas Propios de la UPM

Matrícula Abierta



On Line

www.cepade.es

Tel.: +34 91 456.27.95

infocepade@cepade.es

C/Dr. Federico Rubio y Gali, 11 28039 Madrid



Presencial y Semipresencial

www.ienpolitecnica.es

Tel +34 91 336.41.58

info@ienpolitecnica.es

C/ José Gutierrez Abascal, 2 28006 Madrid

Instituciones colaboradoras:

- POLIMI, Politecnico di Milano (Italy)
- KTH - Royal Institute of Technology (Sweden)
- ESCP Europe Ecole Supérieure de Commerce de Paris (France)