



TEMPERATURA ESTÁTICA DE UN POZO DE PETROLEO

¿Qué método utilizar para su estimación?

BARRIDO EN MOTORES DE DOS TIEMPOS

Estudio de mecánica de fluidos computacional

CONDENSADORES DE CENTRALES TÉRMICAS

Localización de entradas de aire

VEHÍCULOS HÍBRIDOS DE TRANSPORTE URBANO

Requerimientos energéticos

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

Descomposición térmica catalítica de metano

MÁS ALLÁ DE TAYLOR

Sistemas de mejora continua y el despilfarro

INGENIERÍA SOSTENIBLE DE LA CUNA A LA CUNA

Arquitectura de referencia abierta para el diseño

EDIFICIO PETER

Construcción bioclimática e integración de energías renovables

INGENIERÍA EN LA MEDICINA

Obtención de datos geométricos





HiDry⁷², transformador seco para distribución segura y eficiente en altas tensiones (63 MVA / 72,5 kV)



Como líder mundial en tecnologías eléctricas y de automatización, ABB invierte continuamente en la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que permiten transportar y distribuir energía eléctrica de forma cada vez más eficiente y segura. Fruto de esta investigación, y de sus más de 30 años de experiencia fabricando transformadores secos, surge la nueva gama de transformadores de hasta 63 MVA y 72,5 kV de nivel de aislamiento, una nueva alternativa ecológica, segura y rentable para aquellas aplicaciones que precisan de altas potencias y tensiones, ya sean instalaciones industriales, plantas de generación eléctrica o edificios y subestaciones eléctricas urbanas. www.abb.es

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 Izkué 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 Azipiazu Canivell (Iberdrola - Bilbao)
Vicepresidente: Leopoldo Espolita Carreño (Asociación de Asturias y León - 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 Guijarro 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 Fundación 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), **Emilio Ollas Ruiz** (Universidad Carlos III - Madrid), **Eva Martínez Caro** (Universidad Politécnica de Cartagena - Cartagena), **Javier Santos García** (Universidad de Navarra - San Sebastián), **Jorge Arturo Del Ángel Ramos** (Universidad Veracruzana - Veracruz, México).

DIRECCIÓN

José María Hernández Álava

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 (Tecnum), ETS de Cartagena, ETS de Terrassa, EPS de la Universidad de Mondragón, EPS de Girona, ETS de Santander, ETS de Valencia, EPS Córdoba, EPS Elche, Universidad Rovira i Virgili, Universidad de Huelva.

© 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(20110401)86:2<1.0.TX;2-N
CODEN: DYNAAU

Tirada de este número: 4.950 (papel) y 23.994 (digital)
Ejemplares vendidos: 4.874 (papel) y 23.994 (digital)

ORGANIZACIONES COLABORADORAS

CEIT-IK4, Euskalit, Tecnalia, ITEC, ITE

ORGANIZACIONES AMIGAS DE DYNA

Iberdrola y SP Mutua

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	
Tirada 2009 justificada por OJD: 17.055		
Revista digital (http://www.revistadyna.com)		
Banner de 180x60 pixels (mínimo 7 días).....	20 €/día	
Banner exclusivo superior de 700x80 pixels (mín.7 días).....	80 €/día	
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

Abril - Mayo 2011



- 126 DYNA hace 80 años
- 128 Noticias Breves
- 130 Sociedad e Ingeniería Industrial
- 134 Evolución
- 136 Aula DYNA
- 141 Noticias
- 152 Colaboraciones
- 241 Desarrollo Sostenible

158



¿QUÉ MÉTODO UTILIZAR PARA ESTIMAR LA TEMPERATURA ESTÁTICA DE UNA FORMACIÓN DE PETRÓLEO?

WHICH METHOD TO USE FOR ESTIMATING THE STATIC FORMATION TEMPERATURE OF A PETROLEUM RESERVOIR?

Javier Rodríguez-Martín, Ignacio López-Paniagua, Ángel Jiménez-Álvaro, Rafael Nieto-Carlier

165



MODELO DE MECÁNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL PARA EL PROCESO DE BARRIDO EN UN MOTOR OTTO DE DOS TIEMPOS

COMPUTACIONAL FLUID DYNAMICS MODEL TO STUDY THE SCAVENGING PROCESS IN A TWO STROKE OTTO ENGINE

María Isabel Lamas-Galdo, Carlos Gervasio Rodríguez-Vidal, Juan de Dios Rodríguez-García, Manuel Vicente Fernández

173



LOCALIZACIÓN DE ENTRADAS DE AIRE EN CONDENSADORES DE CENTRALES TÉRMICAS MEDIANTE EL TEST DE HELIO

LOCATION OF AIR IN-LEAKAGE IN POWER PLANTS CONDENSERS BY HELIUM TEST

Francisco Manzano-Agugliaro, Javier Carrillo-Valle

182



REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS DE TRANSPORTE URBANO DE ALTO TONELAJE

ENERGETIC REQUIREMENTS OF HEAVY DUTY URBAN TRANSPORT HYBRID VEHICLES. ANALYSIS ON URBAN BUS AND WASTE COLLECT CASES IN TERMS OF USE AND ELECTRIFICATION DEGREE.

José María López-Martínez, Felipe Jiménez-Alonso, Nuria Flores-Holgado, Daniel Resino-Zamora

190

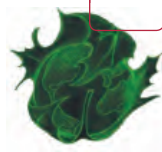


PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA CATALÍTICA DE METANO EN REACTORES ROTATIVOS

HYDROGEN PRODUCTION BY MEANS OF CATALYTIC THERMAL DECOMPOSITION OF METHANE IN ROTARY REACTORS

Mikel Belsué-Echeverría, Ainhoa Unzurrunzaga-Iturbe, Susana Pérez-Gil, Aitziber Olano-Olarra, Jon Zuñiga-Palacio

199



INGENIERÍA SOSTENIBLE DE LA CUNA A LA CUNA: UNA ARQUITECTURA DE REFERENCIA ABIERTA PARA EL DISEÑO C2C

SUSTAINABLE ENGINEERING BASED ON CRADLE TO CRADLE MODEL: AN OPEN ARCHITECTURAL REFERENCE FOR A C2C DESIGN

María Estela Peralta-Álvarez, Francisco Aguayo-González, Juan Ramón Lama-Ruíz

212



EDIFICIO PETER: UN EJEMPLO DE CONSTRUCCIÓN BIOCLIMÁTICA Y DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

PETER BUILDING: AN EXAMPLE OF BIOCLIMATIC BUILDING AND INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGIES INTO THE EDIFICATION

Fernando López-Rodríguez, Francisco Cuadros-Blázquez, Cosme Segador-Vegas, Antonio Ruiz-Celma, Justo García Sanz-Calcedo, Ángel Mena-Nieto, Silvia Soutullo-Castro, Emanuela Giancola, José Antonio Ferrer-Tevar, M^a Rosario Heras-Celemín

222



OBTENCIÓN DE DATOS GEOMÉTRICOS EN IMAGEN MÉDICA

GEOMETRIC DATA COLLECTION IN MEDICAL IMAGING

Alberto Higuera-Garrido, Pablo Pando-Cerra, Aquilino Osorio-Zapico, María Dolores García-López

232



LOS SISTEMAS DE MEJORA CONTINUA Y EL DESPILFARRO: LA CONTINUACIÓN DE LA OBRA DE TAYLOR

THE CONTINUOUS IMPROVEMENT SYSTEMS AND THE WASTE: THE CONTINUATION OF TAYLOR'S WORK

Luis Paipa-Galeano, Mari Carmen Jaca-García, Javier Santos-García, Elizabeth Viles-Diez, Ricardo Mateo-Dueñas

DYNA hace 80 años (marzo - abril 1931)

Debate en las páginas de DYNA

En enero de 1930 se publicó en DYNA una...

NOTA RELATIVA AL SISTEMA DE LÍNEA DE CONTACTO DEL Sr. PONTECORBO

Los Ferrocarriles Vascongados han montado un sistema de líneas de corriente auto-compensadas proyectado por el ingeniero italiano Sr. Pontecorbo. Aunque “*constituye una solución original al problema de la compensación de los efectos de las variaciones de temperatura... y los resultados obtenidos hasta ahora parece que son completamente satisfactorios, ... existe un punto de cruce en que el hilo de trabajo pasa a ser sustentador y viceversa ... En esas condiciones es de temer el desgaste local prematuro de los hilos de la línea*”.

“*Consideramos, por tanto, del mayor interés la inspección de los hilos en los puntos de cruce... para poder juzgar de la bondad de este sistema*”.

CARLOS LAFFITTE

Respuesta de marzo de 1930

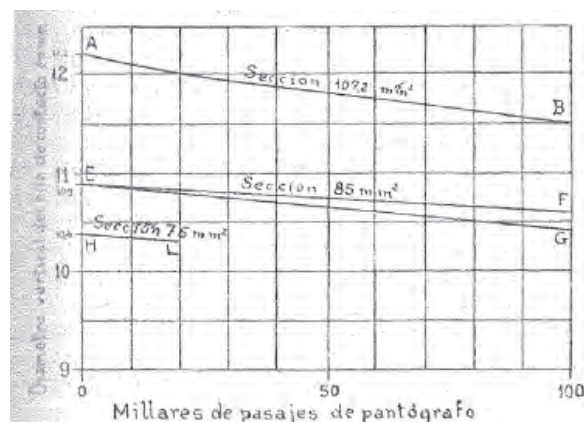
OBSERVACIONES AL ARTÍCULO DEL Sr. LAFFITTE RELATIVO AL SISTEMA PONTECORVO DE LÍNEA DE CONTACTO

Responde el proyectista del sistema a los temores manifestados por la NOTA anterior, en el sentido de que aunque “*el período de explotación ha sido relativamente corto hasta la fecha, ... los datos y medidas recogidos son suficientes para eliminar las dudas o temores*” sobre desgastes prematuros de los hilos de la línea en los cruces formados por dos sistemas de catenaria.

Además, al haber sufrido en ese período temperaturas extremas de +42° y -9° C, cercanas a las de cálculo, “*no se ha constatado en el sistema auto-compensado ninguna clase de inconveniente*”.

Con los 20.000 pases de pantógrafo tenidos aproximadamente, se ha podido elaborar la figura, en la que se compara el desgaste de hilo en los ferrocarriles Vascongados (HL de 75 mm²) con los de otras líneas (AB de 107,2 mm² y EF o EG de 85 mm²).

Se estima que la incidencia en el desgaste puede provenir más de la esmerada disposición de los hilos en esos cruces y las chispas que se producen por la flexibilidad y calidad del hilo y del pantógrafo, por lo “*que serían sumamente apreciados aparatos más ligeros, de mayor sensibilidad y menos perjudiciales a la buena conservación de las líneas*”.



LELLO PONTECORVO

Para la historia:

EXTRACTO DEL EDITORIAL DEL MES DE ABRIL

Fecha histórica

El 14 de abril de 1931, al fenecer las regalias de la corona, desaparece ésta de nuestros atributos.

Ahora como antes, ante la realidad de los hechos, nos corresponde el acatamiento a los poderes constituidos. Nosotros no somos de nadie, nos pertenecemos al trabajo industrial y a quien sepa velar por él, conduciendo a nuestra patria al progreso y al bienestar.

Pero en un momento transcendental como éste, cuando se derrumban quince siglos de tradición monárquica, permítasenos un examen de conciencia ciudadana, que si tiene algo de político, es porque en la gobernación del Estado y en nuestra actuación pesa, sobremedida, el factor económico-social.

Nuestro brío en la sustentación de todo esto, dentro del acatamiento, ponemos al servicio de la nueva República.

LAS EMPRESAS DEL CONOCIMIENTO COMO ORGANIZACIONES DE FUTURO

Aunque es frecuente hablar del conocimiento que las empresas poseen y de la creación de valor como objetivo de toda empresa, existen grandes márgenes en la interpretación de estos términos.

Podemos entender que la innovación es la aplicación de conocimiento en el proceso de generar nuevas ideas, productos, servicios..., asimilables por el mercado actual o futuro. Esto ocurre en todas las empresas y consecuentemente, todas ellas lo son del conocimiento, pero sin duda hay grandes diferencias entre unas y otras en la forma en que lo utilizan. *Nos referimos a empresas, cuyo funcionamiento dependen en gran medida de la existencia de flujos muy activos de conocimiento entre los diversos agentes internos y externos.*

Dado que el conocimiento fluye entre las personas, este tipo de empresas necesitan que sus estilos de relación interpersonal reúnan unas características singulares. Hablamos del talento en la empresa, de su atracción y despliegue en la organización, cuando el conocimiento y las actitudes determinan los procesos más importantes o aquellos en los que se construye valor para los clientes.

Las empresas del conocimiento se construyen o destruyen según la forma en que gestionan el talento en sus múltiples aspectos, tales como los modelos organizativos dinámicos, los vínculos profesionales que establecen entre personas distantes, en el valor de la experimentación y en la capacidad de adquirir riesgos y aprender de los errores.

Estos entre otros, son factores que determinan su capacidad de adaptación y respuesta proactiva a los cambios externos. La organización orientada al talento y al conocimiento:

- Absorbe con rapidez cambios en el mercado, observa y diseña oportunidades
- Es capaz de anticipar cambios y generar nuevas líneas de trabajo en investigación y nuevas aplicaciones para ellos
- Dispone de un alto poder de integración de conocimientos propios y ajenos, demostrando apertura y orientación a lo nuevo
- Mantiene con facilidad enlaces externos de los que obtiene elementos o componentes que completan capacidades propias.

Y estas condiciones de respuesta de la organización al contexto externo, se producen cuando en los principios, criterios de decisión y agrupación de recursos para la acción se dan las siguientes características:

- **Flexibilidad organizativa.** Requiere diversidad de modalidades en las pautas de relación entre sus agentes: tipos de contratos, de relación laboral...
- **Experimentación y evaluación.** En la organización flexible, existen situaciones experimentales en las que se evalúan resultados para llegar a conclusiones generalizables de cosas nuevas que funcionan.
- **Simplicidad.** El avance con rapidez requiere simplificación y no complejidad innecesaria.
- **Alineamiento.** No es posible una ligereza en la estructura y velocidad en la misma si no existen vínculos mentales y emocionales sólidos entre los miembros de la organización.
- **Conocimiento.** La forma en la que la organización elabora el conocimiento y se provee del mismo situándolo en los focos de oportunidades y problemas determina la calidad de las respuestas y decisiones que genera.
- **Trabajo en red.** La cohesión de los nodos internos debe crearse alrededor de proyectos, de clientes, proyectos de innovación, procesos de servicio, que interactúan con otros nodos lejanos a través de vínculos personales que permiten canalizar necesidades, capacidades, soluciones, valor, etc.

Todas estas características van asociadas a las empresas del conocimiento y su diferenciación con las demás, no está tanto en el producto, servicio, o proceso que manejan, sino en **cómo** lo hacen. En estas empresas destaca la forma especial de acompañar a las personas en su desarrollo profesional y personal. Basan su atracción en la calidad del conocimiento que desarrollan, en la valoración del trabajo en conjunción con otros saberes, donde los intangibles toman la delantera a los tangibles, sin olvidar ninguno de ellos, y donde la autonomía y madurez de las personas forma el sustrato de las relaciones profesionales.

Las empresas del conocimiento son las empresas del futuro, del nuevo modelo económico. Existen entre nosotros en todos los sectores. Son empresas que basan su diferenciación en la aplicación de conocimientos en oportunidades emergentes, a través de personas con ilusión, comprometidas y generadoras de valor, que despliegan su talento, en espacios de mayor libertad, responsabilidad y apertura mental.

Es en esta faceta organizativa transformadora, donde el **ingeniero industrial** tiene formación y experiencia para la implantación de los requisitos que produzcan el cambio en nuestras organizaciones. En los últimos años, nuestra revista DYNA ha venido aportando entre sus contenidos experiencias reales de buenas prácticas que han servido de "hoja de ruta" para las empresas que decidan iniciar esta transformación tan necesaria.



► NUEVOS MOTORES MAZDA

Entre los escasos fabricantes de automóviles que no abordan las tecnologías de tracción eléctrica híbrida, plug-in o pila de combustible, se encuentran los japoneses de **MAZDA** que aseguran haber llegado a disponer de motores de combustión con una economía sobre los diseños actuales del 30% en el consumo de combustible.

Esta generación de motores con inyección directa de gasolina, estará dotada de la mayor relación de compresión para vehículos comerciales (14.0:1). Esto hace también que proporcione mayor par, especialmente a velocidades medias y bajas de marcha, lo que facilitará la conducción en ciudad.

Aunque puede disponer de cambios manuales, una nueva transmisión automática con seis velocidades, reduce el consumo del 4 al 7%. La estructura del vehículo será igualmente un 8% más ligera con mayor resistencia. Con los futuros avances asegura que unos 4 l / 100 km es un objetivo alcanzable.

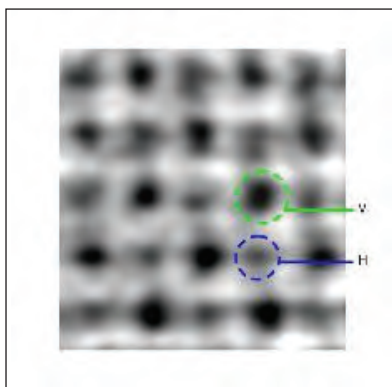
► EL PROYECTO AZIMUT

El Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) apoyará este Proyecto formado por un consorcio de 11 empresas y 22 centros de investigación, cuya primera fase finalizará en 2013 y la segunda en 2020, con una inversión total de 25 millones de euros.

El Proyecto AZIMUT-Energía Eólica

Offshore 2020 pretende en la primera fase sentar las bases de conocimiento para este tipo de generación energética y disponer de un campo de pruebas propio, probablemente en la costa de Tarragona, cerca del Delta del Ebro, que pueda estar operativo a partir de 2014. Al mismo tiempo facilitar que cada empresa sea capaz de desarrollar prototipos de hasta unos 7 MW.

La segunda fase y objetivo final es, si los mercados lo requieren, ser capaces de diseñar un aerogenerador marino de 15 MW, doble potencia de los que actualmente se están probando en el mundo. Este aparato alcanzaría una altura de unos 120 m sobre el nivel del mar, con palas de unos 80 m de longitud.



► ÁTOMO DE HIDRÓGENO VISIBLE

Investigadores de la Escuela de Ingenieros de la Universidad de Tokio, junto con otros centros japoneses han conseguido observar directamente el átomo de hidrógeno, el más pequeño de todos los elementos existentes, con peso atómico 1 y diámetro de unos 0,1 nm (1 angstrom).

Esta observación se llevó a cabo estudiando cristales de hidruro de vanadio, material en investigación dentro de los metales potencialmente capaces de almacenar hidrógeno.

La posibilidad de una observación directa hace esperar que acelere el desarrollo de tecnologías para mejorar las técnicas de ese almacenamiento,

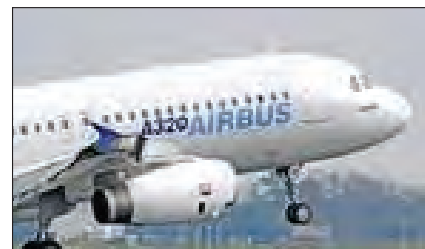
necesarias para avanzar en su uso como combustible.

► LAS TIERRAS RARAS ESCASEAN

En todo el mundo se investiga para encontrar alternativa a los materiales conocidos como “tierras raras”, cuyo empleo es crucial para un gran número de componentes para las nuevas tecnologías. Entre los 17 elementos que forman esta familia, los hay desde el terbio usado en las pantallas planas hasta el neodimio para imanes permanentes.

Aunque pueden encontrarse en todo el mundo, la realidad es que, quizá por los bajos costes o menores exigencias medioambientales, el 90% de su obtención se hace en China y diversos planteamientos económicos o políticos han hecho generar una escasez cada vez mayor.

Esta situación, que al final se traduce por aumento de los precios, será permanente a medio plazo, pues la obtención de alternativas puede llevar varios años y el reciclaje de componentes agotados conteniendo estos elementos, aun no supone aportación importante.



► BIOCOMBUSTIBLE EN UN AIRBUS

Un AIRBUS A320 con turbinas CFM56, de la compañía brasileña TAM Airlines, realizó un vuelo de 45 minutos en noviembre del pasado

año, partiendo de Rio de Janeiro, con un combustible mezcla al 50% de queroseno convencional y bio-queroseno obtenido de aceite de jatropa.

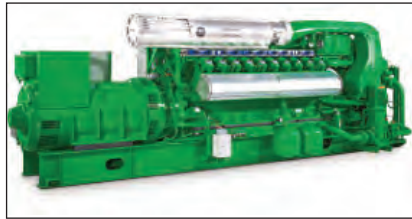
La jatropa es un arbusto de semillas oleaginosas no comestibles que se da en terrenos no aptos para otra forma de agricultura, y aunque todavía no se ha tecnificado su cultivo, parece presentarse como la fuente más productiva de biocombustibles.

Las pruebas, aprobadas tanto por los constructores del aparato, como de la turbina, siguen a las realizadas en 2009, también por AIRBUS en Qatar utilizando una mezcla al 50% de queroseno convencional y queroseno obtenido a partir de gas natural (GTL o Gas-to-Liquid).

► NUEVO INOXIDABLE DUPLEX

La multinacional finlandesa **OUTOKUMPU** especializada en aceros laminados resistentes a la corrosión ha presentado un nuevo tipo del grupo llamado "dúplex" por tener en su estructura austenita y ferrita prácticamente en iguales proporciones. Este acero, que ha denominado LDX 2404, permitirá, debido a su elevada resistencia a la corrosión común, por picaduras y por fatiga, así como por sus mejores características mecánicas, una considerable reducción en el dimensionado de estructuras resistentes (tanques, tuberías, etc.).

Con un contenido en C menor de 0,02%, conlleva el 24% de Cr, 3,6% de Ni, 1,6% de Mo, 3% de Mn y 0,27% de N. El menor contenido en Mo hace que se reduzcan las posibilidades de precipitación de fases indeseables intermetálicas y el elevado N facilita la re-austenización de las zonas soldadas afectadas por la temperatura.



► ENERGÍA DE LOS EXCREMENTOS

El rápido crecimiento del consumo para productos antes inusuales en China, como la leche o la carne de bovino, ha hecho aparecer gigantescas áreas dedicadas a su producción masiva. En el área de Shenyang, por ejemplo, se crían unas 250.000 reses, que precisan la reposición mensual de 3.000 procedentes de Australia.

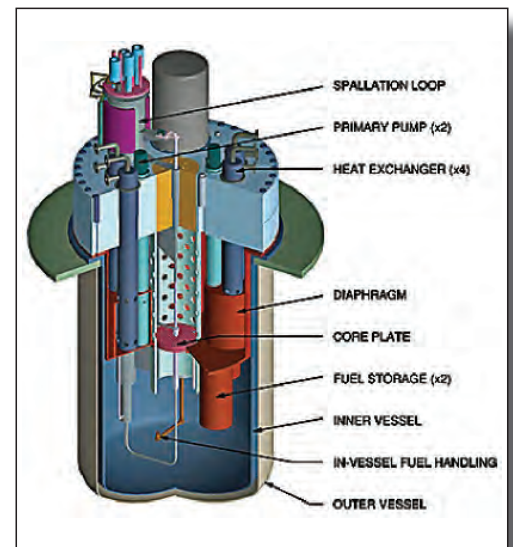
Con los excrementos de 60.000 de ellas se ha iniciado la producción de electricidad por medio de su digestión anaeróbica para obtener biogás que contiene aproximadamente el 60% de metano. A través de un proceso de hidrodesulfuración se elimina el sulfuro de hidrógeno y el gas limpio se utiliza como combustible en unos motores GE Jenbacher especialmente diseñados, con los que mueven alternadores con una potencia total de 5,6 MW.

► METANO DEL BIOGÁS

Para la separación del metano (50 a 70%) del resto de gases componentes del biogás, la empresa noruega **MemoACT** ha desarrollado una membrana que une una elevada selectividad con alto rendimiento. Esta membrana trabaja a alta presión y una temperatura de 500°, por lo que consigue un rendimiento superior a las actuales de material plástico y permite su aplicación en instalaciones de pequeña escala. Se estima que en Europa, un buen aprovechamiento de los residuos biológicos representa una reserva energética de una 400 TWh anuales.

► TRATAR LA BASURA NUCLEAR

La prolongación de la vida de las centrales nucleares en USA, Alemania y otros países reanima el debate sobre el almacenaje de los residuos de alta actividad o de su transmutación a sustancias de vida radioactiva más corta. Sin embargo, la posibilidad a gran escala de esa operación aun se ve lejana.



El **Proyecto MYRRHA** de la UE y desarrollado en Bélgica pretende la construcción de un reactor piloto de entre 50 y 100 MW que combine un acelerador de protones de 600 MeV dotado con una diana para espalación de neutrones que bombardearían en el núcleo refrigerado por Pb-Bi, los combustibles gastados. De ese modo el uranio, plutonio, americio y curio contenidos se transformarían en isótopos de vida más corta.

Los estudios y diseño se llevarán a efecto hasta 2014, la construcción entre 2015 y 2019, las pruebas de 2020 a 2023, de forma que estuviese completamente operativo en 2014.

► CONCLUSIONES DE LA CLAIU-EU CONFERENCE 2011

Roma acogió, durante los días 11 y 12 de febrero, la CLAIU-EU Conference “*The Formation of the Engineer – International Models*”, organizada por la Facultad de Ingeniería de la Università Sapienza, el Consejo Nacional de Ingenieros Italianos y CLAIU-EU (Council of Association of Long Cycle Engineers: la organización europea que integra a las Asociaciones Nacionales de Ingenieros de Ciclo Largo).

Una significativa delegación española integrada por **Alejandro Marín** (representante del IIE en CLAIU), **Juan Blanco** (Secretario Técnico del Consejo General/FAIIE), **José Pérez** (Subdirector de la ETSII-UPCT), **Antonio Muñoz** (Subdirector de la ETSII-ICAI) y **Luis Manuel Tomás Balibrea** (Presidente de la Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de España) -todos ellos vinculados a la Ingeniería Industrial, pese a que la información de este evento se distribuyó desde el IIE a todas las Asociaciones de las Ingenierías Superiores-, evidenciaba el interés real que, tanto en nuestra profesión como en nuestras Escuelas, suscita esta cuestión.

La temática elegida para este año se centraba en confrontar, con la exposición de casos concretos, los modelos formativos europeo y americano del Ingeniero profesional. Un perfil que, mientras en Europa se alcanza tras completar estudios universitarios de Máster en Ingeniería de, al menos, 5 años de duración, en los países firmantes del Acuerdo de Washington, tras la obtención de una formación académica de nivel de Grado de 4 años de duración, se requiere un periodo de trabajo en la industria, de aproximadamente 4 años, en el desempeño de competencias profesionales.

Intervenciones que fueron muy interesantes pues, además, permitieron constatar la inexactitud de algunos de los “dogmas” que en España se manejan continuamente sobre la realidad de la ingeniería europea:

- **“La singularidad española de ser uno de los países con uno de los más altos grados de regulación de la actividad profesional”**: Afirmación incierta, como lo demuestra el hecho de que en EEUU, al que nuestros dirigentes políticos siempre aluden como ejemplo de liberalización, cualquier ingeniero, para ejercer profesionalmente, precisa la superación de un EXAMEN DE CONOCIMIENTOS. Pero, además, la superación de dicho examen tan solo facilita la actuación profesional en el Estado en que se supera la prueba. Sistema de acreditaciones que, a diferencia de España, existe en la práctica totalidad de los países de la UE y, desde luego, en ninguno de ellos, el modelo que parece guiar la futura Ley de Servicios

Profesionales de que todos los ingenieros valgan para todo. Es más, los comentarios informales que sobre la cuestión se mantuvieron con representantes de otros países causaron perplejidad.

- **“La singularidad española de ser el único país de Europa en donde coexisten dos niveles de ingeniería (técnica y superior)”**: Afirmación incierta, pues en los países europeos no es que existan claramente diferenciados dos niveles de ingeniería, sino que, en algunos, existen hasta tres. Si bien en ellos, a diferencia de España, no existe tanta confusión con las denominaciones pues el término INGENIERO se reserva para quienes tienen una formación con una gran base científica y tecnológica, orientada a formar la élite intelectual que requiere el país -no formando en número simplemente por formar-, con verdadera capacidad ingenieril para diseñar y dirigir proyectos y procesos novedosos, complejos y/o interdisciplinarios. La mera aplicación de técnicas y soluciones de ingeniería ya conocidas, la realización de cálculos sistemáticos, o la aplicación de reglamentos y normativas es la función que desempeñan quienes ocupan un nivel equivalente al de INGENIERIA TECNICA de nuestro país. Nivel que, en algunos países, se encuentra a su vez desagregado en dos.
- **“El que en toda la UE -salvo en España-, tras el proceso de Bolonia, las atribuciones profesionales para el ejercicio de la profesión de ingeniero se obtienen tras la superación de un Grado de entre 180 y 240 créditos”**: Afirmación incierta por cuanto en la mayoría de países europeos no solo es que ha optado por considerar que al ejercicio profesional de la INGENIERIA tan sólo pueda accederse tras la superación de una formación de nivel de MASTER, sino que, en muchos de ellos, a pesar de haberse implantado un modelo de GRADO+MASTER similar al nuestro, la imposibilidad para incorporar en 3 o 4 años la formación básica científico-tecnológica que requiere un INGENIERO y las tecnologías propias de una especialidad, han llevado a que:
 - La gran mayoría de países estén concluyendo la inviabilidad, el fracaso y la devaluación que está suponiendo el modelo de GRADO + MASTER para la formación de un INGENIERO, existiendo propuestas sobre la conveniencia de abandonar el modelo de Bolonia.
 - Muchos países, a pesar de haber estructurado sus estudios de ingeniería en el modelo GRADO+MASTER, han acabado recurriendo finalmente a la fórmula del MASTER INTEGRADO para la formación de sus INGENIEROS.

Ingeniería Industrial

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

De ahí que exista un cada vez mayor número de países que empiecen públicamente a compartir y manifestar la inviabilidad de la estructura derivada de Bolonia para la formación de ingenieros. Significativo resultó que la propia Ministra de Universidades e Investigación de la República Italiana (**Mariastella Gelmini**) incluyera, en una carta remitida a todos los asistentes a la CLAIU-UE, el siguiente párrafo: *“The empiric experience demonstrates that the 3+2 study cycle, replacing in Italy the five-year one, validated in time, did not meet the requirements of the technical and scientific formation, while the course “Building Engineering and Architecture” still witnesses the goodness of the long cycle path”*.

En definitiva una realidad de la ingeniería europea muy diferente de la que socialmente se nos quiere trasladar, pero que el año próximo podremos conocer de forma mucho más directa puesto que, a propuesta de **Alejandro Marín**, España será el encargado de organizar en Madrid la CLAIU-EU 2012.



Delegación Española asistente a CLAIU-EU Roma

▶ EL TRIBUNAL SUPREMO DESESTIMA EL RECURSO PLANTEADO POR LA INGENIERIA TÉCNICA EN REFERENCIA A LA ADAPTACION A BOLONIA

El Instituto Nacional de Ingenieros Técnicos de España (INITE) junto a los Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos Aeronáuticos, Agrícolas, Forestales, Industriales, Minas,

Navales, Obras Públicas, Telecomunicación y Topografía presentaron recurso contencioso administrativo contra los Acuerdos de Consejo de Ministros de 26/12/2008 (BOE 29/01/2009) por los que se establecen las condiciones a las que deberán adecuarse los planes de estudio conducentes a la obtención de los títulos que habiliten para el ejercicio de las distintas profesiones de Ingeniero e Ingeniero Técnico.

Con dicho recurso la Ingeniería Técnica pretendía la nulidad del Acuerdo correspondiente a su profesión argumentando que *“los títulos de Grado deberían habilitar, no para la profesión de Ingeniero Técnico, sino para la correspondiente de Ingeniero, dado que la titulación de Grado en el campo de la respectiva Ingeniería tiene carácter generalista y terminal o pleno en el orden profesional”*, así como por no incluir la reserva de la denominación de los títulos habilitantes para el ejercicio de la profesión. Y, en referencia al de la profesión de Ingeniero, por no haber sido sometido a audiencia de sus organizaciones profesionales, así como por considerar que los *“títulos de Máster han de tener carácter de especialización en los concretos y específicos campos de cada título, en el orden profesional”*.

Con fecha 23/02/2011 el Tribunal Supremo ha fallado la DESESTIMACIÓN de dicho recurso contencioso administrativo, dando así la razón a nuestro Consejo General, al de Minas, y al Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Entre los Fundamentos de Derecho de la Sentencia se recuerda el ya recientemente argumentado en las STS de 22/12/2010, 21/10/2010 y 13/07/2010 en relación al RD 1837/2008, de incorporación al ordenamiento jurídico español de las Directivas de reconocimiento de cualificaciones profesionales, que relaciona las profesiones y actividades profesionales reguladas en España. En concreto se alude a que, cuando en el Anexo VIII del citado RD, al referirse a las distintas profesiones de Ingeniero Técnico -y entre ellas al Industrial- se añade *“en la correspondiente especialidad”*, se respeta que el título de la profesión es el de Ingeniero Técnico Industrial, pero, como en las Escuelas los que se cursan son especialidades y para obtener el reconocimiento se exige estar en posesión de un título, es éste, con su especialidad, el que posibilita obtener la cualificación profesional que permite el ejercicio de la profesión regulada para cuyo ejercicio habilita.

Precisamente éste sería uno de los argumentos de fondo sobre los que se basa el recurso contencioso administrativo, recientemente incoado por nuestro Consejo General, contra el título de *“Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales”* ofertado por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria que pretende habilitar para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial.

► PRIMERA SENTENCIA DEL TRIBUNAL SUPREMO ANULANDO UN TÍTULO UNIVERSITARIO DE INGENIERÍA DE LA EDIFICACIÓN

La Sentencia del Tribunal Supremo de 09/03/2010, publicada en el BOE del 07/08/2010 a resultas de un recurso contencioso-administrativo promovido por nuestro Consejo General, falló anulando la denominación de “Graduado en Ingeniería de la Edificación” de los Planes de Estudios conducentes a títulos habilitantes para el ejercicio de la profesión regulada de Arquitecto Técnico.

Con fecha 14/05/2010 nuestro Consejo General remitió un escrito al Ministro de Educación trasladándole la Sentencia y solicitándole, para prevenir mayores perjuicios a la ciudadanía, procediera a la inmediata anulación de los posibles títulos existentes en el Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT), comunicara dicha Sentencia a ANECA y al Consejo de Universidades al objeto de evitar que continuaran informándose favorablemente títulos o planes de estudios que incluyera dicha denominación, y ordenara a las Universidades la supresión de dichas enseñanzas.

Con fecha 10/06/2010 la Subdirección General de Coordinación Académica y Régimen Jurídico del Ministerio de Educación emitió una Nota-Informe sobre dicha Sentencia, centrándose exclusivamente en los términos de su Fallo y minimizando sus Fundamentos de Derecho (entre los que textualmente se incluía: “...la posibilidad de que el título de Arquitecto Técnico pueda denominarse como Graduado en Ingeniería de la Edificación a los hasta ahora Arquitectos Técnicos induce a una palmaria y evidente confusión con las ya existentes, autorizadas y reconocidas a favor de los Ingenieros, dado que un Arquitecto Técnico no es un Ingeniero”) concluyendo dicho documento ministerial con el siguiente párrafo: “De este modo, no ha de afectar a los títulos ya verificados ni por tanto a sus denominaciones ni a ningún otro aspecto ya contemplado en la resolución de verificación, por lo que, en tanto no haya otro nuevo pronunciamiento, los correspondientes planes de estudio han de seguir considerándose a todos los efectos plenamente oficiales y habilitantes para el ejercicio de la profesión regulada de Arquitecto Técnico”. Lo que provocó que las Universidades, y el propio Ministerio de Educación, hicieran caso omiso de la Sentencia continuando la publicación de más Planes de Estudios e inscripciones en el RUCT.

Con fecha 22/02/2011 el Tribunal Supremo ha emitido una nueva Sentencia, fundamentándose en la Sentencia del TS anteriormente referida, fallando la anulación de la inscripción en el RUCT del título de “Graduado en Ingeniería de la Edificación” de la Universidad Antonio de Nebrija.

Sentencia que definitivamente ha venido a dar la razón a las tesis que motivaron que nuestro Consejo interpusiera

el primer recurso contencioso-administrativo, sentando la base jurisprudencial para todos los recursos interpuestos que acabarán suponiendo la anulación de dicha denominación de los 34 planes de estudios de “Graduado en Ingeniería de la Edificación” verificados favorablemente por ANECA y en impartición en las Universidades: Católica de San Antonio, Antonio de Nebrija, Europea de Madrid, IE, Politécnica de Cartagena, Ramón Llull, Europea Miguel de Cervantes, Pompeu Fabra, Cardenal Herrera-Ceu, Alcalá, Girona, Lleida, La Laguna, Politécnica de Madrid, Castilla-La Mancha, Extremadura, Camilo José Cela, Salamanca, Politécnica de Valencia, Navarra, Alfonso X El Sabio, Politécnica de Catalunya, Illes Balears, Jaume I, da Coruña, Sevilla, Granada, Pontificia de Salamanca, D’Alacant, del País Vasco, San Pablo-Ceu, Burgos, Zaragoza, y Rovira i Virgili.

► LA INGENIERÍA INDUSTRIAL RECURRE AL CONSEJO EMPRESARIAL PARA LA COMPETITIVIDAD

Los empresarios españoles más relevantes [**Florentino Pérez** (ACS), **Antonio Brufau** (REPSOL), **Isidoro Álvarez** (El Corte Inglés), **Emilio Botín** (Banco de Santander), **César Alierta** (Telefónica), **Isidre Fainé** (La Caixa), **Francisco González** (BBVA), **Ignacio Galán** (Iberdrola), **Isak Andik** (Mango), **Simón Barceló** (Grupo Barceló), **Leopoldo Rovés** (Havas Media), **Rafael del Pino** (Ferrovial), **Pablo Isla** (Inditex), **Juan Roig** (Mercadona), **José-Manuel Martínez** (Mapfre), **José-Manuel Entrecanales** (Acciona), **José-Manuel Lara** (Planeta), **Fernando Casado** (Instituto de



Foto de los miembros del CEC

Ingeniería Industrial

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

la Empresa Familiar]] constituyeron el 21/02 el *Consejo Empresarial para la Competitividad (CEC)*.

En su presentación pública los empresarios manifestaron que nuestro país requiere reformas, en ámbitos más allá del laboral -dónde el Gobierno y los agentes sociales han conseguido cerrar un pacto en material de pensiones-, pero que éstas deberían ser el resultado del consenso entre las partes implicadas. De ahí que dicho Consejo naciera con la vocación de ser referente y promover estos consensos, destacando también la necesidad de impulsar la "cultura del esfuerzo" en la sociedad española.

Los Presidentes del Consejo y FAIIE, a la vista de estos fines, decidieron remitir una carta a los miembros del *CEC* informándoles sobre la reforma de la ingeniería, pretendida por el Gobierno al amparo de la *Ley de Servicios Profesionales*, sin consenso alguno -como evidencia el hecho de que ni siquiera ha entablado conversaciones con las instituciones representativas de la ingeniería española. Tras exponer que esta LSP, aplicada a una ingeniería española ya degradada tras las equivocadas y aisladas reformas recientemente emprendidas (Bolonia, desaparición del visado obligatorio, déficit de ingenieros en la UE), acabaría significando una mayor pérdida de competitividad de nuestra economía, nuestros Presidentes solicitaban un posicionamiento y pronunciamiento del *CEC* ante la LSP.

Cuando aún no había transcurrido una semana desde el envío de dicho escrito, los miembros del *CEC* comenzaron a remitirnos cartas de acuse de recibo, que, en algunos casos, manifestaban abiertamente sumarse a nuestros posicionamientos.

Mientras tanto, haciendo gala el Gobierno, una vez más, de su nulo interés por contar con nuestra participación en el desarrollo de la mencionada Ley, conocíamos una nueva versión de su Anteproyecto, fechada el 28/02/2011. Documento que incorpora aún más falsedades que el

anterior, aunque no deja de resultar significativa la siguiente "justificación" que textualmente incluye: "*Puede obtenerse el apoyo a las reformas por parte de los ingenieros técnicos, mucho más numerosos que los "superiores"* Unos 300.000 ingenieros técnicos frente a 80.000-100.000 ingenieros en activo, según algunas estimaciones *así como de las "nuevas profesiones" que se han visto dificultadas para realizar actividades para las que están cualificadas (ingenieros informáticos o químicos o ambientólogos, entre otros)*". En la dirección web <http://www.revistadyna.com/dyna/documentos/noticiasweb/lsp.doc> puede accederse a su redactado íntegro.



Carta remitida a FAIIE por el Presidente de Iberdrola

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

En esta sección, los autores comentan su punto de vista sobre la evolución de las conclusiones expresadas en su artículo publicado en **DYNA**.

MICRO-REDES, UNA SOLUCIÓN SOSTENIBLE PARA UN SUMINISTRO ENERGÉTICO INTEGRAL A ECO COMUNIDADES

Eugenio Perea Olabaría Ingeniero Industrial (Labein-Tecnalia)
Raúl Rodríguez Sanchez Ingeniero Industrial (Labein-Tecnalia)
Elena Turienzo López Ingeniera Industrial (Labein-Tecnalia)
Carlos Madina Doñabeitia Ingeniero Industrial (Labein-Tecnalia)
Ander Romero Amorortu Ingeniero Industrial (Labein-Tecnalia)
Eduardo Zabala Lekue Ingeniero Industrial (Labein-Tecnalia)

Publicado en **DYNA** (diciembre 2008)

RESUMEN DEL ARTÍCULO ORIGINAL

El presente artículo hace referencia a un caso con el que se pretende dar al lector una idea sobre la forma de proceder a la hora de realizar un estudio de viabilidad de micro-redes en distritos o comunidades y demostrar su viabilidad técnica y económica, aportando además datos sobre sostenibilidad. Los resultados que se exponen han sido obtenidos mediante una aplicación de cálculo desarrollada por Labein-Tecnalia, denominada CEEM-U, Cálculo Energético y Económico de Micro-redes Urbanas. En una primera fase, dicha aplicación estima los consumos eléctricos y térmicos (agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración) de la zona de estudio. Esta estimación se hace en función de los elementos urbanos que conforman el distrito, como edificios residenciales, edificios o locales comerciales, talleres industriales, equipamientos comunes como bombas de presión, alumbrado, garajes y ascensores. Se tienen en cuenta las características de los edificios: altura media de viviendas, superficie media de viviendas, tanto por ciento de paredes exteriores, de ventanas respecto de pared, coeficientes de transmisión térmica de paredes, ventanas, techos, número de renovaciones del aire por hora. También se consideran condiciones climáticas y de uso como temperatura exterior en día medio del mes, temperatura objetivo y horas de calefacción o refrigeración según mes. Posteriormente, teniendo en cuenta otras consideraciones como los costes de instalación, operación y mantenimiento de las infraestructuras de generación y almacenamiento (eléctrico y térmico), así como las condiciones climáticas del lugar, la aplicación permite calcular cuál es la opción más rentable para suministrar la electricidad y el calor

demandados en el distrito urbano. Por último, tomando como base la generación eléctrica y térmica en la microrred a lo largo del año, las tecnologías usadas para dicha generación y su tasa de emisiones de gases de efecto invernadero, se compara el nivel de emisiones generado en el caso de instalar la microrred frente al de no hacerlo y seguir siendo abastecidos por la red de distribución.

COMENTARIO ACTUAL

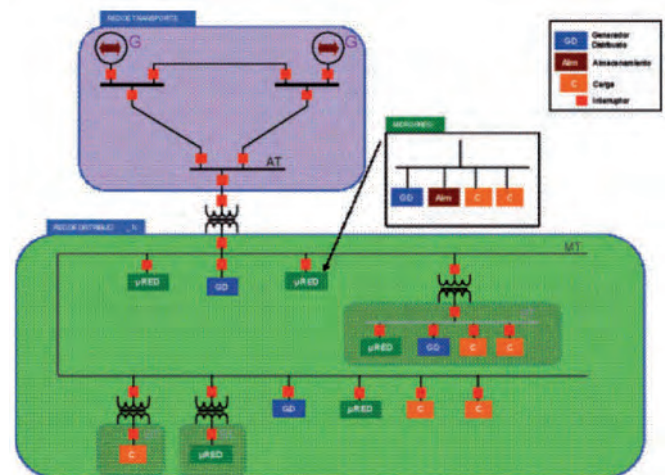
Carlos Madina, Ingeniero Industrial (I+D)
Unidad Energía – TECNALIA-Energía)

En los casi tres años transcurridos desde la publicación del artículo, los conceptos presentados en el mismo, se han empleado para el análisis de varios casos reales de aplicación de microrredes, lo que ha permitido mejorar la herramienta **CEEM-U** que se presentaba entonces. En consecuencia, además de actualizarla para reflejar la legislación vigente en cada momento, se han incluido nuevas capacidades, especialmente en el ámbito térmico. De esta manera, se han introducido sistemas de almacenamiento térmico, tanto a corto plazo como con

carácter estacional, implementado un modelo que permite caracterizar y evaluar la utilización del terreno como almacenamiento energético en coordinación con fuentes como la solar térmica, y optimizando el dimensionamiento de una potencial bomba de calor. Asimismo se han desarrollado modelos más complejos para la explotación de la cogeneración y de sistemas auxiliares de producción de calor. Estas mejoras han permitido emplear la herramienta **CEEM-U** para estudiar la viabilidad de la implantación de microrredes en varios nuevos desarrollos urbanísticos, como por ejemplo en la urbanización ARTE-8.

Desde la publicación del artículo, se han recibido al menos dos solicitudes del mismo en TECNALIA, una desde Cataluña y otra desde Chile. Ambas han sido derivadas a la dirección de DYNA.

Actualmente, la herramienta **CEEM-U** se está empleando para el diseño de los recursos energéticos de las viviendas que se van a construir en el marco del proyecto PIME'S. El proyecto PIME'S cuenta con un presupuesto de 18 millones de euros, y ha sido parcialmente financiado por la Comisión Europea a través del programa CONCERTO III del VII Programa Marco de Investigación de la Comisión Europea. Con una duración de 5 años, PIME'S tendrá como objetivo el desarrollo de un concepto de barrio o eco-comunidad energéticamente sostenible, basada en microrredes, y que pueda ser replicable en diferentes países. Dicho concepto se demostrará en tres ciudades europeas: Vitoria (en una promoción desarrollada por la entidad pública VISESA en el barrio de Salburua), Szentendre (en Hungría) y Dale (en Noruega). El proyecto está liderado por Rogaland County, entidad pública del condado de Rogaland en el que se ubica la comunidad noruega, y el consorcio está formado por 14 socios de 4 países, entre los que figuran entidades públicas, centros tecnológicos e institutos de investigación. La demostración de Vitoria consiste en una comunidad de vivienda protegida diseñada con criterios de sostenibilidad tanto a nivel pasivo, siguiendo los principios de la arquitectura bioclimática para reducir la demanda energética en -al menos- un 30% respecto al CTE, como activo, introduciendo sistemas novedosos y altamente eficientes de producción de energía. El coordinador de esta demostración es VISESA y, además de TECNALIA, participan ACCIONA, el Ayuntamiento de Vitoria y el EVE (Ente Vasco de la Energía).



Como segunda parte y complemento de la exposición general del método SEIS SIGMA, se aborda ahora la necesidad de utilización de la estadística para la mejora de procesos y sus aspectos prácticos.

Puede repasarse la primera parte en AULA DYNA diciembre 2010 y conocer una serie de casos reales de aplicación de SEIS SIGMA en el artículo "DISEÑO, APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN MODELO DE MEJORA CONTINUA" en DYNA febrero 2011.

2ª parte:

ACTUAR CON RAZONAMIENTO ESTADÍSTICO: MÁS ALLÁ DE SEIS SIGMA

**Elisabeth Viles. Profesora Titular de Universidad.
TECNUN – Universidad de Navarra**

1. El papel de la estadística en la industria (y más concretamente en el área de la calidad y la mejora)

La necesidad y el uso de la estadística en las organizaciones no es algo nuevo. Más concretamente si nos fijamos en el área de la mejora de la calidad, es durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se empezaron a expandir en Estados Unidos los métodos de inspección por muestreo y el control estadístico de procesos, gracias al desarrollo de los gráficos de W. Shewhart elaborados en los años 20. También el diseño de experimentos tiene su desarrollo en la primera mitad del siglo XX, aunque será en los años 50 cuando comenzarán a tener una mayor visibilidad en la industria gracias también al aporte del ingeniero G. Taguchi, que sin aplicar exactamente los principios estadísticos del diseño de experimentos, encuentra una solución práctica que da buenos resultados en algunos casos.

Y hoy en día, la presencia de la estadística en la empresa está más clara que nunca. El incremento en el volumen de datos disponibles gracias a los avances en la tecnología de los ordenadores y sistemas electrónicos, la complejidad de los procesos y sistemas, la necesidad de diseñar, desarrollar y producir productos altamente fiables y seguros... no deja lugar a duda de que esta disciplina matemática es indispensable tanto en éste como en otros ámbitos. Sin embargo, aun cuando se constata

la gran presencia que la estadística tiene en la industria, el papel del estadístico (o del especialista en estadística industrial) sigue estando relegado a un segundo plano [18,19].

Si bien es cierto, que la aparición de la metodología Seis Sigma a partir de la década de los 80 en Estados Unidos quizás ha sido, en las últimas décadas, el hito que más ha ayudado a comprender el papel de estadística en la industria, aún queda mucho por hacer [2, 11, 13].

Son muchos los autores que manifiestan que la controvertida metodología Seis Sigma y posteriormente sus variantes además de servir de catalizador en el proceso de implantar y gestionar la calidad en las empresas, ha favorecido la democratización de la estadística industrial [18]. Sin embargo, es esta democratización la que de alguna manera ha podido volverse también en su contra; no solamente el uso de herramientas y técnicas estadísticas facilitado por el desarrollo de innumerables software estadísticos puede ayudar a mejorar los procesos, sino que resulta esencial no perder de vista que actuar con razonamiento estadístico es la columna vertebral sobre la cual se debiera articularse dicha metodología [13]. Y todavía en la actualidad, en el mundo empresarial, existen lagunas en este sentido; hoy en día resulta relativamente sencillo realizar multitud de análisis estadísticos, pero aun existe un gran desconocimiento acerca de por qué debe realizarse tales análisis, qué implicaciones y limitaciones pueden tener en el resultado del estudio de un problema y la interacción de estos análisis con los pasos o etapas del método científico [16].

2. El razonamiento estadístico: ¿qué es y para qué sirve?

Una de las más importantes contribuciones de la estadística a la ciencia ha sido el uso de método científico como método para aprender y resolver

problemas: “el razonamiento estadístico es una componente esencial del aprendizaje” [3]. El método científico de aprendizaje consta de la secuenciación de las dos formas principales del pensamiento lógico: la deducción y la inducción (Deducir: consiste en proponer axiomas o hipótesis generales para deducir de ellos comportamientos particulares; Inducir: es el proceso contrario. Partiendo de hechos experimentales, inferir conclusiones generales).

En 1990, Snee define el pensamiento estadístico como un proceso de pensamiento que reconoce que la variabilidad está presente en todo lo que nos rodea, que todo trabajo requiere el paso por una serie de procesos interconectados y que identificar, caracterizar, cuantificar, controlar y reducir la variación proporciona oportunidades de mejora. [17] (ver Figura 1).

En 1996, la ASQ (American Society for Quality) publicó la definición de “statistical thinking” en un glosario de términos para el Control Estadístico de Calidad [1]. La publicación define el razonamiento estadístico como una filosofía de aprendizaje y acción basada en los siguientes principios: todo ocurre en un sistema de procesos interconectados, la variación existe en todos los procesos y entender y reducir la variación es la clave del éxito.

En 2002 Hoerl y Snee, [9], definen el razonamiento estadístico como la manera de razonar y trabajar para mejorar los procesos de negocios y que usa el método científico como método para aumentar el conocimiento sobre estos procesos.

El pensamiento estadístico utiliza el método científico y el concepto de variación para incrementar el conocimiento de los procesos analizando los datos que éstos producen. Para mejorar los sistemas

resulta necesario conocer cuáles son los procesos del sistema que afectan a los resultados. Este conocimiento proporciona el establecimiento de hipótesis acerca de las posibles relaciones entre los resultados y los procesos (proceso de deducción). Cada establecimiento de hipótesis deberá resolverse en base a la toma y análisis de datos para su verificación. Como cada vez que se toman datos, tales datos revelan variabilidad, son las herramientas y técnicas estadísticas las que ayudan a interpretar tales datos integrados en su contexto con el consiguiente rechazo o no de la hipótesis planteada (proceso de inducción). Este ciclo es repetitivo con el objeto de ir refinando o validando las hipótesis que se van planteando (ver Figura 2).

Por lo tanto, podríamos decir que los dos pasos más importantes del razonamiento estadístico son los pasos de deducción e inducción. Hoy en día, la democratización de la estadística ha provocado el creciente aumento de aplicaciones que analizan gran cantidad de datos. Luego, la etapa de inducción, la que requiere el análisis de datos, resulta ser la más fácil de llevar a cabo y para la cual los ingenieros y los científicos en general estamos mejor entrenados. Sin embargo, desde el punto de vista del razonamiento estadístico es tan importante aprender a proponer hipótesis lógicas sobre lo que puede estar pasando, como luego resolverlas. Y para el proceso deductivo, no existen herramientas específicas.

Es decir, para utilizar el razonamiento estadístico también hace falta estar entrenado en hacerse preguntas sobre lo que puede estar pasando y por tanto, la aplicación razonable y eficiente de la estadística para la resolución de problemas requiere tener un amplio y sobre todo claro conocimiento

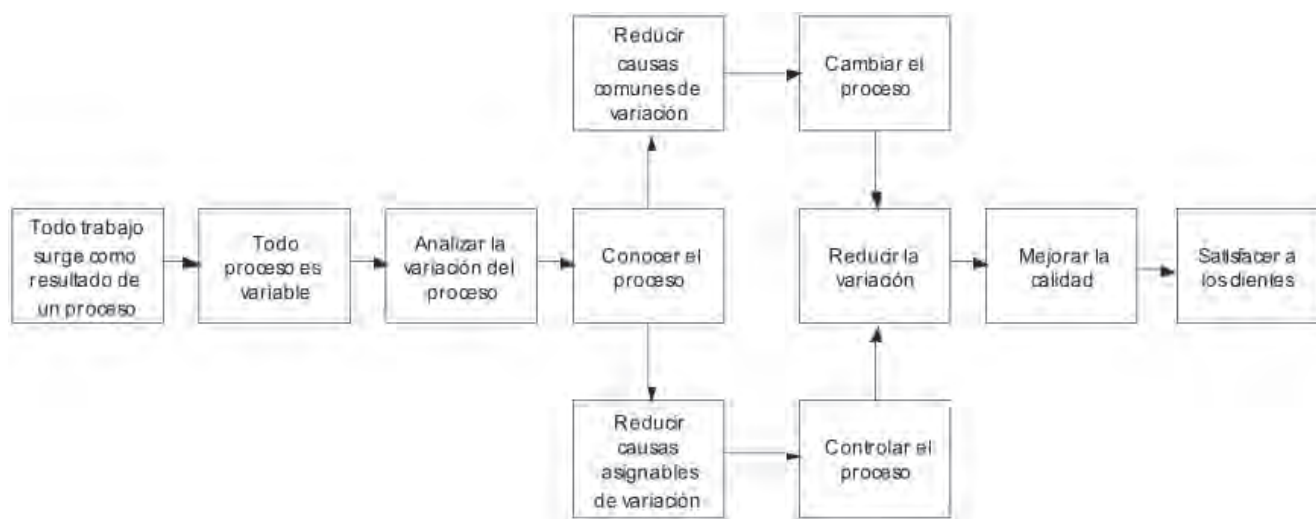


Figura 1: Modelo para el razonamiento estadístico (Snee, 1990)

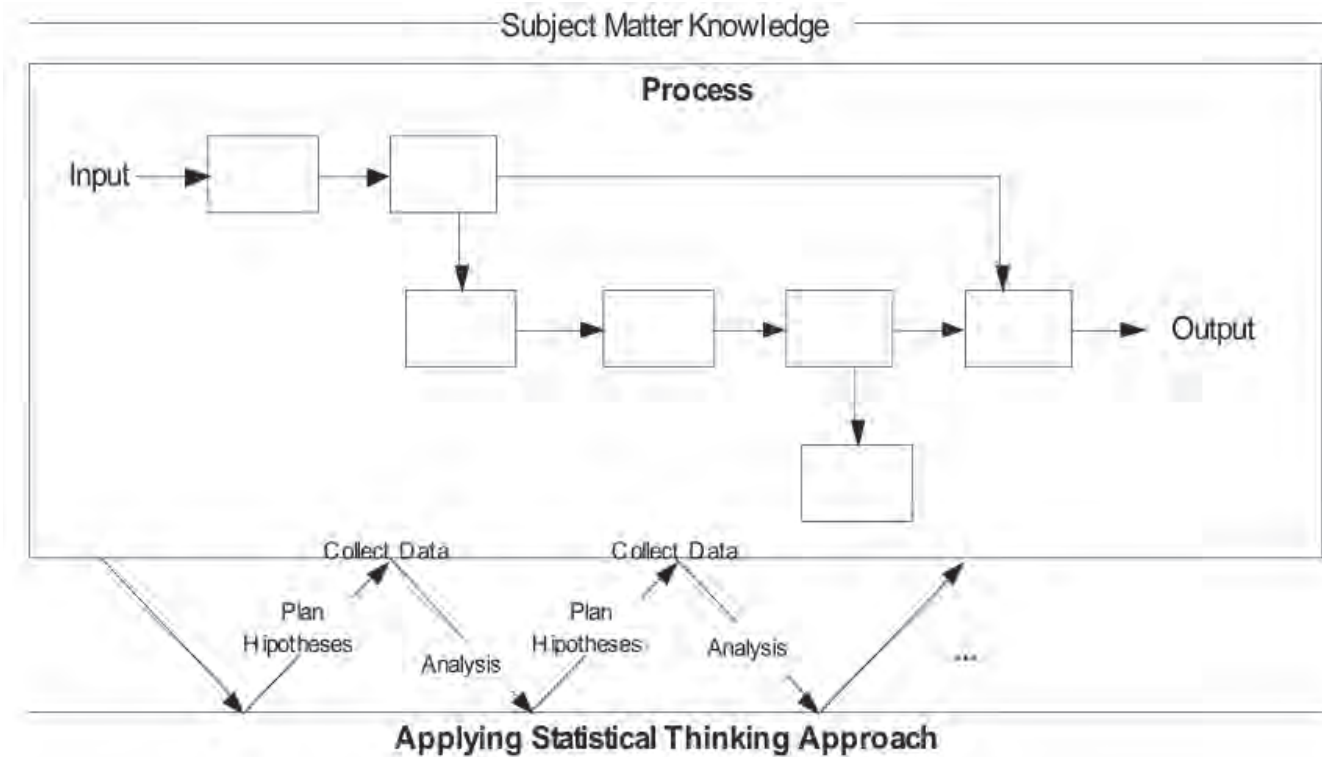


Figura 2: Modelo para el razonamiento estadístico (basado en Hoerl and Snee, 2002)

de esta materia [3]. Por otro lado, y como su aprendizaje no resulta ser tan sencillo, *su correcta aplicación vendrá de aprender a pensar y actuar con razonamiento estadístico sobre procesos variables bajo la supervisión inicial de expertos en este campo, seguida de la asimilación de la técnica que proporciona el hábito y la habilidad de utilizarla.*

Para entender mejor esta idea, proponemos la siguiente comparación: Como un doctor actúa para curar a un paciente es como un buen ingeniero debiera actuar para curar un proceso “enfermo”.

3. ¿La salud de las organizaciones puede estar en manos de “especialistas” en estadística?

En general, cuando un ingeniero se enfrenta a un problema que requiere de análisis de datos, su trabajo debería parecerse a los pasos que sigue un doctor cuando se enfrenta a un paciente: observación, preguntas acerca de los síntomas que el paciente tiene, toma de datos cualitativos (aparición del enfermo, modo de vida,...) y datos cuantitativos (análisis, scanner, rayos- X, etc.), interpretación de los datos recogidos y propuesta de algún tratamiento. Y además, esto tendría que realizarse en un corto espacio de tiempo y de manera fiable.

Es decir, al igual que un doctor sigue ciertos pasos

con el objetivo de hacer el mejor diagnóstico de una enfermedad, un ingeniero debería seguir ciertos pasos para hacer un diagnóstico fiable acerca del problema de un proceso.

Para empezar, nadie duda de que el doctor posea información teórica acerca de enfermedades y sus síntomas. Además, si se trata de un especialista éstos han pasado un periodo de aprendizaje (MIR) en el cual han visto y tratado muchos pacientes con la misma enfermedad, pero no exactamente los mismos síntomas. Durante este periodo, han asimilado la teoría aprendida al inicio observando las enfermedades en entornos variables. Esta situación es la que posteriormente les permite reconocer estructuras de síntomas-enfermedades en distintas situaciones.

1. A partir de este momento, cada vez que un doctor se enfrenta a un nuevo “problema” (nuevo paciente, nueva enfermedad,...) lo que hace es observar y preguntar al paciente acerca de sus síntomas. El doctor pregunta acerca del modo de vida que lleva el paciente y pide más datos si los requiere (análisis, rayos X, etc). Toma nota de todo. La clave está en hacer las preguntas adecuadas para plantear las hipótesis razonables acerca de lo que puede estar pasando.

2. Una vez analizados los datos de los que dispone, hace una interpretación rápida y muchas veces ya muy fiable (porque generalmente el doctor analiza teniendo una idea general de lo que está buscando). Si le surge la duda o tiene varias opciones de diagnóstico, requerirá más datos del paciente hasta que por un proceso de eliminación llegue a un solo diagnóstico. Si el problema es serio, deberá validarlo interna y externamente.
3. Pero el trabajo aún no habrá acabado. Cuando llegue al diagnóstico, deberá comunicárselo al paciente. Y deberá hacerlo de una manera que el paciente pueda entender. Esto tiene un doble propósito: el paciente tiene derecho a saber qué es lo que tiene, pero además debe confiar en el buen criterio del doctor. Una buena comunicación entre las dos partes facilita el trabajo.
4. Una vez realizado el diagnóstico y teniendo en cuenta los últimos avances médicos y la aprobación del paciente, el doctor propone el tratamiento a seguir (que se requiere seguir lo más fielmente posible).
5. Finalmente el doctor lo registra en un documento: el paciente, los síntomas, las pruebas realizadas, el diagnóstico, el tratamiento recomendado...Este documento podrá disponerlo tanto paciente como el hospital. Tan importante resulta la experiencia de ese doctor en concreto, como el aprendizaje que de esa experiencia obtienen sus colegas y el resto del hospital.

Y ¿qué tiene que ver todo este proceso con tener razonamiento estadístico? Al igual que un doctor sabe cómo hacer un buen diagnóstico de las enfermedades más comunes, un “especialista” en estadística industrial (ejercitado su razonamiento estadístico) debería saber cómo diagnosticar las causas reales de los problemas o enfermedades de sus procesos, porque conoce herramientas que le ayudan a asociar problemas con las causas más importantes. Pero sobre todo porque conoce y hace uso de una metodología sistemática de diagnóstico, preguntando constantemente acerca de la sintomatología del proceso, requiriendo los datos necesarios, analizándolos y comunicando los resultados de manera efectiva.

4. ¿Cómo introducir esta manera de razonar en nuestras organizaciones?

La dificultad de la enseñanza y el aprendizaje de la estadística como materia no es algo nuevo, como tampoco lo es la relación que los ingenieros y gestores de las organizaciones tienen con la estadística [5, 10,

14, 15]. Pero, hoy en día sigue siendo tema de debate, qué pueden aportar la estadística a la industria [12, 18] y más concretamente al campo de la gestión y mejora de la calidad [8, 13, 16].

No se puede gestionar lo que no se mide y la falta sistemática o la ausencia de la estadística en las organizaciones impiden la administración científica de la misma. Porque no se trata solo de tener datos, algo que hoy en día resulta bastante más fácil que antaño, sino de saber interpretarlos, analizarlos y tomar decisiones adecuadas en base a la información que aportan.

Por tanto, un **primer paso** de actuación sería el de **concienciar** a los directivos y empleados de las organizaciones acerca de la fundamental y trascendental importancia del uso del razonamiento estadístico a la hora de planificar, dirigir y controlar la marcha de sus procesos y por ende, de su empresa.

El **segundo paso** sería la **capacitación**. La forma de ayudar a la empresa pasa por formar bien a los ingenieros en la disciplina de la estadística industrial: disciplina en la que se enseñe a utilizar los conceptos, herramientas y técnicas estadísticas con el objetivo de aplicarlos para la obtención de mejoras en resultados bajo los paradigmas del conocimiento empírico y la toma de decisiones. Por tanto, el razonamiento estadístico debiera estar incorporado en el currículo de los ingenieros (y de otros científicos) y asegurarse que los nuevos profesionales adquieren esta competencia.

Y el **tercer paso** sería la **implementación**. Si bien la intuición de un directivo, de un mando intermedio incluso de un operario de línea nunca dejará de perder importancia, el tener el respaldo de tener datos fiables acerca de lo que está sucediendo con el apoyo en la correcta aplicación del razonamiento estadístico, permite adoptar decisiones sobre una base más apropiada. Y en esta implementación pueden darse varios niveles de acuerdo a las necesidades reales de cada organización:

Por un lado, no se trata de empezar de cero. Los ingenieros reciben una formación en estadística que los capacita a utilizar herramientas y técnicas estadísticas básicas. Solo se trata de que se animen a utilizarlas con mayor frecuencia y se apoyen en sus resultados (test de hipótesis...) para negociar y tomar decisiones, detectar y corregir problemas de calidad (herramientas básicas de calidad, estudios de capacidad...), aumentar la productividad de sus procesos (diseño de experimentos...), controlarlos (técnicas de SPC), para mejorar el mantenimiento y disponibilidad de sus máquinas e instalaciones (cálculos básicos de fiabilidad, AMFEC...), para diseñar nuevos procesos y/ productos (diseños robustos, AMFE, cálculos de fiabilidad, cálculos del coste de ciclo de vida...), etc.

Por otro lado, la correcta implementación en cada organización debiera pasar por diagnosticar qué datos e información se requiere para buscar apoyo en programas informáticos apropiados a las actividades, procesos y requerimientos específicos de cada empresa. Hoy en día, la diversificación de este tipo de software, acerca y facilita el tratamiento y análisis de datos.

Y consecuentemente, si una organización tiene problemas que requieren una aplicación estadística más compleja, éstos debieran ser tratados por profesionales con una mayor experiencia en estadística industrial.

¿PARA QUÉ?	HERRAMIENTAS ÚTILES
MEDIR	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimientos de recogida de datos, Muestreo • Estudios R&R • Herramientas básicas de mejora: Diagramas de flujo, histogramas, diagramas de Pareto, • AMFEC, y otros métodos de priorización • Gráficos temporales (SPC) • Estudios de capacidad
ANALIZAR	<ul style="list-style-type: none"> • Control estadístico de procesos, SPC • Test de hipótesis • Diseño de experimentos • Regresión
MEJORAR	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas de priorización: AMFE, matriz de priorización, • Diseños de experimentos robustos • Planificación de pruebas piloto • ...

Tabla 1: Algunas herramientas estadísticas útiles

Las organizaciones necesitan tener “en sus filas”, personas capaces de aprender rápido, habituados a trabajar en entornos variables, que sepan tomar decisiones basadas en datos y sean además capaces de comunicar y transmitir los resultados. Que hayan adquirido bien las habilidades que requiere tanto el analizar e interpretar resultados como la de formularse las preguntas adecuadas en el entorno en el que se encuentran; que se hayan entrenado en la filosofía de trabajar con razonamiento estadístico. Éstos, integrados en equipos multidisciplinares, podrán contribuir eficazmente a la resolución de muchos problemas que actualmente acucian a nuestras empresas.

5. Referencias citadas en el texto

1. American Society for Quality (1996). *Glossary and tables for Statistical Quality Control*. Statistics Division, Quality Press, Milwaukee, WI.
2. Antony J. (2004). *Some pros and cons of six sigma: an academic perspective*. The TQM magazine, vol. 16:4, pp. 303-306, 2004.
3. Batanero, C. (2002). *Los retos de la cultura estadística*. Jornadas Interamericanas de Enseñanza de la Estadística, Buenos Aires. Conferencia inaugural.
4. Bisgaard S. (1991). *Teaching Statistics to Engineers*. The American Statistician, vol. 45, pp. 274-283, 1990.
5. Box G. (1990). Commentary on “*Communications between Statisticians and Engineers/Physical Scientists*”. Technometrics, vol. 32:3, pp. 251-252, 1990.
6. De Mast J. and Does R. J.M (2010). *Discussion of “Statistical Thinking and methods in Quality Improvement: A look to the Future”*. Quality Engineering, vol. 22: 3, pp. 130-132, 2010.
7. De Mast J. (2007). *Integrating the many facets of Six Sigma*. Quality Engineering, vol. 19:4, pp. 353-361, 2007
8. Hoerl R.W., Snee R. (2010). *Statistical Thinking and methods in Quality Improvement: A look to the Future*. Quality Engineering, vol. 22: 3, pp. 119-129, 2010.
9. Hoerl R.W., Snee R. (2002). *Statistical Thinking: Improving Business Performance*. Duxbury-Thomson Learning. 2002
10. Hoadley A.B. and Kettinger J. R (1990). *Communications between Statisticians and Engineers/Physical Scientists*. Technometrics, vol. 32:3, pp. 243-248, 1990.
11. Kwak Y.H. and Anbari F.T. (2006). *Benefits, obstacles and future of six sigma approach*. Technovation, vol. 26, pp. 708-715, 2006.
12. Lindsay B. G., Kettinger J. and Siegmund D.O. (2004). *A Report on the Future of Statistics*. Statistical Science, vol. 19:3, pp. 387-413, 2004
13. Makrymichalos M., Antony J., Antony F. and Kumar M. (2005). *Statistical thinking and its role for industrial engineers and managers in the 21st century*. Managerial Auditing Journal, vol. 20:4 pp. 354-363, 2005.
14. MacKay J. (1990). Commentary on “*Communications between Statisticians and Engineers/Physical Scientists*”. Technometrics, vol. 32:3, pp. 263-264, 1990.
15. Moore D.S. (1990). Commentary on “*Communications between Statisticians and Engineers/Physical Scientists*”. Technometrics, vol. 32:3, pp. 265-266, 1990.
16. Rotelli, M. (2010). *Response to “Statistical Thinking and methods in Quality Improvement: A look to the Future”*. Quality Engineering, vol. 22: 3, pp. 133-134, 2010.
17. Snee R. (1990). *Statistical thinking and its contribution to total quality*. The American Statistician, vol. 44: 2, pp. 116-121
18. Steinberg D.M. (2008). *The Future of Industrial Statistics: A panel of Discussion*. Technometrics, vol. 50:2, pp. 104-127, 2008
19. Vining, G. (2010). *Discussion of “Statistical Thinking and methods in Quality Improvement: A look to the Future”*. Quality Engineering, vol. 22: 3, pp. 135-136, 2010.

Patentan un nuevo protector de guarda-raíles hecho con residuos plásticos

Fuente: OPTI

Un grupo de científicos de la Universidad de Alicante (UA) ha patentado un procedimiento que usa residuos plásticos para el recubrimiento de los guarda-raíles, con el fin de minimizar el riesgo de las lesiones en las carreteras.

Según UA, se han usado espumas poliméricas, y reciclado de espumas termoestables que tienen varias ventajas, sobre todo, su alta capacidad de absorción de la energía del impacto.

Esto permite minimizar el riesgo de lesiones durante el golpe de un cuerpo de 86,5 kg a 60 kilómetros por hora, según se deduce del estudio en los tres índices biomecánicos representativos de lesiones en la cabeza, cuello y tórax, señalados en el Informe para la Evaluación del Comportamiento de los Sistemas de Protección de Motociclistas en la Barreras de Seguridad y Petriles (UNE).

Además, el modelo patentado por el grupo de Procesado y Pirólisis de Polímeros del departamento de

Ingeniería Química de la UA, dirigido por Antonio Marcilla, permite volver a utilizar unas espumas plásticas que son difícilmente reciclables, con lo positivo que tiene esto para el medio ambiente.

Este modelo también puede ser aplicado al recubrimiento de postes de las señales de tráfico, boyas de flotación de redes, boyas de balizamiento, flotadores salvavidas, ruedas de vehículos, suelas de calzado y plantas para recubrimiento de suelos o barreras acústicas, según la UA. ■

Avances en la reutilización de combustible nuclear irradiado

Fuente: DICYT

Actualmente, existe una importante “carrera” a nivel mundial para lograr reaprovechar en sucesivas ocasiones el combustible nuclear irradiado, lo que contribuiría además a disminuir la peligrosidad de los residuos. Por su contribución a esta línea de investigación, una alumna del master de la *Universidad de Valladolid* en Técnicas Avanzadas en Química ha obtenido un importante premio a nivel nacional, el que otorga la *Sociedad Nuclear Española (SNE)* al mejor trabajo o tesina fin de carrera.

La tesina, denominada Estudio electroquímico de disoluciones de Tm (III) sobre W y reacciones de oxoacidez en el eutéctico LiCl-KCl, fue realizada bajo la dirección de la profesora **María Yolanda Castrillejo** y tiene relación con un proyecto en el



Reactor Nuclear

que participa el *Laboratorio de Sales Fundidas* del Grupo de Investigación en Química Analítica y Electroquímica de Materiales (Quiane), cuyo objetivo es conocer si pueden separarse las sustancias (lantánidos y actínidos) presentes en el combustible nuclear irradiado con el fin de reaprovechar dicho combustible y, simultáneamente, disminuir la peligrosidad de los residuos.

Sólo se utiliza un 20% del combustible nuclear, lo que genera un residuo que puede tener un importante valor añadido. En estos momentos este potencial no se está aprovechando y diversos equipos científicos a nivel mundial, como los presentes en Japón, Reino Unido o Francia, están realizando un gran esfuerzo para dar con la “clave”. La idea del reproceso es utilizar un nuevo tipo de reactores de cuarta generación, en los que se está investigando mucho, para intentar recuperar el valor que siguen teniendo esos residuos.

Para llevar a cabo este proceso, lo primero es realizar una separación de los actínidos del resto de los productos de fisión y la forma de separar estos elementos es mediante sales fundidas. Los investigadores trabajan experimentalmente con ambos compuestos, actínidos y lantánidos, para obtener nueva información. ■

Vidrio metálico de máxima resistencia

Fuente: Caltech University

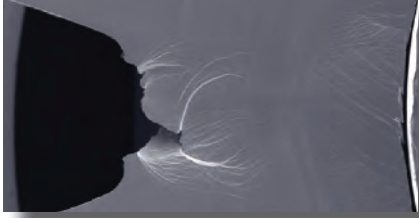


Imagen: UC Berkeley. Muestra de paladio vidrioso

Un grupo de ingenieros e investigadores del *US Department of Energy*, del *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL) y del *California Institute of Technology* (Caltech) han desarrollado una nueva tipología de vidrio metálico que supera en tenacidad y dureza, a todos los materiales de este tipo producidos hasta el momento: se trata de una combinación de paladio con una

pequeña fracción de plata y una mezcla de otros metaloides.

La investigación que condujo a este desarrollo ha sido reseñada recientemente en un artículo de la revista especializada “*Nature Materials*”.

Marios Demetrio, científico senior del Caltech, explica que las inusuales características del vidrio metálico son, por un lado, el hecho de ser metal - con la correspondiente tenacidad que conlleva esa clase de material - y, por otro, poseer la estructura interna del vidrio y, por lo tanto, su dureza.

El problema de intentar aumentar la dureza de los metales comunes consiste en que sus átomos se organizan en una red cristalina que inevitablemente genera defectos. Cuando estos defectos se someten a tensiones, se unen en bandas delgadas, llamadas

bandas de corte, que rápidamente se extienden y se propagan a través del material. Cuando estas bandas de corte se convierten en grietas, el material se rompe.

En la nueva aleación de paladio, las numerosas bandas de corte, que se forman cuando el material está sometido a tensión, en realidad producen una mayor dureza, debido a que las bandas interactúan y forman redes, que bloquean la propagación de grietas. Es decir, las bandas de corte actúan como un escudo, previniendo la rotura. Así, el cristal de paladio actúa de forma similar al más duro de los aceros.

“La nueva aleación de paladio” - concluye Demetrio - “podría ser muy pronto utilizada en implantes biomédicos, como por ejemplo los implantes dentales”. ■

Para ampliar información:

<http://www.futurity.org/science-technology/metallic-glass-thats-strong-and-tough/>

Materiales meso-estructurados serán capaces de capturar CO₂ contra el calentamiento global

Fuente: URJC

Investigadores de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC) desarrollan materiales meso-estructurados capaces de capturar selectivamente las moléculas de CO₂ mediante interacciones químicas. Se trata de una alternativa de futuro para reducir la cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmósfera, uno de los principales causantes del calentamiento global.

Uno de los grandes problemas medioambientales a nivel mundial es el calentamiento global, término usado para referirse al aumento de la temperatura media de la Tierra, y que se ha acentuado en las últimas décadas del siglo XX y la primera del siglo XXI. El calentamiento se produce por el efecto invernadero, fenómeno por el cual determinados gases retienen gran parte de la radiación infrarroja emitida por la Tierra y la reemiten de nuevo a

la superficie.

Entre las diferentes estrategias para reducir las emisiones de dióxido de carbono, se encuentran un aumento de la eficiencia y el ahorro energético y el desarrollo de las energías renovables. No obstante, las técnicas de captura y almacenamiento de carbono (CAC) se consideran de gran importancia como tecnología de transición, mientras se sigan consumiendo masivamente combustibles fósiles.

TÉCNICAS DE ABSORCIÓN Y ADSORCIÓN DE CO₂

Actualmente, se han propuesto diversas tecnologías para la captura del CO₂ producido en las centrales térmicas que son las responsables de la mayor parte del total emitido a la atmósfera por fuentes estacionarias. Entre ellas destacan la absorción y la adsorción como técnicas para el aislamiento del CO₂ una vez realizada la combustión.



El grupo de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Rey Juan Carlos investiga desde el año 2006 los procesos de adsorción de CO₂, y ha contribuido al desarrollo de materiales adsorbentes meso-estructurados que separen el dióxido de carbono de otros gases. Estos materiales son sólidos de estructura inorgánica de elevada porosidad que incorporan grupos de naturaleza orgánica básica capaces de capturar selectivamente las moléculas de CO₂ mediante interacciones químicas.

Los resultados obtenidos demuestran que dichos materiales actúan como eficaces adsorbentes de este dañino gas operando a presión atmosférica y a temperaturas moderadas. ■

Un paso más cerca de la tan esperada patente europea

Fuente: Cordis

Las pequeñas y medianas empresas (PYME) y otros negocios podrían beneficiarse en breve de la posibilidad de registrar patentes de forma más sencilla y barata, gracias a que los ministros de competitividad de la *Unión Europea* han dado luz verde a que 25 Estados miembros creen una patente unitaria. Esta decisión histórica permite vislumbrar el final del largo camino legislativo hacia una patente europea.

La propuesta fue aprobada por todos los Estados miembros, con las excepciones de Italia y España, en el Consejo de Competitividad del pasado 10 de marzo conforme al nuevo procedimiento de cooperación reforzada.

La futura patente unitaria será válida de forma automática en todo

el territorio de los Estados miembros participantes en el idioma en el que se conceda. El concepto de una única patente comunitaria surgió en 1949, pero desde entonces ha resultado imposible que los Estados miembros llegaran a un acuerdo al respecto, siendo el idioma uno de los principales puntos de discordia en las negociaciones.

De conformidad con la autorización del Consejo, los idiomas oficiales del nuevo sistema de patentes serían el inglés, el francés y el alemán, pero Italia y España han optado por quedar al margen al pretender la inclusión de sus idiomas. No obstante, el *Tratado de Lisboa* estipula que estos países tendrán la opción de incorporarse cuando lo deseen.

Los ministros confían en que el futuro sistema de patentes resulte más racional y sea de mayor calidad

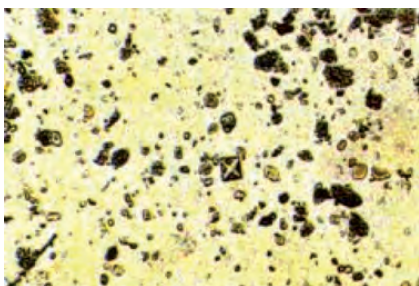
con el fin de impulsar el crecimiento económico. El Comisario de Mercado Interior, **Michel Barnier**, declaró que la nueva patente «reducirá una debilidad inverosímil de la competitividad europea».

El actual proceso europeo requiere el registro de patentes distintas en cada Estado miembro y su traducción completa al idioma de cada país, lo que encarece considerablemente el coste de registrar una patente. En la actualidad su coste es próximo a los 20.000 euros, una cantidad 10 veces superior a la necesaria en los Estados Unidos.

En suma, el fragmentado sistema de patentes vigente en Europa provoca la pérdida de entre 700 y 800 millones de euros en el sector comercial cada año. Esta situación también genera efectos indirectos en la capacidad de innovación y creatividad de la investigación europea. ■

Bacteria que limpia los desperdicios del aluminio

Fuente: OPTI



Una especie de bacteria hasta ahora desconocida está ayudando a reducir el impacto medioambiental de la producción de alúmina y aluminio gracias al trabajo de una investigadora de la *University of Western Australia* (UWA).

Naomi McSweeney, microbióloga del UWA, descubrió una bacteria que descompone y elimina naturalmente el oxalato sódico, una impureza orgánica producida durante el refinado de la bauxita de bajo grado en alúmina.

En una refinería típica, el oxalato de sodio se forma por toneladas durante la producción de alúmina. Esto puede afectar al color y la calidad del producto final.

Según McSweeney, el oxalato puede ser eliminado por combustión, pero esto produce emisiones de dióxido de carbono. Las impurezas también pueden almacenarse pero esto representa un elevado coste para las refinerías.

Utilizar la bacteria para descomponer y eliminar el oxalato

sería una alternativa mejor y más sostenible. Según McSweeney, de esta manera se produciría menos dióxido de carbono y se eliminaría la necesidad de almacenar las impurezas. Las bacterias descubiertas son un género nuevo de Proteobacteria y una nueva especie del género Halomonas, que son capaces de utilizar el carbono del oxalato para crecer.

Actualmente, ingenieros del *Alcoa's Global Technology Delivery Group* han diseñado e instalado un bio-reactor con capacidad de eliminar alrededor de 40 toneladas al día de oxalato de sodio utilizando esta bacteria. ■

Investigadores andaluces participan en un proyecto europeo para mejorar el consumo energético en el hogar

Fuente: Andalucía Innova

Un equipo de investigadores de la *Fundación Habitec*, ubicada en el Parque Tecnológico de Andalucía (PTA) en Málaga, participa en el proyecto europeo *EnergyTIC*. Esta iniciativa permitirá al usuario conocer desde el hogar y a través de la TDT e Internet, información relativa al consumo de energía y agua.

El primer objetivo de este proyecto es llevar a un colectivo de viviendas V.P.O. de Andalucía información referente al consumo de agua y electricidad para poder establecer comparaciones entre gasto de

comunidades e individuales y conocer los promedios y las desviaciones, entre otros datos. Han elegido dos canales de comunicación (TDT e Internet) para, tal y como señala **Rafael Abad**, Director Técnico de Habitec, “dar un servicio de información a todos los usuarios, bien sea a través de ADSL con implantación por debajo del 76% (según datos del INE 2010) o a través de TDT con implantación por encima del 86% (según datos del INE 2010).

Los diferentes grupos de trabajo prevén comenzar con la fase inicial del proyecto en los próximos meses de marzo y abril y durante tres años se encargarán de desarrollar esta nueva tecnología. El programa piloto español

se llevará a cabo íntegramente en Andalucía, concretamente en Málaga, en 700 viviendas de protección oficial que estarán divididas en dos grupos: por un lado, aquellos hogares que tendrán acceso a los medios de comunicación que les suministren los datos referentes a consumo y, por otro, un número de viviendas que no contarán con esta posibilidad.

El objetivo de esta clasificación es poder evaluar y cuantificar cuánto es capaz de ahorrar un usuario si sabe compararse con los demás y recibe consejos para evitar el derroche energético. ■

Un sistema inteligente informa de puntos de carga para vehículos eléctricos

Fuente: DICYT

Uno de los mayores temores a los que se enfrenta un conductor de vehículos eléctricos es no alcanzar un punto de carga y quedarse parado en el camino. Debido al temprano desarrollo de esta alternativa a los combustibles fósiles, aún no hay en España una red potente de puntos de carga eléctrica para satisfacer plenamente a los ciudadanos que optan por esta alternativa. Una aplicación informática desarrollada por la empresa leonesa *Proconsi* pretende paliar este déficit de información.

A través de un *software* universal, que puede utilizar cualquier fabricante de estos lugares de abastecimiento, el conductor de un vehículo eléctrico puede tener información a tiempo

real tanto de su consumo como de los puntos más cercanos al lugar donde se encuentra. La aplicación se denomina *Prisma* y se configura como una plataforma inteligente que incorpora diferente información estadística y posicional.

Prisma tiene dos módulos, uno dirigido a los usuarios de vehículos eléctricos, para quienes informa sobre su medio de transporte, y otro dirigido a la Administración o a los gestores privados que implementan este servicio de abastecimiento de vehículos eléctricos, como los hoteles.

En el módulo privado, se informa sobre las altas, bajas o modificaciones de los usuarios y los puntos de carga, y puede establecer perfiles sobre diferentes funcionalidades de la plataforma. Además, contribuye al

mantenimiento de la instalación y aporta datos del cuadro de mandos, como los kilovatios por hora requeridos por usuario y punto de carga o el tiempo de uso. También permite la emisión de alertas por medio de mensajes de telefonía móvil (SMS).

En el caso del módulo público, se informa sobre las características y funcionamiento de los diferentes puntos de carga y la localización de los mismos e incorpora una bitácora para que los usuarios puedan expresar sus opiniones. La plataforma puede ser implementada en un dispositivo móvil (Android, iPhone, Symbian, Windows CE o Blackberry, por ejemplo), o descargar en el navegador (Tom Tom o Nokia, por ejemplo) la localización de los puntos de carga eléctrica, para hacer más fácil la conducción. ■

Sistema Multisensorial Detector de Riesgos Laborales

Fuente: Universidad de Granada

Uno de los problemas existentes en la sociedad actual es el conjunto de riesgos a los que está sometido un trabajador en su ámbito laboral, en nuestro caso canteras y fábricas de mármol y piedra natural.

En el *Centro Tecnológico del Mármol de Murcia* en colaboración con el grupo ECsens de la *Universidad de Granada*, se ha desarrollado un dispositivo electrónico miniaturizado y portátil que es capaz de informar de aquellas situaciones de peligro que puedan surgir mientras se trabaja.

Se trata de un sistema multisensorial capaz de detectar determinados parámetros importantes para la salud del trabajador (concentración de oxígeno, de dióxido de carbono, de compuestos orgánicos volátiles-VOC, temperatura y humedad ambientales, nivel acústico y luminoso y la distancia a objetos adyacentes) y avisarle en tiempo real de los posibles riesgos a los que está expuesto, así como de retransmitir de forma inalámbrica la información a una centralita.

El sistema está compuesto por dos dispositivos electrónicos, uno inalámbrico que lo llevará colocado

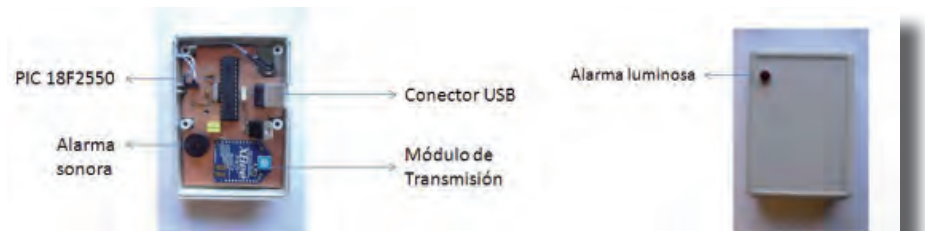


Figura 2: Módulo receptor

en la cintura el operario durante su jornada laboral y el otro que será el que esté conectado a un ordenador mediante USB.

El funcionamiento del sistema consiste en que el módulo inalámbrico es el encargado de monitorizar los valores de los parámetros deseados, evalúa si esos valores están dentro o fuera del rango saludable del trabajador, y si no lo están, avisa tanto al operario como a la centralita.

La comunicación entre los módulos emisor y receptor se realiza mediante tecnología Zigbee, en concreto usamos dos módulos XBee-Pro, hemos elegido los modelos Pro, ya que nos proporciona mayor alcance.

El dispositivo inalámbrico está constituido principalmente por un conjunto de sensores, elegidos cada uno de ellos para captar los determinados

parámetros, un microcontrolador, en concreto PIC18F4550, un módulo de transmisión inalámbrico XBee-Pro, un sistema de aviso al trabajador formado por una pantalla LCD y una alarma sonora y por último un sistema de alimentación que proporciona la autonomía necesaria a este dispositivo.

En la siguiente figura podemos observar cómo están colocados los distintos componentes del dispositivo inalámbrico.

El módulo receptor está formado por un microcontrolador, en este caso, un PIC18F2550, ya que necesitamos menos funcionalidades que en el caso del módulo emisor, un módulo XBee-Pro, para poder realizar la comunicación, y dos alarmas, sonora y visual.

Una vez detectado un posible riesgo laboral, el operario es avisado mediante un mensaje en la pantalla LCD y mediante un aviso acústico. Además esa información es enviada al dispositivo receptor mediante el módulo Xbee, donde se activará una alarma luminosa y otra sonora avisando del posible riesgo.

Además de captar los riesgos que se pueden producir, el sistema tiene la funcionalidad de poder consultar el estado del trabajador desde la centralita donde está conectado el dispositivo receptor mediante una interfaz de usuario realizada en Visual Basic. ■

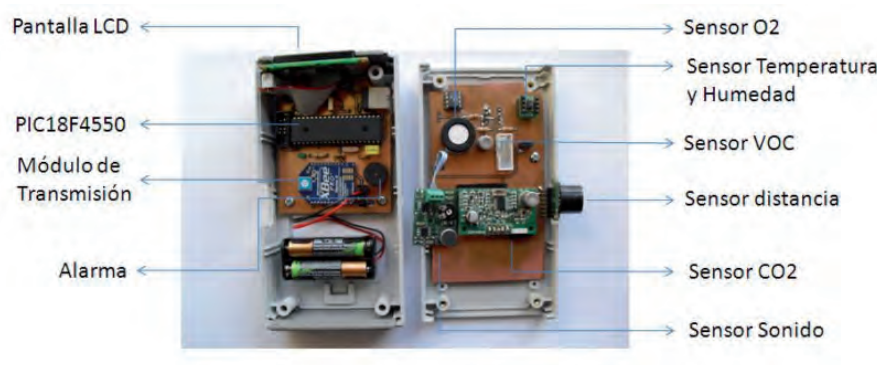


Figura 1: Módulo inalámbrico emisor

La cultura de los jóvenes españoles no es la más apropiada para una economía innovadora y competitiva

El informe relaciona un total de 57 indicadores culturales con la capacidad de innovación de los países de la Europa de los 15.

Fuente: Cotec

Entre los diez retos de la competitividad española que Cotec presentó recientemente, el primero y más importante se refería a la necesidad de mejorar el sistema educativo, de forma que todos los niveles formativos consigan no sólo que los alumnos adquieran conocimientos, sino también que se capaciten para aprovecharlos, aprendan a valorar su utilidad y sepan aplicarlos de forma participativa.

Fruto de esa preocupación, Cotec ha publicado un informe sobre “La cultura de la innovación de los jóvenes españoles en el marco europeo”, que ha sido elaborado por el Profesor **Víctor Pérez-Díaz**, Doctor en Sociología por la *Universidad de Harvard* y Presidente de *Analistas Socio-Políticos*, y por el Profesor **Juan Carlos Rodríguez**, Investigador de *Analistas Socio-Políticos*.

PRIMERA INVESTIGACIÓN SOBRE LOS CONDICIONANTES CULTURALES DE LA INNOVACIÓN EN ESPAÑA

Las principales conclusiones del informe son dos. La primera se refiere a que las mayores tasas de innovación, medidas en patentes por millón de habitantes, se dan en los países en los que más se observa un síndrome cultural caracterizado por el **cultivo de la inteligencia**, incluyendo

la **dimensión artística**, la **confianza en uno mismo** y la **ecuanimidad** en el trato con los demás, una **reducida aversión al riesgo**, la **confianza generalizada** en los demás, una **corta distancia entre la ciudadanía** y las **élites políticas y económicas**, y una **gran amplitud de horizontes vitales**.

Así, se observan relaciones positivas y sustantivas entre la capacidad de innovación de los países y varios indicadores tales como los resultados en los tests internacionales de Matemáticas, el esfuerzo en el estudio, la lectura de libros y el menor consumo de televisión, y especialmente con la práctica habitual de actividades artísticas. También se observa esa relación con la emancipación más temprana del hogar familiar, la menor aversión al riesgo, y un conjunto de actitudes que apuntan a una mayor confianza de los jóvenes en sí mismos y en los demás, con un mayor nivel de asociacionismo, y con la menor alienación política o distancia del poder político. Por último, la capacidad de innovación correlaciona positivamente con indicadores de mayor amplitud del horizonte vital, como la menor fuerza de la identidad local o el mayor contacto con el exterior, por ejemplo, a través del conocimiento de idiomas o de viajes o estancias en el extranjero.

La segunda conclusión apunta a que España presenta todavía tasas bajas de innovación, y ello puede deberse, en parte, al escaso desarrollo de ese tipo de rasgos culturales, algo en lo que se ve acompañada por otros

países de la Europa mediterránea, y que les separa del resto de países de la UE-15, especialmente de los del norte de Europa.

El hallazgo de ese síndrome cultural abre una nueva vía para el entendimiento de los sistemas nacionales de innovación y plantea nuevos retos para su mejora. Por una parte, no basta con dotarse de los recursos económicos y las instituciones adecuadas, sino que es necesario preocuparse por la calidad de esas instituciones y la cultura subyacente. De hecho, a pesar de los últimos treinta años de economía de mercado, de vida democrática y de expansión del sistema de enseñanza, no parece haber mejorado sustancialmente la cultura de la innovación de los españoles.

EL INFORME RELACIONA 57 INDICADORES CULTURALES CON LA TASA DE PATENTES TRIÁDICAS POR MILLÓN DE HABITANTES EN LA UE-15

El informe de Cotec relaciona un total de 57 indicadores culturales con la tasa de patentes triádicas por millón de habitantes en la Europa de los 15. Estos indicadores pueden agruparse como indicios de la extensión en una sociedad de las virtudes morales clásicas, esto es, la prudencia o inteligencia, la fortaleza, la templanza y la justicia, a las que habría que añadir la amplitud de horizontes vitales. Algunos de los más relevantes se recogen a título de ejemplo en el siguiente cuadro:

Relación de los indicadores culturales con la tasa de patentes triádicas y posición de España entre los países de la UE15

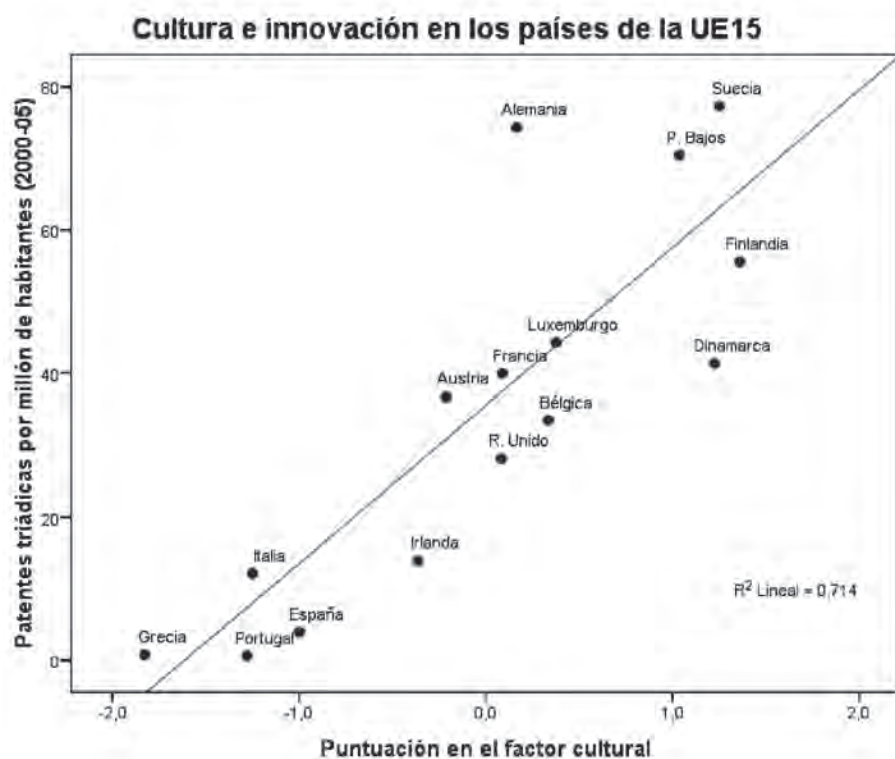
	Relación positiva o negativa con la tasa de patentes	Fuerza de la relación (estadístico R ²)	Posición de España (*)
Indicadores de "inteligencia"			
No practica ninguna actividad artística	-	0,71	12
Resultados test Matemáticas PISA 2006	+	0,49	12
Titulados en FP sobre el total de educación secundaria superior (**)	+	0,48	13
Abandono escolar temprano	-	0,42	14
Indicadores de "fortaleza" y "templanza"			
Importancia de vivir en un entorno seguro	-	0,65	13
Tasa de emancipación	+	0,44	15
Indicadores de "justicia"			
Los demás son honrados	+	0,51	11
Pertenencia a asociaciones voluntarias	+	0,50	12
Confianza en los políticos	+	0,35	13
Indicadores de "horizonte vital"			
Frecuencia de viajes al extranjero	+	0,63	14
Interés por la política	+	0,55	15
Conocimiento de idiomas extranjeros	+	0,48	14

(*) Se ha mantenido la posición de España en el caso de las asociaciones positivas. En el caso de las negativas se ha invertido el orden. De este modo, la información es coherente: una cifra alta implica un puesto bajo en cada ranking.

(**) Sólo se dispone de información de 14 países.

Además, gracias a una técnica estadística de resumen de la información (el análisis factorial) pueden sintetizarse los indicadores en un único factor cultural común a todos ellos, que establece una gradación bastante clara entre los países europeos: los países nórdicos presentan puntuaciones altas; los países mediterráneos (España, Grecia, Italia y Portugal), bajas; y en el medio se encuentran algunos de los países centrales de Europa Occidental (como Francia o Alemania).

En el gráfico siguiente se observa la relación entre las puntuaciones de cada país en ese factor y su tasa de patentes triádicas en los países de la UE-15, comprobándose cómo, a medida que se da más la cultura resumida por esa puntuación, la capacidad de innovación es mayor. ■



El imaginario de los científicos

De Fausto al Dr. Strangelove, pasando por el célebre Frankenstein, el mito del sabio loco es muy común. ¿Quedará para siempre o será reemplazado por una visión más positiva del trabajo de investigación? Vamos a dar aquí una perspectiva histórica de la figura de los científicos en la ficción.

Autor: Daniel Saraga • Fuente: revista REFLEX

Si deseamos encontrar el origen básico del estereotipo de un sabio loco, **Frankenstein** sería el candidato ideal. Escrito en 1818 por **Mary Selley** durante su estancia en la *Villa Diodati* de *Cologny*, cerca de *Ginebra*, «*Frankenstein o el moderno Prometeo*» ha impregnado permanentemente la psiquis colectiva, con su imagen de un investigador corroído por la ambición, que termina por transgredir los tabúes y perderse, consumido por el exceso de sus experimentos.



EL MONSTRUO DEL Dr. FRANKENSTEIN

Hugues Chabot, historiador de las ciencias en la Universidad de Lyon-1, precisa que “*Las películas de Frankenstein no respetan la esencia del relato. Se focalizan sobre su criatura, cuando la auténtica historia se centra en el sabio*”. Por esta razón Frankenstein se asocia con frecuencia al monstruo, cuando se trata, de hecho, del nombre de su creador, el brillante químico ginebrino Víctor Frankenstein. **Patrick Gyger**, director del Espacio Julio Verne y de la *Maison d'Ailleurs* (Museo de la Ciencia Ficción) en *Yverdon*, subraya que “*La transgresión no es el motor real del argumento, sino que aparece más como una consecuencia. El objeto de Frankenstein no es desafiar a Dios, pero se encuentra desbordado por los acontecimientos*”.

El libro es muy claro: la criatura de Frankenstein se vuelve malvada esencialmente por falta de reconocimiento. Horrorizado por su creación, el sabio la rechaza por completo, “*le rehusa todo amor paterno e, incluso, darle un nombre*”, observa Chabot. De alguna manera, el Mal no es intrínseco a su criatura o a las investigaciones que le han dado existencia, sino que deriva de una paternidad mal asumida. Por ello, su lectura queda lejos de la imagen popular del monstruo de Frankenstein.

EL PECADO ORIGINAL

Hugues Chabot añade que “*En occidente, el concepto del sabio loco tiene un componente cristiano muy fuerte. El erudito que traspasa derechos concedidos a los hombres amparándose en un poder casi divino – en el caso de Frankenstein, el de crear vida, tabú absoluto*”. Fausto encarna literalmente al científico destruido por su sed de conocimiento y refleja perfectamente el aspecto religioso del mito. Fausto va hasta el final, hace directamente un pacto con el diablo para obtener el Conocimiento a cambio de su



EL Dr. FAUSTO Y MEFISTÓFELES

alma. Aparecido por vez primera en un cuento del siglo XVI, este escenario no puede más que recordar la expulsión del Jardín del Edén en el Génesis, consecuencia implacable de la desobediencia de Eva por comer el fruto prohibido del Árbol del conocimiento del bien y del mal. La curiosidad del investigador – o de la primera mujer – es pues más que un mal defecto, es un verdadero pecado.

La imagen del científico en la ficción se deriva de la que ocupa en la sociedad y ésta es inseparable de sus investigaciones. En la Edad Media, los científicos tenían a veces reputación de charlatanes, como dice **Roslynn Haynes** en su libro *“De Fausto a Strangelove: representaciones del científico en la literatura occidental”*. El Siglo de las Luces supone el triunfo de la Razón y continúa con la revolución Industrial que, a su vez, levanta una oleada de entusiasmo por el progreso técnico, pero igualmente numerosos temores a la sobre-industrialización.



EL CAPITÁN NEMO, SEGÚN JULIO VERNE

LOS SABIOS, AVENTUREROS Y EXPLORADORES

Las novelas de **Julio Verne** se incluyen en este movimiento positivista. Introducen un nuevo tipo de personaje: el sabio aventurero, que reúne un amplio conocimiento con una intenso afán por la exploración, imagen “a priori” positiva de la ciencia. Pero, como dice **Patrick Syger**, *“de hecho, se trata más de inventores y realizadores que de ratas de laboratorio. Verne habla menos de investigación fundamental que de tecnología, que queda, por otra parte supeditada al relato. El verdadero objetivo del autor es explorar el mundo, y sus héroes inventan máquinas, no por sí mismas, sino sencillamente para poder realizar sus viajes. Son siempre proyectos individuales, desarrollados por sabios un poco*

desfasados e incomprensidos, cuando no monomaniacos”.

Verne es ambivalente respecto a la ciencia. *“Su obra se va volviendo cada vez más sombría”*, dice Syger, *“Se hace eco de un cuestionamiento creciente en la sociedad respecto al progreso tecnológico. En Verne, las utopías sociales, basadas en avances técnicos, acaban a menudo mal”*. Este rechazo a la ciencia produce la corriente romántica que, a comienzo del siglo XX, proclamaba que demasiada razón no deja ningún espacio al sentimiento y que el hombre demasiado racional, deshumanizado, sufre una auténtica enfermedad moral y espiritual.

El escritor inglés **H.G. Wells** presenta también cierta ambigüedad. *“Es un utópico convencido de que la salvación vendrá por el progreso científico, comenta Chabot, pero en su obra aparecen dos investigadores muy negativos”*. El Hombre Invisible, un científico brillante pero arruinado, descubre la fórmula de la invisibilidad, pero acabará por caer en la locura. En cuanto al otro, el **Dr. Moreau**, es un auténtico malvado, antipático y violento, que despreciando la ética, se vuelca en experimentos revolucionarios uniendo quirúrgicamente miembros de animales a cuerpos humanos. Sin embargo, estas quimeras no pueden competir con Frankenstein en el imaginario popular: cuando en 2008 el parlamento inglés autorizó investigaciones para mezclar células humanas y ovocitos animales, la prensa hizo más alusiones al sabio de Selley que al de Wells.



UN MONSTRUO DEL Dr. MOREAU

Otro personaje emblemático, el **Dr. Jekyll** de la novela de **Stevenson**, es un personaje complejo. Este médico de los pobres se dedica a hacer el bien a lo largo del día, pero se convierte en Mr. Hyde por la noche, un compendio de vicio y de crueldad. La razón de esta peculiar esquizofrenia es un experimento fallido mientras el médico, que ensayaba en sí mismo una pócima para separar el mal del bien, la tomaba con objeto de eliminar el primero.



EL Dr. JEKYLL Y Mr. HYDE

SABIOS HISTÓRICOS EN EL CINE

“El estereotipo del sabio loco tiene su apogeo en la primera mitad del siglo XX, expone **Laurent Guido**, profesor de Historia del Cine en la Universidad de Lausana. Las primeras adaptaciones al cine de *Frankenstein*, *El Hombre Invisible* o *Fu-Manchú*, y en innumerables series B de **Boris Karloff** y **Bela Lugosi**, presentan una figura caricaturesca – cráneos desequilibrados, rasgos de la Europa del Este – del científico loco que amenaza en convertirse en todopoderoso. Expresa el miedo de que un solo individuo, amparándose en su poder, tenga terribles consecuencias, angustia ligada al entonces progresión de dictaduras totalitarias y, en especial, fascistas”.

Un período de repunte tuvo lugar con la llegada de la Edad de Oro de la ciencia-ficción, entre los años 1939 y 1950, impulsada por autores como Isaac **Asimov**, **Arthur C. Clarke** y **Ray Bradbury**. “Las primeras revistas de ciencia-ficción tenían una orientación editorial clara en su valoración de la ciencia, explica Chabot. “Los escenarios presentan investigadores esclarecidos que, con sus conocimientos, pueden salvar la civilización”. Por ejemplo el psico-historiador **Hari Sheldon** de la saga *Fundación* de Isaac Asimov, expresa en ecuaciones los principios de sociología y aconseja al gobierno para evitar catástrofes políticas. Cuando se debe combatir una invasión de extraterrestres, el sabio se convierte en un personaje heroico, pero no aislado, sino ayudando a las autoridades – lo que recuerda al creciente papel que juega la ciencia en los temas militares, con el desarrollo de nuevas armas o de técnicas de criptografía.

EL ÁTOMO Y EL GENIO

“Con la posguerra volverán profundas angustias relacionadas con el vertiginoso progreso de las ciencias” argumenta **Jean-Françoise Chassay**, profesor de Literatura en la Universidad de Québec (Montréal). El arma atómica

se convirtió en un fortísimo símbolo del peligro potencial originado por los avances de la investigación básica. Eso influyó fuertemente en la psiquis japonesa que a través de «mangas» y películas como «Godzilla», expresa la angustia de destrucciones apocalípticas. Los Estados Unidos, por el contrario, se sitúan en el otro lado de la bomba y lo nuclear produce Spiderman, un joven físico picado por una araña radioactiva, con el éxito que ya se conoce. Será seguido por una caterva de superhéroes mutantes, casi siempre relacionados con el átomo, tecnología que se presta a originar sorpresas inesperadas.



SPIDERMAN

En la guerra fría, la amenaza atómica planea y se instala permanentemente en nuestra cultura. Aporta uno de los científicos locos más truculentos del cine: el Dr. **Strangelove** de la película de **Stanley Kubrik**, «¿Teléfono rojo?: volamos hacia Moscú». Este antiguo científico nazi, reconvertido en asesor militar americano, analiza con cinismo glacial, las ventajas e inconvenientes de un holocausto nuclear – siempre luchando con una prótesis autónoma que insiste en efectuar a cada paso el saludo hitleriano. Algunos personajes reales, según los críticos, podían haber inspirado a Strangelove y uno de los candidatos favoritos era **Herman Kahn**, empleado en la *Rand Co.* (consejeros del ejército americano en cuestiones de guerra atómica). Tenía la imagen de científico hiper-racional capaz de analizar fríamente los peores escenarios y no dudaba en añadir “solamente” siempre que estimaba el número de millones de víctimas potenciales.



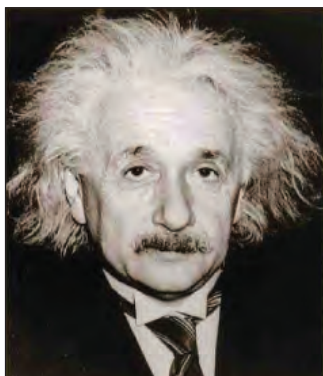
EL Dr. STRANGELOVE SOBRE LA BOMBA

La segunda mitad del siglo XX presenta un cambio en su relación con lo científico. “*De una forma general*”, aclara **Laurent Guido**, “*se critica más la ciencia y sus aplicaciones que a los científicos. En la inmediata posguerra se encuentran más en los comics de superhéroes que en el cine. En los años siguientes, el personaje del científico se presenta a menudo como sometido al poder de cínicos capitalistas, lo que revela de nuevo ciertas inquietudes de la sociedad cara al todopoderoso capital*”.

Con los años 80 llegan nuevos temores. “*Los dilemas éticos planteados por avances en la medicina, como los bebé-probeta y las manipulaciones genéticas perpetúan el cliché del sabio loco que juega con fuego o a ser Dios*”, anota **Jean-Françoise Chassay**. La película «*Parque Jurásico*» ofrece un ejemplo interesante: si bien la catástrofe acontece por la clonación de dinosaurios, el héroe está representado por un científico, el matemático **Ian Malcolm**, interpretado por **Jeff Goldblum**, que en «*La Mosca*» y en «*Independence Day*» se había especializado en papeles de científico intrépido.

Las preocupaciones relacionadas con el medioambiente nos aportan algunos héroes discretos, como el paleontólogo de «*El día después*», que intenta sin éxito alertar a la ONU de los peligros del cambio climático, pero que al menos llega a salvar a su hijo del inicio de una glaciación

El arqueólogo más célebre de la gran pantalla, **Indiana Jones**, presenta sin duda una imagen positiva. Pero, a la inversa, su carácter científico queda oscurecido por las aventuras rocambolescas de un héroe valiente, combativo y saqueador de civilizaciones. La serie de películas «*Regreso al futuro*» presenta en su protagonista una a modo de copia del mayor icono de la ciencia moderna, **Albert Einstein**. **Emmet “Doc” Brown** es un genio chiflado, desgarrado y mal peinado. Quizá porque en ciencia, el genio parece siempre coincidir con el loco – o al menos con una excentricidad visible por los cabellos indisciplinados –, al contrario que otros campos que pueden presentar a sus superdotados con apariencias normales.



ALBERT EINSTEIN

NOTA DE LA REDACCIÓN

En una época más reciente a la de las obras examinadas en el texto, se sitúa el autor de best sellers fantásticos, **Dan Brown** («*El Código Da Vinci*») que en otra de sus novelas, «*Ángeles y Demonios*» retrata a un sacerdote y científico del CERN, **Leonardo Vetra**, que ha sido capaz de crear y confinar apreciables cantidades de antimateria en recipientes especiales. Uno de ellos, sustraído por la secta satánica de los *Illuminati*, genera el caos en el Vaticano durante las elecciones de un nuevo Papa.

CIENTÍFICOS SIMPLEMENTE ÚTILES

“*Una nueva era se abrió con las series de TV*”, anota **Hugues Chabot**. “*Toman el relevo al cine y se dirigen a una población más joven. Sus emisiones forman la representación más sexy de la ciencia. «A través del tiempo» relata las aventuras, muy positivas, de un científico trasladado a diferentes épocas y que saca provecho de sus conocimientos. Con diagnósticos expertos que salvan centenares de vidas, «Urgencias» y otras series hospitalarias, presentan una forma de ciencia muy útil para la sociedad y fuertemente valorizada. Aprovechando la eterna popularidad de las series policíacas, «CSI» con sus numerosas similares exponen complejas tecnologías en modernos laboratorios.*

“*Ciertas series como «Regénesis» y su héroe luchando contra las epidemias virales plasman con cierto realismo la vida de los laboratorios*”, apunta **Hugues Chabot**, “*Abordan cuestiones éticas que se plantean a los científicos ante las presiones políticas y económicas que sufren. Muestran también el carácter colectivo de la investigación*”. En este sentido, la visión más positiva y realista de la investigación parece reflejar en la ficción un movimiento en pleno desarrollo en la sociedad: las comunidades científicas, académicas y políticas se orientan con energía a popularizar la ciencia, en presentarla bajo un aspecto favorable, y también en explicar su funcionamiento. Estas series ponen menos énfasis en la investigación básica. “*Sus héroes ya no son inventores*”, explica **Laurent Guido**, “*sino sencillamente expertos. Es, en efecto, el papel reservado actualmente a la ciencia: ser suministradora de expertos para la justicia o la política*”

La mujer científica es aun más rara en la ficción que en la realidad. Una notable excepción: la joven astrónoma **Ellie Arroway** de la película «*Contact*», interpretada por **Jodie Foster**, una científica brillante que no aparece francamente feliz en la ficción: está inspirada en la persona real de **Hill Tarter**, actual directora de una de las más importantes instituciones dedicada a la búsqueda de inteligencia extraterrestre, el *Centro de Investigación SETI*.

«*Friends*», una de las series más populares del mundo, nos ofrece una de las imágenes más realista y neutra de un investigador. El ligue intermitente de **Rachel Green**, **Ross Geller**, es paleontólogo. Pero nadie habla de ello o casi ni se plantea, ofreciendo, por fin, a los científicos la normalidad que merecen.

PROYECTO RESCATAME: Nueva estrategia de gestión y control de la contaminación generada por el tráfico urbano

Fuente: Centro Tecnológico CARTIF
Autores: Dolores Hidalgo, Marta Gómez, Rubén Irusta,
Emilia Sastre, Francisco García-Blanch

En la actualidad, las principales ciudades europeas miden sus niveles de contaminación únicamente a través de estaciones fijas situadas en unos pocos puntos de la geografía urbana o los estiman mediante la utilización de modelos meteorológicos de predicción de contaminación futura. Pocas ciudades, sin embargo, integran información proveniente de ambas fuentes con el objetivo de efectuar un control continuo de los flujos de tráfico que pueden originar episodios de emergencia debidos a niveles de contaminación que superen los límites legales. Los sistemas de gestión de tráfico actuales, por otra parte, siguen casi en exclusiva modelos de movilidad orientados a resolver cualquier volumen de demanda de tráfico que exista en las vías urbanas, sin tener en cuenta ninguna consideración medioambiental. Es por ello que el uso e integración de datos medidos y modelizados es un elemento esencial de la futura gestión de la contaminación atmosférica.

Con el proyecto RESCATAME (*Red Extensa de Sensores de Calidad del aire para una Administración de Tráfico urbano Amigable con el Medio ambiente*), www.rescatame

(www.rescatame), cofinanciado por el programa LIFE, se pretende conseguir un tráfico urbano sostenible, gestionando para ello un modelo estadístico de predicción de la contaminación atmosférica que se alimente con los datos provenientes de una amplia red de sensores de bajo coste. Dichos sensores coexistirán con los sistemas de medición ya disponibles, lo que permitirá incrementar la capacidad de monitorización gracias a dicha red, y se situarán en puntos estratégicos de las principales vías de la ciudad para recoger información relevante relativa al tráfico y a los niveles de contaminación que éste genera y así, a través de modelos informáticos:

- producir predicciones de niveles de contaminación en tiempo real,
- calcular los efectos de posibles escenarios de regulación del tráfico, y
- contrastar el impacto teórico calculado sobre la contaminación en dichos escenarios comparándolos con los nuevos datos reales recogidos por los instrumentos de medición.

Esta información retroalimenta el sistema de regulación consiguiendo realizar un ajuste fino en tiempo real entre medidas tomadas para el control del tráfico y reducción alcanzada de los niveles de contaminación.

A través del proyecto RESCATAME se pretende crear una plataforma de datos para informar, entender, valorar y evaluar impactos

de las acciones encaminadas a mejorar la accesibilidad, abordar el problema de la congestión, mejorar la calidad del aire y poner en marcha un Sistema de Información de Tráfico.

El ámbito geográfico de aplicación del proyecto será inicialmente la ciudad de Salamanca, donde el impacto positivo derivado de una reducción en los niveles de contaminación afectará no solo a la salud humana y al medio ambiente, sino también al patrimonio histórico que dicha ciudad posee (el centro histórico de Salamanca fue declarado *Patrimonio de la Humanidad* en 1988 y Capital Europea de la Cultura en el año 2002). El modelo propuesto, sin embargo, puede replicarse a distintas vías de tráfico y escalas espaciales: nacional, regional, urbana.

La propuesta del proyecto RESCATAME se adecua a los requerimientos fijados por la normativa europea en materia de sistemas de medida y seguimiento de la contaminación en aglomeraciones urbanas, y facilita la elaboración de planes de acción concretos para evitar zonas puntuales de elevada contaminación. Además ofrece a las autoridades locales un enfoque más integrador de la gestión urbana, incluyendo los sectores de la energía, transporte y el medio ambiente.



Cómo se mide la exposición a la radiación

Fuente: Live Science



Alrededor de 150 personas que viven o trabajan cerca de las instalaciones dañadas de la central nuclear japonesa en **Fukushima** han sufrido exposición a la radiación y 23 de ellas tienen necesidad de tratamiento. ¿Cómo se mide su grado de exposición?

De acuerdo con la Comisión Reguladora Nuclear (NRC) de los Estados Unidos, la exposición indica la cantidad de radiación recibida (rayos X, rayos gamma, neutrones, partículas alfa y beta). Esta exposición -generalmente expresada en unidades roentgen- se mide por los contadores **Geiger** y otros dispositivos similares. Un contador Geiger registra la cantidad de gas que ha sido ionizado por radiación entrante y convierte esa información en una señal electrónica.

La gente no absorbe toda la radiación a la que está expuesta, sin embargo, la mayor parte pasa directamente a través de sus cuerpos. Una pequeña cantidad de la energía transportada por la radiación es absorbida por los tejidos corporales. Esta cantidad absorbida se mide en unidades de "dosis de radiación absorbida" (rad). La radiación afecta de diferente forma a cada persona, pero una regla empírica

utilizada por los equipos de seguridad es que un **Roentgen** de exposición a rayos gamma o X, normalmente produce aproximadamente una *dosis absorbida* de 1 rad. Al medir el nivel de radiación alrededor del cuerpo de una persona utilizando un contador Geiger, se puede estimar la dosis absorbida por esa persona.

Una medida más sofisticada de exposición a la radiación (*dosis efectiva*), tiene en cuenta la nocividad del tipo específico de radiación recibida. Mientras que la dosis efectiva es la misma para radiaciones beta y gamma, para la radiación alfa y neutrones - tipos que son especialmente peligrosos para el cuerpo humano - la *dosis efectiva* tiene un valor mayor que la *dosis absorbida*. Una medida de la dosis efectiva por lo tanto, da una escala concreta real para determinar la peligrosidad de un incidente. Una unidad de *dosis efectiva* es el "hombre roentgen equivalente" o REM, y un sievert (Sv) son 100 REMs.

Una persona media recibe una *dosis efectiva* de 0,36 REMs al año. El 80% de esta radiación proviene de fuentes naturales como materiales radiactivos en la corteza y el manto de la Tierra y otros orígenes provenientes del espacio exterior. El restante 20% se debe a fuentes artificiales de radiación tales como máquinas de rayos X, detectores de humo industrial y secuelas de los ensayos de armas nucleares.

En los Estados Unidos, por ejemplo, la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) limita la exposición a la radiación en los adultos que trabajan con material radioactivo a 5 REMs por año. El límite puede elevarse a 25 REMs, cuando hay una emergencia y ese nivel aún no es considerado peligroso.

Los niveles de radiación en Fukushima se dispararon a 0,8 REMs por hora después de una de las explosiones en uno de los reactores nucleares. Si los trabajadores de emergencia no habrían sido evacuados poco después, habrían alcanzado su dosis ocupacional anual límite en poco más de 6 horas.

Aunque tal dosis es potencialmente peligrosa, no se considera letal. Según la NRC, "*Se estima que seres humanos expuestos a 500 REMs de radiación de una sola vez, morirán probablemente sin remedio. Del mismo modo, una dosis única de 100 REMs puede hacer que una persona experimente náuseas o enrojecimiento de la piel (aunque la recuperación es probable), y cerca de 25 REMs puede causar esterilidad temporal en los hombres. Sin embargo, si estas dosis se extienden en el tiempo, sin ser exposiciones de una sola vez, sus efectos tienden a ser menos graves*". ■

El accidente de FUKUSHIMA

Autor: Pedro Corcuera (Universidad de Cantabria)
Fuente: IAEA y TOKIO ELECTRIC POWER

Antes de intentar explicar lo ocurrido en las plantas nucleares de **Fukushima Daiichi** es preciso mencionar la composición básica de este complejo nuclear:

- Unidades 1, 2, 6 construido por General Electric, potencias de: 439, 760, 1067 MWe, fechas de inicio de operación: Nov. 1970, Dic. 1973, May 1979
- Unidades 3 y 5 construido por Toshiba, potencias de: 760 MWe, fechas de inicio de operación: Oct. 1974 y Sep. 1977
- Unidad 4 construido por Hitachi, potencia de: 760 MWe, fechas de inicio de operación: Feb 1978.
- Los sistemas nucleares de generación de vapor son del tipo BWR/3 en la unidad 1, BWR/4 en las unidades 2, 3, 4, 5 y BWR/5 en la unidad 6. En lo que respecta a la contención todas son de tipo Mark 1 salvo la unidad 6 que es de tipo Mark 2.
- Todas las unidades usan como combustible UO_2 , excepto la unidad 3 que usa MOX.

Otro aspecto reseñable, es la valoración del nivel de seguridad de las instalaciones nucleares que se realiza según el análisis de transitorios base de diseño (determinista) y los análisis de riesgo residual (probabilista). Ambos análisis tienen en cuenta situaciones muy exigentes para la protección e intentan demostrar que la misma es eficaz frente a las hipótesis de diseño y otras similares, así como la estimación de la frecuencia con la que se pueden superar determinados límites de seguridad. Por otro lado, está el factor humano que debe estar preparado para seguir los procedimientos con una baja probabilidad de error. En cuanto a la contención Mark 1, ésta se inertiza con

nitrógeno para evitarla combustión del hidrógeno que se genera como consecuencia de la oxidación del *Zircaloy* de las barras de combustible en caso de descubrimiento del núcleo y la generación de oxígeno por radiólisis del agua.

Si existe degradación del núcleo (fusión) existen las guías de gestión de accidentes severos de las centrales BWR que contienen las estrategias a emplear para inundar la contención o la vasija del reactor lo suficiente para enfriar el *corium* y conseguir un estado estable en la planta, finalizando el daño al núcleo tratando de mantener la capacidad de la contención durante la mayor parte del tiempo y reduciendo al mínimo el escape radiactivo interno y externo.

Según la información del TEPCO en el momento de producirse el terremoto (11 Marzo 2011, 2:46):

- Las unidades 1,2,3 estaban operando y pararon automáticamente, las unidades 4,5,6 estaban paradas por mantenimiento.
- El contenido de elementos combustibles en el momento del accidente era:

Unidad	Núcleo del reactor	Piscina de combustible
1	400	292
2	548	587
3	548	514
4	0	1479
5	418	946
6	634	876

Después de ocurrido el terremoto, al que los sistemas de seguridad respondieron adecuadamente, siguió un gran maremoto que afectó la alimentación eléctrica de los sistemas, en especial de los de eliminación del calor residual, produciendo lo que en los análisis de seguridad se conoce



como Station Blackout (SBO) o pérdida total de corriente alterna. El calor residual (1% de la potencia térmica a las 24 horas) después de parado el reactor decae lentamente por lo que es suficiente para originar un daño grave al núcleo si se produce una pérdida de refrigeración, como ha sucedido por el SBO prolongado. En Fukushima los edificios de contención de las unidades 1,3 y 4 han sufrido graves daños por la deflagración de hidrógeno. La unidad 4 que se encontraba parada, pero con todos los elementos combustibles en la piscina pueden haber quedado expuestos a la atmósfera. Dada la gravedad del accidente y la urgencia de refrigerar el combustible se ha utilizado agua de mar mezclado con ácido bórico para ese cometido por varios mecanismos no convencionales (bomberos y helicópteros).

Los niveles de radiación emitidos a la atmósfera, aunque no son dañinos a la salud hasta la fecha (22/03/2011), pueden aumentar constituyendo un riesgo mayor. Todo dependerá de la reposición del suministro eléctrico y los sistemas de refrigeración de los elementos combustibles.

Las consecuencias de este accidente, desde el punto de vista técnico, será el replanteamiento de los criterios en los análisis de seguridad, diseño de las plantas y cálculo de valores extremos de desastres naturales.

La búsqueda de ecoeficiencia en hospitales: el modelo del Area Hospitalaria “Juan Ramón Jiménez” de Huelva

Autores: Angel Mena-Nieto (Universidad de Huelva) y Agustín Ortega-García (Hospital Juan Ramón Jiménez)

La concesión por la Comisión Europea al Área Hospitalaria “Juan Ramón Jiménez” de Huelva del premio nacional **GreenBuilding** 2010 al mejor edificio reformado, supone el reconocimiento de una dilatada trayectoria de búsqueda de la excelencia en la gestión ambiental y energética de los dos hospitales y del centro de especialidades de ella dependientes. En este artículo se describen las principales actuaciones realizadas durante la última década en materia de eficiencia energética, uso responsable de los recursos naturales, incorporación de energías alternativas y disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

1. JUSTIFICACIÓN

Un reciente Informe del *Observatorio Europeo de Sistemas y Políticas de Salud* señala que el gasto sanitario en España sigue creciendo, habiendo alcanzado en 2007 el 8,5% del PIB español [1]. La mayor parte del mismo (71%), se paga con fondos públicos (principalmente impuestos), y el resto es sufragado directamente por los ciudadanos (22,4%) y por seguros privados (5,5%). Algunos expertos, como el ex-ministro de Sanidad, **Bernat Soria** [2], plantean que “*si no se toman medidas, el Sistema Nacional de Salud no será sostenible financieramente en cinco años*”.

El sector hospitalario español está formado por 800 hospitales de diferentes tipos y tamaños. Todos ellos tienen una demanda energética alta,

debido a su constante necesidad de suministro, ya que sus instalaciones funcionan durante 24 horas al día y 365 días al año. Además, solo en 2007, se atendieron 77 millones de consultas [3]. Por tanto, los gestores de complejos hospitalarios, tienen que emprender acciones para reducir los costes sanitarios, en particular, los energéticos, ya que éstos crecerán en el futuro, debido a la mayor esperanza de vida de la población española, que ha crecido 3,1 años desde 1995 a 2007 [4], al mayor uso de los servicios de urgencia [5] y a la necesidad de inversiones para renovar y automatizar instalaciones obsoletas [6].

2. LA BÚSQUEDA DE LA ECOEFICIENCIA EN LA GESTIÓN HOSPITALARIA

Mejorar la gestión ambiental y la eficiencia energética de un complejo

hospitalario genera beneficios económicos, ambientales y mejora la imagen corporativa. Por tanto, aplicar en los hospitales, los principios de la “sostenibilidad medioambiental” se convierte en un objetivo clave, ya que éstos deben convertirse en modelos de referencia para el resto de la sociedad. Es preciso evaluar la política energética previa y establecer un plan de actuación para mejorarla, deben fijarse unos objetivos energéticos iniciales e integrar dichos objetivos dentro del sistema integrado de gestión del hospital, introduciéndolos en la política medioambiental y en el resto de políticas de compras, operación y mantenimiento, etc. Una vez puesto en marcha el proceso, se deben evaluar regularmente los resultados y la eficiencia energética alcanzada, implantando actuaciones y proyectos que la mejoren. Por consiguiente, el Sistema Integrado de Gestión



Figura 1: El sistema Integrado de Gestión como herramienta de Sostenibilidad.

Colaboración

del complejo hospitalario debe ser concebido como una herramienta de Sostenibilidad, donde cada actividad se orienta hacia la búsqueda de la mayor eficiencia, en un proceso de mejora continua.

A continuación, se describen las principales actuaciones emprendidas para mejorar la ecoeficiencia. En 1998, se pone en marcha un Plan de Gestión de Residuos que estableció una adecuada segregación de los residuos sanitarios peligrosos. A finales de ese mismo año, animados por el éxito obtenido, se inicia la implantación de un *Sistema de Gestión Ambiental (SGA)* aplicable a todos los procesos, no solo a los relacionados con la Gestión de Residuos, meta que culminó en febrero de 2001, con el logro de la certificación ISO 14001, **siendo el primer complejo hospitalario andaluz** en obtenerlo [7].

El siguiente hito se produce en diciembre de 2002, al lograr cumplir los requisitos del *Reglamento Comunitario de Ecogestión y Ecoauditoría Ambiental (EMAS)*, siendo **el primer complejo hospitalario europeo** en lograr el Registro EMAS, que mantiene por octavo año consecutivo, este año 2010 bajo el nuevo EMAS III. Ambas certificaciones ambientales (ISO 14001 y EMAS) avalan el trabajo realizado, algunos de cuyos resultados fueron:

- Reducción del 66% en los residuos sanitarios peligrosos, reciclaje del 90% del papel y cartón (más de 30 toneladas anuales).
- Reducción en un 60% de los vertidos derivados del consumo de productos de limpieza hospitalaria (lejía, desinfectantes, etc.), cerca de 20.000 litros al año.
- Reciclaje del 100% de los aceites industriales y de cocina.

- Disminución del consumo de agua en más de 4 millones de litros al año, gracias a la implantación de innovadores sistemas de limpieza hospitalaria y utilización de filtros perlizadores en grifos y duchas.

Sin embargo, aunque los centros caminaban por la senda de la sostenibilidad y eran modelos de gestión ambiental, no se estaba haciendo todo lo posible en materia de ahorro energético. De modo que, con la misma ilusión y empeño con la que se habían atendido los retos anteriores, se decidió acometer la mejora en gestión energética de los tres centros sanitarios, pero integrándola en los procesos del Sistema Integrado de Gestión. La metodología seguida para elaborar un plan de actuaciones energéticas para el período 2005-2012, fue la siguiente [8]:

- Creación de grupos de trabajo para el análisis de la situación inicial y para el desarrollo del Plan.
- Realización de una auditoría energética en los tres centros sanitarios.
- Recogida de información de los técnicos del Área hospitalaria y análisis de los registros de los servicios de mantenimiento y electromedicina (consumos, averías, tipos de mantenimiento, etc.).
- Recopilación de las recomendaciones de los diferentes organismos internacionales, nacionales y autonómicos.
- Simulación de escenarios de rendimientos energéticos para cada una de las instalaciones industriales de los centros sanitarios.
- Análisis de los avances

tecnológicos y de las mejoras tecnológicas disponibles para las instalaciones existentes y su repercusión en la eficiencia energética.

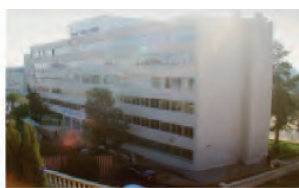
- Análisis de los presupuestos de las actuaciones a realizar, de las inversiones y de sus periodos de recuperación.
- Confección de los expedientes de contratación administrativa y adjudicación de los contratos.
- Ejecución del plan y evaluación de los resultados.
- Introducción de nuevas acciones en el proceso de mejora continua.

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- Se ha eliminado el consumo del gasóleo de calefacción, más de 180.000 litros al año.
- Se han instalado más de 600 m² de paneles solares para la generación de agua caliente sanitaria, consiguiendo una disminución de más de un 30% en el consumo de gas natural.
- Se ha reducido más de un 30% el consumo eléctrico, principalmente gracias a la sustitución del sistema de condensación por aire en las instalaciones centrales de climatización del Hospital **Juan Ramón Jiménez**, por uno de condensación por agua.
- Se han colocado 480 m² de doble acristalamiento tipo *climalit*, con la consecuente disminución del consumo energético en un 10%.
- Se han sustituido 1250 bombillas incandescentes por fluorescentes de “bajo consumo” y se han instalado dispositivos automáticos de encendido, con lo que se ha conseguido un ahorro del 70% respecto al actual.
- Se ha implantado iluminación por leds en la totalidad de los quirófanos de los hospitales de Huelva.
- Se ha reducido el consumo de gas natural y las emisiones de CO₂, optimizando el funcionamiento



Hospital Vázquez Díaz



Centro Periférico de Especialidades Virgen de la Cinta



Hospital Juan Ramón Jiménez

Figura 2: Centros dependientes del Área Hospitalaria.

Es el momento
de avanzar

de los generadores de vapor y minimizando las pérdidas en los circuitos. Se ha cambiado la maquinaria en la lavandería (nueva calandra y túnel de secado de ropa), aprovechando casi un 30% del agua caliente sanitaria producida por el sistema solar térmico.

Todas esas actuaciones han contribuido a cumplir con los requisitos del *Programa Europeo GreenBuilding*, programa voluntario, orientado a la mejora de la eficiencia energética y a la integración de las energías renovables en edificios no residenciales en Europa, dando lugar a la concesión del *Premio Nacional GreenBuilding 2010*. Siguiendo la metodología expuesta, cualquier hospital puede modernizarse tecnológicamente y ser más competitivo. Los gestores sanitarios deben introducir cambios en sus sistemas de gestión y en sus equipamientos tecnológicos para reducir costes y aumentar la sostenibilidad, adoptando una actitud proactiva. Este ha sido el caso del Área hospitalaria **Juan Ramón Jiménez de Huelva**.

4.- BIBLIOGRAFÍA

1. García-Armesto S, Abadía B, Durán A, Bernal E. España: Análisis del Sistema Sanitario 2010. Observatorio Europeo de Sistemas y Políticas de Salud. 2010, p. 15-17.
2. Soria B. Diario Expansion 2 de febrero 2011, p. 6
3. Ministerio de Sanidad y Consumo. Estadística de Establecimientos Sanitarios con Régimen de Internado. Instituto de Información Sanitaria. 2007.
4. Regidor E, Gutierrez-Fisac JL, Alfaro M. Indicadores de Salud 2009. Madrid. Ministerio de Sanidad y Política Social, 2009, p. 19-20.
5. Peiro S, Librero J, Ridao M, Bernal E. "Variabilidad en la utilización de los servicios de urgencias hospitalarias del Sistema Nacional de Salud". Gaceta Sanitaria. 2010. Vol. 24 (1) p. 6-12.
6. Perez-Vidal C, Sabater-Navarro JM, Garcia-Aracil N, Fernández-Jover E. "El oxígeno hiperbárico, una terapia medica de gran futuro". DYNA Ingeniería e Industria. Diciembre 2009. Vol. 84-9 p. 743-752.
7. Ortega A., Huerta M. "Implantación de un sistema de gestión medioambiental en el Area Hospitalaria "Juan Ramon Jimenez" de Huelva". Ingeniería hospitalaria 2002, vol 23, p. 3-7.
8. Ortega, A., Mena, A., Macías, J. "La Gestion Energetica dentro del Sistema Integrado de Gestion del Area Hospitalaria "Juan Ramon Jimenez". Actas del I Simposio Internacional de Gestion Ambiental en Centros Sanitarios. Servicio Extremeño de Salud y FundeSalud. Octubre 2008, Badajoz.



27 - 30
SEPTIEMBRE
2011

Cumbre 2011



trasmét
CUMBRE



Con Francia como País de Honor

- Amplios programas para reconocer las oportunidades de negocio en Francia.
- Agenda de entrevistas con fabricantes franceses.

Y nuevas herramientas promocionales para rentabilizar su participación

- Áreas de nuevos proyectos y negocios.
- Jornadas de diversificación de actividad.
- Catálogo On-line.
- Business Meetings.
- Difusión de novedades.
- Campaña de visitantes y delegaciones extranjeras.

Aproveche las ventajosas condiciones económicas por inscribirse ahora

BILBAO EXHIBITION CENTRE
P.O. Box: 468
48080 BILBAO
Tel.: (+34) 94 404 00 78 / 93
Fax: (+34) 94 404 00 01
E-mail: cumbre@bec.eu

**B!
E!
C!** BILBAO
EXHIBITION
CENTRE

EXPOSSIBLE!

www.bilbaoexhibitioncentre.com

¿Qué método utilizar para estimar la temperatura estática de una formación de petróleo?



Javier Rodríguez-Martín
Ignacio López-Paniagua
Ángel Jiménez-Álvaro
Rafael Nieto-Carliet

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

* ETSI Industriales, C/ Jose Gutiérrez Abascal, 2 - 28006 Madrid. Tfno: +34 91 3364263.
javier.rodriguez.martin@upm.es; ilopez@etsii.upm.es; rnieto@etsii.upm.es; a.jimenez@upm.es

Recibido: 27/07/2010 • Aceptado: 11/12/2010

Which method to use for estimating the static formation temperature of a petroleum reservoir?

ABSTRACT

- The static formation temperature of a petroleum reservoir is relevant for evaluating its properties. There is a variety of methods for estimating it. However, each method assumes different hypotheses and simplifications which lead to diverging estimations, in some cases far from the real value. This makes difficult knowing in advance which method to use. In this paper, the most common methods (Horner, spheric and radial, two-measures and cylindric source) are applied to four different wells. The way of applying them to real cases is described, paying special attention to the necessary input data in each case: especially thermophysical properties and number of measurements. Criteria for estimating properties in case their real value cannot be known are also provided. The paper concludes suggesting a decision tree for selecting the most appropriate method depending on the available information.
- **Keywords:** petroleum, static formation temperature, reservoir, estimation methods, Horner.

RESUMEN

Conocer la temperatura estática de una formación de petróleo es importante a la hora de evaluar y terminar un pozo. Existe una gran variedad de métodos para la determinación de esta temperatura. Cada método utiliza hipótesis y simplificaciones distintas que llevan a estimaciones diferentes, en algunos casos bastante alejadas del valor real. Esto hace difícil saber qué método utilizar. En este trabajo, se aplican los métodos de cálculo más comunes - Horner (HM), flujo radial y esférico (SRM), de las dos medidas (TLM) y de fuente de calor cilíndrica (CSM)- a cuatro pozos distintos. Se describe cómo aplicarlos en casos reales. Se presta especial atención a establecer los datos necesarios en cada caso: propiedades termo-físicas y número de medidas, y se proporcionan criterios para estimarlos en caso de no conocer su valor real. Como conclusiones a este trabajo se presentan una serie de pautas que permiten seleccionar el método de cálculo más conveniente en función de la información de que se disponga.

Palabras clave: petróleo, temperatura de estática, formación, métodos de cálculo, Horner.

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas explotadoras de yacimientos de petróleo diseñan y construyen sus instalaciones optimizándolas para el tipo de petróleo que contiene cada reservorio y para el volumen de producción que se puede obtener de él. Por ello, tener información precisa sobre ambos aspectos lo antes posible puede permitir ahorros importantes en las inversiones en infraestructuras y también acortar los plazos de comienzo de explotación; ambos, aspectos esenciales en la rentabilidad del yacimiento.

La determinación del volumen de producción esperable exige el cálculo del “petróleo original in-situ” (Bidner, 2001). Este cálculo depende de cuatro factores: el volumen de roca del reservorio, la porosidad de esa roca, porcentaje de los poros ocupados por agua y el factor de volumen de petróleo. Los tres primeros se estiman mediante el análisis de muestras

extraídas en la perforación. El factor de volumen de petróleo representa la relación entre el volumen de petróleo en condiciones de reservorio (presión y temperatura) y en condiciones estándares de superficie. Se determina mediante correlaciones que dependen de la presión a la que se encuentra el reservorio y de su temperatura de formación. Para obtener más detalle, consultar Bidner (2001).

Esto hace que la temperatura y la presión del reservorio sean dos características especialmente representativas del mismo. La manera ideal de medirlas sería en el momento de perforar el pozo, introduciendo sondas de presión y temperatura, aprovechando que éste aún no está en explotación. Normalmente se hace así, sin embargo las medidas obtenidas no son las buscadas, especialmente en el caso de la temperatura. La razón es que el propio proceso de perforación perturba el estado del reservorio y provoca cambios en su presión y su temperatura originales (Espinosa-Paredes et al., 2009).

Los pozos se perforan utilizando taladros que van excavando el terreno hasta alcanzar el reservorio. Este proceso requiere refrigerar el taladro y extraer la tierra excavada, para lo que se inyecta por el agujero un fluido que baja hasta el taladro, lo refrigera y sale otra vez a la superficie arrastrando los residuos de tierra y rocas. Este fluido se suele llamar *fluido de circulación*. En el momento en que el taladro penetra finalmente en el reservorio, cae dentro cierta cantidad de fluido de circulación con tierra y rocas. Puede transcurrir cierto tiempo desde este momento hasta que se detecta que se ha alcanzado el reservorio y se extrae el taladro, durante el cual sigue vertiéndose fluido de circulación y tierra. El momento en que se extrae el taladro marca el final de la perforación del pozo, indicado en la Figura 1.

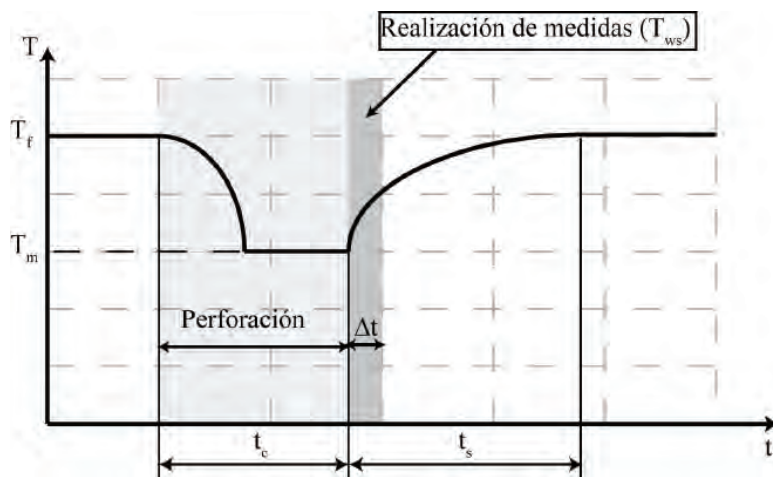


Figura 1: Variación de la temperatura medida en los sensores a lo largo del tiempo

El tiempo t_c que transcurre previamente a extraer el taladro determina las condiciones de temperatura que serán registradas por las sondas. La cantidad de fluido, tierra y rocas vertida al reservorio se encuentra a una temperatura T_m más baja que la que tenía el reservorio antes de la

perforación, por lo que, al entrar en contacto con el petróleo, bajará la temperatura del reservorio en las proximidades del pozo. Las sondas de temperatura, situadas precisamente en esta zona, medirán por tanto valores que no son los característicos del reservorio. Sin embargo, como la masa de petróleo en el reservorio es mucho más grande que la masa del vertido, la temperatura medida T_{ws} se irá elevando a medida que la zona perturbada recupere su temperatura original T_f . Este proceso es la evolución de la temperatura del intervalo t_s representada en la Figura 1. Dejando una sonda de temperatura dentro del pozo durante suficiente tiempo, terminaría midiendo la temperatura original del pozo, que llamaremos *temperatura estática* de la formación T_f . Al tiempo necesario para que esto ocurriese, medido desde el final de la perforación, lo llamaremos *tiempo de estabilización* del pozo t_s .

Normalmente, por razones económicas, hay que retirar las sondas antes de alcanzarse el tiempo de estabilización, por lo que las mediciones de temperatura consistirán en un conjunto de medidas T_{ws} tomadas durante un intervalo de tiempo $\Delta t < t_s$, cuyo valor máximo es inferior a la T_f .

El conjunto de medidas de temperatura obtenidas T_{ws} será una serie de valores ascendentes, pero no llegará al valor buscado. Existen diversas alternativas para proceder que son comunes en la práctica. La más elemental es utilizar el máximo valor de temperatura medido como si fuera la temperatura estática de la formación. También se puede utilizar la serie de medidas tomadas para estimar cuál sería el valor real de la temperatura estática. Existen dos familias de métodos. Los llamados *indirectos* se basan en reglas empíricas que describen la variación de la temperatura con el tiempo. Para estimar T_f , se sustituyen los valores medidos en las fórmulas y se ajustan los parámetros de cálculo iterativamente, hasta minimizar los errores de ajuste. Los segundos son los métodos llamados *directos*, que están basados en modelos de ecuaciones diferenciales que describen los fenómenos de transmisión de calor en el reservorio. Debido a la complejidad del problema y a la ausencia de datos sobre las características del reservorio, suelen simplificarlo de forma que sea resoluble y a la vez representativo de cada caso.

Este artículo va a tratar de esta segunda familia de métodos, y va a aportar criterios para elegir cuál emplear en función de los datos de partida de que se disponga en cada caso. En particular, analizaremos la aplicabilidad y exactitud de cuatro métodos muy extendidos (Santoyo, et al., 2000): *Horner* (HM), *flujo radial y esférico* (SRM), *de las dos medidas* (TLM) y *de fuente de calor cilíndrica* (CSM). Para ello, los aplicaremos a cuatro pozos de características diferentes: ROUX1, HYODO1, DOWDLE1 y SHEN1.

2. MÉTODOS DE CÁLCULO

Como se ha mencionado previamente, en este artículo vamos a analizar cuatro métodos directos para estimar la

temperatura estática de una formación de petróleo. Antes de proceder, es necesario describirlos brevemente.

□ **Método de Horner (HM):** Este método modeliza la perforación como una fuente de calor cilíndrica constante y infinitamente larga. Considera que la temperatura es uniforme en el instante inicial, que el gradiente radial de temperatura permanece constante a lo largo del tiempo y que la temperatura es constante en regiones alejadas (Dowdle & Cobb, 1975).

□ **Método del flujo radial y esférico (SRM):** Este método modeliza la zona perturbada por la perforación como una región esférica, asumiendo que la formación de roca es infinita, homogénea e isotrópica con propiedades termofísicas constantes. Se desprecia la perturbación producida por la circulación de los fluidos (Ascencio, et al., 2006).

□ **Método de las dos medidas (TLM):** Modeliza la perforación como un cilindro con una distribución inicial de temperaturas, T_m en el eje y T_f en las paredes, inmerso en un medio infinito a temperatura constante T_f . Utiliza la ecuación de difusividad térmica que describe la variación de temperatura en este modelo. (Kritkos & Kutasov, 1988, Carslaw, & Jaeger, 1959).

□ **Método de la fuente de calor cilíndrica (CSM):** Supone un modelo físico basado en una fuente de calor cilíndrica. Se basa en los procesos transitorios de intercambio de calor que se producen entre el líquido de circulación y la formación. Se consideran mecanismos de conducción y convección (Hasan & Kabir, 1994).

Todos ellos tienen en común tratar el problema dividiendo en dos la región circundante a la perforación (ver Figura 2). Distinguen por un lado las regiones alejadas de ésta, que asumen que se hallan a temperatura T_f , como lo estarían antes de perforar. Por otro lado consideran la zona afectada térmicamente por los vertidos de la perforación, inmediatamente próxima a ella. En un punto de esta zona es en la que se midieron los valores de temperatura.

La primera diferencia entre los métodos es la geometría que asumen para la zona perturbada. Los métodos HM, TLM y CSM, suponen que la zona perturbada es un cilindro cuyo eje coincide con el eje del pozo (ver Figura 2); las medidas estarían tomadas en un punto de ese eje. El método SRM asimila la zona perturbada a una esfera cuyo centro se sitúa en la intersección del pozo con el reservorio; las medidas estarían tomadas aproximadamente en este punto.

Aparte de las hipótesis geométricas, las diferencias principales entre ellos están en cómo modelizan el proceso de transmisión de calor en la zona perturbada. Brevemente, se puede decir que todos los métodos consideran transmisión por conducción y algunos también por convección, y que algunos consideran condiciones de contorno constantes en algunos puntos y otros consideran condiciones variables.

Como resultado de todo ello, cada método produce una fórmula basada en parámetros propios. Estos parámetros se calculan bien con la serie de medidas de temperatura disponible, bien con datos sobre las características geotérmicas del pozo a estudiar, o bien combinando ambos. Las fórmulas de cada método y la definición de los parámetros se muestran en la Tabla 1.

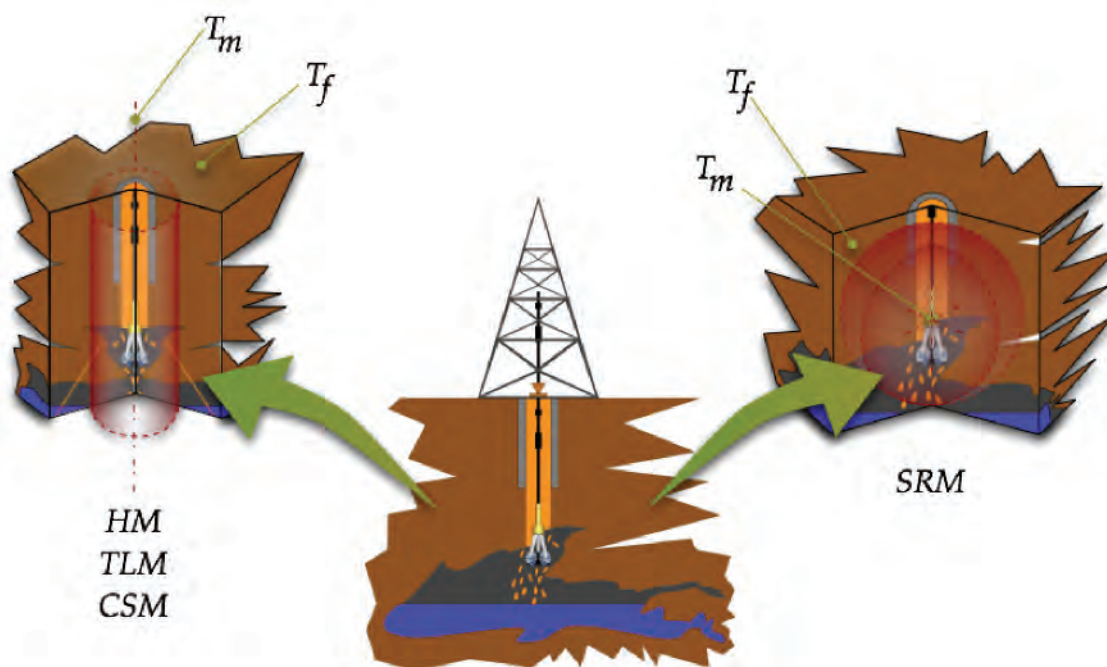


Figura 2: Hipótesis de los distintos métodos empleados en este estudio

Método	Ecuación	Aplicación
HM	$T_{ws} = T_f + b_{HM} \cdot \log \frac{(t_c + \Delta t)}{\Delta t}$	Regresión lineal entre los valores de $\log ((t_c + \Delta t)/\Delta t)$ y T_{ws} .
SRM	$T_{ws} = T_f - m \cdot \frac{1}{\sqrt{\Delta t}}$	Regresión lineal entre los valores de $1/\sqrt{\Delta t}$ y T_{ws} . Válido para: $\Delta t \geq 2 \cdot r_w^2 / a$
TLM	$T_f = T_{ws2} + \gamma \cdot (T_{ws1} - T_{ws2})$ $\gamma = \frac{E_i(-D_1/F_{i2}) + \ln(F_{i2}) - D_2}{E_i(-D_1/F_{i2}) - E_i(-D_1/F_{i1}) + \ln(F_{i2}/F_{i1})}$ $D_1 = 1,1925 \quad D_2 = 0,7532$ $F_{i1} = \frac{\Delta t_1}{t_c} \quad F_{i2} = \frac{\Delta t_2}{t_c}$	Se agrupan las medidas de temperatura T_{ws} y tiempo Δt por parejas ($T_{ws1}, \Delta t_1$) y ($T_{ws2}, \Delta t_2$). Se aplica la expresión para cada pareja. La temperatura estática de la formación es la media de todas las temperaturas obtenidas.
CSM	$T_{ws} = T_f - C_0 \cdot F(t_D + \Delta t_D) - F(t_D) $ $\Delta t_D = \frac{\alpha \cdot \Delta t}{r_w^2} \quad t_D = \frac{\alpha \cdot t_c}{r_w^2}$	Regresión lineal entre los valores de $ F(t_D + \Delta t_D) - F(t_D) $ y T_{ws} .

Tabla 1: Métodos de cálculo de la temperatura estática de la formación

En los métodos HM, SRM y CSM la temperatura estática de la formación se determina obteniendo la recta de regresión entre las medidas T_{ws} y una función de tiempo

$$\log\left(\frac{\Delta t + t_c}{t_c}\right), \quad \frac{1}{\sqrt{\Delta t}} \quad \text{y} \quad |F(t_D + \Delta t_D) - F(t_D)|$$

respectivamente. En el método SRM las medidas incluidas en la regresión deben de ser mayores a dos veces el cuadrado del radio de pozo r_w dividido por la difusividad térmica de la formación a . En el método CSM, la función F depende de las propiedades termo-físicas del pozo, su cálculo en detalle se presenta en Hasan y Kabir (1994). El método TLM se aplica resolviendo la ecuación de la Tabla 1 para cada pareja de temperaturas y calculando la media de todos los resultados. La función E_i representa a la integral exponencial y se resuelve por métodos de aproximación (Abramowitz & Stegun, 1964).

3. DATOS DE MEDIDAS Y PROPIEDADES TERMO-FÍSICAS DE LOS POZOS

Se van aplicar los métodos descritos en la sección anterior a cuatro pozos:

- **ROUX1.** Tiempo de circulación $t_c = 12 h$ (Roux, et al., 1980).

- **HYODO1.** Tiempo de circulación $t_c = 5 h$ (Takai, et al., 1994).
- **DOWDLE1.** Tiempo de circulación $t_c = 3,5 h$ (Dowdle & Cobb, 1975).
- **SHEN1.** Tiempo de circulación $t_c = 5 h$ (Shen & Beck, 1986).

En la Figura 3 se encuentran reflejados las medidas de temperatura T_{ws} y tiempo Δt para cada uno de los cuatro pozos.

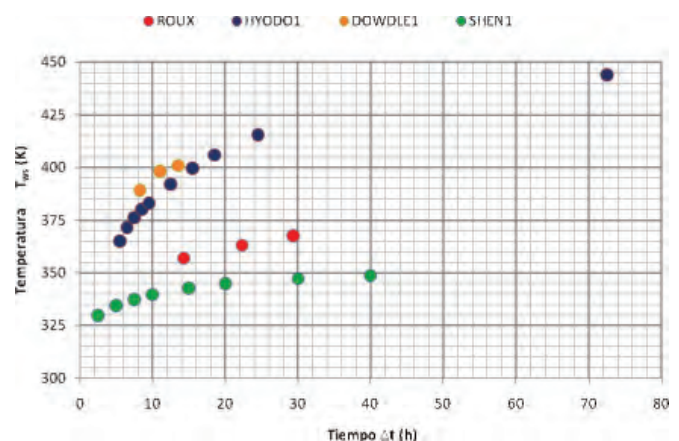


Figura 3: Temperaturas medidas y tiempos para los cuatro pozos

En muchas ocasiones se desconocen las variables que son necesarias para estimar la temperatura estática de la formación según los diferentes métodos de cálculo. A continuación se presentan una serie de criterios que se pueden utilizar para estimar esos valores:

□ **Propiedades térmicas de la formación:** Valores típicos de la conductividad térmica, capacidad calorífica y densidad de la formación son, respectivamente (Takai, et al., 1994).

$$0,42 - 4,2 \text{ W/m K}$$

$$837,36 - 1004,83 \text{ J/kg K}$$

$$1300 - 3000 \text{ kg/m}^3$$

□ **Propiedades térmicas del fluido de circulación:** Se pueden aproximar a las propiedades térmicas del agua (Hasan & Kabir, 1994).

□ **Coefficiente de transmisión de calor:** Se puede aproximar al cociente entre la conductividad térmica del fluido de circulación y el radio del pozo (Hasan & Kabir, 1994).

□ **Difusividad térmica de la formación:** Se puede calcular a partir de las propiedades térmicas de la formación o considerar un valor de $3,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ (Takai, et al.,

1994).

□ **Radio del pozo:** Se puede tomar un valor tipo de $0,1 \text{ m}$ (Takai, et al., 1994).

□ **Masa de fluido de circulación:** Se calcula multiplicando la sección de perforación por la densidad del fluido de circulación.

Las propiedades termo-físicas de los cuatro pozos de estudio vienen reflejadas en la Tabla 2 (con el símbolo * vienen marcadas las que se han estimado según los criterios anteriores). Para el pozo SHEN1 son conocidas la mayoría de las propiedades termo-físicas, para los pozos ROUX1 y DOWDLE1 se conocen algunas de ellas, mientras que para el pozo HYODO1 se han tenido que estimar todas ellas.

Un parámetro que permite evaluar la rapidez de un pozo es el cociente entre la difusividad térmica y el cuadrado del radio del pozo (α / r_w^2). En un pozo lento, como el HYODO1 considerado aquí, este cociente tiene un valor muy inferior a 0,4 (Dowdle & Cobb, 1975).

4. RESULTADOS

En la Tabla 3 se aprecian los resultados obtenidos al aplicar los cuatro métodos de estimación de la temperatura estática de formación (HM, SRM, TLM y CSM) a los cuatro pozos (ROUX1, HYODO1, DOWDLE1 y SHEN1). Para ello se han utilizado las propiedades termo-físicas de la

	ROUX 1	HYODO1	DOWDLE1	SHEN1
Conductividad térmica de la formación (W/m K)	2,42	0,42*	2,42	2,5
Calor específico del fluido de circulación (J/kg K)	4186,73*	4186,73*	4186,73*	3491,6
Difusividad térmica formación (m ² /h)	0,0037	0,0012	0,0037	0,0043
Radio del pozo (m)	0,117	0,1*	0,1*	0,108
Coefficiente de transmisión de calor (W/m ² K)	5,68*	14*	5,68*	5,55
Masa del fluido de circulación (kg/m)	43,28*	31,42*	31,42*	43,97*
Parámetro α/r_w^2 (h ⁻¹)	0,270	0,126	0,372	0,43

Tabla 2: Propiedades termo-físicas de los pozos objeto de estudio

POZO	TEMPERATURA ESTÁTICA DE FORMACIÓN				
	Real (K)	HM (K)	SRM (K)	TLM (K)	CSM (K)
ROUX1	388,15	380,51	391,28	378,55	373,92
HYODO1	489,05	440,45	483,01	432,74	434,97
DOWDLE1	422,04	423,91	444,34	421,41	426,35
SHEN1	353,15	350,04	358,06	347,69	351,48

Tabla 3: Resultados obtenidos para la temperatura estática de la formación

Tabla 2, las medidas de temperatura de la Figura 3 y se han aplicado los métodos según las expresiones de la Tabla 1.



Figura 4: Resultados obtenidos para la temperatura estática de la formación

En la Figura 4 se pueden reflejar los errores cometidos en la estimación de la temperatura estática de la formación para cada pozo.

Un criterio que puede extraerse de este trabajo es que, en el caso de disponer de 2 ó 3 medidas, el método TLM presenta mejores resultados en pozos rápidos que el HM (como en DOWDLE1). No se debe utilizar este método en pozos lentos (HYODO1 y ROUX1). Esto es debido a que las

realizadas en tiempos cortos penalizan la temperatura final obtenida (Drury, 1984).

El método CSM presenta muy buenos resultados en aquellos pozos en que se pueden conocer con precisión las propiedades termo-físicas (SHEN1). La imprecisión en el conocimiento de las propiedades termo-físicas puede dar lugar a desviaciones significativas de la estimación final (Deming, 1989). Por lo que aunque el método CSM sea el que mejor refleje el problema, no siempre proporcionará los mejores resultados. Con los pozos de este estudio no se ha podido comprobar que el método CSM mejore los resultados obtenidos por el método SRM para pozos más lentos, pero pudiera ocurrir que ocurriese si se conocieran con precisión las propiedades termo-físicas. Así, en el caso del pozo ROUX1, cuyas propiedades termo-físicas se conocían en parte, el resultado del método CSM difiere solo un 4,44 % del resultado del método SRM, por lo que cabría esperar que si se conociesen con mayor exactitud la estimación fuese incluso mejor.

El método de HM presenta buenos resultados para los pozos rápidos (SHEN1 y DOWDLE1). Esto es debido a que el gradiente radial de temperatura permanece constante y por lo tanto se cumplen las hipótesis del método (Dowdle & Cobb, 1975).

El método SRM presenta buenos resultados en los pozos lentos (ROUX1 y HYODO1), debido a que se adaptan mejor a la hipótesis de ignorar la perturbación producida por la circulación de fluidos.

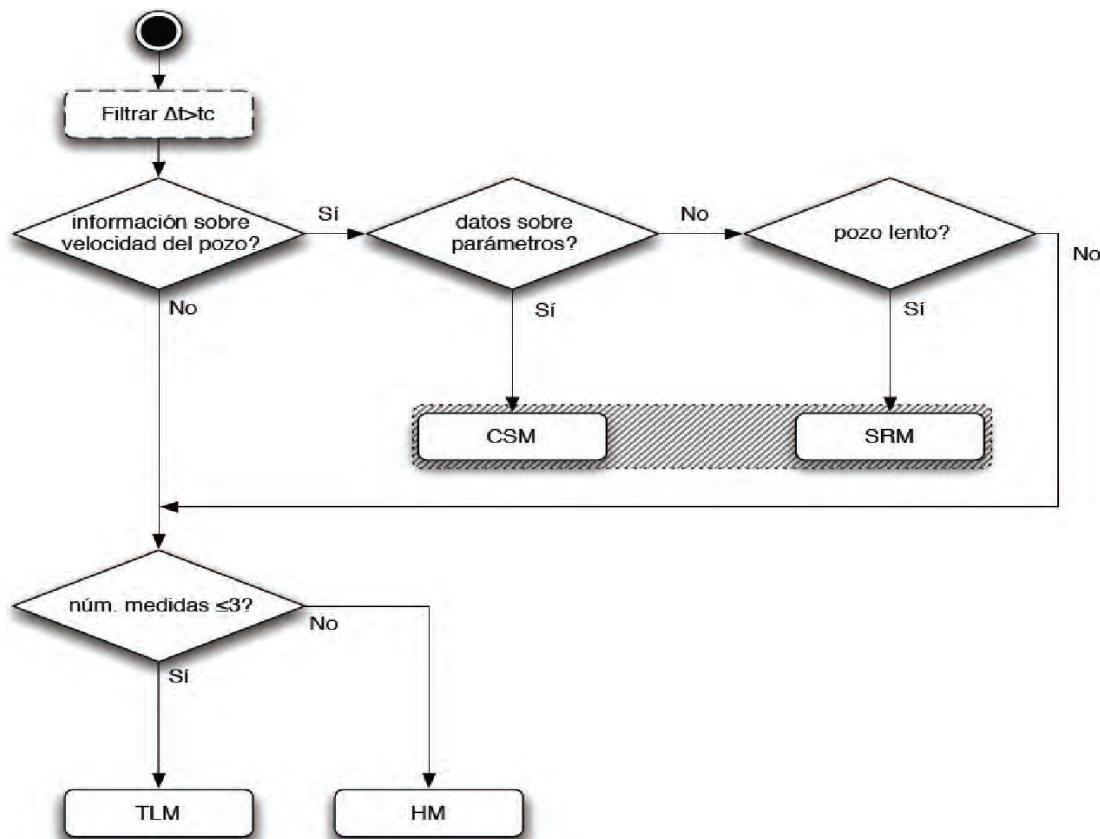


Figura 5: Criterios para la selección de método de cálculo.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con el proceso que sufre un reservorio de petróleo al perforar que muestra la Figura 1, para poder calcular la temperatura de formación sería necesario conocer T_m y la forma de la evolución de la temperatura con el tiempo. En la práctica, podría medirse T_m y se mide la evolución de la temperatura durante un periodo Δt , más corto que t_s . El problema consiste en estimar los parámetros anteriores a partir de éstos. En la realidad, el instante en que se tomó la primera medida es incierto; el número de medidas disponible puede ser muy reducido (2 ó 3), se desconoce la desproporción entre el período de medición Δt y el de establecimiento t_s , y el resto de parámetros necesarios (las propiedades del pozo) para reconstruir la posible evolución de la temperatura frecuentemente también son desconocidos.

El estudio presentado aquí muestra cómo influye la información disponible sobre la estimación de T_f . Disponer de valores para las características del reservorio ayuda a determinar adecuadamente en qué momento de la evolución del pozo se tomaron las medidas y la rapidez de la recuperación de la temperatura. De esta forma el intervalo $T_f - T_m$ queda fijado por las expresiones de la Tabla 1, siendo más precisa la estimación del método que más información usa, CSM.

La Figura 5 muestra un árbol de decisión que permite optimizar la estimación de T_f dependiendo de la información de que se disponga. En caso de disponer de pocas medidas y de no disponer de ninguna información en absoluto sobre las características del pozo, evidentemente no queda determinada la curva de evolución de la temperatura, y es necesario recurrir a aproximaciones de tipo estadístico como el método de Horner (de ahí que sea el más utilizado).

En los casos intermedios, aquellos en que se disponga de alguna información, aunque fuera cualitativa, sobre si el pozo es rápido o lento, podrían obtenerse estimaciones razonables con los otros métodos (SRM Y TLM). Este tipo de información podría deducirse en muchos casos por proximidad geográfica a otros pozos.

La conclusión fundamental es que debe explotarse al máximo la información que se tenga a priori sobre el reservorio y utilizarla ordenadamente según el árbol de decisión de la figura. Tanto la información cualitativa sobre la rapidez del pozo como estimaciones tentativas de las propiedades termo-físicas, pueden ayudar a una estimación más exacta.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abramowitz M, & Stegun IA. (1964). Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. *Dover publications*.
- Andaverde J, Verma SP, & Santoyo E. (2005). Uncertainty estimates of static formation temperatures in boreholes and evaluation of regression models. *Geophysical Journal International*, 160(3), 1112-1122.

- Ascencio F, Samaniego F, & Rivera J. (2006). Application of a spherical-radial heat transfer model to calculate geothermal gradients from measurements in deep boreholes. *Geothermics*, 35(1), pp 70-78.
- Bidner MS (2001). Propiedades de la roca y los fluidos en reservorios de petróleo. Eudeba, pág 20.
- Carlson N, & Barnette J. (1988). Determining a reliable estimate of the geothermal gradient from shut-in temperature recordings. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*,
- Carslaw HS, & Jaeger JC. (1959). Conduction of heat in solids.
- Deming D. (1989). Application of bottom-hole temperature corrections in geothermal studies. *Geothermics*, 18(5-6), pp. 775-786.
- Dowdle WL, & Cobb WM. (1975). Static formation temperature from well logs-an empirical method. *Journal of Petroleum Technology*, 27(11), pp. 1326-1330.
- Drury MJ. (1984). On a possible source of error in extracting equilibrium formation temperatures from borehole BHT data. *Geothermics*, 13(3), pp. 175-180.
- Espinosa-Paredes G, Morales-Díaz A, Olea-González U, & Ambriz-García JJ. (2009). Application of a proportional-integral control for the estimation of static formation temperatures in oil wells. *Marine and Petroleum Geology*, 26(2), pp. 259-268.
- Hasan AR, & Kabir CS. (1994). Static reservoir temperature determination from transient data after mud circulation. *SPE Drilling and Completion*, 9(1), pp 17-24.
- Kritkos WP, & Kutasov IM. (1988). Two-point method for determination of undisturbed reservoir temperature. *SPE (Society of Petroleum Engineers) Format.Eval*, 3(1)
- Roux B, Sanyal S, & Brown S. (1980). An improved approach to estimating true reservoir temperature from transient temperature data. *Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford, CA, USA. pp 373-384.
- Santoyo E, Garcia A, Espinosa G, Hernandez I, & Santoyo S. (2000). STATIC_TEMP: A useful computer code for calculating static formation temperatures in geothermal wells. *Computers & Geosciences*, 26(2), pp 201-217.
- Shen PY, & Beck AE. (1986). Stabilization of bottom hole temperature with finite circulation time and fluid flow. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 86(1), pp. 63-90.
- Takai K, Hyodo M, & Takasugi S. (1994). Estimating of equilibrium formation temperature by curve fitting method and it's problems. *NINETEENTH WORKSHOP GEOTHERMAL RESERVOIR ENGINEERING*, Stanford, California.

Modelo de mecánica de fluidos computacional para el proceso de barrido en un motor Otto de dos tiempos



María Isabel Lamas-Galdo
Carlos Gervasio Rodríguez-Vidal
Juan de Dios Rodríguez-García
Manuel Vicente Fernández-Quintás

Ingeniera Industrial
Lcdo. en Máquinas Navales
Ingeniero Industrial
Ingeniero Técnico Industrial

UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA. ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA. Avenida 19 de Febrero, s/n – 15405 Ferrol (A Coruña). Tfno: +34 981 337400. isabellamas@udc.es; carlosrv27@terra.es; jdedios@cdf.udc.es; m.fquintas@udc.es

Recibido: 28/09/2010 • Aceptado: 11/02/2011

Computational fluid dynamics model to study the scavenging process in a two stroke Otto engine

ABSTRACT

• In this paper, a CFD analysis was carried out to study the scavenging process of a two stroke engine. Particularly, an Otto, 125cc, single-cylinder, loop scavenging and direct injection engine was studied. Transient solutions of pressure, velocity and mass fraction field have been obtained numerically. In order to validate this model, the numerically obtained results were compared to experimental obtained ones, which means that this work can perfectly simulate what happens inside the cylinder. In future projects, the aim is to use this model to optimize the efficiency of the new engines, reducing the habitual problems of short circuiting and losses of fresh charge.

• **Keywords:** two-stroke engine, computational fluid dynamics (CFD), scavenging, internal combustion engine.

RESUMEN

El objetivo del presente artículo ha sido llevar a cabo un análisis CFD para simular el proceso de barrido en un motor de dos tiempos. Concretamente se ha estudiado un motor Otto, de 125cc, monocilíndrico, con barrido a lazo y de inyección directa. Se han obtenido numéricamente soluciones transitorias para el campo de presiones, velocidades y fracciones máxicas. Para ello se ha utilizado un software comercial de CFD.

Para validar este modelo se han contrastado los resultados obtenidos numéricamente con datos experimentales, lo cual indica que este trabajo es una herramienta perfectamente válida para reproducir lo que ocurre en el interior del cilindro. En proyectos futuros, el propósito es utilizar este modelo para optimizar el rendimiento de nuevos diseños de motores, disminuyendo los habituales problemas de cortocircuito y arrastre de gases frescos.

Palabras clave: motor de dos tiempos, mecánica de fluidos computacional (CFD), barrido, motor de combustión interna.

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus comienzos, el motor de dos tiempos ha sido ampliamente utilizado en aplicaciones de pequeña y mediana potencias debido a su sencillez, ligereza, tamaño compacto, elevada potencia específica y robustez. Los principales inconvenientes frente al motor de cuatro tiempos son el elevado consumo de combustible y la producción de contaminación. Sin embargo, recientemente mejoras como la incorporación de la inyección directa y la unidad de control por computadora han propiciado el resurgimiento de este tipo de motores.

Es bien conocido que para el buen funcionamiento de un motor, tanto de cuatro como de dos tiempos, el proceso de *renovación de la carga de gases frescos* es fundamental (Arias-Paz, 2000; Blair, 1996). Un inconveniente general que presentan los motores de dos tiempos se debe a la utilización de un diagrama de distribución simétrico, ya que la renovación de la carga dentro del cilindro es gobernada por el propio pistón al subir y bajar, abriendo y cerrando las lumbreras de transferencia y de escape. Para que no se produzcan retrocesos al cárter, la presión dentro de la cámara debe ser inferior a la de las lumbreras de transferencia.

Para conseguir esto las lumbreras de escape deben ser abiertas antes que las de transferencia, lo cual tiene como consecuencia negativa la pérdida de cierta cantidad de gases frescos por el escape. Otro inconveniente es el cortocircuito, que tiene lugar cuando los gases frescos pasan directamente al escape dejando volúmenes de gases quemados sin ser barridos dentro del cilindro. El arrastre de gases frescos y el cortocircuito constituyen las principales desventajas de los motores de dos tiempos puesto que influyen muy negativamente en el rendimiento, consumo y generación de gases contaminantes.

A lo largo de los años se han empleado diversas tecnologías para solucionar los problemas de cortocircuito y arrastres de gases frescos por el escape (Rodríguez y Antelo, 2010). Algunas soluciones adoptadas en motores Otto de dos tiempos han sido el empleo del barrido transversal empleando pistón con deflector, el barrido en lazo tipo *Schneurlé* (Bell, 1983), los escapes con cámaras de expansión, las válvulas parcializadoras de lumbreras de escape y finalmente la inyección directa. En los motores de dos tiempos la inyección directa aporta numerosas ventajas, siendo la más importante que mejora el problema de arrastre de mezcla fresca por el escape en todas las condiciones de funcionamiento. Como se muestra en la Fig. (1.a), en un motor de dos tiempos convencional de carburación el barrido se realiza con mezcla fresca (combustible más aire). Sin embargo, mediante inyección directa, Fig. (1.b), el barrido se realiza solamente con aire y el aporte de combustible se realiza por medio de inyección directamente en el interior del cilindro y después de cerrarse la lumbrera de escape. Esto hace que, en caso de que existieran arrastres de gases frescos por el escape, solo se perdería aire.

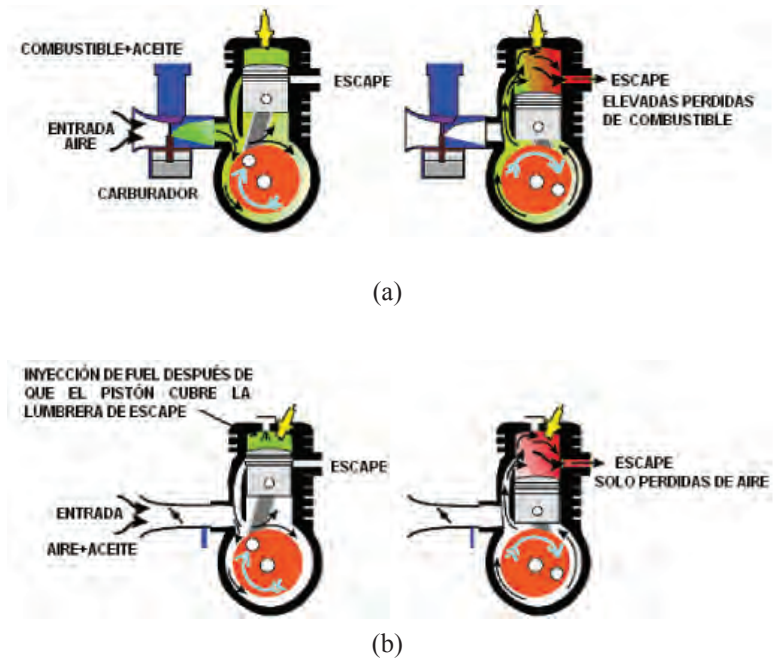


Figura 1: (a) Motor de dos tiempos convencional de carburación; (b) Motor de dos tiempos con inyección directa.

Fuente: Orbital Engine Corporation.

La principal dificultad que aparece a la hora de diseñar un sistema de barrido eficaz es que son muchas las variables implicadas en el proceso: geometría, diseño de las lumbreras, tiempos de admisión y escape, relación de compresión, dosado, etc., siendo necesario un estudio detallado de cada uno de estos parámetros. Aunque actualmente se

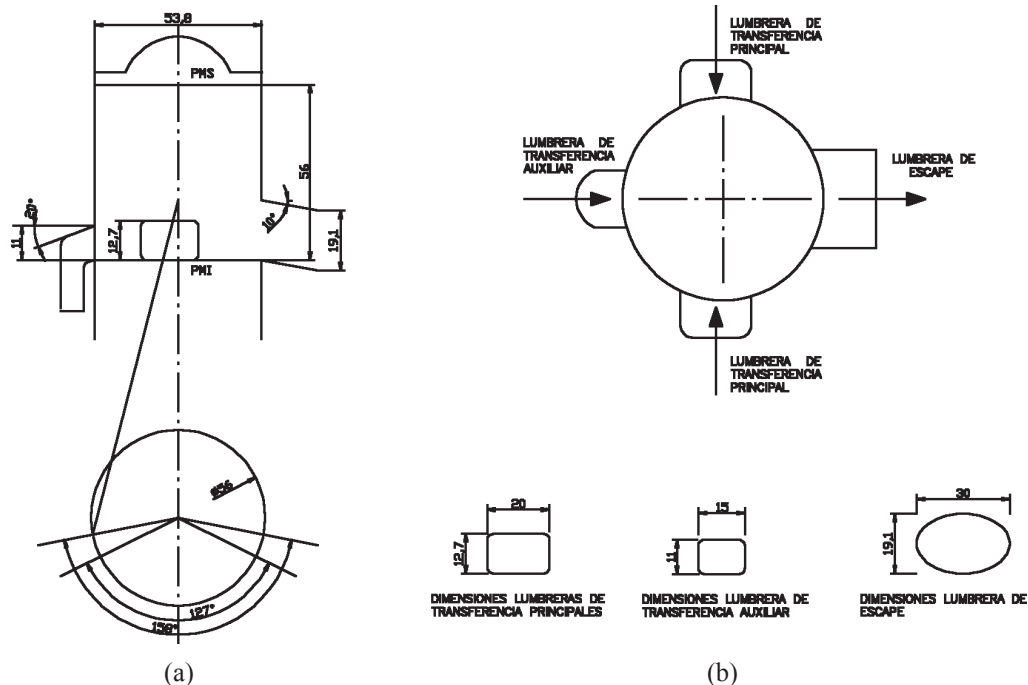


Figura 2: (a) Geometría del cilindro visto lateralmente y diagrama de distribución; (b) Geometría visto en planta y dimensiones de las lumbreras. Dimensiones en mm.

dispone de técnicas experimentales muy avanzadas para proporcionar información del flujo en el interior del cilindro, la dinámica de fluidos computacional (CFD) ofrece un método alternativo que permite reducir el coste de dinero y tiempo que supone un montaje experimental. El término CFD proviene de las siglas del inglés “*Computational Fluid Dynamics*”, lo cual se traduce al castellano como “Mecánica de Fluidos Computacional”. Es una rama de mecánica de fluidos que utiliza procedimientos iterativos para conocer en detalle las características de los flujos. En los últimos años, el avance del CFD y de la computación ha dado lugar a que aparecieran ciertas publicaciones de motores, tanto de lumbreras (Kato et al., 1991; Creaven et al., 2001; Pitta y Kuderu., 2008) como de válvulas (Payri et al., 2004; Hariharan et al., 2009; Albanesi et al., 2009; Rahman et al., 2010; Zancanaro y Vielmo, 2010). Sin embargo, dada la gran utilidad de los procedimientos numéricos, es importante que se sigan simulando motores con el fin de validar totalmente el método y con ello poder implementarlo completamente en el campo del diseño. En el presente trabajo se ha utilizado el CFD para estudiar el proceso de barrido en un motor Otto de dos tiempos de 125cc y se han validado los resultados obtenidos con datos experimentales.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

2.1. GEOMETRÍA DEL MOTOR, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y FUNCIONAMIENTO

El motor estudiado en el presente trabajo es monocilíndrico, con tres lumbreras de transferencia de forma rectangular y una lumbrera de escape de forma elíptica. La configuración del cilindro y el diagrama de distribución se muestran en la Fig. (2) y otras especificaciones técnicas se resumen en la Tabla 1.

Parámetro	Valor
Tipo de Motor	Dos tiempos, Otto
Cilindrada	127,3 cm ³
Relación de compresión	9,86:1
Diámetro x Carrera	53,8 x 56 mm
Longitud de biela	110 mm
Sistema de barrido	Barrido a lazo tipo <i>Schernule</i> , multitransfers
Sistema de combustible	Inyección directa
Sistema de lubricación	Aceite mezclado con el aire de admisión
Instante de ignición	-20° antes de P.M.S. ¹
Escape, apertura/cierre	Duración: 158°; A: 101°; C: 259° después de P.M.S.
Transferencia, apertura/cierre	Duración: 127°; A: 116,5°; C: 243,5° después de P.M.S.
Potencia	7,5 kW
Revoluciones	6.000 rpm

Tabla 1: Especificaciones técnicas

¹ P.M.S.: Punto muerto superior

² P.M.I.: Punto muerto inferior

Con el fin de facilitar la comprensión al lector, antes de proceder con la descripción de los cálculos realizados en este trabajo se hace conveniente describir el principio básico de funcionamiento. Si se considera como inicio el P.M.S., el proceso es el siguiente. El pistón comienza a bajar tras saltar la chispa en la bujía. Durante su descenso, la primera lumbrera en descubrirse es la de escape, por la cual los gases quemados son expulsados hacia el exterior debido a la alta presión existente en el cilindro. A continuación se descubren las lumbreras de transferencia, por las cuales entra aire que desplaza a los gases quemados. La admisión de aire y escape de gases quemados sigue teniendo lugar durante el resto de carrera descendente del pistón y, tras alcanzar el P.M.I.², parte de la ascendente. Cuando el pistón sube, las primeras lumbreras en cerrarse son las de transferencia y posteriormente la de escape. Finalmente, el ciclo termina al llegar el pistón de nuevo al P.M.S.

En la admisión de los motores de dos tiempos se puede hablar de dos fases: admisión al cárter y llenado del cilindro. El cárter, situado bajo el pistón, actúa como una bomba que aspira el aire del exterior y lo transfiere al cilindro. Existen varios tipos de admisión al cárter. En el motor del presente trabajo es por medio de láminas, presentando los conductos de admisión unas válvulas con láminas flexibles que impiden el retroceso por la entrada de las mismas.

2.2. IMPLEMENTACIÓN NUMÉRICA

2.2.1. Parámetros de cálculo

En este trabajo se ha estudiado solamente el proceso de barrido sin considerar la combustión, para lo cual el instante inicial ha tenido que elegirse tal que la combustión se encuentre completada. Concretamente se ha simulado desde 90° de ángulo de cigüeñal hasta 270°, realizándose un total de 180° de recorrido, correspondiendo a 0,005 segundos (debido a que el motor gira a 6.000 rpm).

Todo modelado CFD se compone de 3 etapas: preproceso o generación de la malla computacional, cálculo mediante la solución de las ecuaciones gobernantes y postproceso o visualización de los resultados. Estas etapas se explican con más detalle en los apartados siguientes.

2.2.2. Malla computacional

Para el diseño de la geometría 3D se ha acudido al software comercial *Solid*

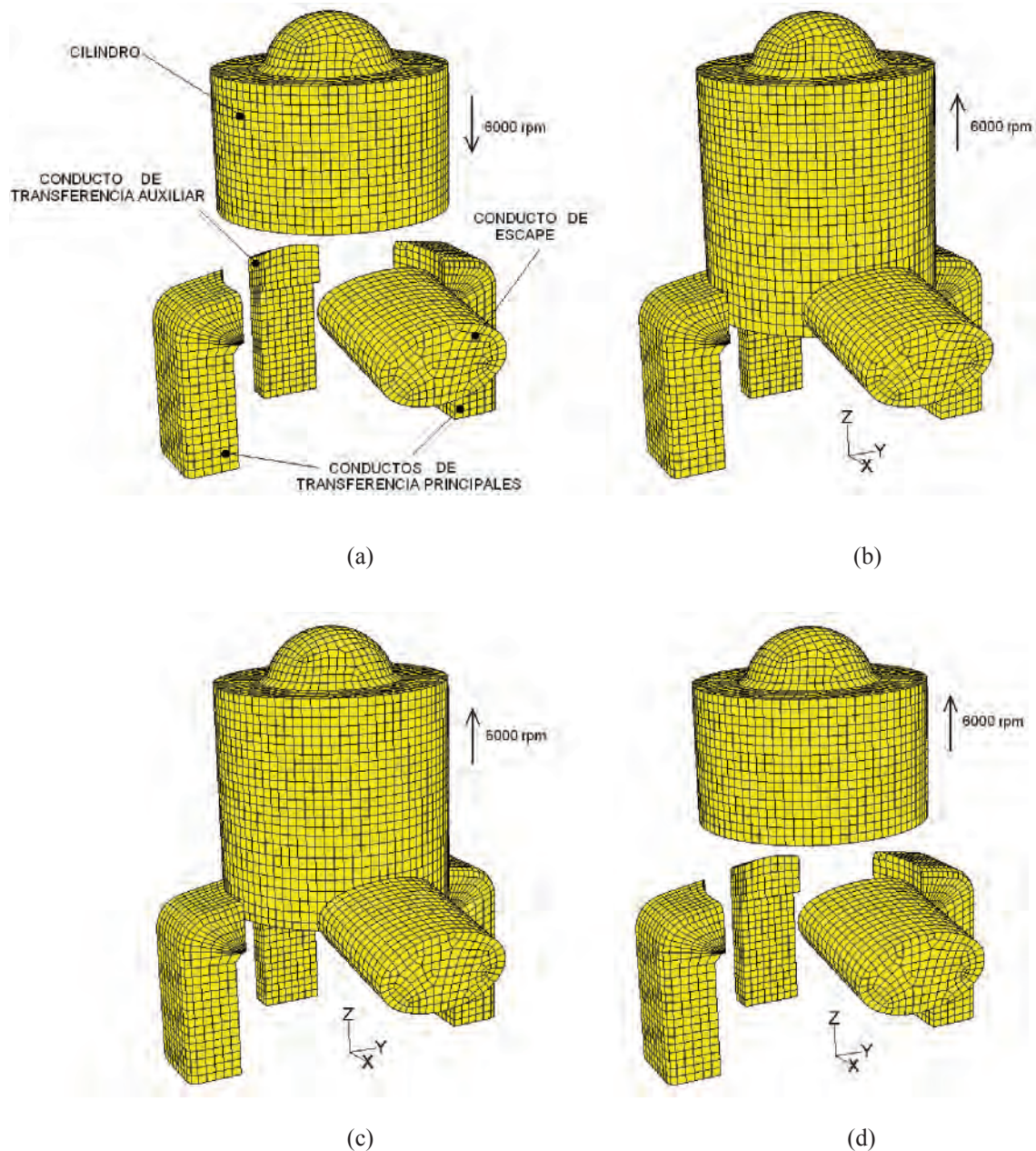


Figura 3: Movimiento y adaptación de la malla; (a) 92° ángulo cigüeñal; (b) 190° ángulo cigüeñal; (c) 215° ángulo cigüeñal; (d) 270° ángulo cigüeñal.

Edge, aunque podrían emplearse otros programas de diseño tales como *CATIA*, *AutoCAD*, *SolidWorks*, *Pro/ENGINEER*, *MicroStation*, etc. En cuanto a la malla, se ha hecho a partir de elementos hexagonales mediante el software *Gambit 2.4*. Con el fin de implementar la variación de volumen dentro de la cámara debido al movimiento del pistón, la malla se ha tenido que hacer deformable. En la Fig. (3) se ha representado la adaptación para cuatro instantes de tiempo, correspondiendo a 92° de ángulo de cigüeñal (pistón descendiendo) y 190°, 215° y 270° de ángulo de cigüeñal

(pistón ascendiendo). Se puede apreciar como la malla en la zona del cilindro se adapta al movimiento añadiendo o suprimiendo capas de celdas adyacentes a la superficie del pistón.

2.2.3. Cálculo CFD

Las ecuaciones gobernantes son las clásicas de mecánica de fluidos de conservación de la masa, cantidad de movimiento y energía. El proceso se ha modelado como mezcla de dos especies, aire y gases quemados, ambas con

comportamiento de gases ideales. Se podrían modelar todos los componentes que intervienen realmente, pero al no estar tratando la combustión, la influencia en los resultados sería prácticamente irrelevante.

En cuanto a turbulencia, se ha empleado el modelo $k-\epsilon$ estandar debido a que tiene la ventaja de ser robusto, computacionalmente económico y lo suficientemente preciso para un amplio rango de casos (Vesteg, 2007; Fluent, 2006). El tratamiento en las regiones cercanas a las paredes ha sido mediante las funciones estándar de pared (Fluent, 2006).

La simulación se ha hecho mediante el software comercial *ANSYS Fluent 6.3*, el cual se basa en el método de volúmenes finitos. El paso de tiempo ha sido equivalente a $0,5^\circ$ de ángulo de cigüeñal, por tanto, se utilizaron 360 pasos de tiempo para simular el recorrido desde 90° hasta 270° . El tiempo de cálculo ha sido de 20 horas en un procesador Intel Core 2 Duo con 4 Gb de memoria RAM.

En cuanto a acoplamiento entre presión-velocidad, se ha acudido al algoritmo PISO. Las ecuaciones gobernantes han sido discretizadas mediante un esquema de segundo orden y el tratamiento temporal mediante primer orden. Dado que las técnicas de CFD proporcionan errores numéricos de discretización (mallado espacial y paso de tiempo) debidos al proceso iterativo, se ha estudiado la sensibilidad ante el tamaño de malla y de paso de tiempo, verificando que los resultados obtenidos son prácticamente insensibles ante variaciones de los mismos.

En todo modelo de CFD es necesario establecer unas condiciones iniciales y de contorno. En cuanto a condiciones de contorno, las presiones en las lumbreras de transferencia y escape han sido medidas experimentalmente en un trabajo previo (Rodríguez, 2010) y aplicadas en el presente modelo. Se representan en la Fig. (6), la cual se comentará más adelante. La intensidad de turbulencia se ha impuesto con valor 5% y la longitud de escala 0,002 m. La temperatura del aire entrante se ha considerado constante e igual a la atmosférica, 300K.

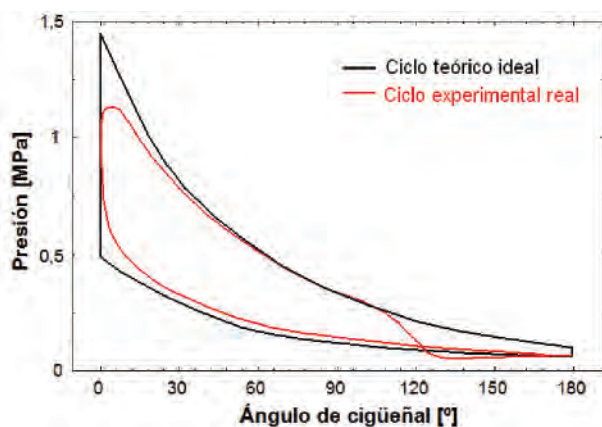
En cuanto a la presión inicial (a 90° de giro de cigüeñal), también ha sido medida experimentalmente, correspondiendo a 430.260 Pa (4,3026 bar) de presión manométrica. Para el caso de la temperatura inicial en el interior del cilindro, por desgracia actualmente no se dispone de instrumentación para medir con la suficiente precisión debido a que el tiempo de respuesta de un sensor de temperatura no es lo suficientemente rápido para seguir la velocidad del motor. Por este motivo, a partir de los datos experimentales de la presión se ha determinado el ciclo termodinámico ideal para presiones y temperaturas, Figs. (4a) y (4b) respectivamente. A partir de este último se ha obtenido la temperatura inicial, resultando 1027 K.

En cuanto a la instrumentación que se ha empleado para medir experimentalmente las presiones, en el caso de las admisión y escape se han utilizado sensores piezoresistivos *Kistler 4007BA20F*, mientras que para el interior del cilindro se ha utilizado un sensor piezoeléctrico *Kistler 6115AFD36* acoplado en la bujía. Estos sensores se conectaron a su correspondiente amplificador de carga y a un sistema de adquisición de datos NI USB-9215A. Los datos han sido analizados mediante el software *LabVIEW SignalExpress LE*.

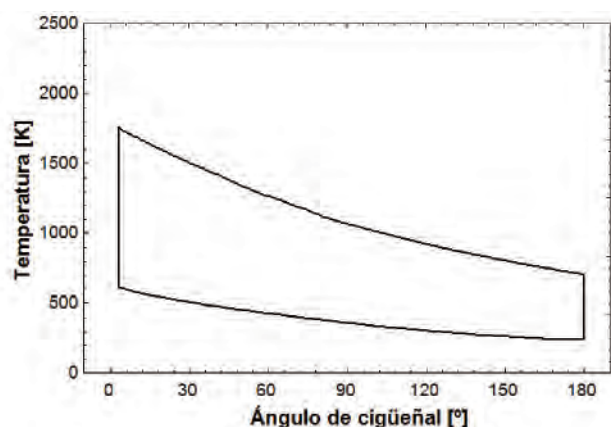
3. RESULTADOS

3.1. CAMPO DE PRESIONES

El campo de presiones se muestra en la Fig. (5). En la Fig. (5.a) se observa como la presión, que se ha establecido en 430.260 Pa para las condiciones iniciales, va descendiendo debido a la expansión originada por el descenso del pistón. En el momento que se abre la lumbrera de escape la presión cae bruscamente dentro de la cámara. Al abrir las lumbreras de transferencia, Fig. (5.b), se observa que la presión en la cámara está por debajo de la presión en las lumbreras de



(a)



(b)

Figura 4: (a) Diagrama de presiones ideal y experimental. (b) Diagrama de temperaturas ideal.

transferencia, lo cual indica que el diseño es adecuado puesto que no da lugar a retrocesos de los gases quemados al cárter (fenómeno que sería muy negativo para el rendimiento del motor). Una vez que el ascenso del pistón efectúa el cierre de todas las lumbreras, Fig. (5.d), la presión va ascendiendo debido a la compresión.

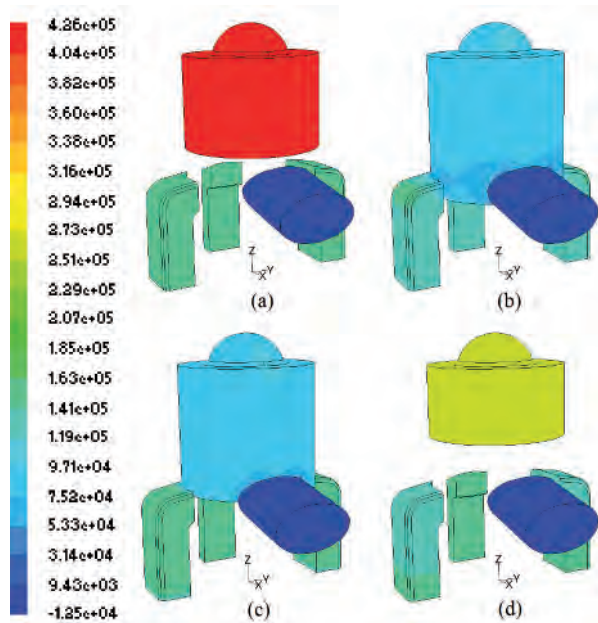


Figura 5: Campo de presiones manométricas [Pa]. (a) 92° ángulo cigüeñal; (b) 190° ángulo cigüeñal; (c) 215° ángulo cigüeñal; (d) 270° ángulo cigüeñal.

En la Fig. (6) se muestra la evolución de la presión en el interior del cilindro obtenida numérica y experimentalmente, así como las presiones en la admisión y escape medidas experimentalmente. Se observa como inicialmente la presión en la cámara cae debido a la expansión provocada por el descenso el pistón. Al abrir la lumbrera de escape (101° de ángulo de cigüeñal) la presión cae rápidamente a valores inferiores a los existentes en el cárter para que, cuando las lumbreras de transferencia inicien su apertura, (116° de ángulo de cigüeñal), los gases frescos que son bombeados desde el cárter se introduzcan a través de las lumbreras de transferencia dentro del cilindro. Finalmente, se observa que cuando cierra la lumbrera de escape (260° de ángulo de cigüeñal) la presión asciende bruscamente. Comparando los resultados obtenidos numérica y experimentalmente de la Fig. (6) se puede apreciar una buena concordancia entre ambos, lo cual indica que el modelo de CFD es perfectamente válido para reproducir el comportamiento del flujo en el interior del cilindro.

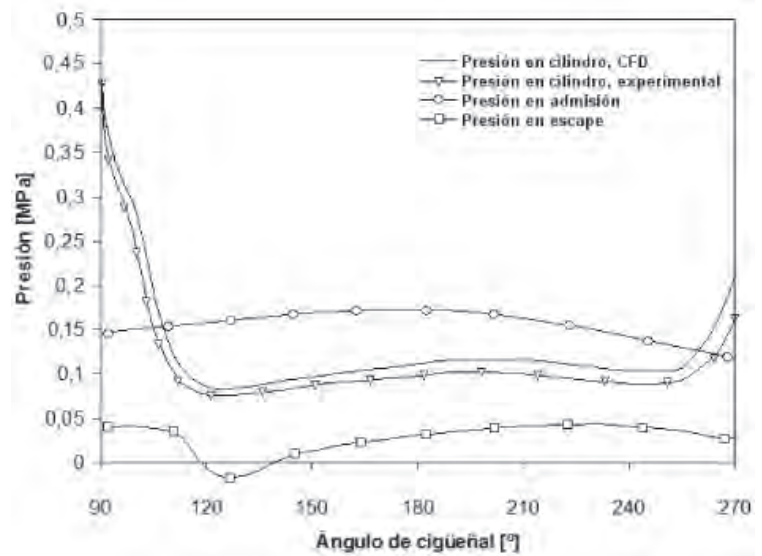


Figura 6: Evolución de la presión manométrica en cilindro, admisión y escape a lo largo del recorrido de cigüeñal.

3.2. CAMPO DE VELOCIDADES

La Fig. (7) muestra el campo de velocidades para 92°, 190°, 215° y 270° de ángulo de cigüeñal. Inicialmente, Fig. (7.a), se observa como solamente hay velocidad en el eje z, v_z , mientras que $v_x=0$ y $v_y=0$. El valor que adopta se corresponde al movimiento descendente del pistón, que en ese instante se está desplazando hacia abajo. Cuando el pistón desciende lo suficiente para que tenga lugar la apertura

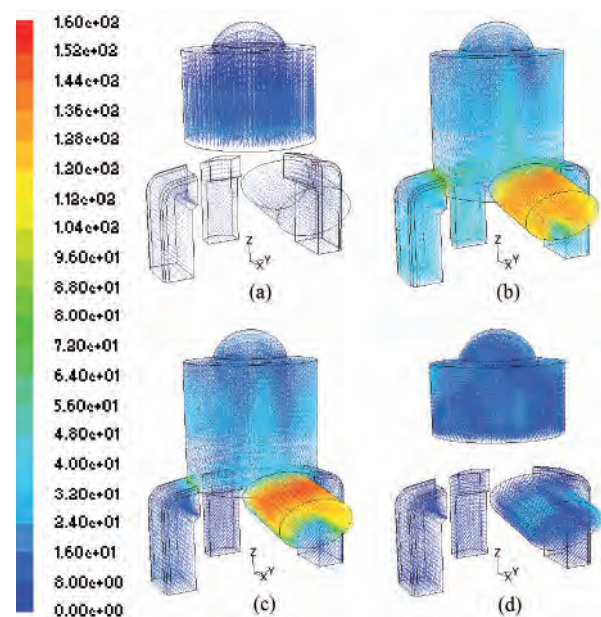


Figura 7: Campo de velocidades del fluido [m/s]. (a) 92° ángulo cigüeñal; (b) 190° ángulo cigüeñal; (c) 215° ángulo cigüeñal; (d) 270° ángulo cigüeñal.

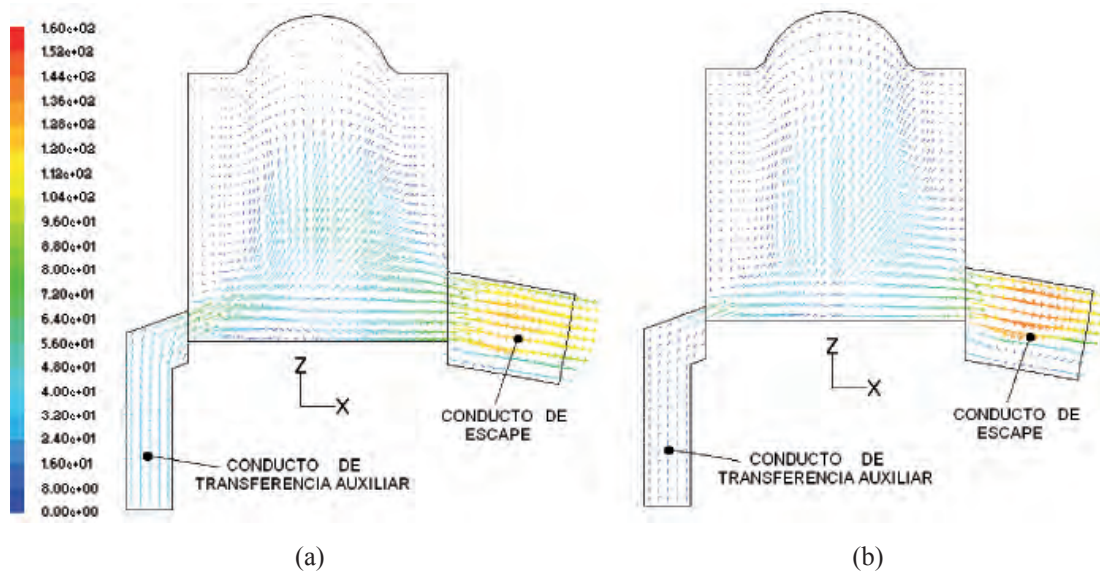


Figura 8: Campo de velocidades [m/s] en plano medio. (a) 190° ángulo cigüeñal; (b) 215° ángulo cigüeñal.

de las lumbreras, Fig. (7.b), se observa como entra fluido a través de las lumbreras de transferencia y sale a través de la lumbrera de escape. Asimismo, también se observa como se crea una circulación de flujo en el interior del cilindro. Cuando el pistón asciende, Fig. (7.c) se sigue apreciando la circulación en el interior del cilindro, que incluso prosigue cierto tiempo tras el cierre de las lumbreras, Fig. (7.d).

Para ilustrar mejor el movimiento de flujo en el interior del cilindro, en la Fig. (8) se muestra el campo de velocidades en un plano central que comprende la lumbrera de escape y la de transferencia auxiliar.

3.3. CAMPO DE FRACCIONES MÁSCICAS

Los contornos de fracciones máscicas se muestran en la Fig. (9) para 92°, 190°, 215° y 270° de ángulo de cigüeñal. En la Fig. (9.a) se observa como el cilindro inicialmente está lleno de gases quemados (color azul). Cuando el pistón desciende y se abren las lumbreras tiene lugar el proceso de barrido, Fig. (9.b). El aire que entra (color rojo) va expulsando los gases hacia el exterior del cilindro. Al final del proceso, el pistón asciende y cierra las lumbreras de transferencia y de escape, Fig. (9.d), y el cilindro queda lleno en su mayor parte de aire (porque siempre puede quedar una pequeña proporción de gases quemados).

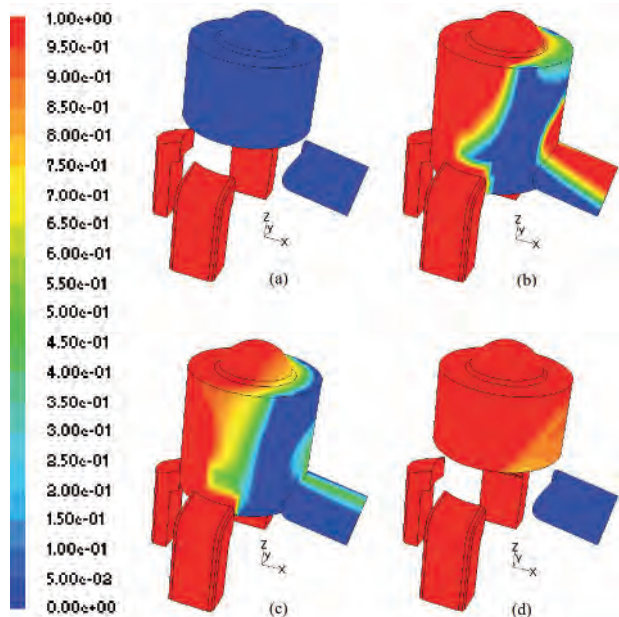


Figura 9: Campo de fracciones máscicas [-]. (a) 92° ángulo cigüeñal; (b) 190° ángulo cigüeñal; (c) 215° ángulo cigüeñal; (d) 270° ángulo cigüeñal.

4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

En el presente artículo se ha aplicado un software de CFD para estudiar el proceso de barrido en un motor de dos tiempos de inyección directa.

Los resultados obtenidos del análisis CFD pueden ser utilizados para mejorar el flujo de gases y por tanto el rendimiento de los nuevos diseños de motores. El campo de presiones es útil para identificar zonas donde el flujo de gases es ineficaz o defectuoso y que debería ser corregido. El campo de velocidades es útil para localizar zonas con velocidades inaceptablemente altas, demasiado bajas o con una inadecuada orientación. Finalmente, el campo de fracciones máscicas es útil para comprobar el adecuado

llenado de gases frescos dentro del cilindro y detectar la aparición de problemas de cortocircuito y arrastre de gases frescos.

A pesar de las ventajas que ofrece este modelo, también es importante citar sus inconvenientes. En primer lugar hay que tener en cuenta que la división del dominio en elementos discretos (malla) y del tiempo en pasos de tiempo introduce cierto error en los resultados. Por este motivo es necesario hacer un estudio de sensibilidad de malla y paso de tiempo hasta que el error obtenido sea prácticamente despreciable. En segundo lugar, otros errores provienen de suposiciones que se han hecho para simplificar los cálculos, por ejemplo asumir comportamiento de gas ideal, considerar únicamente dos especies, recurrir a un modelo de turbulencia (en este caso $k-\epsilon$). En tercer lugar, otro inconveniente de los modelos numéricos, aunque no influye en el error cometido, es el tiempo de cálculo. Téngase en cuenta que esta simulación ha llevado 20 horas de cálculo en un ordenador para simular 0,005 segundos reales. Además, este problema se agrava cuanto mayores son las dimensiones del motor, hasta el punto que motores de gran cilindrada requerirían tal malla que no se podría simular en un ordenador normal y sería necesario recurrir a un clúster o a una estación de trabajo.

En cuanto a trabajos futuros, sería interesante aplicar este modelo CFD a otros tipos de motores, por ejemplo para motores diesel lentos de dos tiempos de gran potencia, motores de dos tiempos con válvulas, motores de cuatro tiempos, etc. Otro aspecto que sería interesante estudiar en trabajos futuros es estudiar la optimización del rendimiento variando parámetros como la geometría del cilindro y lumbreras, presiones de trabajo, tiempos de admisión y escape, relación de compresión, etc.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Arias-Paz M. *Motocicletas*. 33ª edición. Dossat, 2000. 752p. ISBN 13-9788496437265.
- Blair GP. *Design and Simulation of Two-Stroke Engines*. SAE International, 1996. 647 p. ISBN 978-1-56091-685-7.
- Orbital Engine Corporation. Información en línea. <<http://www.orbeng.com.au>>
- Rodríguez-Vidal C G, Antelo-González F. "Sistemas de distribución en motores lentos de dos tiempos con barrido uniflujo, en lazo y transversal". *Axomaga*. 2009, Vol.11 p.46-51.
- Bell AG. *Two-stroke Performance Tuning in Theory and Practice*. Sparkford, England. Haynes Publish Group, 1983. 229 p. ISBN: 0-85429-329-9.
- Kato S, Nakagawa H, Kawahara Y, Adachi T, Nakashima M. "Numerical analysis of the scavenging flow in a two-stroke-cycle gasoline engine". *JSME International Journal*. 1991, Vol.34-3 p.385-390.
- Creaven JP, Kenny KG, Cunningham G. "A computational and experimental study of the scavenging flow in the transfer duct of a motored two-stroke cycle engine". *Proc Instn Mech Engrs*. 2001, Vol.215-D.
- Pitta SR, Kuderu R. "A computational fluid dynamics analysis on stratified scavenging system of medium capacity two-stroke internal combustion engines". *Thermal Science*. 2008, Vol.12-1 p.33-42.
- Payri F, Benajes J, Margot X. et al. "CFD modeling of the in-cylinder flow in direct-injection diesel engines". *Computers & Fluids*. 2004, Vol.33 p.995-1021.
- Hariharan Ramamoorthy, Mahalakshmi NV, Krishnamoorthy Jeyachandran. "Setting up a comprehensive CFD model of a small two stroke engine for simulation". *International Journal of Applied Engineering Research*. 2009, Vol.4-11.
- Albanesi A, Destefanis C, Zanotti A. "Intake port shape optimization in a four-valve high performance engine". *Mecánica Computacional*. 2009, Vol.28 p.1355-1370.
- Rahman MM, Hamada KI, Noor MM et al. "Heat transfer characteristics of intake port for spark ignition engine: A comparative study". *Journal of applied sciences*. 2010, Vol.10-18 p.2019-2026.
- Zancanaro FV, Vielmo HA. "Numerical analysis of the fluid flow in a high swirled diesel engine". En: *Proceedings of the 7th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics (Antalya-Turkey, 19-21 July 2010)*, 2010, p. 387-392.
- Versteeg HK, Malalasekera W. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics. The Finite Volume Method*. Pearson Prentice Hall, 2007. 503 p. ISBN 978-0-13-127498-3.
- Fluent 6.3 Documentation, 2006. Fluent Inc.
- Rodríguez-Vidal CG. "Estudio de un motor de 2T con inyección directa y análisis CFD del sistema de barrido", Máster, Universidad de la Coruña, Escuela Técnica Superior de Náutica y Máquinas, 2010.

Localización de entradas de aire en condensadores de centrales térmicas mediante el test de helio



Francisco Manzano-Agugliaro*
Javier Carrillo-Valle**

Dr. Ingeniero Agronomo
Ingeniero Industrial

* UNIVERSIDAD DE ALMERÍA. Escuela Politécnica Superior. Dpto de Ingeniería Rural. La Cañada de San Urbano - 04120 Almería. Tfno. +34 950 014091. fmanzano@ual.es

** ENDESA GENERACIÓN S.A. Dpto. de Ingeniería de Explotación. Carretera Faro-mesa Roldán, s/n - 04140 Carboneras (Almería). Tfno: +34 950 008047. javier.carrillo@endesa.es

Recibido: 17/09/2010 • Aceptado: 11/01/2011

Location of air in-leakage in power plants condensers by helium test

ABSTRACT

- Power plants need to reduce operating costs to be competitive, by eliminating correctable causes of wasted energy and minimizing lost revenue due to forced outages. The main cause of these problems is the excessive air in-leakage in condensers. High air-leakage causes turbine back pressure to rise, dissolved oxygen (DO) concentration to increase and the plant heat rate (CE) to deteriorate to higher values. The development of methods to detect air in-leakage has involved from the methods based of foam, smoke and various audio methods, but it generated high levels of uncertainty. The method discussed in this study is the trace gas method, using helium (He), which has been tested in a power plant of 550 MW, with good results.
- **Keywords:** air in-leakage, turbine back pressure, dissolved oxygen, heat rate.

RESUMEN

Las centrales térmicas, se ven en la necesidad de reducir los costes de operación para ser competitivas, mediante la eliminación de causas corregibles de derroche de energía y reduciendo al mínimo las pérdidas de ingresos por interrupciones forzadas. La principal causa de estos dos problemas es la excesiva entrada de aire en los condensadores. Elevadas entradas de aire causan que la presión de descarga de turbina aumente, la concentración de oxígeno disuelto (OD) se incremente y el consumo específico de planta (CE) se penalice a valores más elevados. El desarrollo de métodos para detectar entradas de aire ha evolucionado desde los métodos basados en espuma, humo y sistemas de audio, aunque generaban alto nivel de incertidumbre. El método que se analiza en este estudio, es el método del gas de traza utilizando Helio (He), el cuál se ha comprobado en una Central Térmica de 550 MW con buenos resultados.

Palabras clave: entradas de aire, presión de descarga de turbina, oxígeno disuelto, consumo específico.

1. INTRODUCCIÓN

En el escenario energético de referencia, marcado por una profunda crisis financiera y económica, se prevé que la demanda mundial de energía primaria aumente un 1,5% anual entre 2007 y 2030, y pase así de algo más de 12.000 millones de toneladas equivalente de petróleo (tep) a 16.800 millones de tep, es decir, un incremento total del 40% en el período considerado (AIE, 2009). Esto debe ser conseguido a través de los avances en la tecnología actual, las mejoras significativas en rendimiento y la reducción de emisiones. Según el compromiso de los países firmantes del protocolo de Kyoto, entre los que se encontraba España, era reducir el total de las emisiones de los gases de efecto invernadero en al menos un 5% en el período del año 2008 al 2012, tomando como año de referencia el año 1990 (ONU, 1998).

Los combustibles fósiles seguirán siendo las principales fuentes de energía primaria, representando más de tres cuartas partes del incremento general (AIE, 2009), por lo que las tecnologías más probables de cubrir esta necesidad, debido a su madurez, son Centrales Térmicas de Carbón, Nucleares y Centrales Térmicas de Ciclo Combinado. Esto también se ve

reflejado en el panorama energético nacional, ya que dentro del parque generador del sistema peninsular, el carbón representa un 12%, la nuclear un 8% y el ciclo combinado un 24% de la potencia instalada, y a la hora de dar cobertura a la demanda de energía eléctrica en el año 2009, estas tecnologías representaron el 60% de la producción total anual (REE, 2009).

En la Figura 1 se observa el porcentaje de producción, por tecnologías, para el año 2009.

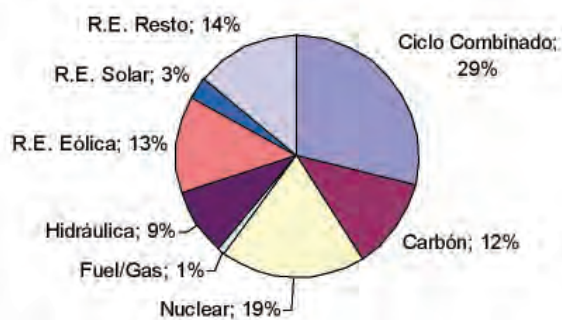


Figura 1: Cobertura demanda anual del sistema peninsular (REE, 2009)

Actualmente existen en nuestro país más de 1.000 centrales de producción de energía eléctrica. De esta cifra, cerca de 200 son térmicas convencionales y sólo 9 nucleares. Las centrales térmicas suponen una potencia total instalada de más de 27.000 MW, por tanto la potencia media de estas

centrales, es de unos 140 MW. Los nueve grupos nucleares en funcionamiento corresponden a siete centrales que sumaron en el año 2000 una potencia instalada de casi 8.000 MW, el 14% de la potencia total; no obstante, su producción de energía eléctrica llegó al 28% del total, lo que se debe a su elevado factor de carga (UNESA, 2010).

Un hecho destacable es que tanto en Centrales de Carbón, Nuclear como Ciclo Combinado, se emplean como máquina de trabajo turbinas de vapor, por lo que se requiere la necesidad de condensadores eficientes con alto rendimiento. En la Figura 2, se muestra un condensador de superficie típico, indicando sus componentes fundamentales.

La función del condensador es condensar el vapor procedente del escape de turbina, una vez expandido en los cuerpos de baja presión, al entrar en contacto con la parte exterior de los tubos del haz tubular, generalmente de aleaciones de cobre por su conductibilidad térmica y recorridos interiormente por agua de circulación. El agua condensada es recuperada en el pozo caliente y aspirada por las bombas de condensado de nuevo al ciclo, de forma que solo haya que realizar pequeñas aportaciones de agua para compensar las pérdidas por venteos, drenajes, etc.

Se trata de un equipo esencial, ya que sus condiciones determinan el salto entálpico disponible del vapor y, por ende, la potencia total obtenida, producto del primero por el caudal de vapor expandido, como se aprecia en el diagrama entalpía(h) – entropía(s) de la Figura 3 a). Para conseguir un máximo aprovechamiento de la expansión en turbina el condensador trabaja en vacío (Garrido, 1969). El vacío se

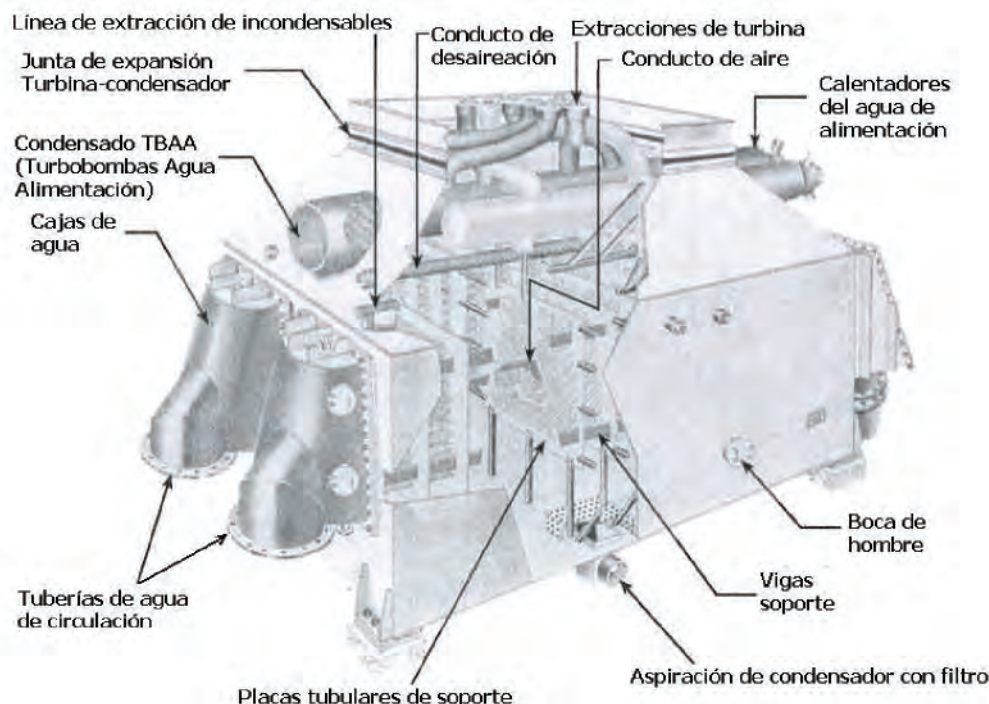


Figura 2: Condensador de superficie típico (EPRI, 2001)

produce en el condensador por el proceso de condensación y el cambio de volumen específico del vapor a líquido. Un vacío en el condensador bajo corresponde a una temperatura de saturación baja. En el diagrama h-s representado en la Figura 3 b), se observa cómo aumenta el área del diagrama (1'-2'-3-4-5-6s'), al disminuir la presión del condensador (que es función de la temperatura de saturación):

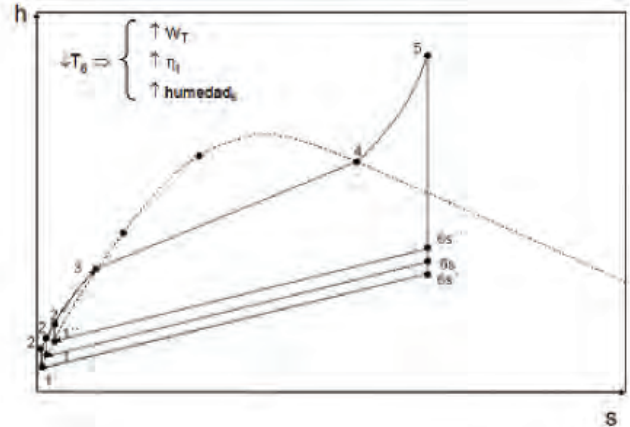
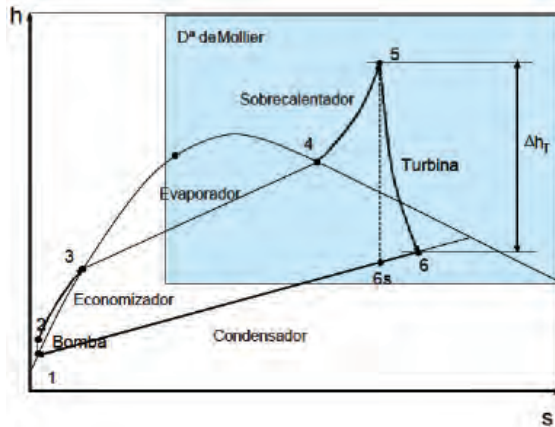


Figura 3: Diagrama h-s del ciclo simple de Rankine de una Turbina de vapor: a) Trabajo de expansión en turbina real vs ideal, b) Influencia de la presión en el condensador

Como contrapartida, al trabajar con presiones sub-atmosféricas se tiene un aumento de la cantidad de líquido en la descarga y un aumento del volumen específico, lo que conlleva un aumento en las dimensiones de la carcasa del condensador, así como una disposición de los tubos que permita el flujo de vapor a la región interior del haz tubular, como se indica en la Figura 4:

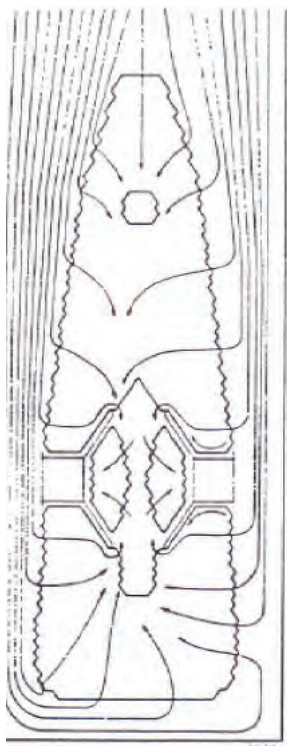


Figura 4: Distribución del vapor de descarga en el condensador

de esos gases no condensables. Estos últimos deben ser evacuados para evitar un aumento de la presión parcial, y por consiguiente, una pérdida de vacío.

En la Figura 5 se aprecia como los gases no condensables tienen tendencia a fluir hacia la zona más fría, es decir, a la entrada del agua de circulación debido a que la presión parcial del vapor es más baja en esta zona, y ahí se conecta mediante una línea a un aspirador externo para ventilar dichos gases del condensador.

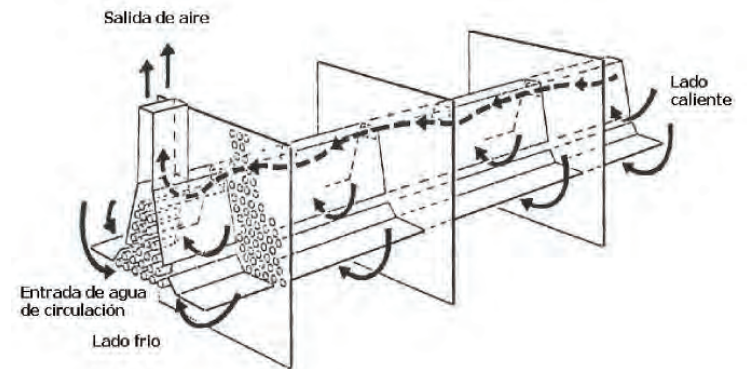


Figura 5: Circulación de los gases incondensables en el condensador

Como aspirador externo, se emplean normalmente eyectores, como el mostrado en la Figura 6, que utilizando como fluido motor vapor convenientemente acelerado a través del perfil convergente- divergente del área de paso, produce una depresión (efecto venturi) y permite la aspiración de la mezcla de aire y vapor (Fernández, 2004).

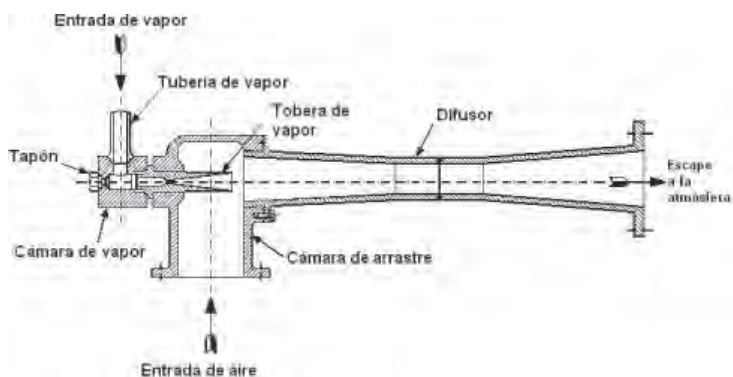


Figura 6: Esquema funcionamiento eyector de vapor

En el caso de una central, donde el vacío requerido es alto, es necesario utilizar dos (2) ó tres (3) eyectores en paralelo con varias etapas para obtener un aumento suficiente de la presión de la mezcla para su descarga a la atmósfera. Se utilizan condensadores inter-etapas para condensar el vapor a la salida de la primera etapa, y el calor latente absorbido se recupera en el condensado que es utilizado como fluido refrigerante. También se reduce la temperatura y el volumen del vapor antes de entrar en la siguiente etapa.

Normalmente hay una cantidad residual de fugas, establecida por diseño, pero si esta cantidad aumenta por encima de un valor umbral, representa unos efectos que tiene unos altos costes asociados:

- Exceso de vapor de proceso necesario para poner en servicio más eyectores
- Posibilidad de aparecer fenómenos de corrosión en componentes críticos (Caldera y Turbina)
- Reducción del coeficiente de transmisión térmica en los tubos del condensador por el efecto de aislamiento del aire que rellena el espacio entre los tubos del condensador “air binding”
- Aumento del CE de la planta, debido a un aumento de la presión del condensador

Desviación Presión (mm Hg)	Potencia Turbina (MW)					
	100	200	400	600	800	1000
2,54	31,25	62,5	125	187	250	312,5
5,08	62,5	125	250	375	500	625
7,62	91,75	187	375	562,5	750	937,5
10,16	125	250	500	750	1.000	1.250
12,7	156	312,5	625	937,5	1.250	1.562,5

Tabla 1: Coste anual (miles de \$) de la desviación de presión en el condensador, en función de la carga generada (EPRI, 2008)

Todas las centrales térmicas, para cumplir con el ciclo de Rankine, descrito en la Figura 3, necesitan tener un foco frío, que es el condensador. Este se encuentra en vacío, para

maximizar el rendimiento del ciclo. Un elemento que se encuentra en vacío, es susceptible de tener fugas, (en este caso son entradas de aire). Por tanto en todas las centrales térmicas, cuando la presión del condensador está en valores mayores de los de diseño, sin un motivo que lo justifique, como por ejemplo el aumento de la temperatura del agua de refrigeración, se deberían realizar pruebas de detección de fugas. En nuestro caso al emplear agua de mar, en determinadas épocas del año el rendimiento se verá afectado por la temperatura de la misma, así en verano se tendrá menor rendimiento que en invierno por este efecto. Dado que hay motivos para evidenciar las pérdidas de vacío, no es una prueba que deba incluirse en un plan de Mantenimiento Preventivo.

La existencia de una entrada de aire, su localización, el tamaño relativo y finalmente su cuantificación en unidades estándar aceptables requiere un exhaustivo esfuerzo de supervisión y vigilancia por parte del personal de las Plantas. Generalmente un aumento en la entrada de aire, está asociado a un acontecimiento súbito, es decir, rotura de tuberías, válvulas automáticas que quedan en posición abierta, desgaste en juntas de expansión, etc. Hay dos parámetros que son fundamentales para el seguimiento en continuo y ofrecen el primer indicio de la presencia de una fuente de entrada de aire, y son la presión en el condensador y el OD, los cuáles con cambios tan pequeños como 3,80 mmHg ó 3-4 ppb son observables variaciones en la entrada de aire que ascienden a 25,5 m³/h (EPRI, 2008).

Una vez evaluada la existencia de la/s entrada/s de aire, es necesario determinar la localización exacta de la/s misma/s. Existen varias metodologías para la búsqueda de fugas: Sonda Multisensor (MSP), Tecnología Infrarrojos (IRT), Ultrasonidos...; sin embargo éstas ofrecen ciertas incertidumbres o son de coste elevado. El método comúnmente utilizado para la detección de fugas es el del gas de traza o indicador, utilizándose helio (He) ó hexafluoruro de azufre (SF₆). El SF₆ es 4 órdenes de magnitud más sensible, sin embargo, su reconocimiento como gas de efecto invernadero limita su uso en algunas organizaciones (EPRI, 2001). El He es una gas de traza excelente porque es el más ligero de los gases inertes, y por lo tanto penetra fácilmente por las fugas pequeñas, asimismo, está disponible a un coste razonable y es completamente inocuo y no reactivo (Varian, 2003).

Bajo este contexto se ha elaborado el presente artículo, que tiene como objetivo establecer un procedimiento de aplicación sistemática de la prueba de He para la detección de entradas de aire en condensadores de Centrales Térmicas. Finalmente se ilustra su aplicación, analizando un caso real en un Condensador de una Central Térmica de 550 MW.

2. PROPUESTA METODOLÓGICA

La detección de fugas mediante un gas de traza en cualquier equipo estanco requiere un diferencial de presión

entre el interior y el exterior del componente en prueba, de forma que el gas es esparcido en la zona de mayor presión y migra a través de las fugas o escapes a la zona de menor presión.

La prueba de He en un condensador de superficie, consiste en rociar el gas en las proximidades de éste y en aquellos componentes que se encuentren sometidos a vacío. El He se desplaza a través de los escapes a la carcasa del condensador, a la zona de gases incondensables, de donde será extraído mediante los eyectores de vapor, junto con el resto de gases presentes (O₂, CO₂, etc.). La fuga es identificada cuando una muestra de incondensables contiene una traza de He al pasar por un espectrómetro de masas situado en un eyector y muestra una gráfica similar a la de la Figura 7, el tiempo de respuesta depende de la proximidad al eyector, en general el tiempo de respuesta no excede de 20 segundos, si en este tiempo no ha habido respuesta, se puede desplazar la prueba emplazamiento. Si por el contrario ha habido respuesta positiva, hay un incremento de la línea base, dado por la tasa de respuesta, se debe esperar, el tiempo de fondo para estabilizar la línea base a los valores originales, esto puede durar entre 5 y 6 veces el tiempo de respuesta dependiendo de la magnitud de la misma.

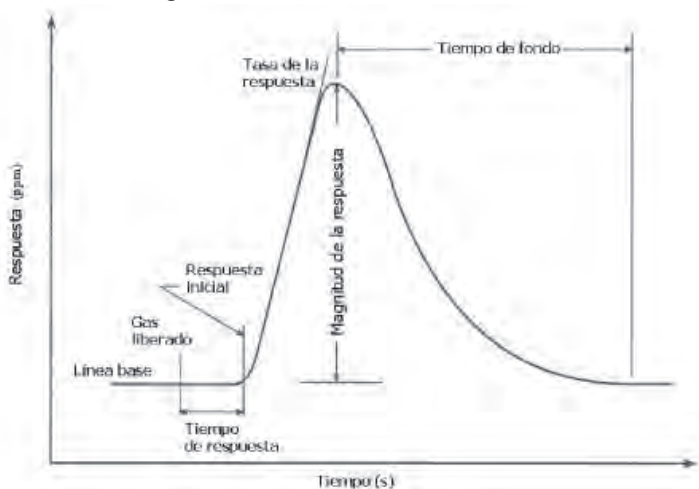


Figura 7: Respuesta tipo espectrómetro de masas (EPRI, 2008)

La interpretación de la señal requiere la evaluación de la magnitud, el tiempo de respuesta, la pendiente y el tiempo de fondo de la señal de respuesta, teniendo en cuenta:

1. Si dos zonas de ensayo próximas muestran picos de magnitud iguales o casi iguales, la que muestre menor tiempo de respuesta, se asocia con la localización de la fuga.
2. La inclinación de la pendiente se refiere a la rapidez con que el gas es arrastrado a la fuga. Si las magnitudes y los tiempos de respuesta de varias tomas son similares, una mayor pendiente de subida, es decir, un menor tiempo transcurrido entre el inicio de la señal y el pico de la señal, indica en qué toma se localiza la fuga o la pérdida más significativa en caso de haber varias.

3. Alternativamente si las diferencias son imperceptibles, observando el tiempo de fondo, es decir, el tiempo desde el pico de la señal hasta su vuelta a fondo, para las indicaciones de igual magnitud, aquella que tenga menor tiempo será que la ubicación de la toma está más cerca de la fuga.

La aplicación del He implica cierta destreza, ya que en el entorno de una Planta, múltiples fugas pueden coexistir en las proximidades, por lo que se debe aislar una fuga específica del resto, para lo cuál, la liberación del gas se hace en la periferia de los primeros componentes manteniendo la distancia del gas del resto y se toma nota del tiempo de fondo. El proceso se repite para el resto de componentes.

El equipo necesario para la prueba, incluye:

- Equipo de inyección de gas: botellas de He, provistas de manorreductores con sonda para liberación del gas.
- Equipo de muestreo: que se encuentra instalado en un eyector de servicio. Como se requiere una muestra seca, consta de una bomba de vacío, un serpentín integrado en hielo, seguido de dos secadores en serie antes de entrar en el analizador.
- Analizador de gases: es un espectrómetro de masas de He, el cuál, ioniza los gases en vacío, acelera los iones a través de un voltaje fijo, y después separar los iones haciéndolos pasar por un campo magnético. Una ranura, adecuadamente ubicada, permite que sólo pasen y sean reunidos los iones de He. La corriente resultante es amplificada, y un gráfico de barras como el de la Figura 8, indica la presencia y la cantidad de He.

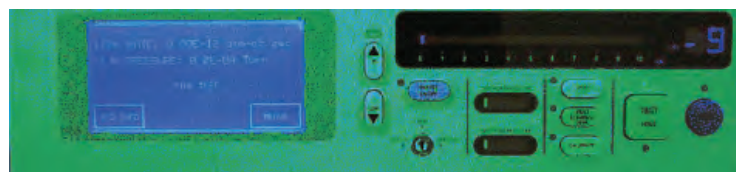


Figura 8: Visualización gráfico de barras espectrómetro de masas 959 (Varian, 2003)

Una vez instalado el equipo, es preciso realizar un “disparo” de prueba de He con el propósito de comprobar el correcto montaje y funcionamiento del equipo, y establecer un tiempo de respuesta base para comparar con todas las lecturas posteriores (rango normal 30-45 s).

Los intentos de cuantificar el tamaño de fuga dentro de esta metodología, permite designaciones como “pequeña”, “media” o “alta” para caracterizar la fuga en función de las divisiones en las lecturas del espectrómetro de masas, según la Figura 8.

Finalmente, se plantea un procedimiento de búsqueda ordenada y sistemática, registrando los componentes que se hayan inspeccionado, con el objetivo de evitar pérdidas de tiempo en fugas ya encontradas.

La búsqueda de fugas debe comenzar en el piso de turbina, en un extremo de la máquina y continuar en ese mismo piso,

incluyendo los equipos sometidos a vacío, hasta llegar al otro extremo. Luego se procede de manera similar en los pisos inferiores, es decir, la prueba debe hacerse de arriba hacia abajo, ya que la combinación de calor de convección con la ventilación normal del edificio hacen que el flujo de aire desplace al He hacia arriba. Al comenzar la prueba en los pisos elevados, la posibilidad de confusión se reduce.

de trabajo y 3 botellas de He, empleando un mínimo de 2 personas, una se dedica a inyectar el gas por las distintas zonas susceptibles de fuga, y otra en el equipo final para interpretar los resultados, ambos comunicados mediante radio enlace. En la realización de la prueba no se realizó ninguna medida de seguridad especial, se aplicaron los EPI,s adecuados de cualquier instalación industrial, como precaución

I. Piso Turbina	II. Piso Intermedio	III. Piso Bajo
A. Turbinas de Baja Presión	A. Junta expansión turbina-condensador	A. Penetraciones Condensador
1. Sellos y bridas	B. líneas de eliminación de aire	1. Líneas de condensado
2. Discos de ruptura	1. Líneas	2. Drenajes calentadores
3. Bocas de hombre	2. Válvulas de aislamiento	B. Bridas de caja de agua
4. Línea reparto vapor (Crossover)	3. Válvulas rompedoras de vacío	C. Pozo caliente
a. Juntas de expansión	C. Calentadores agua alimentación	1. Transmisores de nivel
b. Penetraciones de turbina	1. Montados en el cuello del condensador	2. Líneas de condensado
5. Penetraciones de turbina bajo la falda	a. Penetraciones juntas de expansión	D. Soportes condensador
a. Penetraciones de carcasa	2. Montados en Planta	E. Bombas de condensado
b. Penetraciones de sensores	a. Líneas de extracciones de vapor	1. Filtros de aspiración
c. Válvulas, líneas, varios, etc	1. Juntas acero inoxidable	2. Juntas expansión y bridas
B. Bombas de agua de alimentación	2. Costuras de soldadura	3. Junta del eje
1. Turbina de vapor	b. Carcasa calentadores	F. Equipo eliminación incondensables
a. Sellos y bridas	c. Válvulas seguridad	1. Eyectores de vapor
b. Discos de ruptura	d. Drenajes	a. Bridas y conexiones roscadas
C. Drenajes de válvula de parada	D. Bocas de hombre condensador	b. Condensador intermedio
d. Válvula aislamiento conducto vapor escape	E. Sección superior cajas de agua	c. Junta purga condensado
e. Juntas expansión conducto vapor de escape	F. Drenajes válvula parada	d. Válvulas aislamiento
	a. Antes del asiento	e. Drenajes
	b. Después del asiento	
	G. Tanque drenajes calentadores	
	H. Condensador vapor de sellos	

Tabla 2: Zonas y componentes que deben ser inspeccionados

Por otro lado, el registro de componentes, a modo de "check-list" debe ser incluido en el procedimiento de la prueba, para asegurar que todos los componentes que puedan contribuir a las entradas de aire al sistema son inspeccionados y además, facilitar el análisis detallando el orden en que se realiza la prueba. Se inicia, con la revisión de los diagramas de flujo de la Planta para establecer los límites de inspección (puntos no sometidos a vacío); y posteriormente se hace una visita a campo conjuntamente con el personal de planta para identificar los equipos.

3. APLICACIÓN PRÁCTICA

Se ilustra la metodología propuesta, aplicándola al caso real de un condensador de superficie de una Central Térmica de 550 MW, que utiliza agua de mar como agua de circulación. El tiempo medio de la revisión total de la instalación y botellas de helio empleadas dependerá de las dimensiones de la instalación, en nuestro caso fueron 2 días

especial en los paros de la prueba, las botellas de gas (He) se comprobaba que estuviesen aseguradas correctamente. Lo habitual para realizar esta prueba es subcontratar a una empresa especializada, que cuente con dos operarios: uno para la inyección del gas con cualificación media, y otro para la interpretación de las respuestas con cualificación alta.

El condensador lo diseñó *Asea Brown Boveri* (ABB) y consta de dos carcasas, una por cada cuerpo de la turbina de baja presión. Sus parámetros fundamentales se resumen en las Tablas 3 y 4:

Nº de carcasas	2
Nº de pasos por tubos	1
Nº de tubos por carcasa	18.000
Ø Tubo (mm)	25,4
Longitud del tubo (mm)	9.600
Espesor del tubo	0,5
Material tubo	Titanio

Tabla 3: Datos de diseño geométrico del condensador

caudal de descarga de turbina (kg/s)	140
Energía del vapor (kW)	328,3
Vacío abs.(mbar)	41,4/52,4
Tª agua circulación a la entrada (°C)	20/24,78
Caudal de agua circulación (m³/s)	16,78

Tabla 4: Datos de condiciones de operación del condensador

Cada carcasa del condensador tiene dos pasos por tubos paralelos de agua de circulación, de forma que ésta tiene una configuración seriada.

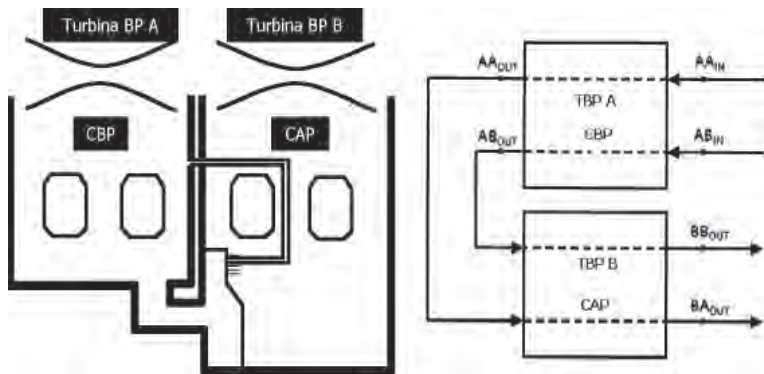


Figura 9. Diagrama de Flujos en el condensador estudiado, Central 550 MW

Se hace referencia de acuerdo con su correspondiente cuerpo de turbina de baja presión, es decir, la carcasa de la turbina de baja presión A (TBP A) corresponde a la carcasa de baja presión del condensador (CBP), mientras que la carcasa de la turbina de baja presión B (TBP B) corresponde a la carcasa de alta presión del condensador (CAP), véase Figura 9.

El sistema de extracción de incondensables consta de 3 x 50% eyectores de vapor, es decir, que sólo son necesarios por diseño 2 quedando uno en reserva, fabricados por *Hick Hargreaves & CO LTD*, y cada eyector posee dos etapas.

Se ha observado que el condensador posee un historial de bajo rendimiento, por lo que se sospecha que puedan existir entradas de aire, por ello se plantea aplicar la metodología del test de He descrita.

3.1. DATOS INICIALES

A continuación, se muestran los valores de los parámetros de control:

Presión en el condensador

La instrumentación necesaria para medir la presión en el condensador con mayor precisión es como la que se muestra en la Figura 10, con tres transmisores de presión (dos por encima y uno por debajo del haz tubular) por cada carcasa del condensador, de forma que se obtenga un promedio de la presión exacta.

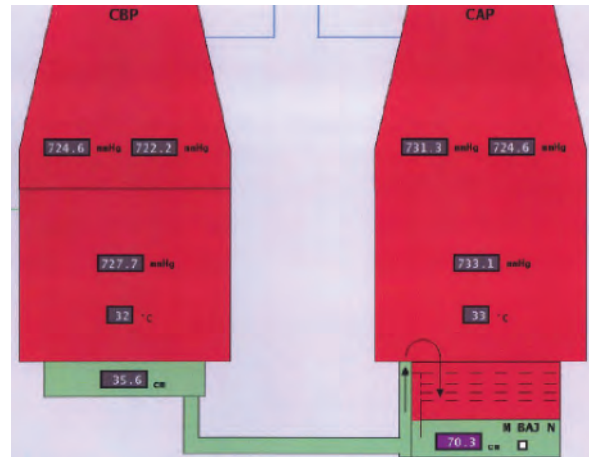


Figura 10: Distribución de transmisores de presión en el condensador

Alta Presión en el condensador, según Figura 11, donde los valores de presión deberían ser de 730 mmHg en CBP y 722 mmHg en CAP, y se aprecia una oscilación importante:

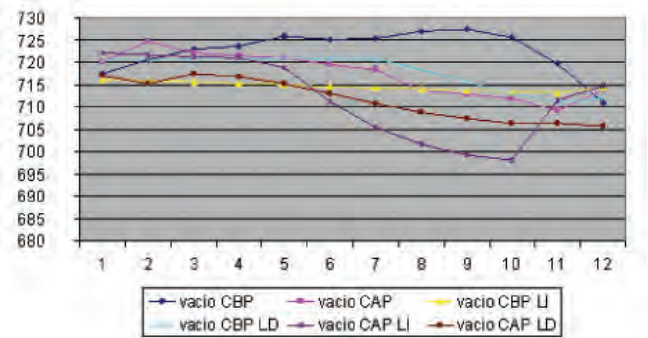


Figura 11: Oscilación de la presión en el condensador

- Alto nivel de Oxígeno Disuelto: el valor objetivo debería ser 10 ppb (EPRI, 2008) y se ha observado 30 ppb.
- En la Figura 12 se muestra el número de eyectores en servicio desde el año 1998, obsérvese que desde el año 2001 la Operación se realiza con tres eyectores de servicios simultáneamente, cuando lo ideal sería sólo dos según diseño, y mantener el tercero en reserva.

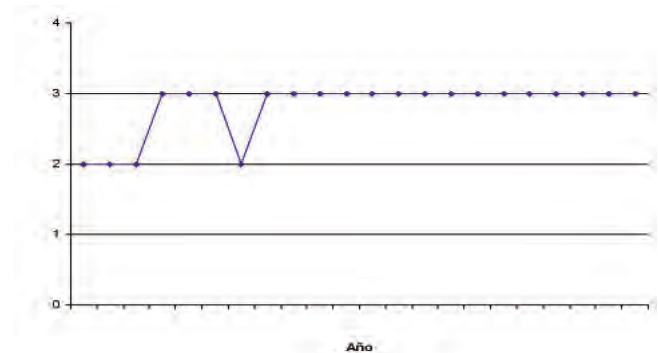


Figura 12: Número de eyectores en servicio

Con los tres factores mencionados, está justificado realizar un test de He para comprobar las posibles entradas de aire.

3.2. TEST DE HELIO

El test de He se aplicó al tren de la turbina de baja presión y al condensador, con el propósito de verificar la estanqueidad de los componentes sometidos a vacío. Previo a la prueba se realizó una ronda de por el ciclo, para examinar las posibles zonas de fuga y establecer un registro de inspección *Check-list*.

Para la prueba, se utilizó un espectrómetro de masas de He, modelo *Varian 959*, que se conectó a la tubería de incondensables del eyector C, para tomar la muestra de He. El disparo de prueba, se realizó a través de una conexión a una válvula del tanque de drenajes, Figura 13.

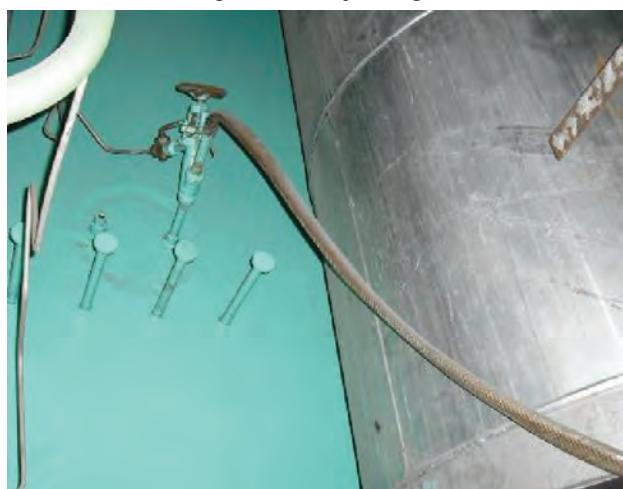


Figura 13: Válvula de inyección del disparo de prueba

La comunicación entre los operador de monitorización y el de rociado de He, se estableció a través de dos radios

Carcasa	Piso	Lado	Localización	Comentario	Magnitud
A	2	Izquierdo	Falda/Instrumentación	Fuga Termopar	Alta
B	2	Izquierdo	Falda/Instrumentación	Fuga Termopar	Pequeña
B	1	Izquierdo	Junta expansión	Fuga detectada	Media
B	1	A mitad	Junta expansión	Fuga detectada	Media
B	1	Final	Junta expansión	Fuga detectada	Media
B	1	Derecho	Junta expansión	Fuga detectada	Media
A	1	Izquierdo	Junta expansión	Fuga detectada	Media
A	1	A mitad	Junta expansión	Fuga detectada	Media
A	1	Final	Junta expansión	Fuga detectada	Media
A	1	Derecho	Junta expansión	Fuga detectada	Media
A	1	Derecho	Calentador nº 3	Fuga detectada	Pequeña
-	1	Derecho	Sellado condensador	Fuga detectada	Pequeña
A	0	Izquierdo	Conexiones	Fuga detectada	Pequeña
B	0	Izquierdo	Conexiones	Fuga detectada	Pequeña
B	0	Final	Instrumentación/Indicador de nivel	Fuga detectada	Pequeña
B	0	Final	Calentador 1B-2B/Drenaje de emergencia	Fuga detectada	Pequeña

Tabla 3: Localización de las entradas de aire detectadas por el test de He

inalámbricos. La unidad estaba operando al 95% de la carga base y la presión en el condensador era de 35 mmHg.

4. RESULTADOS

Mediante el Test de He, se han identificado varias entradas de aire en el tren de la turbina de baja presión y el condensador. La localización de las mismas, así como su tamaño se muestra en la siguiente Tabla 3.

En cuanto a los resultados obtenidos, cabría destacar que la mayor fuente de fuga encontrada ha sido en el conducto de un termopar, en el lado izquierdo de la falda de la turbina de baja presión A, y a raíz de su localización, el personal de planta procedió a su reparación como se muestra en la figura 14 a) y b).

En la Figura 15 se observa la mejora en el vacío del condensador de 6 mmHg, inmediatamente después de la reparación. Según los valores de la tabla 1, esto puede suponer un ahorro cercano a los 400.000 \$ al año. Otro parámetro de monitorización del condensador que se ve afectado, es la disminución de temperatura del pozo caliente, debido a que con la mejora de vacío la presión en el condensador es menor, y por consiguiente la temperatura de saturación del vapor de agua asociada a dicha presión.

Las resto de fugas identificadas, o bien su reparación no implica una contribución a la mejora del vacío debido a su tamaño, o bien sólo se pueden reparar en fase de parada de la Central.

El tamaño de las fugas en la junta de expansión se clasificó como “media”, pero dado que esta fuente de fuga se ha observado en todos los lados de cada carcasa del condensador, el impacto acumulado de todas ellas, debe ser clasificado como “alto”.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se ha demostrado la importancia de la detección de fugas en condensadores de Centrales Térmicas, se ha visto la eficacia del test de He, puesto que es un gas inocuo y se puede emplear con la Central en Operación normal, permitiendo incluso pequeñas reparaciones sin parada de la misma. Así se ha puesto de manifiesto que la eficacia en el control y seguimiento de las entradas de aire en los condensadores de las Unidades Generadoras de energía eléctrica, son de vital importancia para la



Figura 14: a) Localización de fuga en conducto termopar b) fuga reparada

optimización del ciclo termodinámico, lo cual repercute directamente en la disminución de los costes, y por tanto en la mejora de beneficio.

Además queremos realizar las siguientes recomendaciones, como posibles pasos a seguir deducidos de la aplicación de esta prueba, y que deberían ejecutarse para eliminar los factores que puedan contribuir a reducir el rendimiento del sistema:

1. Inspeccionar, la posible existencia de fisuras en el perímetro de la junta de expansión. Esto se debe hacer durante una parada o revisión de Grupo. Para ello se pueden utilizar para su evaluación Ensayos No Destructivos (END) tales como Líquidos Penetrantes (LP), rayos X, Ultrasonidos (UT).
2. Para discriminar el responsable del aumento de presión en el condensador, se propone la instalación de tomas de presión en las líneas de extracción de incondensables, y poder conectar instrumentación de precisión (MSP) y monitorizar desde la Sala de Control, midiendo por un lado la cantidad precisa de aire en el condensador y al mismo tiempo, la capacidad de extracción de los eyectores.

Las mayores dificultades encontradas en la aplicación del método descrito son:

1. La interpretación de las respuestas del espectrómetro de masas, que requiere cierta experiencia.
2. Discriminar las entradas de aire en un entorno de múltiples fugas próximas, sin falsear la medida, a la hora de cuantificarla.

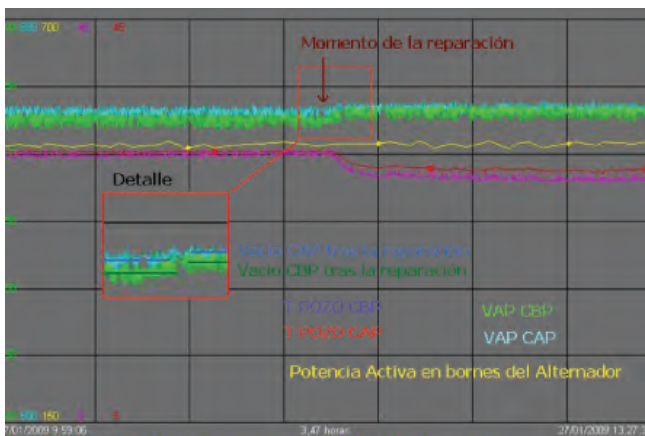


Figura 15: Mejora de la presión de vacío en el CBP y CAP

TABLA DE ABREVIATURAS EMPLEADAS

Abreviatura	Significado
CE	Consumo Específico
Tep	Toneladas Equivalentes de Petróleo
Ppb	Partes Por Billón
OD	Oxígeno Disuelto
CBP	Condensador Baja Presión
CAP	Condensador Alta Presión
TBP A	Turbina Baja Presión A
TBP B	Turbina Baja Presión B
MW	Megawattios
h	Entalpia
s	Entropía
mmHg	Milímetros de Mercurio
MSP	Sonda Multisensor
IRT	Tecnología Infrarrojos
END	Ensayos No destructivos
UT	Ultrasonidos
LP	Líquidos Penetrantes

6. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Internacional de la Energía (AIE). 2009. "World Energy Outlook, Resumen Ejecutivo". [en línea] [Consulta: 10 de abril de 2010]. Disponible en la Web: http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2009/WE02009_es_spanish.pdf
- Electric Power Research Institute (EPRI). 2001. "Condenser Application and Maintenance Guide", Palo Alto, CA:2001. 1003088.
- Electric Power Research Institute (EPRI). 2000. "Condenser In-Leakage Guidelines", Palo Alto, CA:2000. TR-112819.
- Electric Power Research Institute (EPRI). 2008. "Air In-Leakage and Intrusion Prevention Guidelines", Palo Alto, CA:2008. 1014125.
- Fernández-Benítez JA. *Centrales Termoeléctricas Convencionales*. 2004, capítulo 18. ISBN: 84-609-3442-X.
- Garrido AJ. "Cálculo de las características principales de los condensadores de superficie" *DYNA Ingeniería e Industria*. 1969. Vol.1, p 1. ISSN 0012-7361.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. FCCC/INFORMAL/83. Disponible en la Web <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>. [Consulta: 15 de mayo de 2010]
- Red Eléctrica de España (REE). 2009. "Avance del informe 2009. El Sistema Eléctrico Español". [en línea] [Consulta: 10 de abril de 2010] Disponible en la Web: http://www.ree.es/sistema_electrico/informeSEE.asp
- UNESA (Asociación española de la industria eléctrica). 2010. [en línea] [Consulta: 10 de noviembre de 2010] Disponible en la Web: <http://www.unesa.net>
- Varian "Detector de Fugas Espectrómetro de Masas por Medio de Helio. Modelo serie 959", Manual de funcionamiento. 2003. [en línea] [Consulta: 17 de abril de 2010] Disponible en la Web: <http://www.varianinc.com/image/vimage/docs/products/vacuum/manuals/leakdetect/shared/959ops.pdf>

Requerimientos energéticos de los vehículos híbridos de transporte urbano de alto tonelaje

Análisis para los casos de un autobús urbano y un vehículo RSU en función de su utilización y su grado de electrificación



José María López-Martínez*
Felipe Jiménez-Alonso*
Nuria Flores-Holgado*
Daniel Resino-Zamora*

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

* INSIA-UPM, Campus Sur UPM. Carretera de Valencia km 7 - 28031 Madrid. Tfno: +34 91 3365290.
josemaria.lopez@upm.es; felipe.jimenez@upm.es; daniel.resino@upm.es; invest1.insia@upm.es

Recibido: 02/08/2010 • Aceptado: 15/11/2010

*Energetic requirements of heavy duty urban transport hybrid vehicles.
Analysis on urban bus and waste collect cases in terms of use and electrification degree.*

ABSTRACT

- The requirements to reduce pollution from vehicles are increasing and this is most prominent, if possible, in urban areas. The way followed by automotive industry to answer this demand consists on vehicle electrification. To reach the aim of pure electric vehicles is passing through intermediate stages of increasing levels of electrification, that impulse knowledge, experience and development of batteries, converters and the other electric equipment that are in early stages of maturity than the rest. With this view, this article presents a modeling method that allows estimating energy requirements of heavy duty vehicles, assuming different driving cycles and kind of services, with the aim of pre-sizing the electric equipment needed for every case of electrification and range. Specifically urban passenger transport and waste collection cases will be analyzed. The aim is to have a tool that make easier the calculation of weight, volume and cost of the required equipment to cover specific operational needs of an electric vehicle, reducing time and cost of tests. These results allow forming a judgment on how far is interesting going with electrification grade on a specific vehicle and use.
- **Keywords:** hybrid vehicle, electric vehicle, heavy duty vehicle, emission pollutants, electric storage.

RESUMEN

Las exigencias para reducir la contaminación provocada por los vehículos es cada vez mayor y esta situación es más destacada, si cabe, en el ámbito urbano. El camino emprendido por la industria del automóvil para responder a esta demanda está siendo el de la electrificación de los vehículos. Para llegar al vehículo eléctrico puro, se está pasando por etapas intermedias de grados de electrificación crecientes, que impulsen el conocimiento, la experiencia y el desarrollo de baterías, convertidores y demás equipamiento que se encuentran en fases más tempranas de madurez que el resto.

Con esta perspectiva, el presente artículo presenta un método de modelado que permite estimar los requisitos energéticos para vehículos de transporte de alto tonelaje o industriales (*heavy duty*), suponiendo también diferentes ciclos de conducción y tipos de servicio, con el fin de pre-dimensionar para cada caso los equipos eléctricos necesarios

para alcanzar distintos niveles de electrificación y autonomía. Concretamente se analizarán los casos de transporte urbano de pasajeros y recogida de residuos sólidos urbanos en las ciudades.

Se pretende contar con una herramienta que facilite el cálculo del peso, volumen y coste de los equipos necesarios para cubrir unas determinadas necesidades de funcionamiento de un vehículo en modo eléctrico, reduciendo los tiempos y los costes de pruebas experimentales. Con los resultados obtenidos, es posible sacar conclusiones acerca de hasta qué grado de electrificación conviene llegar para un determinado tipo de vehículo y un determinado uso del mismo.

Palabras clave: vehículo híbrido, vehículo eléctrico, vehículo industrial, emisiones contaminantes, almacenamiento eléctrico.

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación por el medioambiente urbano en las

ciudades desarrolladas es creciente en los últimos tiempos. La alta contaminación del aire de las grandes urbes es un problema cada vez más preocupante y una situación cada vez menos aceptada por las sociedades modernas. Fenómenos como el calentamiento global, en el que el transporte parece tener gran peso (Jiménez, et al. 2008), no hacen sino acrecentar la ya de por sí preocupante situación. De hecho, en caso de prolongarse la situación actual, la demanda mundial de energía crecerá un 65% y las emisiones de CO₂ lo harán un 70% entre 1995 y 2020 (Argiri, et al. 1999).

En una situación como la actual, los fabricantes de vehículos tienden a buscar soluciones para paliar los aspectos negativos que el uso de los mismos supone. Se debe tener en cuenta que para 2020 se habrá incrementado entre un 12 y un 15% la población mundial motorizada (General Motors. 2004). Esto conlleva un aumento en la demanda de energía primaria, que si proviene de combustibles fósiles, producirá un aumento en las emisiones. Es por ello que la legislación vigente impone parámetros cada vez más restrictivos que obligan a alcanzar mejores cotas en cuanto a contaminación. La tendencia que en los últimos tiempos se está adoptando va en la dirección de alcanzar la electrificación del transporte. El vehículo alimentado por electricidad tiene la ventaja de que a nivel local sus emisiones son nulas, lo que supone un gran avance en lo que al medioambiente urbano se refiere. Pero actualmente, el nivel tecnológico y de infraestructura necesario para disponer de un parque automovilístico puramente eléctrico no está en los niveles que se requiere, lo que obliga a los fabricantes a adoptar soluciones intermedias pasando por diferentes niveles de electrificación.

Esto ha dado lugar a un concepto de vehículo conocido como *híbrido* o *tensor de autonomía*, cuya tracción puede ser tanto eléctrica como de motor de combustión, pero que en cualquier caso cuenta con ambas tecnologías a bordo. Los sistemas de propulsión híbridos ya se propusieron hace varios años como solución eficiente y factible a los problemas de consumo y emisiones (Unnerwehr, et al. 1976; Weiss, et al. 2000).

En el ámbito de los vehículos *heavy duty*, este tipo de soluciones comienzan lentamente a estar presentes en el mercado, existiendo hoy en día autobuses híbridos de diversos fabricantes, vehículos industriales, algunos vehículos especiales, etc.

Uno de los problemas a los que se enfrenta el desarrollo de este tipo de vehículos es determinar el *mix* eléctrico/térmico que se pretende alcanzar y el dimensionamiento de los componentes del mismo. Hay que tener en cuenta que los equipos de baterías, convertidores, etc. actuales requieren de sofisticados sistemas de control y refrigeración que los hacen bastante pesados. Esto puede conducir a que, para un determinado vehículo y servicio, y contando con la tecnología actual, pretender llegar a su electrificación total sea muy difícil por peso, espacio y rentabilidad.

Es por ello que el presente artículo presenta una herramienta de simulación energética que permite pre-dimensionar los componentes más importantes presentes en

un vehículo híbrido con configuración en serie, en función del tipo de vehículo y tipo de servicio. Para ello, se han desarrollado los siguientes puntos:

- Algoritmo de simulación basado en *Matlab*® *Simulink*® con el objetivo de modelar el comportamiento dinámico de los vehículos y su utilización.
- Toma de datos de ciclos de conducción representativos para los casos de transporte urbano de pasajeros y recogida de residuos sólidos urbanos.
- Estimación de los consumos energéticos de los equipos auxiliares embarcados en el vehículo, así como de los rendimientos de los componentes implicados y sus ratios energéticos por unidad de peso.

Con todo ello se busca lograr un beneficio en el desarrollo de vehículos híbridos o con extensión de autonomía desde tres puntos de vista. En primer lugar, supone un beneficio para el fabricante de vehículos, que puede ver reducidos los tiempos y los costes asociados a las pruebas necesarias para determinar estos parámetros de manera experimental. En segundo lugar, supone una reducción de costes para los explotadores del servicio, pues permite optimizar el equilibrio entre la inversión necesaria y el ahorro logrado a través de la reducción en el consumo de carburantes. Dicho ahorro viene dado por el hecho de que, en la actualidad, resulta más económica la unidad de energía eléctrica recargada en instalaciones fijas frente a la unidad de energía presente en los combustibles fósiles. Y, por último, supone un beneficio medioambiental derivado de la utilización de tecnologías con menores cotas de emisiones, que favorecen las necesidades actuales de reducción de contaminación.

1. MATERIAL Y MÉTODOS

Para el cálculo de las necesidades energéticas de los vehículos *heavy duty* en las ciudades se han tenido en cuenta las siguientes posibilidades:

- Vehículo: se han modelado las características de un autobús urbano de 12 m de longitud y las de un vehículo de recogida de residuos sólidos urbanos.
- Ciclo de conducción: se han medido ciclos de conducción de ambos vehículos en condiciones reales de circulación. También se han simulado con las condiciones del ciclo Europa.
- Tipo de servicio: se han definido masas variables en función del tipo de servicio desempeñado por el vehículo en cuestión, así como estimaciones de consumo de equipos auxiliares en función también del mismo.

A partir de estos datos, el proceso seguido es el que puede verse en la Figura 1; a partir de los ciclos de conducción medidos, se calculan las distancias recorridas, las velocidades y aceleraciones del vehículo, así como los perfiles de altura medidos a través de GPS. Estos resultados

alimentan el módulo que simula la dinámica de cada uno de los vehículos, con lo que se obtienen los valores de energía, potencia y par requeridos por los mismos. Teniendo en cuenta los rendimientos de la cadena cinemática posterior, el comportamiento de las diferentes partes del sistema y las estimaciones realizadas para el servicio en cuestión, se puede estimar el grado de carga de las baterías. Con éste, es inmediato llegar a unos primeros valores en cuanto a dimensiones de los equipos eléctricos embarcados.

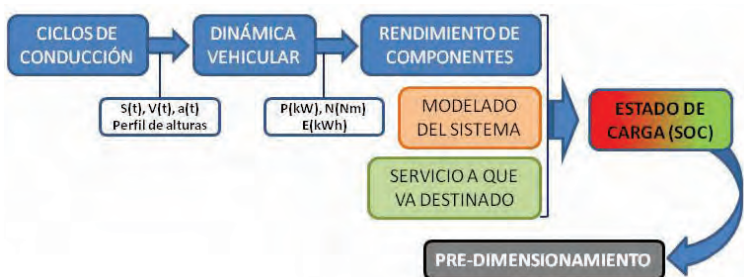


Figura 1: Flujo de información en el proceso de simulación

1.1. CICLOS DE CONDUCCIÓN

Para la realización del presente estudio se han tenido en cuenta dos tipos de ciclos de conducción. Por un lado, y con el fin de filtrar en cierta medida la variabilidad que los datos reales llevan asociados, se ha simulado el conocido ciclo ECE-15 o ciclo Europa, únicamente en su parte urbana. Por otro, se ha recurrido a la medición de ciclos reales correspondientes a una serie de líneas de autobús urbano y una serie de trayectos de recogida de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Madrid. Para realizar la simulación, se han asociado diferentes tipos de perfiles de altura a dichos ciclos de conducción. En el caso de los datos reales, el perfil de alturas utilizado también ha sido el real. En el caso del ciclo Europa, se han utilizado perfiles constantes para poder estudiar su influencia.

1.1.1. Ciclo Europa

Se trata de un ciclo estandarizado que trata de representar un uso típico del automóvil en Europa. Consta tanto de una parte puramente urbana, como de una parte extraurbana, la cual se ha obviado en este estudio por estar trabajando únicamente en el ámbito de la ciudad. La parte utilizada de este ciclo es la que puede verse en la Figura 2.

1.1.2. Ciclo medido en condiciones reales

Con el fin de acercarse lo más posible a la realidad del servicio que prestan los diferentes vehículos y optimizar así al máximo cada una de las aplicaciones, se ha considerado la utilización de medidas reales de ciclos de conducción concretos para cada caso. Para la toma de datos de dichos ciclos, se ha utilizado un dispositivo de registro desarrollado por INSIA (DIVAC) que toma la información del vehículo y posicionamiento GPS. El dispositivo de medida DIVAC (Figura 3) tiene por objetivo la adquisición de señales de un

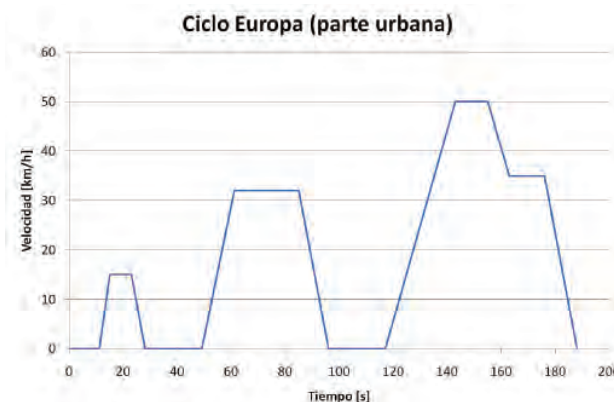


Figura 2: Ciclo Europa (parte urbana)

vehículo de forma autónoma y con registro continuo sobre memoria permanente. Más específicamente, el DIVAC cuenta con numerosas funcionalidades, que se pueden concretar en las siguientes:

- Reloj de tiempo real con alimentación propia interna que permite el cambio de instalación del equipo de un vehículo a otro sin que se produzca una pérdida en los datos, ni en la fecha y hora.
- Registro tanto de señales analógicas como de señales digitales, admitiendo hasta 6 entradas analógicas y otras 6 entradas digitales.
- Medición de la aceleración en el eje X y en el eje Y a través de un acelerómetro interno de $\pm 2g$ de rango de medida.
- Los datos son almacenados en una tarjeta de memoria MMC, pudiéndose acceder a los datos desde cualquier ordenador con dispositivos de lectura de este soporte físico de almacenamiento.



Figura 3: Dispositivo de registro de datos DIVAC

Una de las principales ventajas del sistema es que el registro de datos está marcado por la señal de la llave de contacto, lo que hace que no se requiera ninguna actuación específica por parte del conductor, el cual no es preciso que esté avisado de su instalación. También hace que se

ahorre memoria de almacenamiento mientras el vehículo está estacionado. El registro de fecha y hora permiten la ubicación del ensayo en el tiempo.

En la Figura 4 puede verse un ejemplo del tipo de datos recogidos tanto para el caso de un autobús urbano como para el vehículo RSU. En el detalle puede observarse un ejemplo de cómo quedan registradas las aceleraciones y paradas del vehículo en su funcionamiento normal en tráfico urbano.

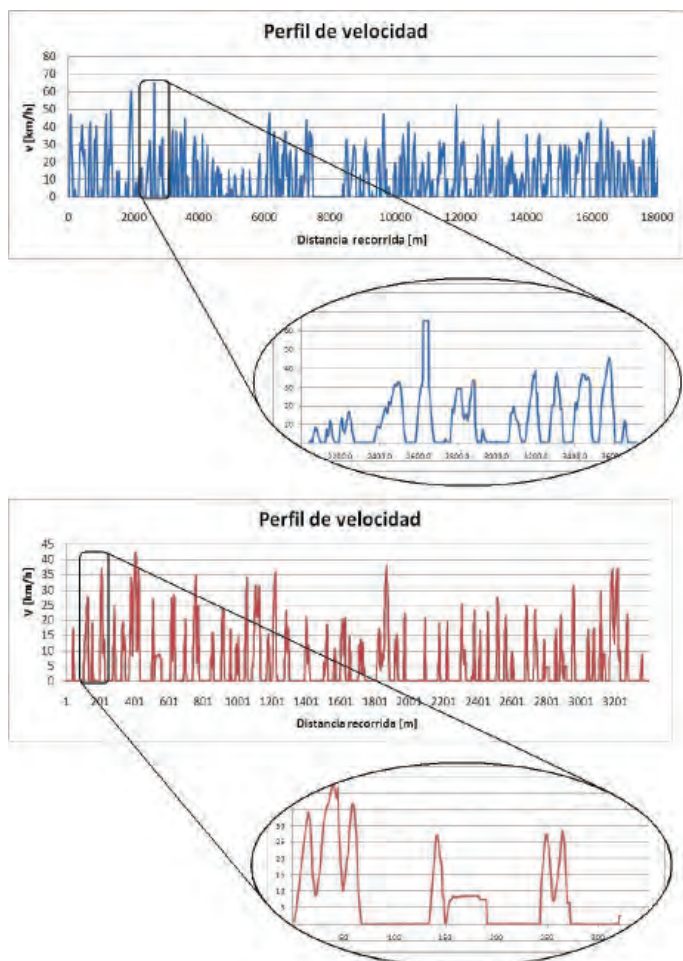


Figura 4: Ejemplos de ciclos de velocidad de autobús urbano (arriba) y de RSU (abajo) medidos

1.1.3. Perfil de alturas

Los perfiles de altura seguidos se han medido mediante geoposicionamiento con GPS. Los datos obtenidos permiten hacer un seguimiento tanto de las rampas que debe superar el vehículo como de su posición. En la Figura 5 puede verse un ejemplo del tipo de datos que se utilizan en este caso.

En el caso del ciclo Europa, se han utilizado perfiles constantes para evaluar en qué medida es una variable influyente en el resultado. Para ello se han introducido en el modelo un perfil llano y un perfil con una rampa del 3% ascendente en la primera mitad del ciclo y del 3% descendente en la segunda mitad, para evaluar el efecto de la frenada regenerativa.

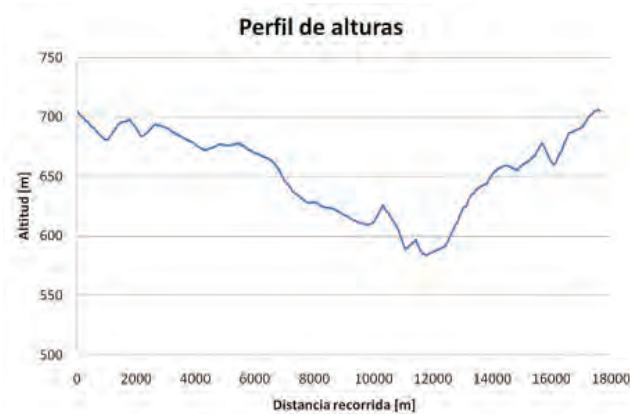


Figura 5: Perfil de alturas de una línea de autobús urbano

1.2. DINÁMICA VEHICULAR

Una vez obtenidos los datos de velocidad y aceleración requeridos por el vehículo, se pasa a simular cuales son las necesidades de energía, potencia y par que el mismo necesita para satisfacer estas demandas. Para ello se recurre a las ecuaciones que pueden verse en la Tabla 1, que determinan la resistencia de un vehículo en función de sus características propias y su ciclo cinemático (Aparicio, et al. 2001; Braess, et al. 2005):

Resistencia aerodinámica	$F_{Ae} = \frac{1}{2} * C_x * \rho_{aire} * A_f * v^2$
Resistencia a la rodadura	$F_{Ro} = m * g * f_r$
Resistencia gravitatoria	$F_G = m * g * \sin\alpha$
Requerimientos de aceleración	$F_{acc} = m * a$

Tabla 1: Algoritmos de simulación de la dinámica vehicular

1.3. RENDIMIENTO DE COMPONENTES Y CONSUMO DE AUXILIARES

Para terminar con el cálculo de las necesidades energéticas de los vehículos híbridos, es necesario tener en cuenta por un lado los rendimientos de todos aquellos componentes de la cadena cinemática presentes en el vehículo, que deben satisfacer la demanda teórica; y por otro, no se puede pasar por alto el consumo energético de los elementos auxiliares, pues en los casos que nos ocupan son muy elevados.

Para el caso de los rendimientos de los distintos componentes se han tenido en cuenta unos valores bastante conservadores y aceptados ampliamente para cada uno de ellos (Miller, 2004). Para la transmisión se ha aplicado un $\eta=0.88$. En el caso de los inversores el valor tomado es de $\eta=0.95$. En el caso del motor eléctrico se ha considerado un valor algo menor de $\eta=0.86$, pues al ser equipos pensados para contar con frenada regenerativa, deben funcionar bien como motor tanto como generador.

A la hora de analizar los consumos energéticos de los equipos auxiliares cabe destacar que los vehículos de transporte urbano de pasajeros cuentan con la peculiaridad de que abren y cierran continuamente sus puertas y que tienen grandes superficies laterales acristaladas, lo que obliga a disponer de potentes equipos de climatización para mantener el confort que el servicio que prestan requiere. Estos equipos además, no suelen estar muy optimizados, lo que hace que sean uno de los mayores consumidores de energía a bordo.

En el caso de los vehículos de recogida de residuos sólidos urbanos, éstos cuentan con unas potentes bombas compactadoras para aprovechar el espacio disponible y rentabilizar así al máximo su explotación. Además, son vehículos con una gran capacidad de carga, que aceleran y frenan continuamente y que además requieren de una cierta solvencia en vías interurbanas para poder descargar en los vertederos situados en los alrededores de las ciudades.

Concretamente, para el modelado de los requerimientos energéticos, se han tenido en cuenta unas estimaciones de consumo de auxiliares como las que se pueden ver en la Tabla 2. En ella cabe destacar el elevado consumo del equipo de aire acondicionado del autobús y de la bomba de compactación del vehículo RSU.

1.4. MODELADO DEL SISTEMA

Para la simulación del comportamiento del sistema híbrido se han modelado las dos principales fuentes de energía: el motor térmico y las baterías. A partir de ahí, y teniendo en cuenta las exigencias a que se van a ver sometidos, se podrá simular correctamente su funcionamiento, de modo que se pueda conocer el flujo de energía existente en el sistema.

	AUTOBÚS URBANO		VEHÍCULO RSU	
Equipo auxiliar	Potencia estimada [kW]	Ratio de Utilización	Potencia estimada [kW]	Ratio de Utilización
Alumbrado interior	1	60%	0,05	60%
Alumbrado exterior	0,75	60%	0,75	60%
Ventilación habitáculo (sin A/A)	5	70%	0,2	70%
Refrigeración equipos electrónicos	0,5	100%	1	100%
Frenos	2	60%	3	60%
Dirección	4	40%	4	40%
Aire Acondicionado	30	70%	12	70%
Bomba de compactación	-	-	50	100%
TOTAL	43,25		93,25	

Tabla 2: Estimación de consumo de auxiliares para un autobús urbano.

1.1.4. Motor térmico

Para el modelado del motor térmico se ha seguido un esquema como el que puede verse en la Figura 6. Los bloques que se han tenido en cuenta son los siguientes (López. 2007):

- Modelo de admisión de aire. El objetivo de este bloque es calcular el gasto másico de aire que entra en la cámara de combustión y la presión en el colector de admisión a partir del régimen de giro del motor y de la posición de la mariposa del acelerador.
- Modelo de inyección de combustible. Con este bloque se pretende calcular el gasto másico de combustible que entra en los cilindros a partir del tiempo de inyección y el régimen de giro.

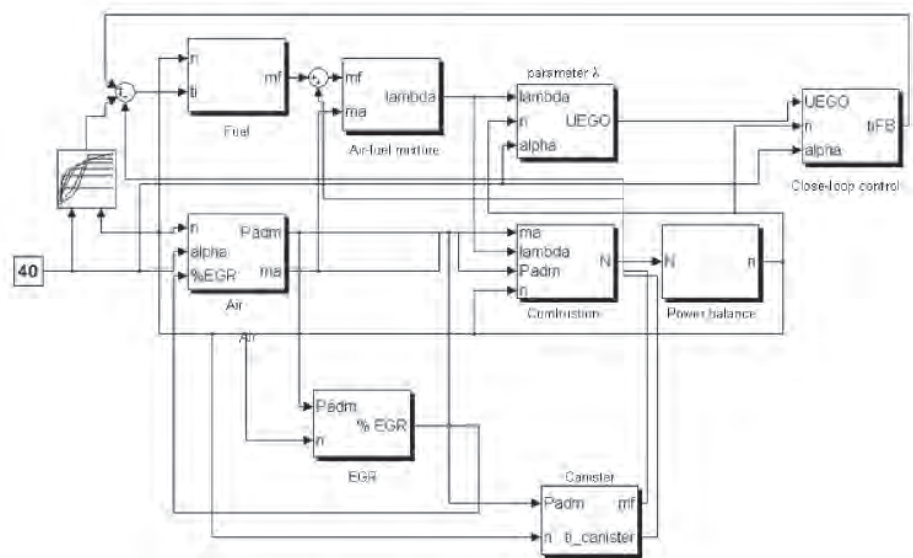


Figura 6: Diagrama de bloques del motor térmico

- Modelo de formación de la mezcla. Este bloque obtiene el valor del parámetro λ a partir de los gastos másicos de aire y combustible en la admisión.
- Modelo de combustión. El objetivo es modelar la potencia generada para así poder calcular el régimen de giro a partir de la dinámica del vehículo.

1.1.5. Baterías

Cuando se trata de modelar las baterías, éstas presentan multitud de variables hasta cierto punto inciertas. En ellas tienen lugar fenómenos como la histéresis,

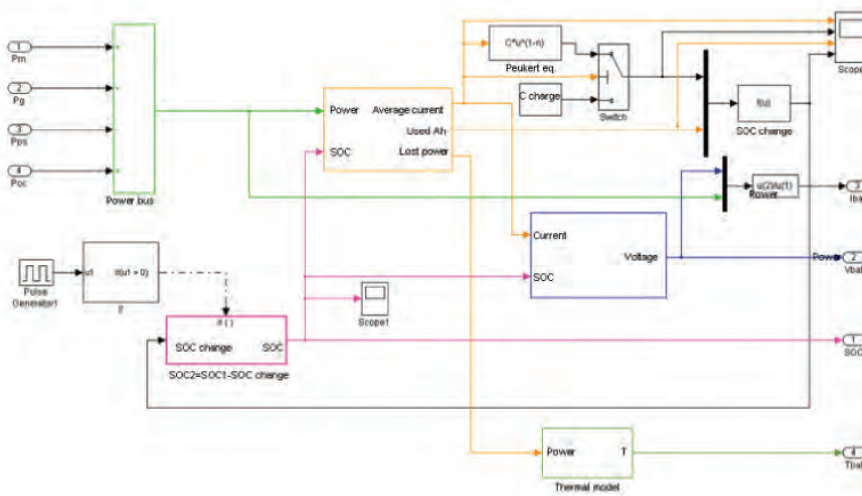


Figura 7: Modelo de simulación de baterías

donde C_n es la capacidad de la batería de acuerdo a su tasa de descarga. Para los casos donde la intensidad se extrae de las baterías, la capacidad se calcula utilizando la ecuación de Peukert, $I^n \times t = C$, donde C es un coeficiente de ajuste y n es el exponente de Peukert, dependiente del tipo de batería (Trinidad, et al. 2003). Cuando la intensidad está siendo introducida en las baterías, se utiliza un valor de $C_n = C_{\text{carga}}$, una constante que debe ser ajustada mediante ensayos. En la Figura 7 puede verse el esquema del modelo de las baterías.

variaciones de capacidad según la temperatura, variaciones en la vida útil esperada en función de la profundidad de descarga, etc. que son muy complejos de evaluar. Los objetivos para lograr una correcta simulación de cualquier batería integrada en un sistema híbrido de tracción son los que siguen (Ceraolo, 2000; Salameh, 1992):

- Dar información del estado de carga (SOC) continuamente. Los vehículos híbridos basan su estrategia de control en este parámetro para evaluar su autonomía.
- Describir la energía de la batería, su potencia, voltaje, intensidad y rendimiento en función del estado de carga durante los procesos de carga y descarga.
- Calcular los cambios en la energía almacenada como resultado de los ciclos de carga y descarga, la recuperación de la energía cinética mediante la frenada regenerativa, la tasa de autodescarga y las variaciones de temperatura.
- Determinar los límites de carga que aceptan las baterías.
- Incorporar un modelo térmico que permita estimar las variaciones en la temperatura de acuerdo a las diferentes estrategias de control.

Para evaluar el estado de carga se recurre a un balance de potencia, en el que se calcula la potencia que la batería necesita suministrar o recibir. El cálculo del SOC se calcula desde el estado de carga de la batería en el instante inmediatamente anterior hasta la medición de la intensidad entrante o saliente de la misma.

$$SOC_2 = SOC_1 - \Delta SOC \quad (1)$$

$$\Delta SOC = \frac{\int_0^t Idt}{C_n} \quad (2)$$

2. RESULTADOS

Con todos los datos anteriormente expuestos ya se está en disposición de estimar los consumos energéticos globales del vehículo en función del servicio a prestar. Una vez conocidos éstos, se procede a aplicar los dos procesos involucrados en el dimensionamiento de los equipos. Uno de dichos procesos es la frenada regenerativa, que resulta una de las grandes ventajas de los vehículos híbridos, pues permite recuperar parte de la energía cinética propia del movimiento del vehículo durante la frenada. En el momento en que se comienza a detener el vehículo, los motores de tracción comienzan a funcionar como generadores, devolviendo energía a las baterías. Este proceso tiene un determinado rendimiento, pues no se puede recuperar toda la energía. Según los ensayos realizados en el seno del proyecto para tal fin, se ha determinado que la horquilla de dicho rendimiento se encuentra aproximadamente entre un 15% y un 40%. El otro es el proceso de carga de las baterías, que viene determinado por el tiempo que se quiera que el vehículo funcione en modo eléctrico puro, la potencia del motor térmico y la capacidad de las baterías de absorber una determinada potencia sin resultar dañadas.

La información obtenida tras una simulación puede verse en la Figura 8. En ella puede observarse en primer término el ciclo de conducción utilizado para cada caso. En segundo lugar aparece la gráfica que determina la potencia instantánea. En último término, puede verse la línea ascendente que indica la energía total consumida por el vehículo, y la línea en forma de dientes de sierra que simula el comportamiento del paquete de baterías. Éste comienza a partir de un valor fijo equivalente a la capacidad de las mismas y, tras descargarse hasta una determinada profundidad – fijada también por el fabricante y el servicio a dar –, se pone en marcha el conjunto motor-generator que las recarga. La pendiente con que son cargadas es resultado del equilibrio entre la

potencia de descarga impuesta por el uso del vehículo y la potencia de carga suministrada por el generador. Así, para un determinado tiempo de funcionamiento en modo eléctrico puro se puede dimensionar el equipo de baterías y para unos requerimientos de carga o funcionamiento del motor térmico, se dimensiona éste último.

Por último, conociendo el ratio *potencia/peso* del equipo de baterías, se puede estimar el peso que supondrán en el total del vehículo, dato este último especialmente relevante para la rentabilidad cuando se trata de servicios basados en el transporte. El citado ratio es muy variable en función de la tecnología empleada en las baterías, de la profundidad de descarga que se pretenda dar a las mismas y de la vida útil que se espere del equipo. Para las baterías de Ion-litio existentes actualmente en el mercado el ratio que se utiliza es del entorno de los 120-140 Wh/kg, pero, según las pruebas realizadas para las aplicaciones objetivo del presente estudio y, contando con los equipos de refrigeración y la estructura de sujeción de la misma, es mejor utilizar un valor algo más conservador de 80 Wh/kg.

Al final de todo el proceso, para poder pre-dimensionar el paquete de baterías sólo resta determinar el tiempo de utilización en modo eléctrico puro que se requiere del vehículo. De este modo, es posible llegar a un equilibrio entre las ventajas que supone embarcar un equipo de baterías que permita un largo periodo de utilización en eléctrico – ya comentadas con anterioridad – y la pérdida de carga útil que sufre el vehículo con dicho equipo.

En la Tabla 3 puede verse una comparativa entre ambos vehículos y la simulación de los diferentes servicios que prestan. En el caso del autobús urbano de pasajeros se ha determinado una utilización de 16 h/día, por ser el dato aportado por la *Empresa Municipal de Transportes de Madrid* (EMT Madrid). En el caso del vehículo RSU, el servicio prestado es de unas 7 horas por itinerario. En función del grado de electrificación – mostrado en porcentaje del total del servicio – y del rendimiento de frenada regenerativa considerado, pueden verse los valores obtenidos para la masa del paquete de baterías según la carga del vehículo.

La carga que se ha tenido en cuenta para cada caso responde al uso de cada uno de los vehículos. Las mediciones que se han hecho sobre los autobuses urbanos

revelan que el proceso de carga y descarga de pasajeros es función de múltiples variables que se escapan de un proceso de simulación, de modo que se ha optado por establecer una horquilla con la mínima carga (la tara del vehículo) y la máxima posible (la masa máxima autorizada). En el caso del vehículo RSU, sí es posible estimar un proceso de carga típico, pues siempre parte vacío al inicio de su recorrido, para ir cargándose progresivamente a lo largo del servicio y llegar al final completamente lleno. En este último caso se ha llevado a cabo la simulación teniendo en cuenta esa masa variable en función del tiempo.

De los resultados obtenidos puede concluirse que, si bien la utilización del ciclo Europa para la simulación del servicio conduce a unos resultados conservadores que pueden servir para determinados propósitos, cuando se trata de optimizar al máximo la distribución de componentes resultan algo exagerados. Las diferencias alcanzan valores del entorno del 8-9% en el caso del autobús y del 12-14% en el caso del vehículo RSU. Conforme avanza el grado de electrificación, dichas diferencias pueden significar un peso muy considerable, que haga viable o no una determinada alternativa.

Por otro lado, se puede observar también que para el caso del autobús urbano, cada hora de funcionamiento en modo eléctrico puro significa un sobrepeso de baterías del entorno de 1000kg, mientras que, debido al mayor consumo de la bomba de compactación en el caso del vehículo RSU, esta cifra aumenta hasta 1700kg. Estas cifras pueden hacer inviable la electrificación más allá de un cierto límite de determinados vehículos, pues, por una parte aumentar la tara de los mismos supone disminuir su carga útil y, por otra, aumentar el peso de baterías implica también considerar modificaciones estructurales que pueden agravar el problema del peso.

3. DISCUSIÓN

A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que la electrificación completa de un vehículo de estas características, con la tecnología actual y prestando exactamente el mismo servicio, es prácticamente inviable. El peso y el volumen que ocuparían los equipos de baterías necesarios reducirían la carga útil de los vehículos a mínimos, muy lejos de su rentabilidad en explotación. Por tanto, es factible pensar en dos escenarios: o bien se tiende a diseñar vehículos híbridos con motores térmicos o bien se diseñan vehículos puramente eléctricos pero de menor autonomía (5-7 horas). Esto último implicaría un cambio en el modo de explotación de las empresas de este tipo de servicios, pero no necesariamente una disminución de su rentabilidad por este motivo. Además, el sobrepeso que implica electrificar en mayor grado, puede ser compensado en parte por la supresión del motor térmico, generador, algunos inversores y depósitos de combustible.

Por otra parte, a la luz de los resultados, cabe destacar

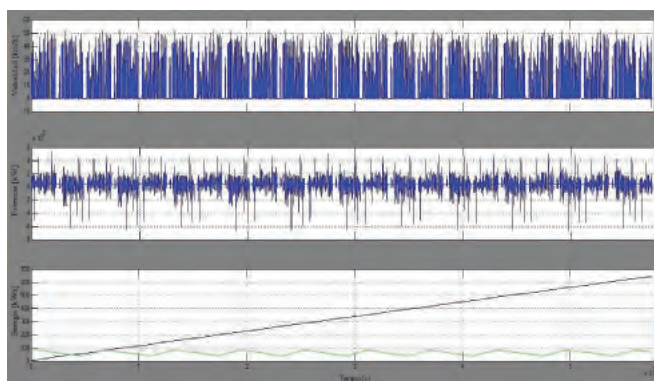


Figura 8: Ciclo de velocidad, potencia requerida y energía consumida

SERVICIO: AUTOBÚS URBANO 16 h/día																	
ELECTRIFICACIÓN	6% (1h en eléctrico)				12% (2h en eléctrico)				50% (8h en eléctrico)				100% (16h en eléctrico)				
η FRENADA	15%		40%		15%		40%		15%		40%		15%		40%		
PESO [t]	12.5	18	12.5	18	12.5	18	12.5	18	12.5	18	12.5	18	12.5	18	12.5	18	
CICLO	PERFIL	Peso estimado de baterías [kg]															
ECE-15	0%	1033	1150	1010	1108	2067	2300	2020	2216	8258	9196	8079	8864	16540	18403	16186	17740
	$\pm 3\%$	1032	1143	1024	1136	2064	2286	2048	2272	8254	9141	8189	9083	16518	18292	16385	18181
Real	Real	961	1053	919	994	1923	2106	1837	1990	7685	8419	7348	7950	15387	16851	14700	15920
SERVICIO: VEHÍCULO RSU 7 h/itinerario																	
ELECTRIFICACIÓN	6% (1h en eléctrico)				12% (2h en eléctrico)				50% (3,5h en eléctrico)				100% (7h en eléctrico)				
η FRENADA	15%		40%		15%		40%		15%		40%		15%		40%		
PESO [t]	Creciente de 20t a 30t		Creciente de 20t a 30t		Creciente de 20t a 30t		Creciente de 20t a 30t		Creciente de 20t a 30t		Creciente de 20t a 30t		Creciente de 20t a 30t		Creciente de 20t a 30t		
CICLO	PERFIL	Peso estimado de baterías [kg]															
ECE-15	0%	1977	1938	3954	3877	6917	6783	13840	13572								
	$\pm 3\%$	2002	1983	4004	3962	7007	6937	14015	13860								
Real	Real	1742	1691	3484	3383	6097	5918	12196	11842								

Tabla 3: Masa de baterías estimada por vehículo, carga y condiciones de funcionamiento

también que la tecnología utilizada en los medios de almacenamiento de energía eléctrica resulta crucial y que, en parte, el éxito o fracaso de algunas de estas alternativas estará condicionado por la progresión en materia de densidad energética que alcancen dichos medios.

4. AGRADECIMIENTOS

Los trabajos de este artículo están incluidos en el Proyecto Singular Estratégico TECMUSA (PSE-370000-2009-009) que ha recibido financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación, dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 y ha sido cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

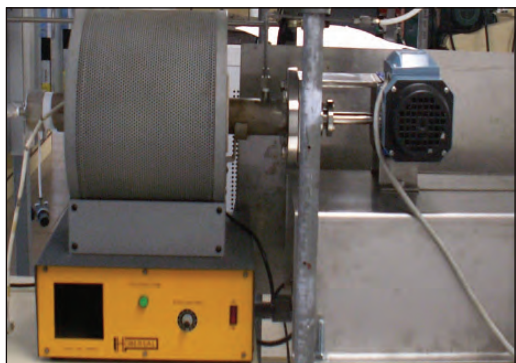
A la Empresa Municipal de Transportes de la ciudad de Madrid (EMT) y la empresa Fomento de Construcciones y Contratas (FCC) por poner a disposición varios de sus vehículos en los que se han realizado las mediciones.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio-Izquierdo F, Vera-Álvarez C, Díaz-López V. *Teoría de los vehículos automóviles*. 2ª Edición. Madrid: Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, 2001. ISBN: 84-7484-146-1.
- Argiri M, Birol F. "World Energy to 2020: prospects and challenges". *International Energy Agency (IEA)*. Vol. 24 p.905-918.

- Braess H, Seiffert U. *Handbook of Automotive Engineering*. Albrecht P (traductor). 1ª Edición. Warrendale: SAE International, 2005. ISBN: 0-7680-0783-6.
- Ceraolo M. "New dynamical model of lead-acid batteries". *IEEE Trans. Power Systems*. Vol.15 p. 1184-1190.
- General Motors Corp. *Well to Wheel Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle System*. North America Analysis. Executive Summary Report, 2001
- *Hydrogen and Fuel Cells. Future of Automobility*. General Motors, 2004
- Jiménez-Alonso F, López-Martínez JM, Aparicio-Izquierdo F, et al. "Comparación de tecnologías para la reducción de emisiones contaminantes en autobuses urbanos". *DYNA Ingeniería e Industria*. Vol.84 p.33-37.
- López-Martínez JM. *El Medio Ambiente y el Automóvil*. 1ª Edición. Madrid: CIE Inversiones Editoriales DOSSAT 2000. ISBN: 978-84-96437-70-8.
- Miller J. *Propulsion Systems for Hybrid Vehicles*. 1ª Edición. London: The Institution of Electrical Engineers, 2004. ISBN: 0-86341-336-6.
- Papisavva S, Weber TR, Cadle SH. "Tank to Wheels Preliminary Assessment of Advanced Powertrain and Alternative Fuel Vehicles for China". *SAE International*.
- Salameh M, Casacca MA, Lynch WA. "A mathematical model for lead-acid batteries". *IEEE Trans. on Energy Conversion*. Vol.7 (1) p. 93-97.
- Trinidad F, Gimeno C, Gutiérrez J, et al. "The VRLA modular wound design for 42 V mild hybrid systems". *Journal of Power Sources*. Vol. 116 p. 128-140.
- Unnerwehr LE, Auiler JE, Foote LR, et al. "Hybrid vehicle for fuel economy". *SAE International*. 1976. n° 760121.
- Weiss, et al. "On Road in 2020: A Life Cycle Analysis of New Technologies". MIT Energy Laboratory. 2000. n° MIT-EL00-003.

Producción de hidrógeno mediante descomposición térmica catalítica de metano en reactores rotativos



Mikel Belsué-Echeverría
Ainhoa Unzurrunzaga-Iturbe
Susana Pérez-Gil
Aitziber Olano-Olarrá
Jon Zuñiga-Palacio

Licenciado en Ciencias Químicas
Ingeniera Química
Licenciado en Ciencias Químicas
Ingeniera Química
Ingeniero Industrial

INASMET-TECNALIA. Dpto. de Bioenergía, Paseo Mikeletegi, 2 – 20009 San Sebastian.
Tfno: +34 943 003705. mikel.belsue@tecnalia.com; aunzurru@inasmnet.es; sperez@inasmnet.es;
aitzi_06@hotmail.com; jon.zuniga@tecnalia.com

Recibido: 12/07/2010 • Aceptado: 15/11/2010

Hydrogen production by means of catalytic thermal decomposition of methane in rotary reactors

ABSTRACT

- The decomposition of the methane by means of a thermal and catalytic process (DTC) has been widely studied previously. The process to laboratory level, either in moving bed or fluidized bed, has been optimized, mainly with metallic catalysts, obtaining an efficiency of hydrogen production nearby to the maximum theoretically fixed by the thermodynamic, depending on the temperature of reaction.

A rotary reactor designed by Inasmet-Tecnalia to carry out the process of Catalytic Thermal Decomposition (DTC) of methane has been investigated in order to achieve the CO_x-free production of hydrogen. The aim of the present work is to study the efficiency of this type of reactor, in a pilot scale, for a continuous production of hydrogen. A reactor such as, specifically designed, offers excellent fluidodynamic properties for the route DTC, though the optimization of the design in the scale that one has worked was not an object of the study.

The trials, carried out in this reactor, allow the study of the influence of operating conditions such as the temperature reaction, the action of the different types of catalyst in the bed, the flow of methane, and the residence times, with a view to optimizing the parameters adjusted for the specific technology used. Likewise, there has been studied the nature of the carbon obtained as by-product with a view to his economic valorisation.

The results have been compared with the best published information referred to the same process using traditional processes (fixed bed and fluidized bed). The result demonstrates that the process is highly competitive taking into account the methane conversion, turning out to be the most favorable for the economic reasons, the simplification of the process, and the facility of scale-up. Equally, the system permits continuous operation which is of special interest facing his transfer to the industrial tissue.

- Keywords:** hydrogen, production, catalytic, thermal decomposition(CTD), catalysers.

RESUMEN

La descomposición del metano por medio de un proceso térmico y catalítico (DTC) ha sido ampliamente estudiada con anterioridad. El proceso a nivel de laboratorio, tanto en reactores de lecho fijo como de lecho fluidizado, ha sido optimizado, fundamentalmente con catalizadores metálicos, obteniendo una eficiencia de producción de hidrógeno cercana al máximo teórico fijado por la termodinámica en función de la temperatura de reacción.

Un reactor rotativo diseñado por Inasmet-Tecnalia para llevar a cabo el proceso de Descomposición Catalítica Térmica (DTC) de metano ha sido investigado cara a la producción de hidrógeno libre de CO₂. El objetivo del trabajo presentado aquí es estudiar la eficacia de este tipo de reactor, a escala piloto, y para la producción de hidrógeno en continuo. Este reactor, en particular, ofrece propiedades fluidodinámicas excelentes para la ruta DTC, si bien no era objeto del estudio la optimización del diseño en la escala que se ha trabajado.

Las pruebas realizadas en este reactor, han permitido estudiar la correlación de diferentes parámetros de proceso, tales como la temperatura de reacción, la acción de los tipos diferentes de catalizador en el lecho, el flujo de metano, el tiempo de residencia, con la conversión en hidrógeno del gas de partida. Asimismo, se ha estudiado la naturaleza del carbono obtenido como subproducto con vistas a su valorización.

Los resultados obtenidos han sido comparados con los mejores datos publicados referidos al mismo proceso utilizando procesos tradicionales (lecho fijo y lecho fluidizado). El resultado demuestra que el proceso es altamente competitivo en cuanto a la conversión del metano, resultando favorable en cuanto a los aspectos económicos de la producción, la simplificación del proceso, y la facilidad de escalado. Igualmente, el sistema permite la operación en continuo lo cual es de especial interés para su transferencia al tejido industrial.

Palabras clave: hidrógeno, producción, descomposición, térmica catalítica, catalizadores.

1. INTRODUCCIÓN

El actual modelo energético basado en los combustibles fósiles presenta graves problemas de sostenibilidad tanto por la limitación de recursos disponibles como por los problemas asociados a la emisión de C_2 . Entre las alternativas que se estudian con mayor énfasis, el uso del hidrógeno como vector energético de futuro resulta de especial atractivo ligado con la utilización de pilas de combustibles (Fuel Cells) debido a su elevada eficiencia para la transformación en energía eléctrica.

Habitualmente, el método más utilizado para la producción de hidrógeno en grandes cantidades es el denominado Reformado de Metano con Vapor, *Steam Methane Reforming* (SMR) [3,4]. Sin embargo, este proceso emite grandes cantidades de CO_2 , las cuales deberían ser capturadas y almacenadas. En este caso, el coste de hidrógeno se estima que se incrementaría entre un 20 y un 50 por ciento, siempre refiriéndose a grandes plantas centralizadas [3]. En estas circunstancias, la Descomposición Térmica Catalítica del Gas Natural (DTC) es una alternativa muy interesante para producir una corriente de hidrógeno libre de óxidos de carbono [5].

Por otra parte, para poner en práctica una política de descentralización de los recursos energéticos, el hidrógeno debería ser producido en pequeñas plantas descentralizadas. De esta manera, podría imaginarse un escenario de implantación de una red de estaciones de suministro subsidiarias cercanas a las instalaciones de producción [4]. Este escenario serviría igualmente en el caso en que se optase por el suministro de hidrógeno mezclado con gas natural para aplicaciones domésticas e industriales, sirviendo de etapa intermedia hacia una economía basada en el vector hidrógeno [6, 7].

Finalmente, otro factor a considerar en el balance económico de la producción de hidrógeno por DTC es el valor del carbono obtenido como subproducto de la reacción, el cual puede alcanzar un alto valor comercial en función de sus características, las cuales dependen a su vez de las condiciones de reacción [2] y del tipo de catalizador utilizado [8].

1.1. PROCESOS DE DESCOMPOSICIÓN: CATALIZADORES

La DTC es un proceso termocatalítico en el cual se introduce metano en el reactor, produciéndose su descomposición en hidrógeno y carbono. La reacción que tiene lugar es la siguiente:



Habitualmente, el proceso de catálisis se realiza a través de dos familias distintas de catalizadores, los metálicos y los de base carbono [9]. Los catalizadores carbonosos muestran algunas ventajas, fundamentalmente el hecho de que no necesitan una separación posterior del material de carbono formado como subproducto, así como un menor coste económico. Por otro lado, permiten trabajar a altas temperaturas. Por el contrario, los rendimientos de los procesos asociados a estos materiales son más bajos que en el caso de los de naturaleza metálica.

En esta línea, los catalizadores metálicos muestran gran actividad a diferentes temperaturas, incluso por debajo de los 600 °C. De acuerdo a la literatura existente [9], la mayoría de los metales de transición presenta actividad catalítica para este proceso, siendo los de base níquel los más estudiados hasta el momento actual [10-14]. Estos catalizadores presentan un intervalo amplio de actividad que va de temperaturas tan bajas como 500 °C hasta 800 °C.

Existen, igualmente, varios estudios reflejados en bibliografía con el Fe como metal base del agente catalítico [15], si bien este elemento suele emplearse en combinaciones binarias con otros metales de transición. A diferencia de los anteriores, los catalizadores base hierro son más activos por encima de 850 °C [9].

1.2. PROCESOS DE DESCOMPOSICIÓN: REACTORES

Debido a las características del proceso de DTC, la mayoría de autores que han publicado sobre la producción en continuo de hidrógeno se han decantado por la utilización de un reactor de tipo lecho fluidizado [9, 13, 16]. Las razones principales se basan en el buen contacto sólido-gas que ofrece este tipo de reactor con una distribución homogénea del catalizador. Sin embargo, tanto desde el punto de vista del propio proceso, como desde la óptica del escalado a nivel industrial, existen una serie de inconvenientes que conviene tener en cuenta. Básicamente, los requerimientos fluidodinámicos del lecho catalítico limitan el rango de las condiciones de operación, y, por otra parte, existen problemas de atrición en el lecho, clásicos en este tipo de procesos. Por tanto, con el fin de escalar el proceso a niveles industriales superando en lo posible los problemas previsibles, se ha optado por desarrollar un nuevo concepto de proceso basado en la utilización de reactores rotativos, operando en continuo, con la ventaja de que son fáciles de operar, sencillos en cuanto a control de proceso, baratos, y muy conocidos por el sector industrial.

1.3. ALCANCE DEL ESTUDIO

El trabajo presentado en este artículo se basa en los primeros resultados obtenidos por Tecnalia en el proceso de DTC de metano, trabajando en un reactor cuyo lecho catalítico está sometido a un movimiento rotativo, a escala piloto.

El reactor diseñado no tiene restricciones básicas en cuanto a la alimentación del catalizador y del gas de entrada, operaciones que se realizan en continuo con sencillez.



Fig. 1: Reactor con lecho rotativo y control de temperatura y atmósfera

Asimismo, el tipo de proceso utilizado no tiene problemas de atrición de material y se consigue una buena transferencia de calor a través de toda la masa del lecho. Por último, se consigue mediante el movimiento rotativo y el diseño interno del reactor (ver Fig.2), una adecuada distribución homogénea del catalizador y una elevada eficiencia de reacción.

A partir del proceso comentado, se ha estudiado la influencia de las condiciones de operación (temperatura, alimentación del catalizador, flujo de metano y tiempo de reacción) en la conversión de metano en hidrógeno. Los resultados obtenidos han sido comparados con resultados previos obtenidos en laboratorio, así como con los mejores encontrados en la bibliografía correspondiente a los procesos actualmente más eficientes, siendo en todos los casos muy similares.

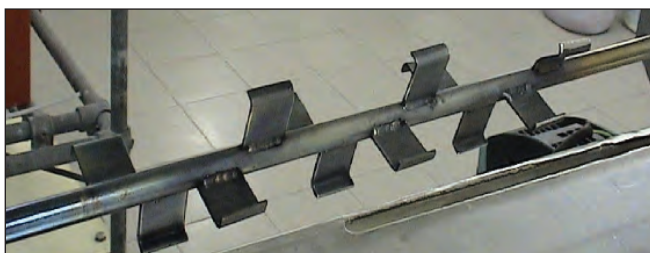


Fig. 2: Sistema de avance del material en el reactor

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. MATERIALES

Los catalizadores empleados se basan en compuestos de Ni (65 wt%) soportados en un compuesto mezcla de sílice y

alúmina, preparado en los propios laboratorios de Inasmet. El material se prepara mediante el método de humedad incipiente y es sometido a etapas posteriores de secado (a 110°C durante 4 horas) y calcinación (a 450°C durante 4 horas). La fase activa para el proceso de DTC de metano es el níquel metálico. Por lo tanto, antes de la reacción de descomposición el catalizador se somete a una reducción in situ bajo las siguientes condiciones: Flujo de $H_2 = 50$ ml/min, Temperatura de reducción = 650 °C/10h, rampa de calentamiento de 1°C/min.

2.2. ENSAYOS DE ACTIVIDAD DE LOS CATALIZADORES

El reactor utilizado para llevar a cabo los ensayos es un tubo cilíndrico de 53 mm. de diámetro interno y 480 mm de longitud. Un dispositivo provisto de palas deflectoras es utilizado para simular el efecto de un horno rotativo convencional. El conjunto responde a un diseño específico basado en simular los parámetros esenciales que regulan las condiciones de procesado en un horno de estas características.

Una vez cerrado y cargado el reactor, éste es introducido en una cámara de calefacción eléctrica, cuya temperatura, así como la del interior del cilindro se controlan mediante termopares conectados a un equipo de control.

Se utiliza como gas de ensayo metano de alta pureza (Air Products-99.0%), siendo su flujo regulado mediante el correspondiente rotámetro. Con objeto de minimizar la posibilidad de formación de gradientes de temperatura elevados en el seno del catalizador, éste es diluido con un material inerte.

La etapa de precalentamiento es realizada en una atmósfera inerte para prevenir la oxidación de catalizador en altas temperaturas. Una vez alcanzada la temperatura deseada se introduce el metano según el flujo deseado (ver la Figura 3). Para determinar la evolución de la concentración H_2 en función del tiempo de reacción, la composición del gas de salida es analizada por un cromatógrafo de gases equipado con dos columnas empaquetadas diferentes y un detector de hilo caliente (HWD). Igualmente, se utiliza un analizador de gases en continuo (modelo URAS 10E, Hartmann y Braun) para excluir la presencia de gases tales como CO_2 u O_2 , lo que garantiza que la reacción ha sido conducida en una atmósfera sin aire y no se produce oxidación de carbono durante el proceso.

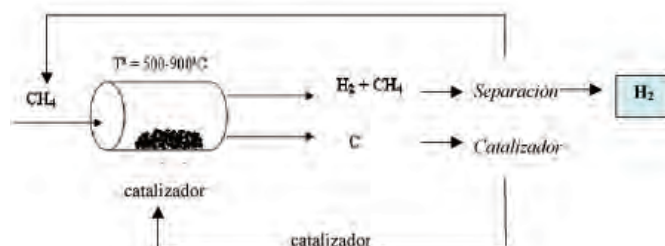


Fig. 3: Diagrama de producción de hidrógeno por descomposición termocatalítica de metano (DTC)

De otra parte, la cantidad de carbón depositado durante la reacción es determinada por la diferencia de peso al principio y al final del sólido catalítico. La conversión de metano se calcula en base a la estequiometría de la reacción de descomposición.

La bibliografía indica que los factores más influyentes para el comportamiento del proceso son el caudal de metano, la cantidad de catalizador y el tiempo de reacción. En consecuencia, éstos son los parámetros que se han controlado a lo largo de los diferentes ensayos realizados. Las condiciones de operación en las cuales se han llevado a cabo los ensayos son las que se presentan en la Tabla 1.

Ensayo	T ^a (°C)	m _{cat} (g)	Q _{CH₄} (L/h)	t _r (h)
1	700	8	16	4.5
3	750	4	10	7.3
4	750	8	10	4.5
5	750	8	25	4.5
7	750	8	10	1.0
8	750	12	25	4.5
9	750	12	16	4.5
2	850	4	16	4.5
6	850	8	16	4.5
10	850	8	10	4.5

Tabla 1: Matriz de ensayos de DTC

2.3. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DEL CARBONO

La apariencia morfológica, la textura y el tamaño del catalizador han sido estudiados mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM) Jeol JSM 5910 LV acoplado a detectores EDS y WDS para el análisis cualitativo-cuantitativo, y detectores BES y SEI para la generación de las imágenes. La estructura del carbono depositado se ha determinado mediante la técnica espectroscópica Raman. El equipo utilizado es un espectroscopio Raman Microscope de la marca Renishaw. El tipo de carbono obtenido se ha determinado mediante análisis termogravimétrico (TGA) del producto sólido llevado a cabo en una termobalanza de la marca Setaram, modelo TGA 92-16.18.

3. RESULTADOS

3.1. ACTIVIDAD CATALÍTICA E INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

Las condiciones de operación así como los resultados de cada ensayo quedan recogidos en la Tabla 2. Quedan indicados los datos de conversión final de CH₄ (X_{CH₄}) en base al balance molar del carbono durante la reacción y la cantidad de carbono producido por gramo de catalizador (g_C/g_{cat}).

Run	T ^a (°C)	m _{cat} (g)	Q _{CH₄} (L/h)	t _r (h)	X _{CH₄} (%)	gC/gcat
1	700	8	16	4.57	35.0	1.61
3	750	4	10	7.33	30.4	2.77
4	750	8	10	4.52	45.4	1.27
5	750	8	25	4.52	34.5	2.43
7	750	8	10	1.00	62.8	0.39
8	750	12	25	4.50	42.0	1.97
9	750	12	16	4.50	45.4	1.40
2	850	4	16	4.45	26.5	2.42
6	850	8	16	4.52	37.8	1.76
10	850	8	10	4.50	42.3	1.20

Tabla 2: Resultados de los ensayos de DTC

La caracterización de los gases de salida indica que los únicos compuestos presentes en la corriente son el H₂ y el CH₄. Por lo tanto, queda asegurada la ausencia de gases tales como el CO, CO₂ u O₂.

La producción de hidrógeno ha sido estudiada en función de los parámetros más influyentes: la temperatura de reacción, la carga del catalizador, el flujo de metano alimentado y el tiempo de reacción. El análisis de los resultados obtenidos se muestra en los siguientes párrafos.

• Efecto de la temperatura de reacción

En la Fig.4 y la Fig.5 se muestra la evolución de la producción de H₂ en ensayos llevados a cabo a diferentes temperaturas.

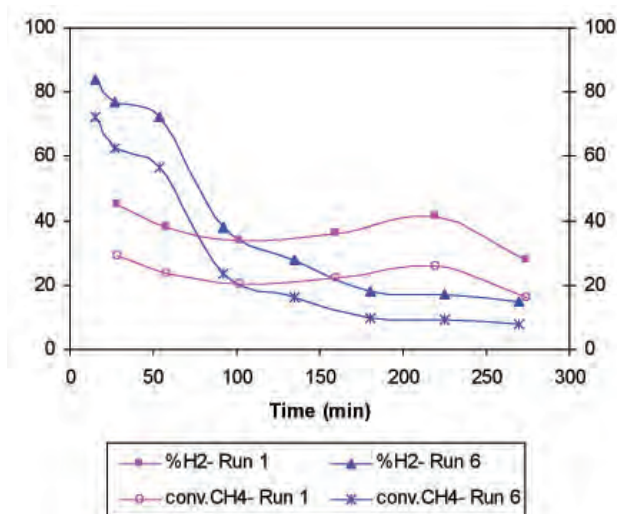


Fig.4: Efecto de la temperatura en la producción de H₂ y la conversión de CH₄, m_{cat} = 8 g; Q_{CH₄} = 16.8 L/h; Run 1: 700°C; Run 6: 850°C

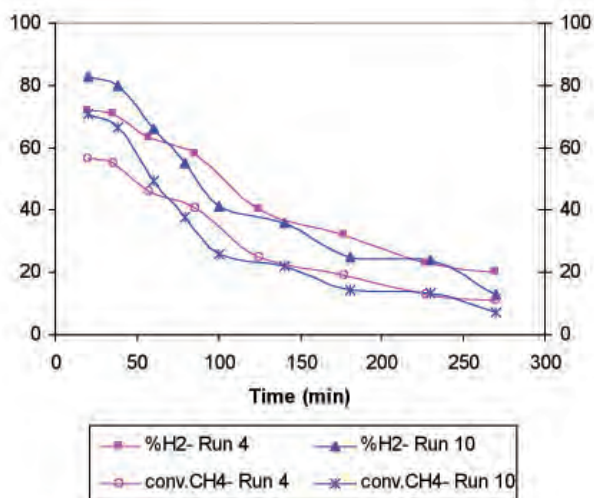


Fig. 5: Efecto de la temperatura en la producción de H₂ y la conversión de CH₄
 $m_{cat} = 8 \text{ g}$; $Q_{CH_4} = 10 \text{ L/h}$; **Run 4:** 750°C; **Run 10:** 850°C

Se observa que a mayores temperaturas la concentración inicial de H₂, y como consecuencia la conversión de metano, aumenta. A 700°C se obtiene una concentración de H₂ aproximada del 40%, lo que equivale a una conversión del 25% (Fig. 4). A 850°C la actividad catalítica inicial es mucho mayor, y se ha llegado a obtener una concentración inicial de hasta un 84%, es decir, una conversión del 72%. Sin embargo, a esta temperatura la actividad del catalizador disminuye rápidamente, por lo que la conversión final llega a ser prácticamente la misma para el tiempo de reacción considerado. Esto se debe a la mayor velocidad de deposición del carbono sobre la superficie del catalizador y la relativamente baja velocidad de difusión de éste, provocando así su desactivación por encapsulamiento del centro activo [13]. Es posible llegar a un cierto equilibrio entre ambos aspectos operando a 750°C. A esta temperatura se logra una alta concentración de H₂ inicial, 72% vol, y la velocidad de desactivación es similar a la observada a 850°C. Por lo tanto, atendiendo a los valores de conversión y el consumo de energía asociados al calentamiento del reactor, se concluye que la temperatura de operación óptima para el reactor de lecho móvil es de 750°C. Los resultados obtenidos son acordes con los mejores encontrados en la literatura [11, 12].

• Efecto de la carga de catalizador

La carga catalítica empleada es otro de los parámetros con mayor influencia sobre el proceso de DTC. En un rango entre 4 g. y 8 g. de catalizador se observa que tanto las conversiones puntuales como finales aumentan con una mayor cantidad de catalizador. Esta tendencia se repite independientemente del resto de las condiciones de operación, tal y como se puede observar en las Fig. 6 y Fig. 7. No obstante, el aumento en la conversión inicial resulta más evidente a mayores

temperaturas, 850°C, y mayores caudales, 16 L/h, llegando a existir un 30% de diferencia en la concentración de H₂ (Fig. 5).

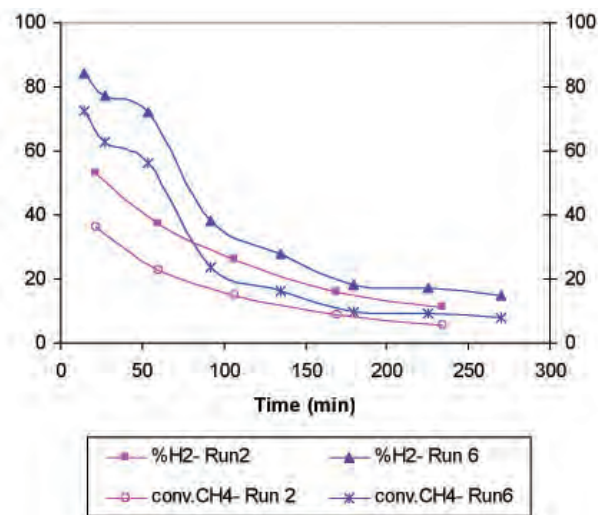


Fig. 6: Efecto de la carga de catalizador en la producción de H₂ y la conversión de CH₄
 $T^o = 850^o\text{C}$; $Q_{CH_4} = 16.8 \text{ L/h}$; **Run 2:** $m_{cat} = 4 \text{ g}$; **Run 6:** $m_{cat} = 8 \text{ g}$

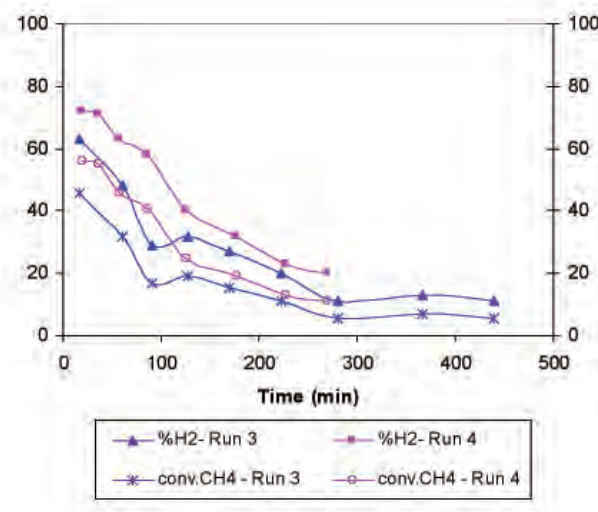


Fig. 7: Efecto de la carga de catalizador en la producción de H₂ y la conversión de CH₄
 $T^o = 750^o\text{C}$; $Q_{CH_4} = 10 \text{ L/h}$; **Run 3:** $m_{cat} = 4 \text{ g}$; **Run 4:** $m_{cat} = 8 \text{ g}$

Sin embargo, tal y como muestra la Fig. 8, existe una cantidad de catalizador óptima dentro del rango de valores estudiados, a partir de la cual, el aumento de la conversión debido a una mayor carga catalítica es mínimo.

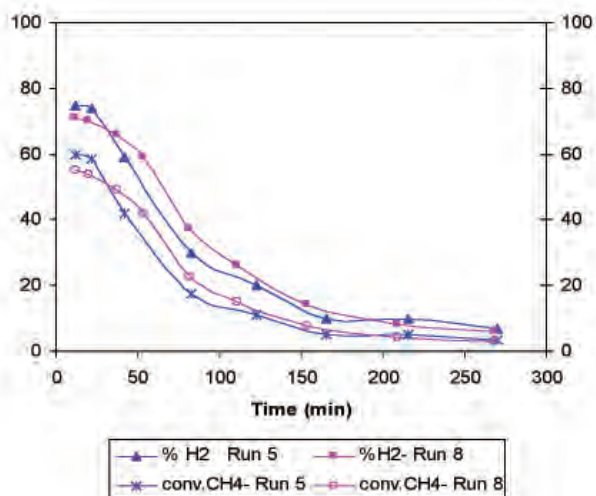


Fig. 8: Efecto de la carga de catalizador en la producción de H_2 y la conversión de CH_4 , $T^o = 750^oC$; $Q_{CH_4} = 25$ L/h; **Run 5:** $m_{cat} = 8$ g; **Run 8:** $m_{cat} = 12$ g

• Efecto del caudal de metano alimentado

El efecto del caudal de metano alimentado sobre la producción de H_2 también ha sido estudiado en este trabajo.

La conversión específica en los primeros minutos es algo mayor para flujos superiores. A pesar de ello, este aumento acelera la velocidad de desactivación del catalizador. Este efecto comienza a reflejarse rápidamente, por lo que el valor de conversión final disminuye para mayores flujos de CH_4 . Como se mencionó anteriormente, este fenómeno se produce debido al aumento de la velocidad de deposición del carbono, como consecuencia de una mayor velocidad espacial. En esta situación la velocidad de difusión del carbono llega a ser demasiado baja y el carbono producido adopta una forma amorfa, encapsulando los sitios activos y conduciéndolo a su desactivación [13].

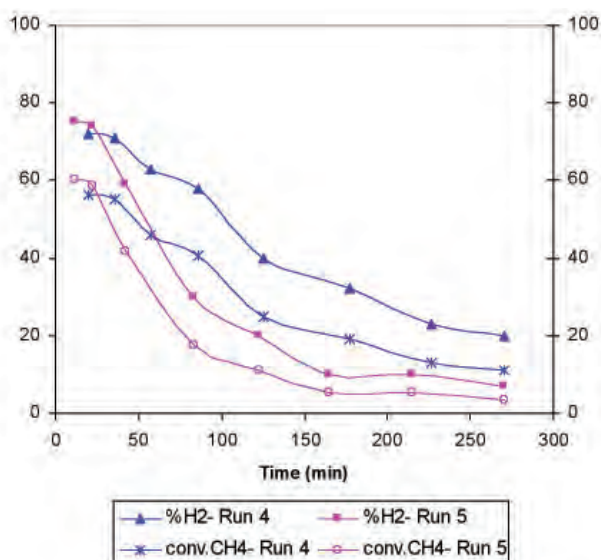


Fig. 9: Efecto del caudal de CH_4 alimentado en la producción de H_2 y la conversión de CH_4 , $m_{cat} = 8$, $T^o = 750^oC$; **Run 4:** $Q_{CH_4} = 10$ L/h. **Run 5:** $Q_{CH_4} = 25$ L/h;

Se puede concluir que a velocidades espaciales más altas la conversión final disminuye para el tiempo de reacción considerado. Ver Figura 9 y 10.

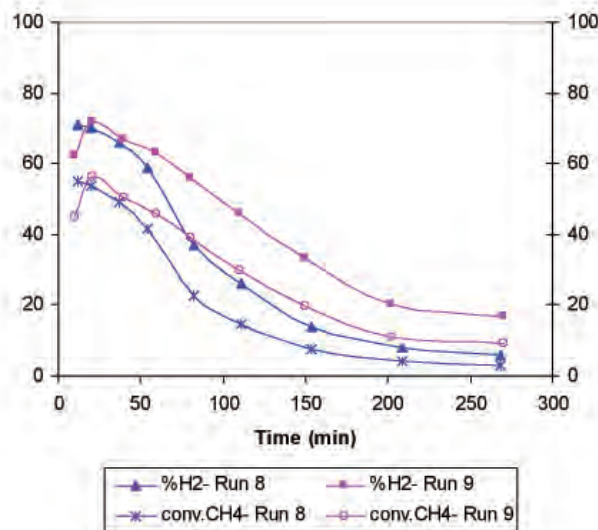


Fig. 10: Efecto del caudal de CH_4 alimentado en la producción de H_2 y la conversión de CH_4 , $m_{cat} = 12$, $T^o = 750^oC$; **Run 8:** $Q_{CH_4} = 25$ L/h. **Run 9:** $Q_{CH_4} = 16.8$ L/h

• Efecto del tiempo de reacción

La evolución de la concentración de H_2 con respecto a tiempo refleja de forma clara la influencia del tiempo de reacción en un proceso catalítico, como es el caso de la DTC de metano.

El tiempo de reacción resulta de gran interés a la hora de realizar el diseño de un reactor continuo de lecho rotatorio. Éste determinará en gran medida el tiempo de residencia de las partículas de catalizador dentro del reactor en función de la conversión que se quiera obtener.

3.2. APLICACIONES DE MEZCLAS CH_4/H_2

El único producto gaseoso obtenido en el proceso de DTC en la planta piloto diseñada en este estudio es una mezcla de H_2 y CH_4 no reaccionado. La concentración de H_2 de salida varía en función de las condiciones de operación en las que se lleva a cabo el proceso, por lo que en cada caso la mezcla de gases puede ser sometida a diferentes procedimientos para su posterior aplicación.

Tanto el metano como el hidrógeno pueden emplearse como combustibles por separado en motores de combustión interna [6, 17], lo que requiere una fase previa de separación de la corriente de salida. La inexistencia de compuestos como CO o CO_2 facilita la fase de purificación de esta mezcla, reduciendo las etapas posteriores necesarias y el coste de la obtención de una corriente de H_2 de alta pureza.

El uso de membranas puede ser uno de los métodos con mayor desarrollo a futuro para la obtención de un hidrógeno lo suficientemente puro para su aplicación, por ejemplo, en

pilas de combustible. Teniendo en cuenta la composición de la mezcla de gases y su temperatura de salida, alrededor de los 300°C, las membranas metálicas soportadas resultan las más adecuadas para su uso en la separación de la mezcla H_2/CH_4 , ya que permiten trabajar a altas temperaturas y no presentan incompatibilidades con los compuestos presentes en la corriente de salida.

Para solventar los inconvenientes del uso del metano e hidrógeno puros y facilitar el paso de un sistema basado en los combustibles fósiles a otro basado en el hidrógeno, la aplicación directa de la mezcla H_2/CH_4 puede ser de gran interés [6,7, 17].

El uso de estas mezclas gaseosas en los motores de combustión interna actuales requiere que la proporción de los gases sea tal que la velocidad de combustión de la mezcla resultante sea similar a la de los combustibles actuales, entre el 10-20% de H_2 en el caso de sustitución de la gasolina, y un 5-15% en el caso de sustitución del gasoil [17]. Existen publicaciones [20] que hacen referencia al uso de mezclas con un contenido entre 28% y 36% de H_2 , y la posibilidad de llegar hasta un 50%. Porcentajes mayores pueden crear problemas en cuanto al almacenamiento y la seguridad. Por lo tanto, las corrientes gaseosas de salida obtenidas en esta investigación, bajo determinadas condiciones de operación, podrían encontrar su aplicación como combustibles en motores de combustión interna. Actualmente, éstos no necesitan grandes cambios para su uso con combustibles gaseosos, a parte de la adquisición de cilindros de almacenamiento de gas comprimido, reguladores de presión y carburadores, todos ellos disponibles comercialmente. Sin embargo, la mezcla de gases deberá ser sometida a una etapa de compresión antes de su uso.

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL CARBONO FORMADO

3.3.1. SEM (Microscopio Electrónico de Barrido)

Las siguientes imágenes muestran la apariencia morfológica del carbono depositado sobre la superficie del catalizador en uno de los diversos ensayos realizados. En la Fig. 11 se puede observar que el producto obtenido se presenta principalmente

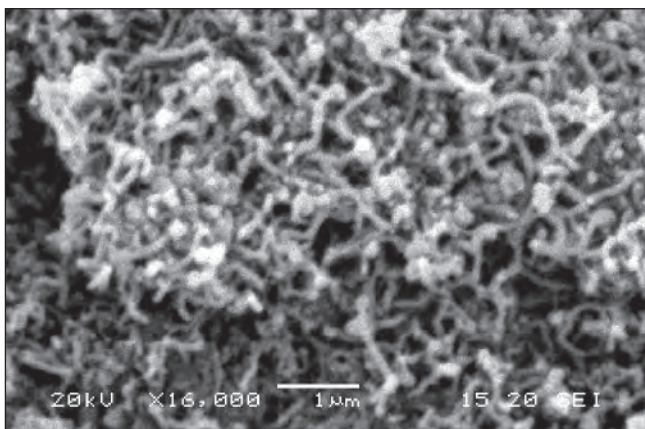


Fig.11: Imagen SEM (x16, 000) de la muestra de carbono (Run 4)

como carbono amorfo entre el que se intercalan redes de filamentos.

Las imágenes SEM no proporcionan datos cuantitativos sobre la cantidad de cada uno de los tipos de carbono presentes en las muestras. Sin embargo, la caracterización de muestras de carbono correspondientes a ensayos realizados a mayor temperatura y para un tiempo de reacción menor indican que el producto sólido obtenido se trata del mismo tipo de carbono, es decir, carbono amorfo y redes de filamentos.

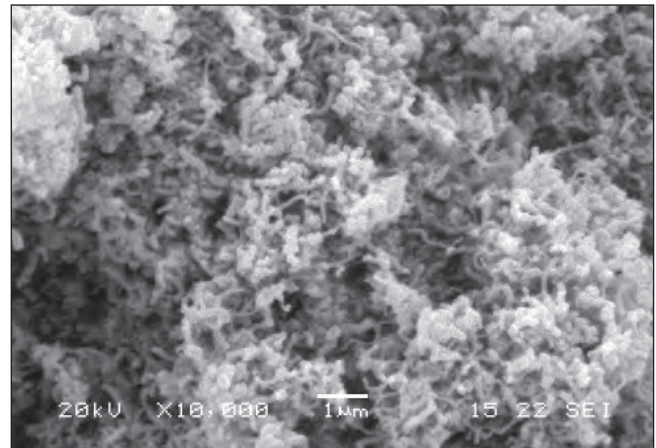


Fig.12: Imagen SEM (x10, 000) de la muestra de carbono (Run 10)

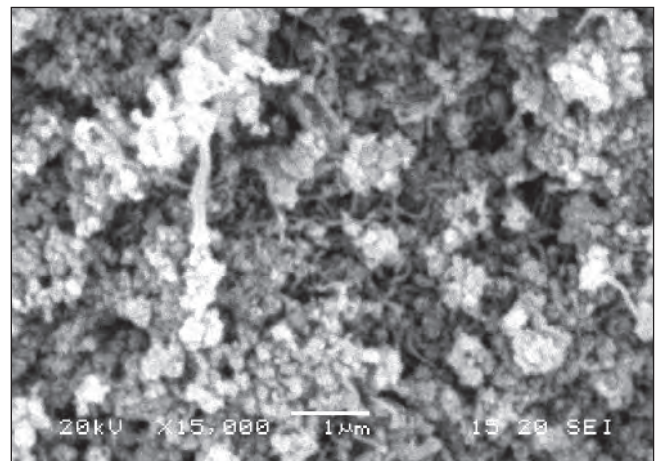


Fig.13: Imagen SEM (x15, 000) de la muestra de carbono (Run 5)

Por lo tanto, se deduce que la variación de los parámetros objeto de estudio, en el rango en el que se han llevado a cabo los ensayos, no influyen de forma apreciable en las características cualitativas del carbono formado. El resto de las muestras analizadas no se muestran debido a la similitud con las presentadas aquí.

3.3.2. Espectroscopía Raman

El espectro resultante de la caracterización mediante Espectroscopía Raman se muestra en la Fig.14. El espectro muestra dos principales bandas, el pico a 1550 cm^{-1} (banda

G) corresponde al grado de grafitización del carbono, mientras que el pico a 1348 cm^{-1} (banda D) se asocia a la presencia de defectos o desórdenes inducidos en el material. Observando las imágenes SEM, así como atendiendo a los resultados de la TGA, se descarta la presencia de grafito en la muestra, por lo que la intensidad del pico G corresponde a la presencia de los filamentos de carbono. La mayor intensidad de la banda D indica una mayor proporción de compuestos con una estructura desordenada, en este caso, atribuidos principalmente a la presencia de carbono amorfo. No obstante, tal y como se ha podido observar en las imágenes SEM, parte de los filamentos se encuentran rotos y desestructurados, lo que hace aumentar aún más el desorden de la muestra, y como consecuencia la intensidad del pico D.

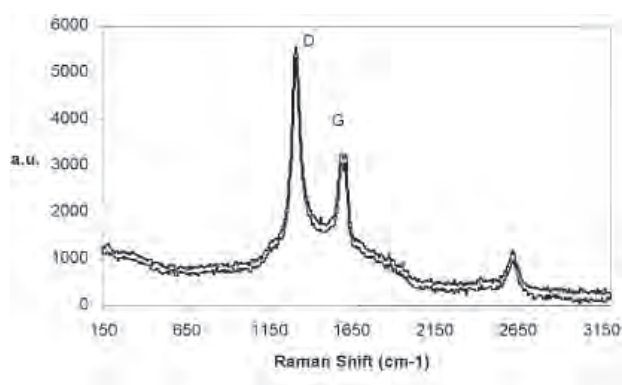


Fig. 14: Espectro Raman del carbono obtenido a 750°C

3.3.3. Análisis termogravimétrico

Los resultados del análisis termogravimétrico de la muestra de carbono se representan gráficamente en la siguiente Fig. 15.

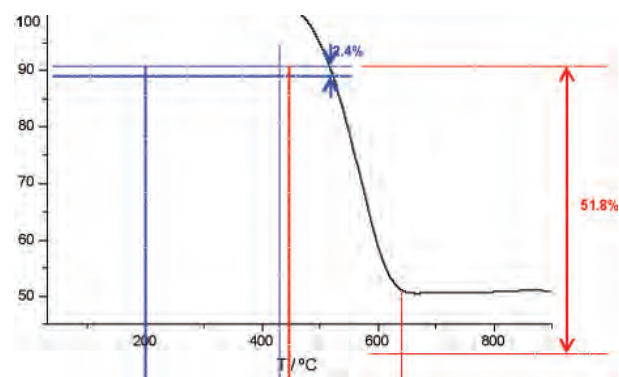


Fig. 15: Resultados TGA de la muestra de carbono

Se observa una primera ganancia de peso a partir de unos 200°C que corresponde a un 2,4% de la muestra analizada. En base a investigaciones previas, se conoce que alrededor de esa temperatura el Ni se oxida cuando se somete a una atmósfera oxidante, por lo que la ganancia de peso se asocia a la formación de óxidos de Ni, proveniente del catalizador.

Seguidamente, existe una gran pérdida de peso entre 417°C y 675°C , de un 51,8%. Tanto el carbono amorfo ($\approx 450^{\circ}\text{C}$) como los nanotubos de carbono ($\approx 500\text{--}650^{\circ}\text{C}$ en función del tipo de nanotubo) llegan a oxidarse dentro de ese rango de temperatura, por lo que se deduce que alguno de los dos, o ambos tipos de carbono, se encuentran presentes en la muestra. A partir de 650°C no se observa ninguna variación de peso, lo cual indica que no existe ningún otro tipo de carbono, tal como el grafito, cuya temperatura de oxidación es aproximadamente de 900°C . El porcentaje restante se atribuye a la presencia del material inerte empleado para diluir el lecho catalítico, el cual se oxida a temperaturas mayores que 1200°C .

3.3.4. Aplicaciones del carbono

Hoy en día, el carbono es un producto que puede encontrar aplicación en diversas áreas tales como la producción de carburos metálicos [5], obtención de absorbentes para el almacenamiento de hidrógeno [21,22] e incluso como soporte catalítico [23], siempre dependiendo de su estructura y morfología.

No obstante, la separación del carbono formado de la muestra es complicada, y en ciertas condiciones no resulta rentable su recuperación. Por lo tanto, además de su uso en los diferentes sectores mencionados, es conveniente plantear otras opciones como la transformación de ese carbono en otro producto, por ejemplo gas de síntesis, mediante el proceso de regeneración del catalizador.

Como en toda reacción catalítica, el catalizador presenta una vida limitada, tal y como se ha podido observar en los ensayos realizados. En el proceso de DTC la formación del carbono y su deposición sobre la superficie del catalizador es la causante de su desactivación, por lo que la eliminación del carbono formado es el factor clave para la recuperación y reutilización del catalizador.

La regeneración del catalizador se puede llevar a cabo principalmente por dos métodos: gasificación con vapor de agua o CO_2 , u oxidación con una corriente de aire o un gas oxidante. La gasificación con vapor de agua presenta varias ventajas con respecto a los demás procesos, ya que el producto obtenido es una mezcla de CO y H_2 , es decir, gas de síntesis [24-26]. Por otro lado, el compuesto activo del catalizador, el Ni, se mantiene en su forma metálica después de haber sido sometido al proceso [25], lo que la etapa posterior de reducción se ve facilitada. Una vez regenerado, el catalizador podría ser recirculado al sistema en un proceso de producción de hidrógeno continuo.

Hay que tener en cuenta que el proceso de regeneración produce CO_2 en cantidades análogas a las que se producirían por combustión del metano generador del carbono, con lo que se pierde el efecto positivo de la tecnología DTC con respecto a la no generación de óxidos carbonosos. En este sentido, y dada la gran cantidad de hidrógeno (y carbono) formados por gramo de metal, puede resultar oportuna la no regeneración del catalizador dentro del contexto del proceso.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo confirman que la Descomposición Térmica Catalítica de CH_4 es un proceso apto para la producción de H_2 libre de emisiones de CO_2 , ya que el H_2 y el CH_4 no reaccionado son los únicos componentes detectados en la corriente de gases de salida. Esta mezcla puede utilizarse directamente como combustible o bien proceder a su separación y obtener así una corriente de H_2 de alta pureza. En un proceso en continuo, el metano no reaccionado puede ser recirculado al sistema como alimentación.

Por otra parte, se ha demostrado que la utilización de un reactor de lecho rotatorio proporciona buenos resultados en el proceso estudiado, ya que se obtienen concentraciones de hasta un 70-80% de hidrógeno en el gas de salida, lo que equivale a una conversión del 54-66% de metano. Estos valores son comparables con aquellos que se recogen en bibliografía [10-13,16] para otro tipo de reactores, que sin embargo resultan mucho menos sencillos y escalables desde el punto de vista industrial, lo que supone un gran ventaja competitiva debido a la sencillez de operación de estos hornos y al bajo coste global del proceso.

Las condiciones de operación estudiadas indican que, de forma general, a mayores temperaturas y carga catalítica, la concentración inicial de H_2 aumenta. No obstante, a altas temperaturas, el centro activo pierde su capacidad de actuación debido a la gran cantidad de carbono depositado sobre la superficie del catalizador. El mismo efecto se observa con un aumento del caudal de CH_4 alimentado. Por lo tanto, a pesar de que el valor máximo de concentración de H_2 puede ser superior al indicado anteriormente, globalmente, resulta más rentable trabajar a temperaturas no superiores a los 750°C y limitando la relación entre la carga catalítica total y el caudal del gas metano alimentado.

Por último, las técnicas de caracterización empleadas indican que el carbono generado se trata de una mezcla de filamentos y carbono amorfo, con mayoría de carbono estructurado sin llegar a formar depósitos grafiticos. Este tipo de material puede ser utilizado en diferentes aplicaciones como refuerzo, en fabricación de "composites", en infraestructuras de diverso tipo, carreteras, etc. La comercialización de este carbono ayuda a rentabilizar el proceso, si bien la reducción de emisiones de CO_2 asociadas al secuestro de este carbono, tiene en sí mismo un valor elevado en función de las cuotas o créditos de CO_2 equivalentes.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Yndurain F. "Energía: Presente y futuro de las diversas tecnologías". Madrid: Academia Europea de Ciencias y Arte, 2005.
- [2] Zabalza I. et al. "Hidrógeno y Pilas de Combustible: Estado de la técnica y posibilidades en Aragón"; Cuarte (Huesca): Departamento de Industria, Comercio y Turismo de Aragón, 2005.
- [3] Llanes-Hurtado JI, Moratilla-Sota BY "El hidrógeno y la energía". Madrid: Universidad Pontificia de Comillas, 2007. Colección Avances de Ingeniería vol. 2. 184 p. ISBN: 978-84-932772-9-1.
- [4] Botas JA, Calles JA, Dufour J et al. "La economía del hidrógeno-Una visión global sobre la revolución energética del siglo XXI". Móstoles (Madrid): Biblioteca Digital de la OEI, 2005.

- [5] Moliner R. "Producción y almacenamiento de Hidrógeno". Fronteras de La Energía, Benasque (Huesca), 2009.
- [6] Estévez E, Hourri A, Bénard P, "Desarrollo del gas natural en Argentina como una vía de introducción del hidrógeno". 9th Congress of International Association of Natural Gas Vehicles (IANGV), Buenos Aires (Argentina), 2004.
- [7] Grac JM, Arrieta AA, Burbano HJ "Análisis comparativo de las propiedades de combustión de las mezclas metano-hidrógeno con respecto al metano"; University of Antioquia, Medellín (Colombia), 2006.
- [8] Takenaka S, Ogihara H, Yamanaka I, et al. "Decomposition of methane over supported-Ni catalysts: effects of the supports on the catalytic lifetime"; Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 2001.
- [9] Muradov N. "Thermocatalytic CO_2 -Free Production of Hydrogen from Hydrocarbon Fuels: Final Report". Florida Solar Energy Center, Cocoa (Florida), 2003.
- [10] Takenaka S et al. "Decomposition of methane over supported-Ni catalyst: effects of the supports on the catalytic lifetime"; *Applied Catalyst- Marzo 2001*, pp. 101-110.
- [11] Takenaka S et al. "Ni/SiO₂ catalyst effective for methane decomposition into hydrogen and carbon nanofiber", *Journal of Catalysis - Diciembre 2002*, pp. 79-87.
- [12] Moliner R et al.; "Hydrogen production by thermocatalytic decomposition of methane on Ni-based catalysts: influence of operating conditions on catalyst deactivation and carbon characteristics"; Documentos del CSIC; 2005; Madrid.
- [13] Weizhong Q et al.; "Production of hydrogen and carbon nanotubes from methane decomposition in a two-stage fluidized bed reactor"; *Applied Catalysis A: General, Volume 260, Issue 2, April 2004*, pp. 223-228
- [14] Aiello R, Fiscuss J, et al. "Hydrogen production via direct cracking of methane over Ni/SiO₂: catalyst deactivation and regeneration", *Applied Catalysis A: General, Volume 26, Issue 192, February 2000*, pp. 227-234.
- [15] Shah N et col. "Catalytic conversion to hydrogen and high value carbon" *United States Patent US006875417B1*; University of Kentucky Research Foundation; Abril 2005; Lexington
- [16] Ma S, Shah N, Wang Y et al. "Semi-continuous production of hydrogen from catalytic methane decomposition using a fluidized-bed reactor", *International Journal of Hydrogen Energy* 32, 2007, pp. 3315 - 3319
- [17] Lynch FE, Marmaro RW "Special Purpose Blends of Hydrogen and Natural Gas". *United States Patent 5139002*, 1990; Littleton, Colorado (USA)
- [18] Bischoff BL, Judkins R, Armstrng TR "Microporous Inorganic membranes for hydrogen Purification"; *DOE Workshop on Hydrogen Separations and Purification Technologies*; 2004; Virginia (USA)
- [19] Sholl DS, Newsome DA, Sang-eun J et al. "Small Pore Zeolites as Materials for Gas Separation Membranes"; *The 2006 Annual Meeting*, San Francisco (USA)
- [20] Alvin et al. "Metal gas separation membrane". US Patent 7018446, Siemens Westinghouse Power Corporation; 2006; United States
- [21] Collier RK, Hoekstra RL, Mulligan DN, Hahn DE "Hydrogen enriched natural gas as a clean motor fuel", United States Patent 5666923. University of Central Florida; 1996; Orlando (USA).
- [22] Boletín del CSIC: *R+D CSIC*, Enero-Febrero 2002. "Los nanotubos de carbono podrían transportar hidrógeno en el futuro".
- [23] Martínez MT "Almacenamiento de hidrógeno en materiales de carbono". Curso de Verano de la Universidad de Castilla La Mancha, Julio 2005, Puertollano (España).
- [24] Alcca-Quispe F. Tesis Doctoral: "Estructura y síntesis de nanotubos de carbono: Propiedades y aplicaciones". Biblioteca de la UNMSM, 2006. Lima (Perú).
- [25] Otsuka K, Takenaka S; "Production of hydrogen from methane by a CO_2 emission-suppressed process: Methane decomposition and gasification of carbon nanofibers"; *Catalysis Survey from Asia, vol. 8, n°2, pp. 77-90*; 2004.
- [26] Cottenye RA, Hoz de Vila M, Suib SL; "Decomposition of methane with an autocatalytically reduced nickel catalyst"; *Journal of Catalysis, Vol. 233, Issue 2, 25 July 2005, pp. 317-326*.

INGENIERÍA SOSTENIBLE DE LA CUNA A LA CUNA: una arquitectura de referencia abierta para el diseño C2C



María Estela Peralta-Álvarez
Francisco Aguayo-González
Juan Ramón Lama-Ruiz

Ingeniero Técnico en Diseño Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Ingeniero en Electrónica

UNIVERSIDAD DE SEVILLA. E.T.S.I. Dpto de Ingeniería del Diseño. Isla de la Cartuja. Camino de los Descubrimientos, s/n – 41092 Sevilla. Tfno: +34 954 153195. estela.pa@hotmail.es; faguayo@us.es; jrlama@us.es

Recibido: 28/07/2010 • Aceptado: 15/11/2010

SUSTAINABLE ENGINEERING BASED ON CRADLE TO CRADLE MODEL: an open architectural reference for a C2C design

ABSTRACT

- The increase of the market demands on innovative, functional and aesthetic products, friendly with the environment, has given a great relevance to the design and development of sustainable products. To achieve this goal, it is important to undertake a process of innovative design that will include sustainability requirements so that the product and its associated system become eco-efficient in its life cycle. This is the reason of this study, aimed at developing a model of design and bioinspired development, within the areas of the research concept of "Cradle to Cradle" and also based on the professional performance of eco-innovation, eco-design, eco-industry and on a whole within industrial ecology. The Genomic Eco-design Model (GEM) is defined as a methodology for designing products based on satisfying both individual and collective needs under the new paradigm of Cradle to Cradle. It focuses on eco-friendly product design and it is integrated within the regulatory framework of ISO standards for life cycle analysis, eco-design and eco-labeling.
- **Key words:** sustainability, eco-efficiency, ecodesign, cradle to cradle, life cycle analysis, eco-effectiveness, eco-innovation, ecoproduct, ecoprocess.

RESUMEN

El diseño y desarrollo de productos sostenibles ha adquirido gran importancia dentro de la ingeniería industrial, al incrementarse el nivel de exigencia del mercado en aspectos innovadores, funcionales, estéticos y, sobre todo, respetuosos con el medio ambiente. Para conseguir este objetivo, es importante llevar a cabo un proceso de diseño y desarrollo innovador, que englobe los requisitos de sostenibilidad para que el producto y el sistema asociado a su ciclo de vida sean ecoeficientes. Por esta razón se desarrolla este estudio, orientado a la fundamentación teórica del nuevo paradigma *Cradle to Cradle* y al establecimiento de un modelo de diseño y desarrollo bioinspirado. Todo ello incardinado dentro de los principios de este nuevo enfoque de sostenibilidad (C2C) y de la actuación profesional de ecoinnovación, ecodiseño, ecoindustria y ecología industrial. El Modelo Genómico de Ecodiseño (MGE) propuesto, se define como una metodología para la concepción de productos que satisfagan las necesidades individuales y

colectivas, bajo el nuevo paradigma de la ecoefectividad de *Cradle to Cradle*. Dicho modelo posibilita el diseño de productos ecocompatibles y es integrable en el marco de las normas ISO de análisis de ciclo de vida, ecodiseño y ecoetiquetado.

Palabras clave: sostenibilidad, ecoeficiencia, ecodiseño, cradle to cradle, análisis del ciclo de vida, ecoefectividad, ecoinnovación, ecoproducto, ecoprocessos.

1. INTRODUCCIÓN. CONCEPTO DE INGENIERIA SOSTENIBLE

Son diversas las definiciones de sostenibilidad y desarrollo sostenible formuladas hasta el momento. De todas ellas, es la citada a continuación la de mayor relevancia a efectos del presente trabajo.

"Es el desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de satisfacción de las generaciones futuras".

La sostenibilidad ha alcanzado un alto grado de relevancia en

la industria actual, llegando a situarse como el enfoque prioritario de innovación bajo el que se despliega la actividad empresarial, gubernamental o social. Ampliamente conocida, abarca tres grandes estadios que definen la estrategia 3E: economía, equidad y ecología [1], en un principio desplegados linealmente en la pirámide empresarial de la Figura 1, donde la prioridad recae en la economía y una vez garantizada, se acude al diseño de productos y procesos con criterios sociales y ambientales.

de su ciclo de vida, con la cual se concebirá su arquitectura y procesos de fabricación asociados, integrados de forma armónica con los flujos de materia y energía del ecosistema natural (naturesfera) y del ecosistema técnico (tecnosfera).

Las tres dimensiones de la sostenibilidad en el modelo *Cradle to Cradle* (C2C) son articuladas simultáneamente y bajo una concepción fractal [1,2]. Como puede comprobarse en la Figura 2, bajo esta perspectiva la sostenibilidad se transforma en el concepto 3E (economía, equidad y ecología),

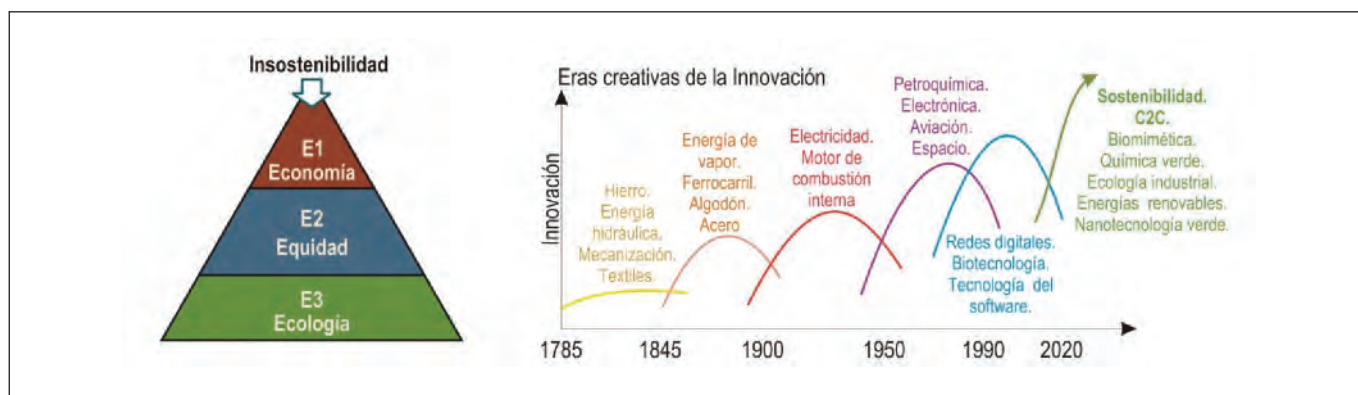


Fig. 1: Sistema secuencial de la actuación industrial insostenible en evolución

Para la consecución del desarrollo sostenible bajo la organización armónica de las 3E, se han articulado distintos marcos de trabajo (paradigmas), vertebrados sobre un conjunto de principios, técnicas y herramientas, entre los que cabe destacar:

- Capitalismo Natural
- El Paso Natural
- Cradle to Cradle* (C2C)
- Permacultura

El presente trabajo se incardina bajo el paradigma de *Cradle to Cradle* (C2C), por considerar que es el marco más significativo para el desarrollo de la sostenibilidad desde la perspectiva industrial en el contexto de proyectos de ingeniería, en atención a su carácter operacional y ecosistémico. Dos son los objetivos propuestos: por una parte, la realización de aportaciones a la fundamentación epistemológica de C2C y, por otra, concretar éstas en una propuesta metodológica de diseño para C2C de inspiración biónica, que pueda ser soportada por los entornos de ingeniería concurrente y PLM (*Product Life Management* - Gestión del Ciclo de Vida).

Dicho marco de trabajo propone considerar el diseño de productos y sistemas adoptando una perspectiva holística

introducida en un dominio triangular, constituyendo la metodología sostenible de la economía de la abundancia de sistemas complejos.

Este nuevo marco para el desarrollo de productos y sistemas industriales, no comporta algoritmos (secuencia de operaciones definidas en un sistema estático y lineal) ni sitúa los tres conceptos en posiciones de insostenibilidad, sino que potencia el fractal dinámico no lineal, eliminando las siguientes posiciones unidimensionales de insostenibilidad:

- La perspectiva económica** del negocio asociado a la rentabilidad del producto (capitalismo), sin considerar los aspectos ambientales y sociales.
- Visión de la equidad**, prestando atención a los segmentos de mercado de grupos desfavorecidos y a la sostenibilidad cultural, sin considerar aspectos económicos ni medioambientales.
- La vertiente ecológica** de integración del producto en el medioambiente sin considerar los aspectos sociales y económicos.

Esta perspectiva de ingeniería sostenible implica una metodología compleja basada en la concepción de sistemas dinámicos no lineales, inscritos en el triángulo de triángulos

"Cradle to Cradle: Rediseñando la forma en que hacemos las cosas" [2] es un libro escrito por Michael Braungart y William McDonough, en el que introducen las primeras bases de un nuevo paradigma para la industria ecológica, una innovadora perspectiva cuyos autores consideran el inicio de la "próxima revolución industrial".

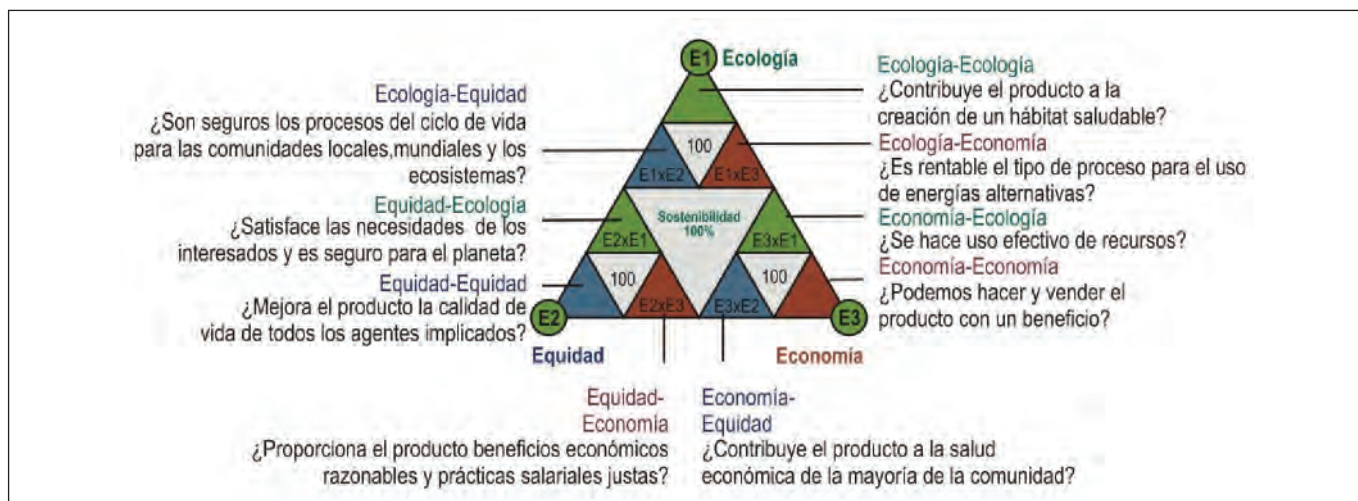


Fig. 2: Estructura Fractal de la Sostenibilidad en C2C

que puede apreciarse en la Figura 2, destinado para pensar y generar sostenibilidad y eliminar el desarrollo aislado de los tres términos (3E).

El enfoque de sostenibilidad C2C no responde a una ingeniería social y financiera que conciba de una forma independiente el capital financiero (económico), el capital humano (equidad social) y el capital natural (ecología), sino que establece su interdependencia transformando estos capitales en activos ecosociales. De este modo, el triángulo fractal y su dinamismo operacional, maximizan los valores de todas las áreas empresariales implicadas en el diseño y desarrollo de productos, a través del diseño eointeligente (satisfacción de todos los agentes involucrados en el proyecto).

De esta manera la *triple bottom line* [1-4] de la Figura 1, debe convertirse en una *triple top line*, o lo que es lo mismo, una triple cuenta de resultados del proyecto, derivada de la ecoinnovación y sinergia de los conceptos sostenibles. Acogido este enfoque, se alcanzará el objetivo que muestra la Figura 3, donde en su proyección temporal, las ideas de

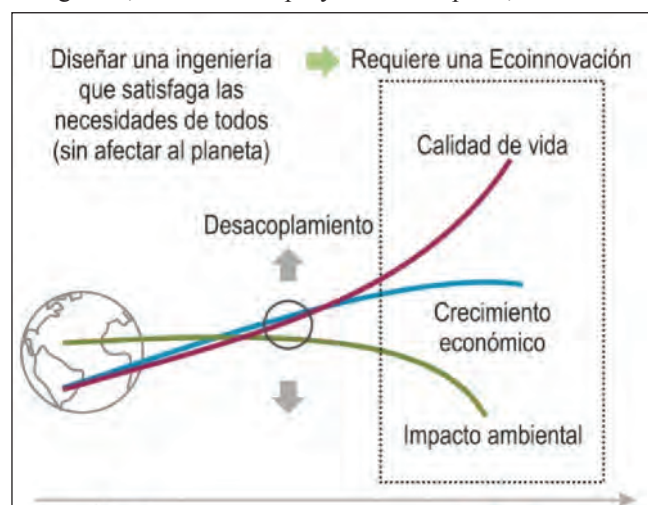


Fig. 3: Objetivo Sostenible de la Actividad Industrial

conseguir calidad de vida y el crecimiento económico, se desacoplan del impacto ambiental sobre el medio.

Derivado de lo expuesto anteriormente, se hace necesario el desarrollo del nuevo paradigma C2C [2], desde donde concebir la sostenibilidad de forma holística, integrando los enfoques actuales de análisis de ciclo de vida, fabricación limpia y ecología industrial [5-8], todos incardinados desde la ecoeficiencia a la ecoefectividad. Para llevarlo a cabo, surge la necesidad de desarrollar nuevos procesos de diseño y desarrollo de productos, convirtiendo C2C en una plataforma de innovación para la siguiente Revolución Industrial.

2. EVOLUCIÓN DEL DISEÑO Y DESARROLLO AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE DE PRODUCTOS Y SISTEMAS INDUSTRIALES

El diseño sostenible plantea una estrategia que abarca factores tecnológicos [9-12], económicos, culturales, sociales, técnico-productivos, estéticos y medioambientales. Este conjunto de aspectos, consigue que las empresas y organizaciones industriales que lleven a cabo proyectos de ecodiseño, obtengan una serie de beneficios como consecuencia de la introducción de un factor innovador en su política empresarial.

Hasta la fecha, el diseño para la sostenibilidad y la gestión ambiental de la industria han transcurrido por una serie de fases representadas en la Figura 4 [13-17].

a. Reactividad. Los gobiernos empezaron a tomar medidas y a exigir determinadas acciones de los actores industriales, solo cuando expertos, organizaciones y movimientos ecologistas comenzaron a tomar conciencia del problema ambiental generado (base de la pirámide de la Figura 4). Su magnitud estaba marcando el futuro del planeta a raíz de la masificación de la industria con su continua exigencia de consumo de recursos y elevadas demandas de energía.

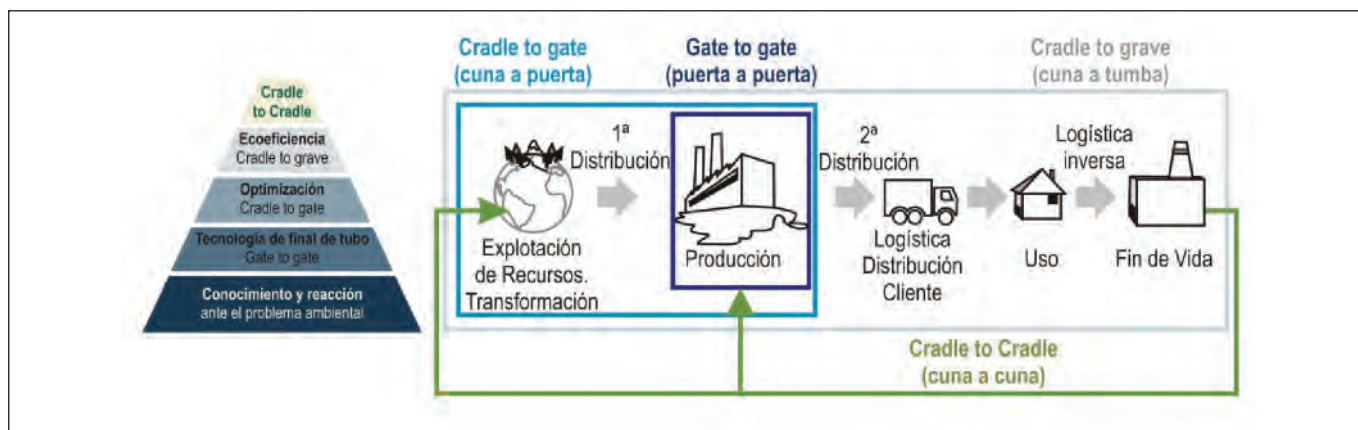


Fig. 4: Evolución de la Industria hacia objetivos sostenibles

b. Tecnología de fin de tubo. Cuando las legislaciones exigieron un mayor control de la contaminación, se comenzaron a implantar las tecnologías de final de tubo (segundo nivel de la Figura 4). Más allá de sus beneficios, sólo era una forma más de tratar las continuas generaciones de residuos, desechos y emisiones al final de la línea de producción, con el agravante de necesitar una demanda adicional de energía, materiales y equipos especializados.

objetivo no es sólo asegurar la eficiencia de procesos a lo largo de las etapas del ciclo de vida, sino que al final de la vida útil de los productos, sus materiales puedan volver a ser reutilizados o reciclados (sin que esto suponga el degradado de su calidad), lo que eliminaría el actual sistema de generación de residuos de los vertederos o la contaminación de la atmósfera por la incineración.

Este último enfoque para abordar la sostenibilidad, se encuentra en desarrollo con amplias expectativas de poder ser implantado en su totalidad en un futuro, estableciendo un nuevo marco paradigmático para el diseño y desarrollo de productos y sistemas industriales con un ciclo de vida cerrado, como el indicado en la Figura 4. Esta situación es avalada por el proyecto europeo *Cradle to Cradle Network* (C2CN) [3] aprobado en febrero del 2010, para desarrollar el paradigma C2C y difundirlo en Europa, dentro del INTERREG IVG (*Innovation and Environment Regions of Europe Sharing Solutions*).

c. Optimización. Comprobando que la optimización de las actividades y de los procesos (tercer nivel Figura 4) era la siguiente mejor opción, se fue desarrollando la idea de la ecoeficiencia, que planteaba una visión de futuro enmarcada en la rentabilidad de prevenir la contaminación y no de combatirla.

d. Ecoeficiencia. La ecoeficiencia fue tomando parte en la estrategia industrial, desarrollándose hasta abarcar todas las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de materiales, hasta el fin de la vida de los productos. Esto llevó a una supervisión exhaustiva de todos los aspectos del ciclo de vida para comprobar cómo respondían los productos y analizar todos los datos que intervenían, llevando a cabo este trabajo con las normas de la serie ISO 14000. Esta estrategia denominada “*cradle to grave*” (de la cuna a la tumba) mejoraba y mejora el proceso de eliminación del daño medioambiental.

e. Cradle to Cradle (Ecoefectividad). Como último avance, se está desarrollando la perspectiva “C2C” [2], cuyo

3. MARCO PARADIGMÁTICO DE CRADLE TO CRADLE

El núcleo central del paradigma C2C [1,2,18-25], está constituido por las soluciones o ecoinnovaciones inspiradas en la naturaleza, en los ciclos cerrados de materiales y en el metabolismo industrial, todo ello para adoptar soluciones ecoeficaces. Aportando ecoinnovaciones que crean valor añadido y ayudan a reducir el uso de recursos naturales, se ponen en valor los recursos fabricados en sucesivos ciclos y se reduce la degradación ambiental.

El establecimiento de unas bases epistemológicas (teóricas y metodológicas) para C2C a partir de un **enfoque bioinspirado en la naturaleza** [26, 27], supone la creación de productos y de los procesos asociados a su CV (ciclo de vida) que simulen los entes naturales, que a lo largo de millones de años se han mantenido sin generar impacto sobre el medio ambiente. Por ello, la metodología debe plantearse de forma que la naturaleza sea vista como modelo, medida y mentora de las actividades humanas y de la práctica industrial.

a. Modelo, porque se pueden imitar formas, procesos, flujos, interacciones y sistemas que llevan funcionando millones de años de un modo ecoeficiente.

b. Medida, porque se ha de evolucionar constantemente en diseños y compararlos con los referentes naturales, comprobando con ello si las soluciones propuestas son igual de efectivas y eficientes, simples y sostenibles, que las que encontramos en la naturaleza.

c. Mentora, porque tenemos que aceptar que somos parte de ella, y por tanto, dejar de actuar como si fuéramos ajenos, concibiendo sus sistemas ecocompatibles.

Los enfoques que se plantean en relación al concepto de ecoefectividad en C2C, establecen hacer más con menos y no ralentizar el problema ambiental minimizando el consumo de recursos, emisiones y residuos, sino eliminándolos, todo ello siguiendo el concepto de Biomimetismo (*Biomimicry*) o diseño inspirado en la naturaleza [1, 26]. Por ello, los autores [1, 2] de este pensamiento, proponen una serie de ideas que hemos articulado en un conjunto de principios (Pi) [15, 18, 25]:

P1: Reenfoque proactivo. Frente al enfoque reactivo de los ecologistas de “reducir, reutilizar y reusar” con el objetivo de minimizar el impacto sobre el medio ambiente, provocando sólo una ralentización de su degradación ambiental, llegando al mismo final destructivo, se propone una actuación proactiva desde la raíz, es decir, desde el proceso de diseño y concepción de los sistemas. Se rechaza la suposición de que la industria destruye inevitablemente el medio natural, reconociendo el potencial dentro de la economía de la abundancia, del poder del ingenio, creatividad y prudencia, imaginando sistemas que junto a su funcionalidad técnica, purifican el agua, la atmósfera y el suelo, ayudando a la naturaleza a crear valor ambiental.

P2: Concepción sistémica e integrada del metabolismo asociado al producto en su ciclo de vida. Incluir una perspectiva holística en el ciclo de vida de los productos, contemplando los procesos metabólicos de anabolismo o ingeniería directa y el catabolismo o manufactura inversa, que determinará los materiales (técnicos y biológicos) sobre la tecnosfera y naturaleza, y el acoplamiento de las rutas metabólicas en ciclos cerrados.

P3: Fractalización de la sostenibilidad bajo la consideración de desecho=alimento. La estrategia 3E convierte el dominio de la abundancia y yacimiento en oportunidades de valor, con una triple cuenta de resultados (económicos, sociales y ecológicos). Esto determina el cambio desde la economía de la escasez a la de abundancia, derivado de considerar ciclos cerrados con múltiples productores y consumidores, transformando la basura o desechos en alimento (valor para nuevos consumidores).

P4: Ecoinnovación bioinspirada (biomimesis). Basada en los aprendizajes de la naturaleza, incluyendo innovaciones eficaces bioinspiradas, que frente a la mejora de la solución ineficaz (ecoeficiencia), proporcione un valor añadido y ayude a reducir el uso de recursos naturales y la degradación ambiental, y que directa o indirectamente, contribuya a la minimización del impacto.

P5: El producto como ser vivo y su sistema asociado como ecosistema. Considerar y concebir productos y ecosistemas industriales como la metáfora de un ser vivo junto a su ecosistema natural (ecología industrial), cuyos flujos metabólicos de materiales asociados al ciclo de vida estén incluidos en ciclos cerrados sin pérdidas de valor y daños al medio ambiente, adaptados a la capacidad de carga ambiental local y global.

P6: Ecointeligencia. La inteligencia ecológica es el concepto que describe la capacidad de concebir y desarrollar productos o servicios, diseñados para que desde su creación hasta el fin de su vida útil, sean ecocompatibles y beneficiosos para el medio ambiente y los agentes involucrados, regenerando el valor perdido hasta la actualidad en el planeta. En la Figura 5 puede comprobarse que según el enfoque que tome la industria, podrá asegurarse un futuro sostenible o la destrucción total del medio natural.

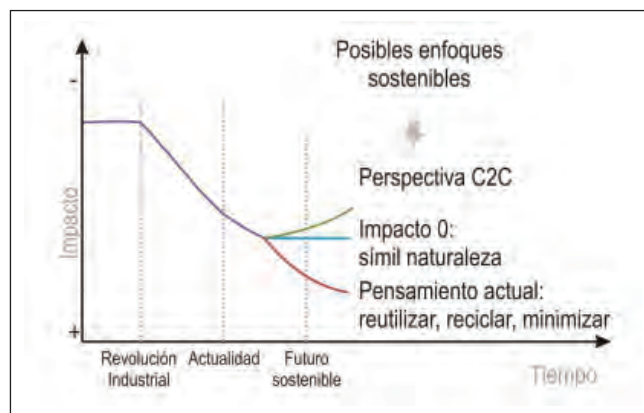


Fig. 5: Posibles soluciones para el problema ambiental

P7: Respetar y fomentar la diversidad. La diversidad (genes, organismos, poblaciones, ecosistemas) favorece la resiliencia y robustez del producto y del sistema asociado, garantizando la seguridad en un mundo cambiante. Por ello, todo aquello perteneciente al medio natural y a la tecnosfera, que esté influenciado por la fabricación, uso y eliminación de los productos, no debe verse afectado negativamente, celebrando y potenciando la diversidad natural y técnica, evitando productos y sustancias xenobióticas.

P8: Ecoefectividad frente a ecoeficiencia. La ecoefectividad trata directamente el concepto de mantener (o mejorar) la calidad de los recursos y la productividad, a través de ciclos cerrados, en lugar de eliminar la basura, es decir, propugna un metabolismo cíclico o cierre completo de ciclos materiales (no existe basura) donde los residuos de un sistema se convierten en nutrientes para otros. Esta idea es trasladada de la naturaleza, donde no existen desechos y por tanto sus ciclos materiales son cerrados (desecho = nutriente, circunscritos preferentemente en el ámbito local).

P9: Utilización de energías renovables. La energía demandada de la actividad industrial debe ser obtenida de fuentes renovables preferentemente, en lugar de explotar

los recursos abióticos que proporcionan la energía de los combustibles fósiles, devastando las regiones donde estos materiales han sido procesados en el interior del planeta durante milenios.

El aspecto más novedoso de C2C es el planteamiento de un diseño ecoeficaz o ecoefectivo, diseñando desde una perspectiva ecosistémica, definiendo nuevas reglas para crear productos y procesos industriales que **conviertan los**

Con estos nueve principios, los proyectos de diseño y desarrollo asegurarán la obtención de productos que tengan asociados ciclos cerrados, en los cuales no se generen residuos y se recuperen todos los materiales sin disminuir la calidad. Todo ello en consonancia con el carácter de sistema abierto en energía y cerrado en materia del planeta tierra.

3.1. TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS C2C

Bajo el enfoque C2C han sido desarrolladas un conjunto de técnicas y herramientas, sin que hasta el momento hayan sido integradas en un modelo de diseño y desarrollo de productos.

Las herramientas asociadas a C2C a considerar, son el estudio y la utilización de materiales biodegradables, análisis y balance de flujos materiales (AFM), diagramas Sankey de balances de energía, análisis exergético, diseño y desarrollo de metabolismos del producto, el análisis del ciclo de vida (ACV), diseño químico, estudio de rutas metabólicas biológicas y técnicas, diseño de ciclo cerrado de nutrientes, árboles de desensamblado del producto, estrategia triple E (o pirámide fractal), X-list y P-list, la ecoefectividad, el redescubrimiento de conceptos ambientales, las cinco etapas del rediseño (no usar contaminantes perjudiciales, seguir los informes de referencia, lista pasiva positiva, lista activa positiva y redescubrir o innovar) y diseño bioinspirado.

materiales en nutrientes, de tal forma que se permita su flujo dentro de los dos ciclos metabólicos posibles mostrados en la Figura 6: el metabolismo biológico asociado a la naturaleza y el técnico asociado a la tecnosfera [28].

Desde esta perspectiva, la consecución de la sostenibilidad está íntimamente ligada a la concepción de un producto desde una perspectiva ecosistémica.

El propósito del diseño para C2C es mejorar la capacidad metabólica de la naturaleza y la tecnosfera, mediante la implementación de sistemas de ecología industrial en los cuales se lleve a cabo una ecogestión efectiva de nutrientes, formando conjuntos de materiales inteligentes que posibiliten el supra-reciclado.

Dado el interés del análisis de flujo de materiales en los distintos niveles tróficos y de la energía, pasamos a exponer de una forma más detallada los elementos conceptuales del anteriormente definido principio 3.

Para los flujos generados por la industria, se establecen dos rutas metabólicas posibles asociadas a la tecnosfera y la naturaleza, constituidas por los elementos que aparecen en la Figura 6 y que poco a poco deberán tomarse en cuenta en el diseño de productos y sistemas industriales. Los metabolismos establecidos en C2C son:

a. Metabolismos asociados a la naturaleza: formados por los procesos ligados a los nutrientes biológicos (en la Figura 6 correspondientes a CB) que puedan volver a la biosfera (litósfera, hidrósfera y atmósfera), depositando en ella sólo materiales orgánicos (es decir, ni sintéticos ni tóxicos, como podría ocurrir al desechar una mesa compuesta únicamente de madera). Estos materiales son metabolizados y regenerados por la naturaleza.

b. Metabolismos asociados a la tecnosfera: constituidos por los materiales y procesos técnicos asociados al producto en su CV, son aquellos que serán metabolizados por la tecnosfera y forman los nutrientes técnicos (en la Figura 6 correspondientes a CT). Se despliegan en la tecnosfera pudiendo ser de dos tipos:

b.1. Infra-reciclado (*downcycling*) donde los materiales y el producto pierden calidad y lo único que se logra es posponer su eliminación o su llegada a vertederos, ralentizando su ciclo destructivo. En esta ruta los materiales van perdiendo valor. Será el caso, por ejemplo, de la fabricación de una moqueta sintética a partir de botellas de

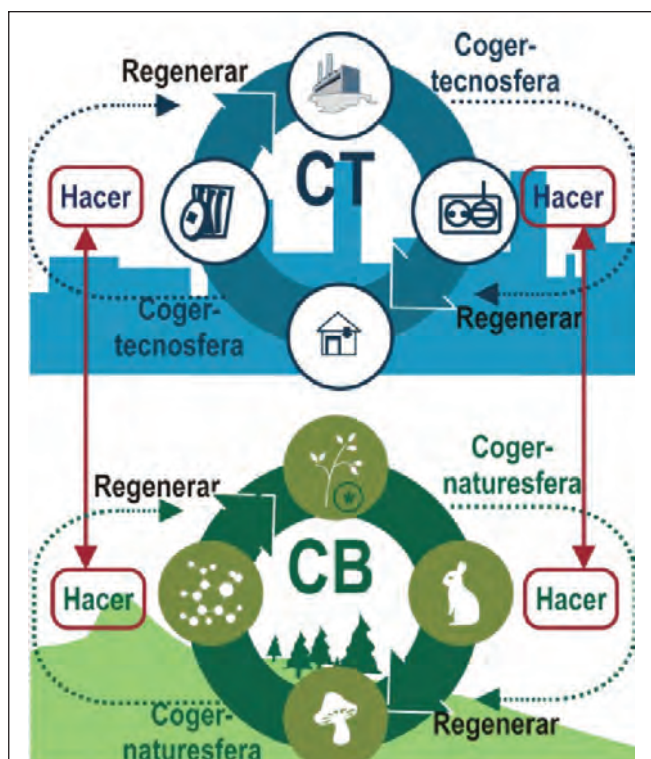


Fig. 5: Posibles soluciones para el problema ambiental

PET, las cuales, después de cumplir con su objetivo inicial, serán recicladas en un proceso donde el material sufre una pérdida de propiedades y de calidad, y por lo que, para poder ser aprovechadas, deberán estar destinadas a una utilización en fabricaciones de productos que no requieran las características que ofrece el material primario.

b.2. Supra-reciclado (*upcycling*) donde se permite transformar los materiales o un producto sin uso, destinado a ser residuo, en otro de igual o de mayor utilidad o valor. Estas rutas dan lugar a materiales más valiosos transformándose en privilegiadas para el ecodiseño de productos y ecología industrial. Es el caso, por ejemplo, del sector del automóvil; una vez que cada vehículo queda en desuso, muchas de las piezas de sus motores podrían ser reutilizadas sin problemas en otras aplicaciones.



Fig. 8: Certificaciones y Ecoetiquetas

La concepción sistémica de C2C, busca el cierre de los flujos de materiales, (desde la cuna a la cuna), eliminando el concepto de residuo y tomando como energía, para las reacciones metabólicas, prioritariamente la procedente de los recursos renovables.

Las rutas metabólicas en ciclos cerrados (*closed loop cycle*) que se crean con el anterior conjunto de nutrientes, son mantenidas por flujos energéticos para los que la naturaleza es sistema abierto. Puede comprobarse en la Figura 7, cómo se simplifican los procesos del ciclo al adoptar estas rutas innovadoras.

a la ecoefectividad C2C (Figura 8), administrado por los autores de esta nueva perspectiva y que diferencia productos según los objetivos sostenibles conseguidos, en niveles de platino, oro, plata y básico. Los criterios para su obtención pasan desde el nivel básico (donde se valora el inventario del producto y la estrategia), el nivel plata (conseguido con

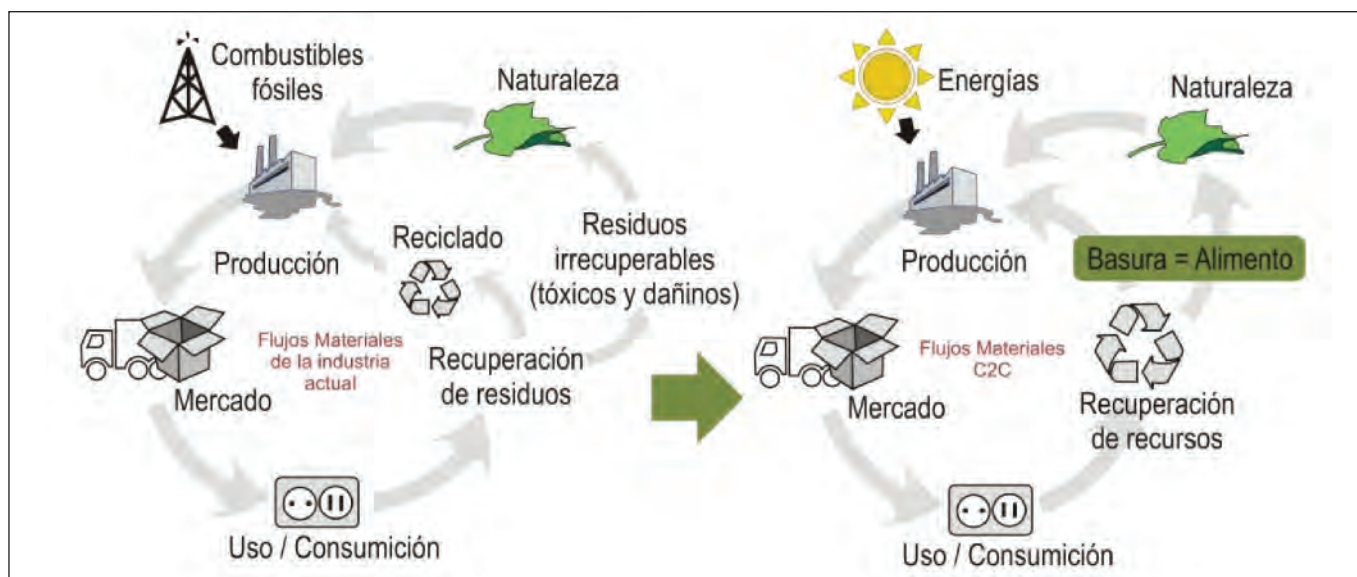


Fig. 7: Evolución del actual Ciclo de Vida de Productos al modelo C2C

3.2. CERTIFICACIÓN C2C

Junto a los actuales programas de etiquetado ecológico de las normas ISO que otorgan a los productos las ecoetiquetas de tipo I (UNE-EN ISO 14024:2001), tipo II (UNE-EN ISO 14021:2002) y tipo III (UNE-EN ISO 14025:2007), se ha desarrollado un nuevo sistema de certificación asociado

un producto con un 50% de materiales reusables), C2C oro, (cuyos productos se compongan de un 65 % de materiales, producción y energía limpia) y nivel platino, que incluye todos los requerimientos anteriores y que además se consiga una buena administración del agua en el ciclo de vida.

4. MODELO GENÓMICO DE ECODISEÑO. MGE

La propuesta de modelo genómico de diseño y desarrollo (*Modelo Genómico de Ecodiseño* - MGE), pretende introducir en los productos, una serie de características que marcarán su carácter sostenible, el cual prescribe que los productos sean

El MGE para *Cradle to Cradle* (C2C) tiene una estructura de cuádrupla, formada por una serie de elementos representados en la Figura 9.

<MGE>::= <<Estrategia de Producto>><Genotipo>><Fenotipo>><ACV>>

Dimensión estática	Propias de una generación de producto
Carácter Sostenible de producto (autocompatible)	➔ Autopoyético: (auto-regenerable) que se haga a sí mismo.
	➔ Metabolizable: (ecocompatible) la huella del producto sobre el medio ambiente, en su ciclo de vida, debe tener un impacto asimilable por el medio ambiente.
	➔ Sistémico: (holístico) donde se consideran los distintos escenarios proyectuales, las interacciones cíclicas del producto y los flujos metabólicos que se generan asociados al ciclo de vida, tanto para nutrientes biológicos como técnicos.
Dimensión dinámica	Determinan las variaciones en las distintas generaciones de productos
Carácter Evolutivo del producto (resiliencia y robustez)	➔ Selección natural (presión ambiental): derivada de la interacción del genoma (características internas del producto) con el medio ambiente (el cual selecciona a los más aptos) dando lugar al fenotipo. Constituye el factor de aprendizaje entre generaciones de producto.
	➔ Recombinación y Mutaciones (combinación de dos genotipos diferentes) Ambos se corresponden con los procesos aleatorios de la transmisión genética entre generaciones y con las estrategias de hibridación entre productos del portafolios de la empresa.

Tabla 1: Características objeto y variedad requerida del MGE

Los términos **genotipo** y **fenotipo**, propios de la genética (donde representan la dualidad de los organismos), han sido escogidos en este caso como analogía para describir las características internas de un producto (genotipo) y su expresión o interacción en un determinado ambiente (fenotipo).

concebidos (diseñados desde el principio) para que al llegar al fin de su vida útil, se puedan reincorporar una y otra vez al comienzo del proceso como nutrientes técnicos, dotándolos de un carácter autopoyético y autoregenerable. En la Tabla 1, se exponen los requerimientos de variedad de producto que debe incorporar el MGE de diseño, para garantizar el diseño ecocompatible de productos y que permita integrar en sucesivos rediseños (nuevas generaciones de productos), el potencial de innovación de la evolución de producto en el ecosistema asociado (mercado, tecnosfera, naturaleza, etc.).

El modelo recoge las exigencias de complejidad y flexibilidad de los nuevos entornos de desarrollo PLM (*Product Life Management* – Gestión del Ciclo de Vida), los entornos de ingeniería colaborativa distribuida y es parametrizable en atención a la complejidad del producto, constituyendo una arquitectura de referencia abierta para los entornos de ingeniería concurrente, colaborativa y distribuida.

<**Fenotipo**> determina el resultado esperado de un producto en el mercado (entorno). Se obtiene a partir del análisis del mercado, la legislación, análisis de usuario, disposición de recursos materiales del contexto, las tradiciones, la logística directa e inversa, procesos de fin de vida útil, etc. Es decir, se analiza el comportamiento que un determinado producto ha tenido o que se requiere que tenga en el mercado, bajo los criterios de sostenibilidad C2C y desde la perspectiva de los distintos agentes interesados en el proyecto (de ahí la existencia y distribución de los diferentes dominios de la Figura 9). Los rasgos fenotípicos se obtienen a partir de la información del sistema en que se integrará y que tendrá asociado el producto en su ciclo de vida, que en el MGE se refiere a las 3E.

<**Estrategia de producto**> A partir del análisis del comportamiento requerido o “fenotipo” de producto existente o deseado y de su sistema asociado, se definen los objetivos bajo los cuales se diseñará un nuevo producto y se gestionará su ciclo de vida bajo los principios C2C. Toda

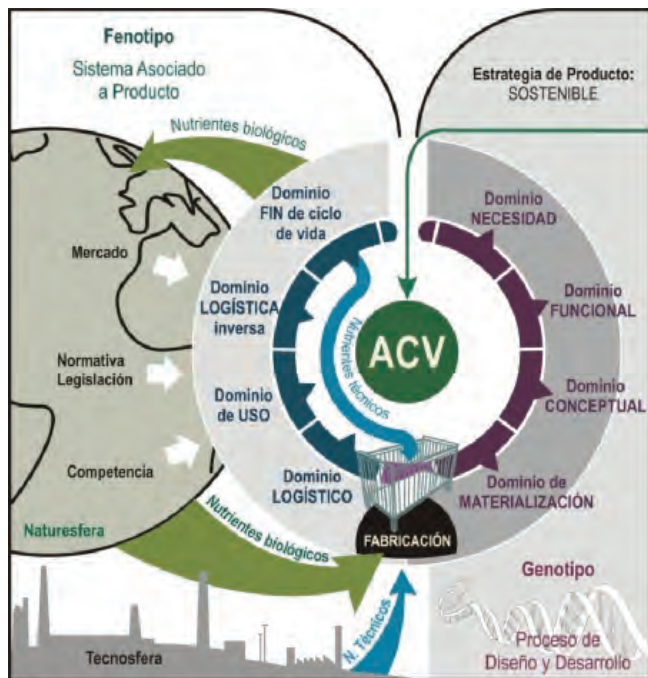


Fig. 9: Modelo Genómico de Ecodiseño (MGE)

esta información se estructura en la estrategia de producto desde los principios enunciados de C2C, explorando el yacimiento de innovación de las 3E con la técnica de la pirámide Triple-E.

<Genotipo> Tomando como base la estrategia de producto, se establecen los “genes” (o características internas), los cuales engloban diseño conceptual sostenible, rutas tecnológicas, soluciones de productos y de procesos asociados, que definen a su vez la arquitectura de producto, los materiales (nutrientes técnicos y biológicos), las rutas metabólicas y las energías renovables que las sostendrán, desde la cuna hasta la cuna.

El instrumento básico para desarrollar las soluciones de diseño y el establecimiento de sus “genes”, está constituido por las estrategias básicas de ecodiseño, orientadas a la ecoeficiencia y apoyadas con estrategias de diseño biomimético dirigidas a la ecoefectividad. La intención es obtener ciclos cerrados característicos de la perspectiva C2C, que serán aplicados en cada uno de los dominios de diseño que componen el genotipo y el fenotipo (figura 9). En esta fase, las estrategias y técnicas genéricas de diseño asociadas al entorno de ingeniería concurrente de desarrollo de productos, serán parametrizadas en función de los objetivos del proyecto, complejidad de producto, etc.

<Análisis del ciclo de vida (ACV)> Esta herramienta adquiere una especial importancia en el modelo propuesto, que persigue el conocimiento cualitativo y cuantitativo [17] de la información de usuarios, comercial, de los flujos de materiales, energía, emisiones y sus consecuencias para el medio ambiente, etc. Es decir, datos correspondientes al fenotipo del producto y de su sistema asociado que servirán para la proposición de mejoras a incorporar en un producto. Se puede desarrollar el ACV a partir de ingeniería inversa del fenotipo del producto a rediseñar o sobre el diseño genómico de un nuevo producto (ingeniería directa). El análisis del ciclo de vida en el MGE, es aplicado para los tres aspectos que constituyen el yacimiento de valor 3E, si bien para el caso de estudio se hace sólo de los aspectos ambientales.

5. CASO DE ESTUDIO. APLICACIÓN DEL MODELO GENÓMICO DE ECODISEÑO AL REDISEÑO DE UNA CAFETERA DE GOTEO

El modelo genómico está concebido para ser aplicado en todos aquellos proyectos de diseño y desarrollo de productos con objetivos sostenibles bajo C2C. En este caso, la metodología y estrategias descritas se aplican en el desarrollo del rediseño de una cafetera, precedido por estudios expuestos en [29].

5.1. DEFINICIÓN DE PRODUCTO Y ETAPAS A SEGUIR

La forma en que el MGE puede ser implementado es muy flexible, variando según el tipo de proyecto, la complejidad del producto y los objetivos propuestos en:

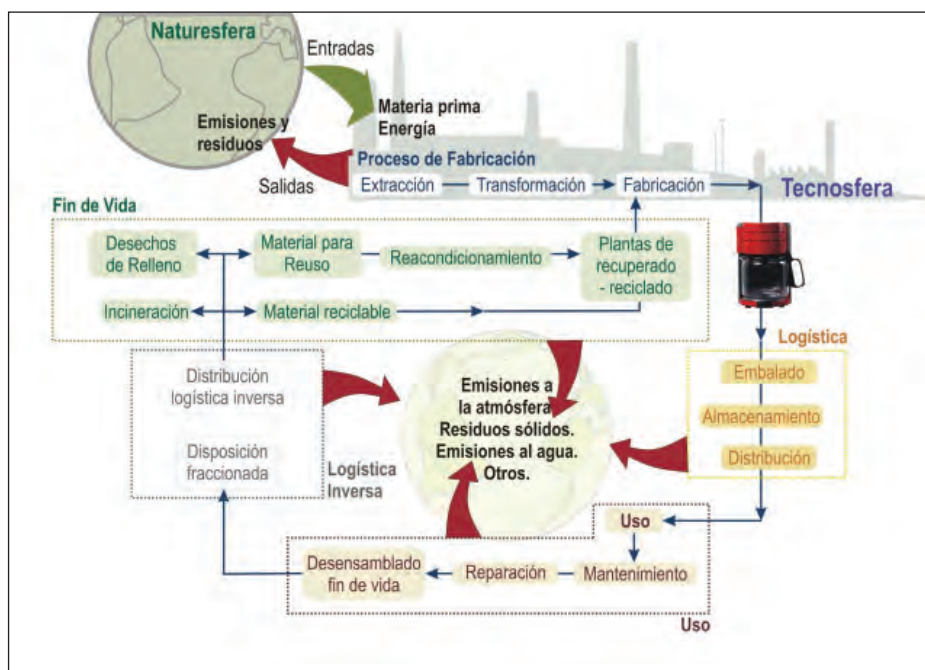


Fig. 10: Procesos y Macrorutas Metabólicas del Producto

- a. Rediseño de un producto
- b. Diseño de un nuevo producto

Pudiendo concretarse, según el objetivo, distintos modos de operación sobre las diferentes etapas del modelo. Es decir, el MGE ofrece flexibilidad de aplicación y de elección de técnicas y herramientas destinadas a la consecución de proyectos C2C.

El producto seleccionado para el eco-rediseño es una cafetera eléctrica de goteo convencional. Como el modelo indica, se procedió a seguir las siguientes etapas:

- a. Análisis del ciclo de vida del fenotipo del producto objeto de rediseño (por ingeniería inversa)

- b. Establecimiento de la estrategia de producto bajo C2C
- c. Rediseño genómico del producto
- d. Validación del genotipo y optimización fenotípica
- e. Nuevo ACV a efectos de Declaración Ambiental de Producto.

5.2. PARTE 1: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL FENOTIPO DEL PRODUCTO EXISTENTE

El Análisis del Ciclo de Vida es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando, tanto el

uso de materia y energía, como las emisiones al entorno, para determinar el impacto del uso de recursos y las emisiones, y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental [15]. El estudio abarca el ciclo de vida completo del producto, teniendo en cuenta todas las etapas desde “la cuna a la tumba” (*cradle to grave*) del producto actual (Figura 10). Para este caso y siguiendo el MGE, este ACV se orienta de la cuna a la cuna.

El objetivo principal de esta herramienta dentro del MGE, es conocer la carga ambiental del comportamiento del producto en relación a las 3E. En el caso de estudio se muestra sintetizada en la Figura 11, la información correspondiente al vértice ecológico de la pirámide. Como se comprueba, gracias a esta manera razonada y cuantificada de exponer la información, se establecen las mejoras que determinarán la estrategia de producto.

5.3. PARTE 2: ESTABLECIMIENTO DE LA ESTRATEGIA DE PRODUCTO BAJO C2C.

Conocidos los datos del ACV y las posibles mejoras a aplicar, se procede a establecer una estrategia de producto autopoyética, metabolizable, sistémica y ecocompatible, a través de la exploración del yacimiento de la innovación de las 3E, con la técnica de la pirámide Triple E, la cual se expone sintetizada en la Figura 12.



Fig. 11: Análisis de Ciclo de Vida del Producto



Fig. 12: Pirámide Triple E aplicada al producto

La generación del conjunto de valores 3E, permite establecer las premisas que definen la estrategia de producto, a partir de la cual se parametriza en técnicas y herramientas el entorno de diseño genérico que constituye el MGE. La estrategia del producto del caso de estudio se concreta en:

1. Integración sistémica (o perspectiva holística) por concepción bioinspirada: donde se tengan en cuenta en la fase de proyecto los diferentes escenarios de la cafetera a lo largo de todo su ciclo de vida, con el objetivo de favorecer e integrar equitativamente los tres aspectos de la pirámide 3E.

2. Producto sostenible y ecocompatible. Mejorar la metabolización disminuyendo los ratios de carga ambiental sobre la naturaleza, para minimizar el impacto que genere

sobre el medio ambiente o hacer que su huella sea asimilable. Para ello se hace necesario incrementar el ratio de flujos de materia sobre la tecnosfera (unidad de producto) mediante supra-reciclaje y disminución de los ratios de infra-reciclaje, eliminar sustancias tóxicas o contaminantes incorporando las innovaciones procedentes de la química verde o sostenible. Finalmente, se incorporan funciones cooperantes con la naturaleza creando valor ambiental.

3. Carácter autopoyético: aportando la inteligencia genética al producto para facilitar las tareas de uso, logística y manufactura directa e inversa y su regeneración al final del CV. De modo especial, la inteligencia que incorpora el potencial de innovación de las interacciones fenotípicas con el sistema asociado a las sucesivas generaciones de productos, capitalizando su regeneración.

5.4. PARTE 3: DISEÑO Y DESARROLLO DEL GENOTIPO DEL PRODUCTO

Conocidos los datos del análisis del ciclo de vida, el fenotipo requerido y definida la estrategia de producto, se procede al rediseño bajo los principios de C2C. Para ello se lleva a cabo el desarrollo del diseño genómico, con el estudio detallado de cada dominio (necesidad, funcional, conceptual y de materialización). En cada uno se aplican una serie de estrategias individuales de ecodiseño y las herramientas necesarias para definir todos los requisitos que harán que el producto sea sostenible, sintetizadas en la parte derecha, Figura 13.

De forma concurrente se procede a **verificar y validar** el diseño genómico del producto, desde los requerimientos del sistema que tendrá asociado a su ciclo de vida (parte izquierda de la Figura 13), procedimiento de interacción del genoma con el medio. Esto dará lugar al fenotipo inicial que se desarrollará y optimizará a lo largo del ciclo de vida y de las sucesivas

generaciones de productos. Un especial interés tienen las fases de fabricación y fin de vida útil, en las que se investigan y definen las rutas metabólicas y los nutrientes biológicos y técnicos, fijando los procesos asociados a partir del diagrama de desensamblado (Figura 14) del genotipo.

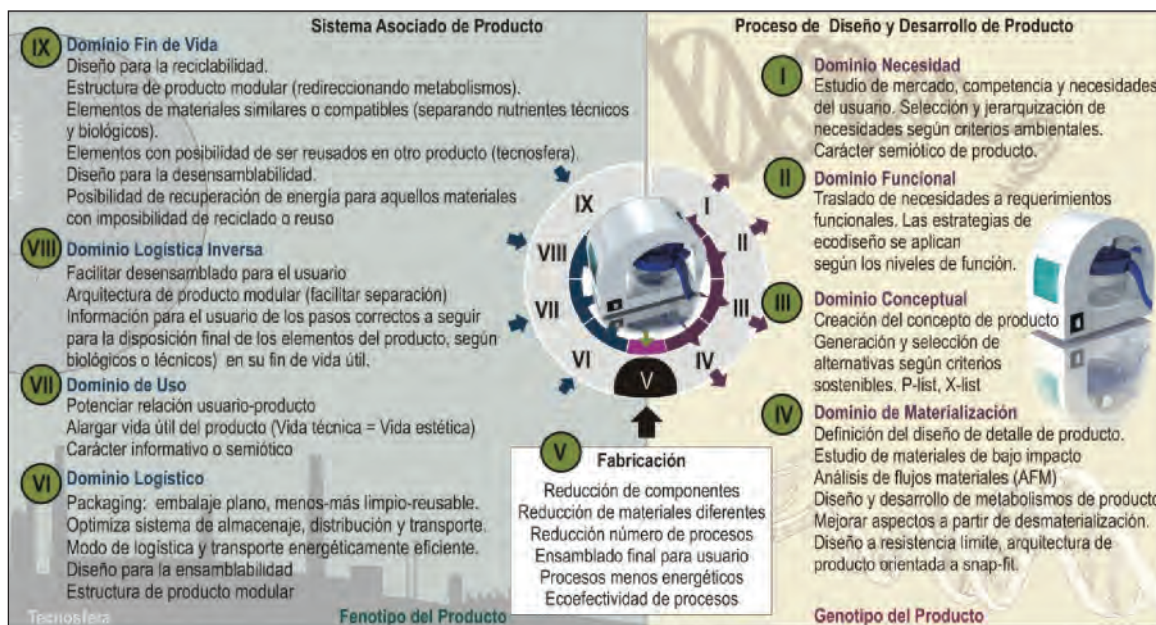


Fig. 13: Desarrollo de Genotipo y Fenotipo

La solución final es la cafetera de goteo ERIS [29], caracterizada por su sostenibilidad. Los resultados, características y flujos materiales pueden comprobarse en la Figura 14.

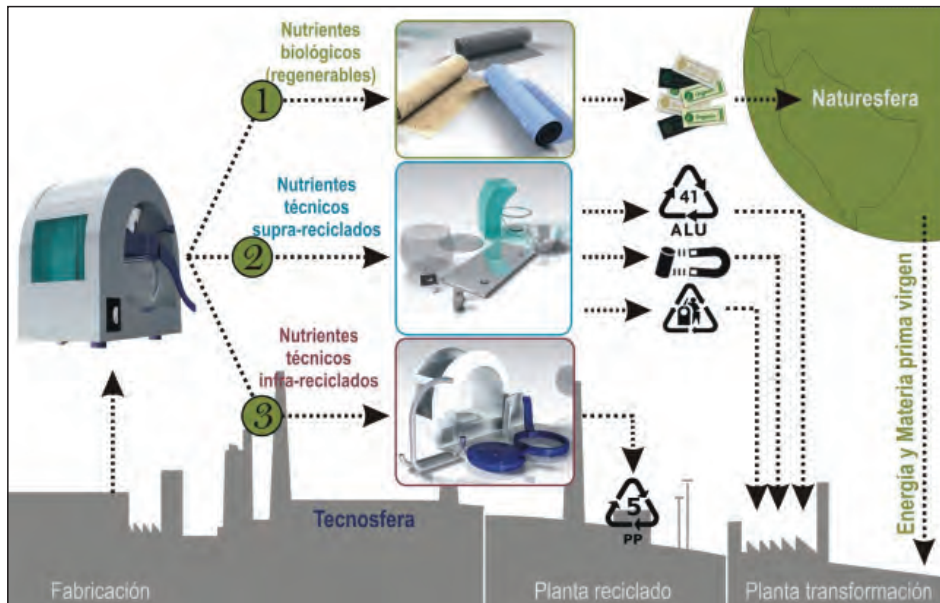


Fig. 14: Rutas Metabólicas del nuevo producto

5.5. PARTE 4: NUEVO ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE PRODUCTO A EFECTOS DE CERTIFICACIÓN

La última etapa en la aplicación del MGE se corresponde con la realización de un nuevo ACV del rediseño del producto.

Este análisis tiene como objetivo principal conocer todos los datos necesarios para la obtención de una etiqueta ecológica, de alguno de los programas de certificación de producto, entre los que se encuentra C2C, además de confirmar las mejoras planteadas en el proceso de diseño. En el caso que nos ocupa se trata de obtener el sello de ecoproducto de AENOR.

Como se ha comentado, los actuales programas de ecoetiquetado se definen según el estudio ambiental que se lleve a cabo sobre el producto. Gracias a la aplicación del ACV dentro del MGE, el producto opta por la Ecoetiqueta de Tipo III [UNE-EN ISO 14025:2007], con la redacción de su Declaración Ambiental de

Producto (DAP) en la cual se presentará la información ambiental de la cafetera, cuantificada durante todo su ciclo de vida para permitir su comparación con otros productos que cumpliendo la misma función, causan la mayor repercusión sobre el medio ambiente. Los beneficios son claros, ya que a través de la comunicación de información exacta y verificable, se fomenta la demanda y el suministro de todos aquellos productos que posean una ecoetiqueta.

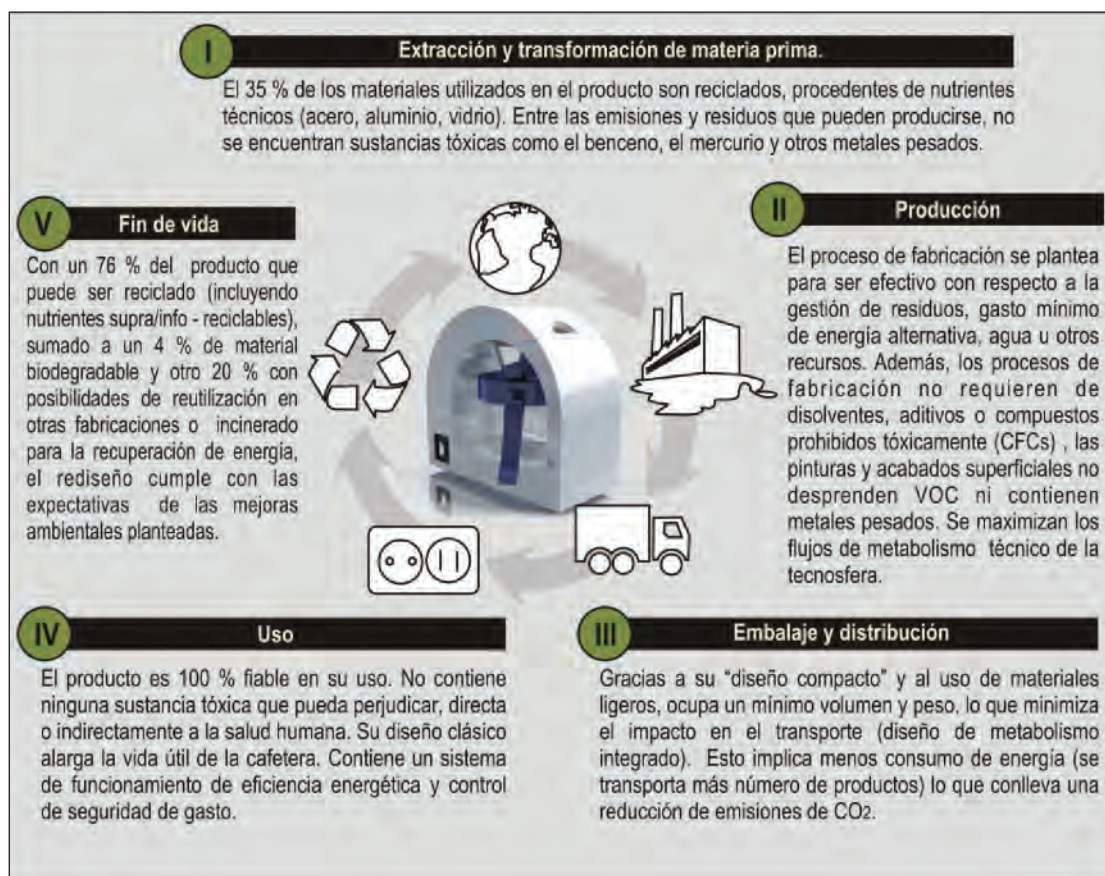


Fig. 15: Síntesis de Ciclo de Vida de la cafetera ERIS

5.6. RESULTADOS FINALES

La síntesis final se muestra en la Figura 15, resumiendo las características que hacen que el producto sea sostenible bajo el paradigma C2C, mostrando los logros conseguidos de las etapas del ciclo de vida que se optimizan.

6. CONCLUSIONES

El trabajo presentado aporta una articulación epistemológica de las ideas de la perspectiva C2C no existentes hasta el momento y un modelo de diseño y desarrollo que supone una forma articulada de llevar a la práctica los fundamentos de este nuevo paradigma de diseño. Recogiendo las lecciones aprendidas del enfoque de la ecoeficiencia y la ecoinnovación, se desarrolla una nueva arquitectura de referencia bioinspirada para el proceso de diseño y desarrollo ecoeficaz bajo los principios C2C, denominada MGE. Este puede soportar todos los requerimientos normativos que hasta la fecha se exigen y ampliar el rango de soluciones para mejorar las actuaciones de minimización de impacto y solventar el problema que la industria actual está causando en el planeta.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] McDonough W, Braungart M. "Design for the Triple Top Line: New Tools for Sustainable Commerce". *Corporate Environmental Strategy*. Vol.9-3 p.251-258
- [2] McDonough W, Braungart M. *Cradle to Cradle (de la cuna a la cuna): rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Pérez Van Kappel G (traductor). 1ª edición. Madrid: McGraw-Hill/ Interamericana de España S.A.U, 2005. 186p. ISBN: 84-481-4295-0
- [3] INTERREG IVC. *Cradle to Cradle Network (0542C2 C2CN) Call to Tender*. Finlandia: 2010. 16p.
- [4] Tukker A, Charter M, Vezzoli C, et al. *System Innovation for Sustainability 1: Perspectives on Radical Changes to Sustainable Consumption and Production*. 1ª edición. Inglaterra: Greenleaf Publishing, 2008. 470p. ISBN: 978-1-906093-03-7
- [5] Wimmer W, Züst R. *ECODESIGN Pilot: Product-Investigation, Learning and Optimization Tool for Sustainable Product Development*. 1ª edición. Holanda: Kluwer Academic Publishers, 2003. 112p. ISBN: 978-1-4020-0965-8
- [6] Wimmer W, Züst R. *Ecodesign Implementation: A Systematic Guidance on Integrating Environmental Considerations into Product Development*. 2ª edición. Holanda: Springer, 2010. 160p. ISBN: 1-4020-3070-3
- [7] Graedel T, Allenby B. *Industrial Ecology*. 2ª edición. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 363p. ISBN: 0-13-046713-8
- [8] Tukker A, Tischner U. *New Business for Old Europe: Product-service Development, Competitiveness and Sustainability*. 1ª edición. Inglaterra: Greenleaf Pubns, 2006. 479p. ISBN: 978-1-874719-92-2
- [9] Vezzoli C, Manzini E. *Product-Service System and Sustainability. Opportunities for Sustainable Solutions*. 1ª edición. Paris: UNEP, 2002. 18p. ISBN: 92-807-2206-9
- [10] Klostermann J, Tukker A. *Product Innovation and Eco-Efficiency: Twenty-Two Industry Efforts to Reach the Factor 4*. 1ª edición. Holanda: Springer, 2009. 308p. ISBN: 978-0792347613
- [11] Mulder K. *Sustainable Development for Engineers: a Handbook and Resource Guide*. 1ª edición. Inglaterra: Greenleaf Publishing, 2006. 256p. ISBN: 978-1-874719-19-9
- [12] Vezzoli C, Manzini E. *Design for Environmental Sustainability*. 1ª edición. Londres: Springer, 2010. 324p. ISBN: 1-84-996741-5
- [13] Giudice F, La Rosa G, Risitano A. *Product Design for the Environment: A Life Cycle Approach*. 1ª Edición. Estados Unidos: CRC Press, 2006. 520p. ISBN 0-8493-2722-9
- [14] Pennin L, Vezzoli C. *Designing sustainable product-service systems for all. Sustainable clothing care concepts for University campuses in emerging context*. 1ª edición. Librería Clup, 2005. 48p. ISBN: 978-88-7090-813-8
- [15] Ciambrone F. *Environmental Life Cycle Analysis*. 1ª Edición. Nueva York: Lewis Publishers, 1997. 145p. ISBN: 1-56670-214-3
- [16] Allen D, Shonnard R. *Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*. 1ª edición. Prentice Hall, 2001. 552p. ISBN: 0-13-061908-6
- [17] Graedel T, Allenby B. *Design for Environment*. 1ª edición. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 192p. ISBN: 1-56670-214-3
- [18] Bakker C, Wever R, Teoh Ch, et al. "Designing Cradle to Cradle products: a reality check". *International Journal of Sustainable Engineering*. Vol. 3-1 p.2-8
- [19] Braungart M, McDonough W, Bollinger A. "Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions e a strategy for eco-effective product and system design". *Journal of Cleaner Production*. 15-2007 p.1337 - 1348
- [20] Lakhani M. "The need for Clean Production and Product Re-design". *Journal of Cleaner Production*. 15-2007 p.1391- 1394
- [21] Rossi M, Charon S, Wing G, et al. "Design for the Next Generation: Incorporating Cradle to Cradle Design into Herman Miller Products". *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 10-4 p.193-210.
- [22] Werker C. "Innovation, market performance, and competition: lessons from a product life cycle model". *Technovation*. Vol.23-2003 p.281-290
- [23] McDonough W, Braungart M, Anastas P, et al. "Applying the Principles Engineering of Green to Cradle to Cradle Design". *Environmental Science & Technology*. Vol. 37-2003 p.434-441
- [24] Alston K. "Cradle to Cradle Design Initiatives: Lessons and Opportunities for Prevention through Design (PtD)". *Journal of Safety Research*. Vol. 39-2 p.135-136
- [25] Blanco A. "Design for the Environment: From Cradle to Cradle". *Plastics Engineering*. Vol.62-8 p.10-13
- [26] Benyus J. *Biomimicry, Innovation inspired by nature*. 2ª edición. Nueva York: ediciones HarperCollins, 2002. 208p. ISBN: 0-06-053322-6
- [27] Ausubel K, Harpignies J. *Nature's Operating Instructions: The True Biotechnologies (The Bioneers Series)*. 1ª edición. San Francisco: Sierra Club Books, 2004. 256p. ISBN: 1-57-805099-5
- [28] Braungart M. *Cradle to Cradle an innovation platform*. [Material gráfico proyectable]. Hamburgo: 2009. 69 diapositivas.
- [29] Peralta-Álvarez ME. *Ecodiseño de una Silla de Oficina*. Proyecto Fin de Carrera. 400p. Dirección: Aguayo - González F. Escuela Politécnica Superior, Sevilla, 2010

EDIFICIO PETER: Un ejemplo de construcción bioclimática y de integración de energías renovables



Fernando López-Rodríguez*
Francisco Cuadros-Blázquez*
Cosme Segador-Vegas*
Antonio Ruiz-Celma*
Justo García Sanz-Calcedo*
Ángel Mena-Nieto**
Silvia Soutullo-Castro***
Emanuela Giancola ***
José Antonio Ferrer-Tevar***
M^a Rosario Heras-Celemin ***

Dr. Ingeniero Industrial
Dr. en Ciencias Físicas
Ingeniero Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Lcda en Ciencias Físicas
Dra. Arquitecta
Lcdo. en Ciencias Físicas
Dra. en Ciencias Físicas

* Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura. Campus Universitario, Avda. de Elvas s/n - 06006 Badajoz. Tfno: +34 924 289600. cuadros1@unex.es; csv@csvingeneria.es; aruiz@unex.es; ferlopez@unex.es

** Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Huelva. CAMPUS UNIVERSITARIO Campus de la Rábida. Ctra. de Palos de la Frontera, s/n - 21071 Palos de la Frontera (Huelva). Tfno: +34 959 217444. mena@uhu.es

*** CIEMAT. Unidad de Investigación sobre Eficiencia Energética en Edificación. Avda. Complutense, 22 - 28040 Madrid. Tfno: +34 913 466 000. emanuela.giancola@ciemat.es; ja.ferrer@ciemat.es; silvia.soutullo@ciemat.es; mrosario.heras@ciemat.es

Recibido: 08/09/2010 • Aceptado: 18/10/2010

PETER BUILDING: An example of bioclimatic building and integration of renewable energies into the edification

ABSTRACT

- The present article is intended to show the main features, advantages and applications of bioclimatic architecture as well the integration of renewable energies into edification. For such purpose, the Project of an approximate 1.700 m² intelligent zero-conventional-energy ("Bioclimatic") building (referred to as PETER Project (Experimental Transborder Park on Renewable Energies), which is being located in the Campus of the University of Extremadura in Badajoz, is described. It will implement the concepts of saving and energy efficiency in buildings. Specific principles directly relating building design, like energy saving, energy efficient and integration of renewable energy sources. In addition, it will be shown how acclimating buildings by measures that diminish energy consumption is possible in extreme climate cities (like Badajoz itself, with necessity of heating in winter and refrigeration in summer). Finally, a description of the energy response of the building is carried out via computer simulation techniques.
- **Keywords:** Integration, Renewable Energy, Zero Energy Building (ZEB), Energy Efficiency in Edification.

RESUMEN

El objetivo principal del presente artículo es mostrar y dar a conocer las aplicaciones de la edificación bioclimática, sus ventajas y características. Para ello, se muestra el proyecto de Construcción de un Edificio Inteligente de "Energía Convencional Cero" ("Bioclimático") de unos 1700 m² en el Campus de la Universidad de Extremadura en Badajoz. Se pondrán en práctica los conceptos sobre ahorro y eficiencia energética en la edificación, así como la integración de las energías renovables en el edificio PETER. Además se mostrará como es posible en ciudades de clima extremo (como es la ciudad de Badajoz, con necesidad de calefacción en invierno y de refrigeración en verano), climatizar edificios aplicando medidas que minimizan el consumo energético.

Finalmente, se lleva a cabo un proceso de simulación energética que permite comprobar el

comportamiento energético del edificio.

Palabras clave: Integración, Edificio de energía cero (EEC), Eficiencia Energética en la edificación.

1. INTRODUCCIÓN

Los edificios son grandes consumidores de energía. En los países con mayor nivel de desarrollo, el consumo de los edificios representa de un 35 al 40 % de la energía final que se consume en el país. Así por ejemplo, considerando los edificios de viviendas (residencial) y los terciarios (no residenciales), en EE. UU. el consumo total es del 40 %, mientras que en Unión Europea-15 es del 37 %. En España, si se considera también el transporte de los materiales de construcción del edificio, se estima que el consumo final de energía atribuido a la edificación es de un 35% [1-2].

Ante esta situación, todos los gobiernos de Europa han diseñado estrategias de ahorro y eficiencia energética para los edificios, en cumplimiento de la Directiva 2002/91/CE de eficiencia energética [3], que pretende conseguir la reducción de la demanda de los edificios de nueva construcción.

En España se utiliza una herramienta muy importante como es el Código Técnico de la Edificación (CTE) [4], con el que se pretende que los edificios de nueva construcción rebajen su demanda energética en un 25%. Para ello se deben implementar medidas para reducir la demanda (se trata de construir bien de forma que los edificios dispongan de un buen aislamiento), al mismo tiempo que se establece un rendimiento mínimo de las instalaciones energéticas, haciendo obligatoria la energía solar térmica, con el fin de que el consumo final se rebaje considerablemente.

Así pues, se tiende a construir edificios energéticamente sostenibles, donde el balance energético sea nulo o el más bajo posible, tras la implementación de técnicas bioclimáticas.

Algunos antecedentes sobre edificio “zero” emisiones o energéticamente sostenibles se presentan a continuación:

- PSE- ARFRISOL [5]. Arquitectura bioclimática y frío solar. Es un proyecto Singular y Estratégico dentro del Plan Nacional del Ministerio de Ciencia e Innovación Español coordinado por la “Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación” del CIEMAT. En este proyecto participan 12 socios, entre los que se encuentran empresas tecnológicas del sector de la construcción y de la energía solar, así como grupos de investigación procedentes de diferentes Universidades.
- Proyecto GREENBUILDINGCHALLENGESPANISH TEAM [6], donde se han llevado a cabo estudios sobre el comportamiento medioambiental de edificios.
- Concurso de ideas para el desarrollo de la eficiencia energética en una vivienda social rural en Chile [7]. Se trata de edificar una vivienda (en el medio rural) siguiendo principios de sostenibilidad y ahorro energético.
- Ciudades para un futuro más sostenible [8]. Se trata del sitio Web del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio (Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid de la Universidad Politécnica de Madrid) junto con el Ministerio de la Vivienda.
- Agenda de la Construcción Sostenible [9]. Es el portal Web realizado por el Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallés, Asociación de Estudios Geobiológicos y el Instituto Cerdá.
- Proyecto Regen-Link [10]. Se trata de una rehabilitación de viviendas y locales comerciales en San Cristóbal de los Ángeles (Madrid), también con la participación de CIEMAT, realizando la monitorización energética de 2 bloques de viviendas.
- Ecociudad de Sarriguren [11]. Promovida por el Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra. La coordinación de los trabajos de redacción del

planeamiento así como de la gestión de suelo ha recaído en la empresa pública Navarra de Suelo Residencial (NASURSA) con la participación del CIEMAT en cuanto al análisis del proyecto urbanístico y proponiendo medidas bioclimáticas para el diseño de las viviendas.

- Forum Barcelona [12]. Un reciente proyecto que creó suelo urbano para la ubicación de los edificios de nueva construcción que sirvieron de sede de dicho evento.

No obstante, y para cualquier edificio de estas características, es necesario conocer el comportamiento termodinámico del mismo de forma precisa antes de su construcción. Cualquier actuación que arroje buenos resultados en un edificio tras la aplicación de la metodología contemplada en el CTE, necesita validarse, no solo monitorizando adecuadamente el edificio una vez construido y comprobando experimentalmente los resultados, sino antes de construirlo; es decir, teóricamente, para lo cual son de extraordinaria ayuda las herramientas de simulación de forma que se optimiza el diseño energético adaptándolo a su entorno.

Con este propósito, los firmantes del presente trabajo han diseñado el edificio PETER, basándose en otros trabajos previos [13-17]. Un edificio construido con materiales ligeros, sostenible energética y medioambientalmente, y que son totalmente reciclables.

Se describirán los sistemas de climatización del edificio, aunque la finalidad de este trabajo es la de estudiar la demanda energética del mismo, comparando su evolución en relación al modelo tradicional, donde los materiales ligeros se sustituyen por los materiales convencionales o de alta inercia térmica, estudiándose la influencia de los aspectos bioclimáticos sobre la demanda (situación, sombreado, cerramiento, etc.), dejando para trabajos posteriores la influencia de las instalaciones (captadores solares, máquina de absorción, etc.).

Otro de los objetivos de este trabajo es comparar los resultados obtenidos tras la aplicación del CTE, con la simulación efectuada utilizando el programa TRNSYS (The Transient Energy System Simulation Tool) [18], llevándose a cabo en evolución libre, dejando que el edificio se comporte libremente, sin utilizar ningún sistemas de climatización tanto en invierno como en verano.

2. DESCRIPCIÓN Y TECNOLOGÍA

En este capítulo se muestran las características y tecnologías utilizada para la construcción del edificio PETER, que consta de dos plantas de unos 600 m² cada una, y una planta sótano de unos 500 m². Dispone de una zona para laboratorios y oficinas, orientada hacia el sur, y zonas generales tales como baños, salas de reuniones, orientadas hacia el norte. El edificio es de forma rectangular presentando su fachada más amplia orientada hacia el Sur. En la Figura 1 se aprecian distintas vistas del edificio tal como se construirá finalmente. Se describirán las instalaciones, aunque no

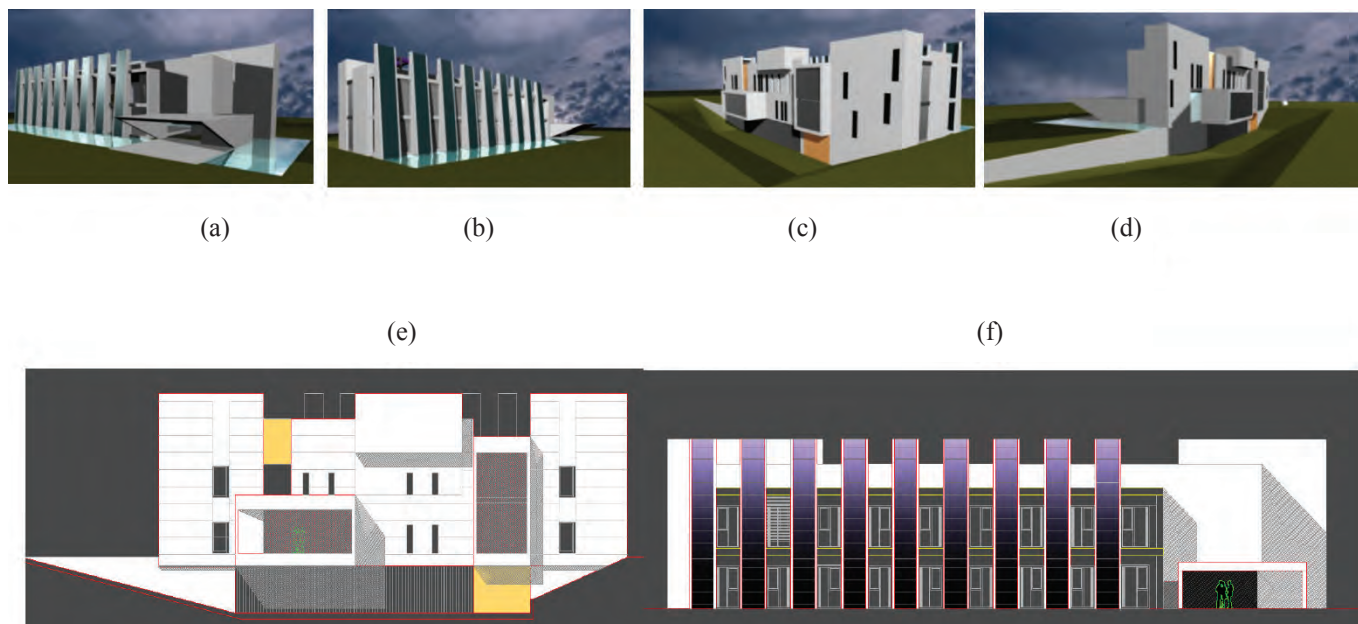


Figura 1: Vistas del edificio PETER

es objeto del presente estudio el presentar la influencia de las mismas en la climatización del edificio, como ya se ha indicado anteriormente.

Las características del edificio se resumen a continuación:

- Se construirá, teniendo en cuenta las características climáticas de la ciudad de Badajoz.
- Se aplicarán los conceptos de captación solar pasiva. Fachada sur ventilada con instalación de superficies fotovoltaicas que se situarán entre las ventanas. Estas instalaciones fotovoltaicas actuarán como chimeneas.
- Se dotará al edificio de buen aislamiento térmico, evitando puentes térmicos.
- Se hará un sombreado de ventanas y cubierta.
- Se hará uso de la iluminación natural el mayor tiempo posible y en la totalidad de las dependencias.
- Instalación de suelo radiante para calefacción y de rejillas de aire para refrigeración.
- Climatización mixta solar-biomasa. Instalación de una superficie de captación térmica y de una caldera de biomasa (pellets), de 35 KW de potencia térmica, que alimentarán a una máquina de absorción.
- Monitorización completa del edificio.
- Volcado de datos sobre la temperatura interior del edificio en tiempo real a la red.

2.1. CALEFACCIÓN Y CLIMATIZACIÓN

Para disminuir el consumo energético del edificio, como ya se ha indicado anteriormente, se ha hecho uso de distintas técnicas de aprovechamiento energético como son, por ejemplo, las del uso del aire caliente de las chimeneas solares fotovoltaicas en los lugares comunes.

Así, como se aprecia en la vista f, Figura 1, el aire caliente que se acumula por detrás de los módulos fotovoltaicos situados en la fachada sur, asciende hacia la parte superior

del edificio. En invierno, este aire caliente se recogerá y se dirigirá hacia los lugares comunes (hall de entrada y pasillos) a través de conductos, mediante ventilador, y en verano se conducirá hacia el exterior del edificio. El diseño y dimensionado de estas chimeneas se ha realizado teniendo en cuenta las experiencias previas de los autores pertenecientes al CIEMAT [19].

Del mismo modo, en verano, se usan rejillas situadas en la misma fachada y en la posterior, para utilizar el flujo de aire frío, provocado durante la noche, que se obtiene por contacto con la lámina de agua del lago que se situará en la zona sur.

El sistema de calefacción empleado para el edificio PETER será una combinación de los siguientes elementos:

- Sistema de suelo radiante
- Utilización de captadores solares térmicos
- Apoyo con caldera de biomasa.

El aporte de calor al edificio se efectuará por medio de suelo radiante, que viene a ser el sistema que más se aproxima al perfil de calefacción ideal, consiguiendo el máximo confort térmico para las personas. Además, el suelo radiante es el sistema de intercambio de calor que mejores rendimientos proporciona cuando se trata de calefacción solar térmica.

Teniendo en cuenta las necesidades energéticas, se ha calculado una superficie de captación de 56,40 m², que se aproxima a 50 m². O sea, 25 colectores de 2 m² cada uno. Se ha preferido dimensionar el sistema de forma que la cobertura esté próxima al 100% (el 98,5%) del aporte calorífico para refrigeración con la máquina de absorción, de esta forma se consigue la máxima eficiencia del sistema (se utiliza al 100% en invierno y verano), aunque para calefacción sea necesario el aporte calorífico mediante la caldera de biomasa de apoyo. La energía necesaria para calefacción del edificio se muestra

en la Figura 2. Estos resultados se han obtenido utilizando el programa f-Chart versión de la empresa ISOFOTON.

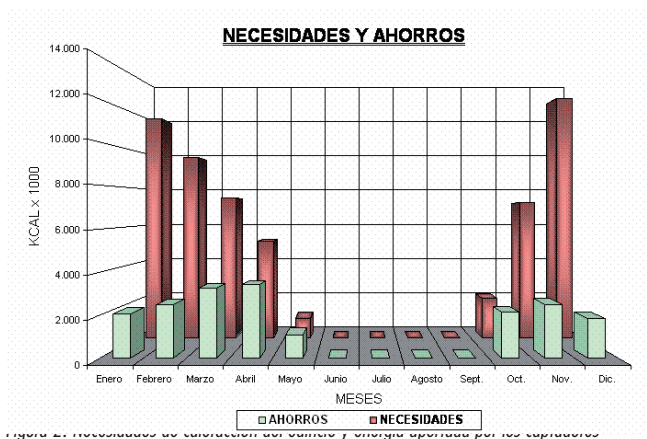
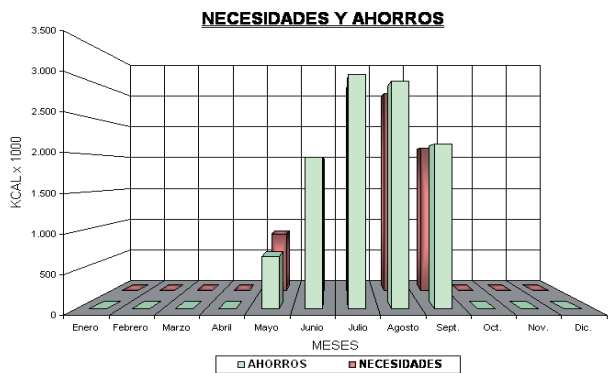


Figura 2: Necesidades de calefacción del edificio y energía ahorrada por los captadores

En cuanto a la refrigeración, se utilizará también parte de las instalaciones ya descritas anteriormente.

Figura 3: Contribución de los captadores solares térmicos para cubrir las necesidades de

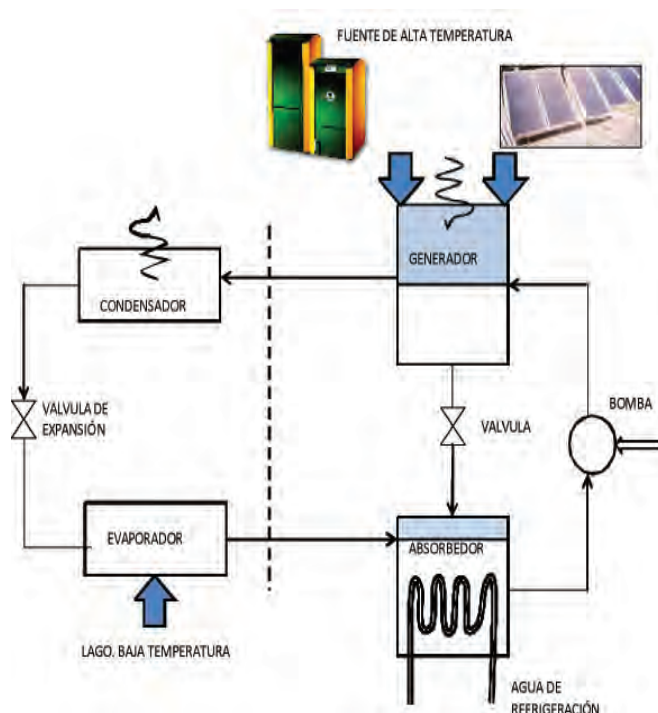


refrigeración

- Sistema de refrigeración mediante suelo radiante
- Uso de una máquina de absorción de 20 kW de potencia máxima de refrigeración. Esta máquina estará alimentada por los 25 captadores solares térmicos, cuyas características han sido descritas en el apartado anterior, y con el apoyo de una caldera de biomasa
- Uso de un sistema automático de ventilación cruzada.

En la Figura 3, se observan los resultados de la aportación energética de los captadores solares térmicos (cobertura solar) para cubrir las necesidades de refrigeración, también utilizando el programa f-Chart. En este caso, la cobertura solar se acerca al 98,5% siendo el 1,5% restante aportado por la caldera de biomasa. La Figura 4 describe el circuito de refrigeración del edificio.

Figura 4: Esquema del circuito de refrigeración con la máquina de absorción



Sin tener en cuenta los aportes de calor de las chimeneas fotovoltaicas, 25 captadores solares térmicos de alto rendimiento serían suficientes para cubrir el 32,7% de las necesidades de calefacción y el 98,5% de las necesidades de refrigeración. El resto de la energía necesaria, 67,3% y 1,5% de calefacción y refrigeración se suministra con la caldera de biomasa de 35 kW.

La refrigeración del edificio se realizará con una máquina de absorción de 20 kW de potencia máxima de refrigeración. El calor necesario para suministrar a la máquina se realiza con los captadores solares térmicos y si no fuera suficiente con la caldera de biomasa.

2.2. RESTO DE INSTALACIONES

El edificio PETER contará también con una instalación de gestión y aprovechamiento del agua mediante:

- Recogida de aguas pluviales
- Almacenamiento en un pequeño lago. Enfriamiento del aire de ventilación por contacto con esta lámina de agua.
- Aprovechamiento de este agua de lluvia y reutilización de las aguas de los lavabos para su uso en el WC.

A fin de llevar a cabo una cuantificación global de todos los recursos de energía y de agua utilizados, así como de los rendimientos de los dispositivos de transformación de energía, al edificio PETER se le dotará de un completo sistema de monitorización y control. Las principales actuaciones serán:

- Regulación de la luz natural y artificial.
- Monitorización del rendimiento de la iluminación artificial.
- Control de la temperatura en los captadores solares

térmicos, en la caldera de biomasa y en la máquina de absorción.

- Control de temperatura de la instalación solar fotovoltaica.
- Monitorización y visualización en pantalla display de la energía eléctrica producida por la instalación solar fotovoltaica. Visualización de los rendimientos instantáneos.
- Control de la ventilación nocturna forzada nortesur.
- Control del sistema de entrada de la radiación solar al edificio (regulación por lamas).
- Control del sistema de calentamiento de las zonas comunes con el aire proveniente de las chimeneas fotovoltaicas de la cara sur.

3. TÉCNICAS

En la construcción del edificio, se utilizarán los más modernos e innovadores desarrollos tecnológicos, permitiendo la utilización bioclimática del edificio, así como el empleo de aislamientos eficientes, control de los flujos energéticos y el uso de energías renovables.

A continuación se exponen las diferentes estrategias que se seguirán en su construcción:

3.1. USO DE LA RADIACIÓN SOLAR

Se ha simulado la posición del sol para todas las épocas del año con el fin de conocer su influencia y tomar las medidas necesarias para evitar calentamientos en los meses de verano y favorecer dicho calentamiento en invierno, sobre todo en las zonas orientadas al Sur, donde van a desarrollar su actividad diaria el mayor número de personas. En la Figura 5 se observan las trayectorias solares a lo largo de los meses del año, vistas desde el lugar donde se construirá el edificio.

Si se proyecta el horizonte que se observa desde este lugar sobre dichas trayectorias solares, se deduce que habrá sombras sobre el edificio PETER a primera hora del día y a última hora de la tarde, debido a los edificios y árboles circundantes. Estas sombras reducen la radiación solar sobre el edificio en un 7%, aproximadamente. Naturalmente, durante los meses de verano se rechazarán los rayos solares mediante el uso de persianas exteriores que se cerrarán automáticamente cuando la radiación solar incidente sobre la fachada sur y la diferencia de temperaturas dentro y fuera del edificio alcancen un valor umbral (generalmente en el verano, y en tiempos de soleamiento inhabitual para la época). La situación opuesta se dará el resto del año (invierno, y en tiempos inhabitualmente fríos para la época), en el que se abrirán las persianas permitiendo la entrada del sol en las dependencias de mayor uso que estarán ubicadas al sur.

Todas estas aplicaciones se han tenido en cuenta en los procesos de simulación del edificio.

3.2. AISLAMIENTO

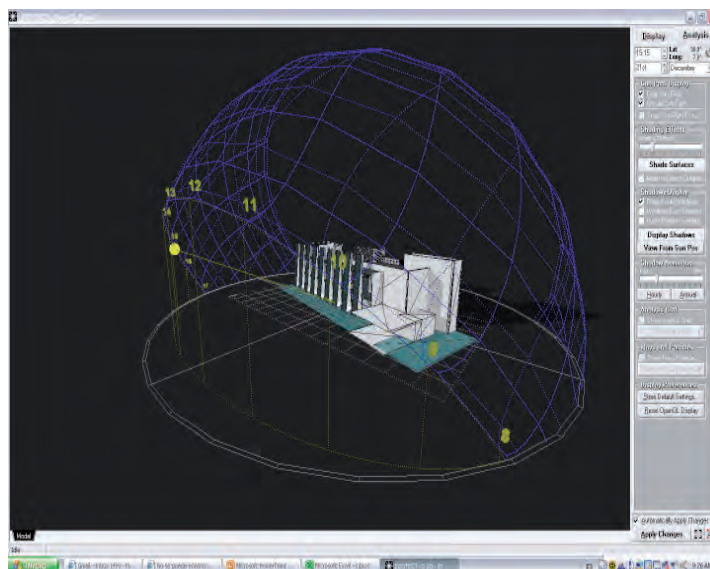


Figura 5: Posición del Sol en las diferentes épocas del año, protección contra la radiación solar según la altura del sol en verano, ganancias solares según la altura del sol en invierno.

El proceso de transmisión de calor en un edificio de estas características se lleva a cabo principalmente por radiación en un porcentaje de hasta el 75 %, mientras que la conducción y convección solo ocupan el 25 % restante [20-21]. Por tanto, cualquier tipo de aislamiento de un edificio, debe detener principalmente el flujo de calor radiante, sin olvidar la transferencia de calor por conducción.

Entre los diferentes tipos de aislamiento, creemos que los de tipo reflectivo pueden ser los más adecuados y eficientes, ya que, además de su alta capacidad de reflejar el calor, se une la estructura de burbujas de aire retenidas en su interior, proporcionando una alta resistencia al paso del calor a través de las superficies.

En el edificio PETER, la secuencia de materiales que configurarán las paredes, desde el exterior hacia el interior, es como sigue:

- Capa de mármol modelo Frontek de Venatto de espesor 2cm.
- Cámara de aire de baja emisividad ($\epsilon=0,03$) de 4 cm de espesor.
- Aislante reflectivo de 4 mm de espesor.
- Tablero de madera estructural de 12 mm de espesor.
- Aislante de fibra natural (kenaf) de 2,5 cm de espesor.
- Cámara de aire de baja emisividad ($\epsilon=0,03$) de 2 cm de espesor.
- Aislante reflectivo de 4 mm de espesor.
- Cámara de aire de baja emisividad ($\epsilon=0,03$) de 4 cm de espesor.
- Placa de yeso laminado de 15 mm de espesor.

La transmitancia térmica (valor de U) es para este caso

de 0,31 W/m² °C, valor muy bajo comparado con los que resultan cuando se utilizan materiales tradicionales. (Lo anterior indica que el edificio, a pesar de utilizar materiales de cobertura ligeros, dispone de un buen aislamiento térmico).

Si consideramos la transferencia total de energía a través de la epidermis completa diseñada para el edificio PETER y lo que se obtendría aplicando el CTE (Programa LIDER) [22], se alcanzarán porcentajes de reducción de dicha transferencia energética del 48% en invierno y del 80% en verano, respecto a los valores de referencia.

Conviene resaltar que las mayores demandas de energía en esta zona de España se producen en verano, como consecuencia de un generalizado uso de aparatos de aire acondicionado. Tampoco se ha tenido en cuenta para dicho cálculo, la aportación de calor de las chimeneas fotovoltaicas, ya que si se tienen en cuenta, el porcentaje de reducción de la demanda energética podría pasar del 48% al 60%.

3.3 MODELOS CLIMÁTICOS Y DE CARGAS

Dado que no se ha empleado un programa específico para diseño del edificio, y con el fin de obtener los mejores resultados energéticos en la simulación, se ha llevado a cabo un análisis de la climatología del lugar de ubicación, unido a las estrategias que se establecerán a continuación, como consecuencia de los estudios previos que antes se han efectuado, y con el fin de conocer las cargas térmicas que posteriormente deben utilizarse con el TRNSYS. De esta forma, el edificio es concebido bajo parámetros de eficiencia energética, aplicando conceptos de arquitectura bioclimática y utilizando herramientas de simulación para apoyo al diseño y a su evaluación energética.

Badajoz está situado en el suroeste de España y limítrofe con Portugal. Su clima es mediterráneo continental con influencia atlántica, consecuencia de la proximidad de la costa portuguesa. Sus inviernos son suaves y los veranos son calurosos. Las precipitaciones son irregulares, con una media anual de 463 mm. Los meses invernales son los que registran más precipitaciones, mientras que los veranos son bastante secos. Tanto la humedad como los vientos son reducidos, no obstante, es frecuente la aparición de nieblas, especialmente

durante el invierno.

Las Figura 6 muestran la evolución de las temperaturas medias mensuales y la radiación solar global horizontal, datos obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología (España) [23] y del CTE.

Otra de las herramientas utilizadas en fase de diseño de las estrategias, es el *análisis de Givoni* o de los *diagramas psicrométricos*. Son utilizados para ayudar al diseño del edificio, orientando hacia una u otra técnica de acondicionamiento con objeto de optimizar el grado de confort interior a lo largo de un año.

En la Figura 7 se muestra el diagrama de *Givoni* obtenido para Badajoz. De acuerdo con este análisis para los diferentes meses del año, se obtienen unas pautas estacionales, que marcan las estrategias bioclimáticas a utilizar.

Por tanto, con las temperaturas y radiación anteriores, las diferentes técnicas y estrategias que se aconsejan inicialmente, tras realizarse un análisis de *Givoni*, (Figura 7), son las siguientes:

- En invierno se deberá obtener:
 - Temperaturas máximas dentro de la zona de calefacción por ganancias internas.
 - Temperaturas medias dentro de la zona de aprovechamiento pasivo de energía solar.
 - Temperaturas mínimas dentro de la zona de aprovechamiento activo de energía solar.
 - Uso de ganancias directas.
 - Recuperación de calor.
- En verano se deberá obtener:
 - Temperaturas medias en zonas de confort o próximas.
 - Ventilación nocturna con uso de masa como inercia térmica.
 - Baja incidencia de los sistemas evaporativos.
 - Producción de frío mediante máquina de absorción alimentada por el sistema de captadores solares.
 - Sombreamientos en función de la orientación.

Figura 7: Diagrama sicométrico

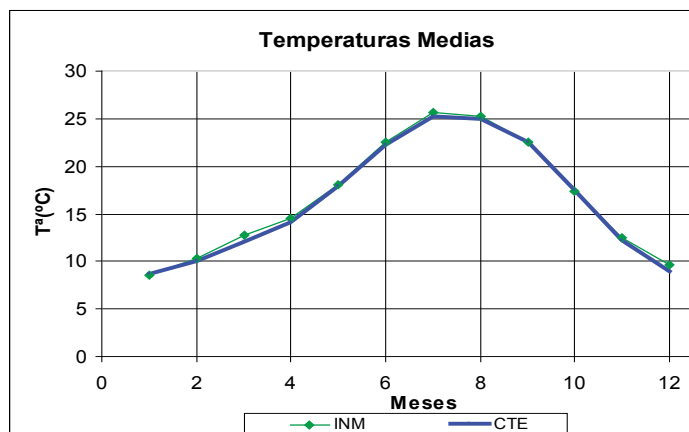
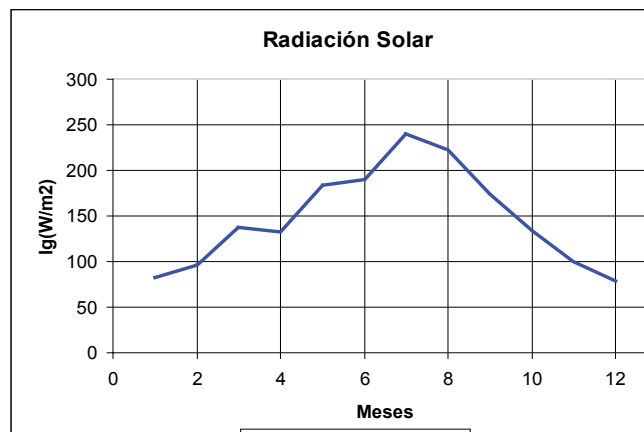


Figura 6: Temperatura media mensual y Radiación Solar Global Horizontal



Si consideramos las dos zonas más importantes mostradas en la Figura 8, los laboratorios y el hall de entrada al edificio, los resultados que se obtuvieron van en el mismo sentido.

Por lo que respecta a la entrada, esta zona se encuentra ubicada en la planta baja del edificio, colindante con los laboratorios. Es un espacio a dos alturas cuya fachada principal aunque está orientada al Sur, no se trata de una gran zona acristalada, Figura 8.

Hay que tener en cuenta que esta zona es una zona de paso, sin cargas internas y con una densidad de ocupación muy baja. Los resultados obtenidos con la simulación de esta zona con ambos cerramientos y durante unos días tipo de verano, muestran una mejora con el cerramiento inercial frente al ligero, centrando las temperaturas en la zona de confort térmico. Por el contrario, durante el invierno el cerramiento ligero se comporta ligeramente mejor que el inercial. Esto puede ser debido al aislamiento que lo compone, ya que es capaz de mantener más el calor en el interior.

Tomando como zonas más significativas del edificio

PETER los laboratorios que están distribuidos en tres plantas (sótano, baja y primera), con fachada principal orientada hacia el Sur, colindante a los contrafuertes exteriores y que además de servir como elementos de sombreado pueden ser usados como sistemas recuperadores de calor, los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 9 y 10.

Estas gráficas muestran una mejora durante el verano en los resultados obtenidos con el cerramiento inercial frente al ligero, especialmente en las primeras plantas, encontrándose aquéllos más próximos a la zona de confort térmico.

Durante el verano y dada la gran superficie a acondicionar en los laboratorios, el cerramiento inercial logra elevar lo suficiente la temperatura como mantenerla dentro de la banda de confort interior. Mientras que el cerramiento ligero, al estar formado por materiales aislantes y cámaras de aire bajo emisivas, mantiene mucho el calor, lo que eleva la temperatura interior por encima de la banda de confort.

La Figura 11 representa el balance energético obtenido

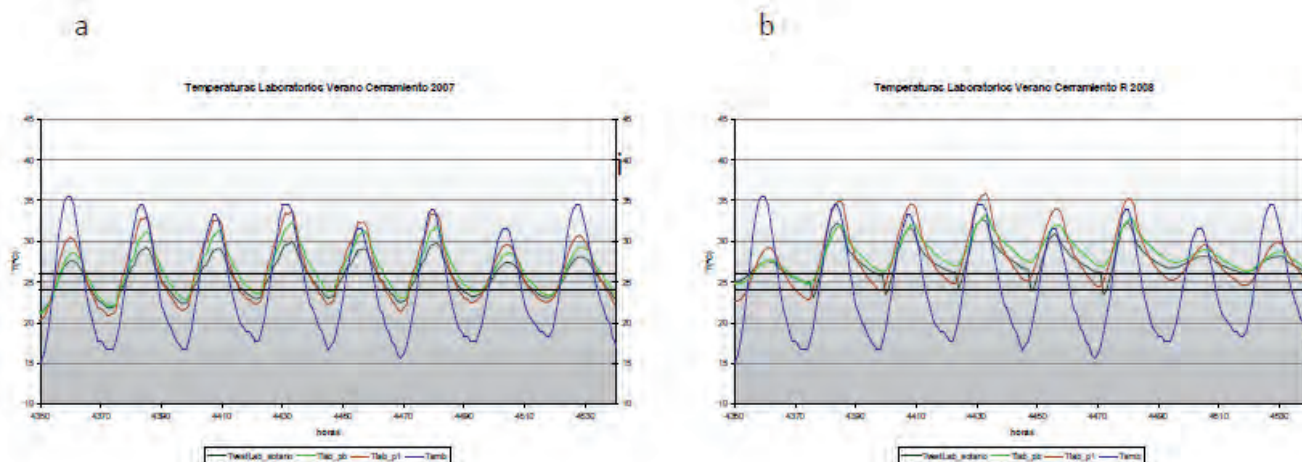


Figura 9: Temperatura en los laboratorios durante el verano usando a) Cerramiento inercial. b) Cerramiento ligero.

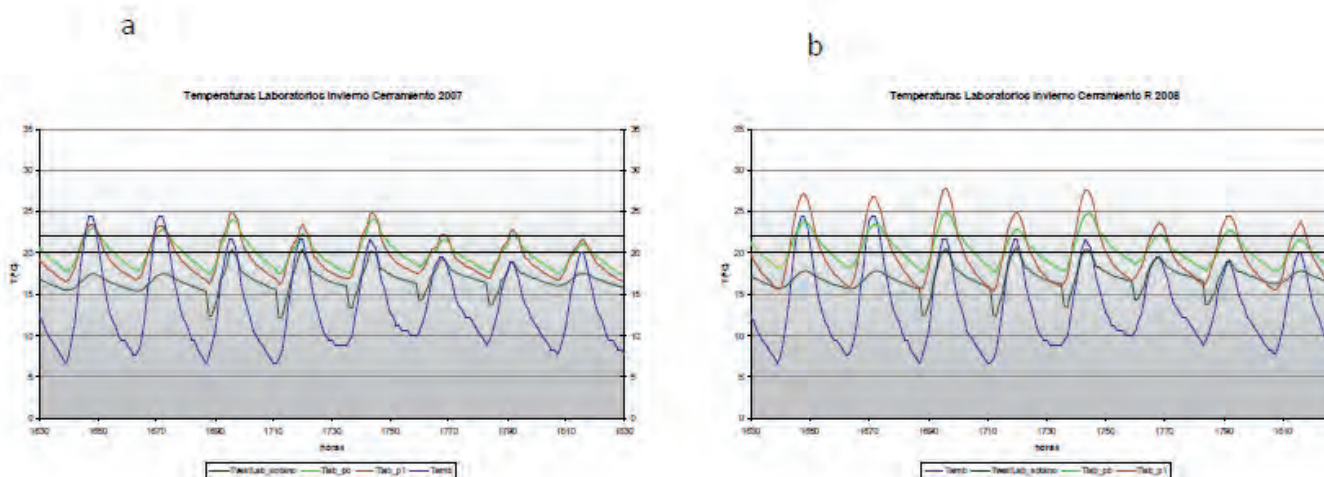


Figura 10: Temperatura en los laboratorios durante el invierno usando a) Cerramiento inercial. b) Cerramiento ligero.

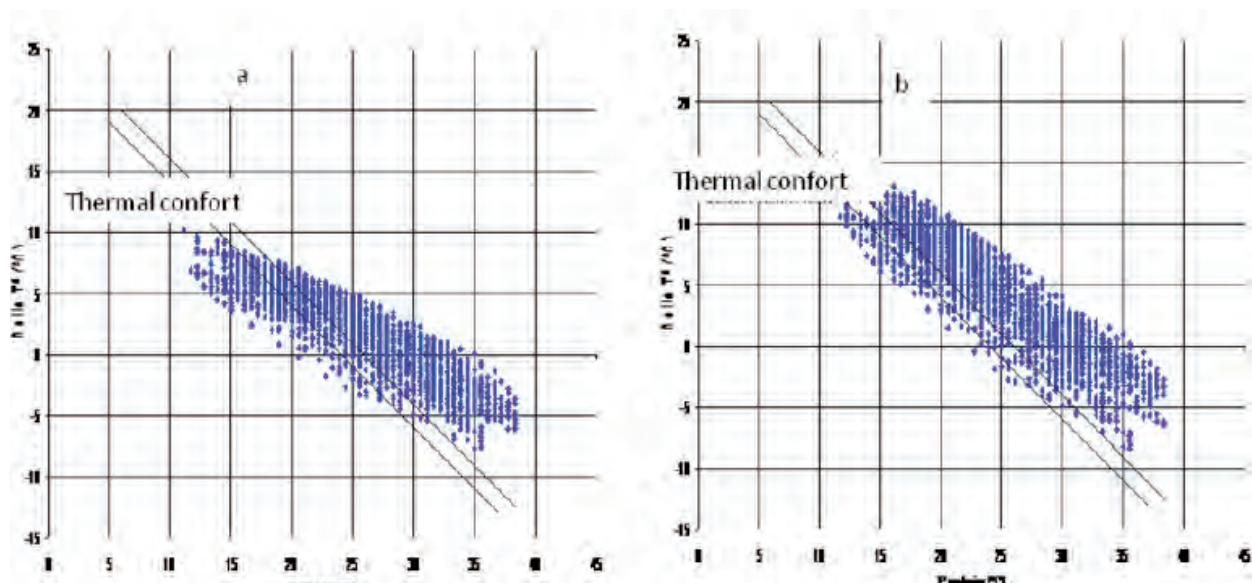


Figura 11: Distribución de temperaturas en el laboratorio durante el verano usando a) Cerramiento inercial. b) Cerramiento ligero.

en el interior de los laboratorios de la planta baja frente a la temperatura exterior en verano. En ellas se observa que el comportamiento obtenido con el cerramiento inercial está mucho más próximo a la banda de confort establecida (24-26°C), que el obtenido en el cerramiento ligero.

Es evidente, por tanto, que de cara al verano y con temperaturas exteriores que pueden puntualmente alcanzar incluso los 50°C, sería mejor utilizar materiales de mayor inercia térmica que los proyectados para el edificio PETER. Sin embargo, estamos interesados en un tipo de construcción sostenible energética y medioambientalmente, que integre las fuentes de energía renovables en la construcción, que use materiales totalmente reciclables como los aquí descritos, y que permitan una industrialización de la edificación.

Obviamente, este tipo de construcción requiere una energía para la climatización en verano, por eso se instala una máquina de absorción alimentada con energía solar térmica y con biomasa (pellets), con el fin de descender la temperatura interior en verano. Además, el edificio dispondrá de un sistema de ventilación nocturna forzada sur-norte que inyectará aire húmedo en contacto con la lámina de agua proyectada al sur. La inercia térmica del forjado (suelo de los pisos), también ayudará a contener el calor diario para ser evacuado por la ventilación nocturna.

6. CONCLUSIONES

Mediante la construcción de un edificio de estas características se pretenden utilizar las tecnologías más innovadoras existentes en la actualidad con el fin de minimizar la demanda energética durante la etapa de construcción, uso y desmantelamiento de dicho edificio al final de su vida útil.

Para un buen uso del edificio, es necesario construir

teniendo en cuenta las características del clima local, la orientación del edificio, el tipo de actividad a la que estará destinado, etc. Una vez tenido en cuenta esos aspectos, y particularmente en las regiones del sur de Europa, hay que considerar el aislamiento como elemento clave en el diseño arquitectónico. Ello permitirá una máxima reducción de las necesidades energéticas, sobre todo en verano, donde la demanda de energía para refrigeración es muy alta.

Con este planteamiento general, el aporte de energía con tecnologías renovables se muestra como la elección más efectiva desde el punto de vista energético, medioambiental y económico. En especial, el uso de la energía solar térmica (activa y pasiva) y la energía solar fotovoltaica en la edificación, en regiones con abundante radiación solar, debe ser una opción potenciada desde las administraciones, locales, nacionales y europeas.

En la construcción del edificio PETER se van a utilizar materiales naturales (kenaf, tableros de madera, etc) y tecnologías renovables. Ello hace que este edificio sea reciclable 100%. También se utilizarán elementos prefabricados, de modo que la construcción del edificio sea poco intensiva, tanto en mano de obra como en energía, y se haga en un espacio corto de tiempo. Se trata, en fin, de “industrializar la edificación”, con consumos de energía y de tiempo mínimos.

De lo expuesto en este trabajo se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- 1.- Mediante simulación en evolución libre del edificio, se ha comprobado que su eficiencia energética es mayor, especialmente en verano, si se utilizan materiales de mayor inercia térmica en la construcción de su epidermis que los aquí propuestos, lo que no era previsible según el CTE, en donde la reducción de la transferencia energética en verano era superior

a la del invierno, con valores excelentes, utilizando aislamiento reflectivo y materiales ligeros respecto a los valores de referencia que marca el CTE.

- 2.- Se ha optado por este diseño basado en materiales más ligeros y reciclables, cámaras de aire, tableros de madera, aislantes reflectivos, etc., que permiten reducir el tiempo y la energía empleados en la construcción.

Se han realizado estimaciones, que por motivos de extensión no se exponen, de costos de construcción, mantenimiento, y energía, así como de derribo y reciclado de materiales al final de vida del edificio, y el resultado conjunto es positivo para la solución adoptada de materiales ligeros, cuya elección se justifica además por motivos de índole social, como la promoción y difusión de nuevas técnicas de edificación, en un edificio singular de un campus universitario tecnológico.

- 3.- Esta demanda extra de energía será suministrada a partir de fuentes renovables de energía (colectores solares térmicos y pellets de biomasa) para suplir las necesidades de calefacción, mediante suelo radiante –y de refrigeración- máquina de absorción. La potencia requerida para tales fines es muy pequeña: 50 m² de captadores solares y 35 kW térmicos de la caldera de biomasa, respectivamente. Es decir, se ha sacrificado en cantidades reducidas la demanda de energía renovable con tal de hacer un edificio en menos tiempo y con un bajo consumo de energía en su construcción. Hay que indicar que en esta simulación no se han tenido en cuenta las ganancias solares de las chimeneas fotovoltaicas en invierno ni la evacuación del calor acumulado durante los días de verano mediante la ventilación cruzada forzada sur-norte de aire húmedo.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Unión Europea la ayuda concedida para la realización del Proyecto PETER (SP6. E53/03) a través del Programa INTERREG III A.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Nuno F. *Casas de muy bajo consumo energético*. Leonardo Energy. 2009. Disponible en Web: <http://www.leonardo-energy.org/espanol/07/casas-de-muy-bajo-consumo-energetico>
- [2] Bosqued R. *La eficiencia energética de edificios a través del diseño*. Unidad de eficiencia energética en la edificación. CIEMAT. III Simposio Nacional e Internacional de gestión ambiental en centros sanitarios. Badajoz. 2007.
- [3] Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios. Disponible en Web: http://www.maec.es/SiteCollectionDocuments/Espana%20y%20la%20Union%20Europea/Politicas%20Comunitarias/Energia/directiva2002_91.pdf
- [4] Código Técnico de la Edificación, Real Decreto 137/2007, de 19 de Octubre.
- [5] PSE-ARFRISOL, Arquitectura bioclimática y energía solar. CIEMAT. Disponible en Web: <http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/arfrisol/pse-arfrisol.htm> y en www.arfrisol.es
- [6] Romero MA. Evaluación del comportamiento medioambiental de los edificios GBC España, VII Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA VII). Madrid. 2004.
- [7] Concurso de ideas para el desarrollo de la eficiencia energética en una vivienda social rural en Chile. Disponible en Web: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2006/09/23/concurso-de-ideas-desarrollo-de-eficiencia-energetica-para-vivienda-social-rural/>
- [8] Ciudades para un futuro más sostenible. Website of the Department of Urban and Landscape Planning in the Superior Technical School of Architecture (Polytechnic University, Madrid) and Housing Ministry. Disponible en Web: <http://habitat.aq.upm.es>
- [9] Sostenibilidad y construcción: aplicaciones y líneas de trabajo. Gerona, Departamento de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad de Gerona. D.L., 2000. Disponible en Web: <http://es.csostenible.net/>
- [10] Proyecto Regen-Link. 2000. Disponible en Web: http://e-core.cstb.fr/project_detail.asp?id=855
- [11] Redin J. La Eciocidad de Sarriguren. Disponible en Web: <http://www.nasursa.es/es/Suleo/indexProyectos.asp?idp=2>
- [12] Forum Barcelona. Disponible en Web: <http://www.barcelona2004.org>
- [13] PETER. Parque Experimental Transfronterizo sobre Energías Renovables. Disponible en Web: <http://www.parquepeter.org>
- [14] Cuadros F, López-Rodríguez F, Segador C, Marcos A. *A simple procedure to size active solar heating schemes for low-energy building design*. Energy and Building. 2007. Vol 39: 96-104.
- [15] López-Rodríguez F, Segador C, Marcos A, Cuadros F. *Cálculo y comparación de rendimientos para distintas aplicaciones*. Era Solar. 2006; Vol 131: 73-77.
- [16] García Sanz-Calcedo J, Garrido S, Perez Atanet C, Lopez-Rodriguez F. *Gestión energética en Servicios de Salud*. Ingeniería Hospitalaria. 2007; Vol 34: 31-38
- [17] Cuadros F and Rosa R (Eds). *Las energías renovables a ambos lados de la raya*. Ed.IDAE; Madrid 2008: 37-45. Disponible en Web: http://www.idae.es/index.php/mod_publicaciones/mem.listadoDestacadas/reImenu.73
- [18] TRNSYS. The Transient Energy System Simulation Tool
- [19] Martí Herrero J. *Caracterización de una chimenea solar a través de parámetros físicos como sistema de ventilación natural*. Tesis Doctoral dirigida por D^a M^a Rosario Heras. UNED, 2006.
- [20] Borbon Ana C, Cabanilles R, Perz J. *Modelación y simulación de transferencia de calor en muros de bloque de concreto hueco*. Información Tecnológica. 2010; Vol 21(3): 27-38.
- [21] Aislamiento reflectivo. Polynum. Disponible en Web: www.confortbalear.com/images/20pregunt.doc
- [22] LIDER. Programa informático para verificar la demanda de energía en edificios siguiendo el CTE. Disponible en Web: <http://www.codigotecnico.org/index.php?id=33>
- [23] Agencia Estatal de Meteorología (España). Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Medio Marino.

Obtención de datos geométricos en imagen médica



Alberto Higuera-Garrido *

Pablo Pando-Cerra *

Aquilino Osorio-Zapico *

María Dolores García-López **

Dr. Ingeniero Industrial

Dr. Ingeniero Industrial

Dr. Ingeniero de Minas

Diplomada Universitaria en Enfermería

* Universidad de Oviedo. Dpto de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Campus de Viesques - 33204 Gijón. Tfno: +34 985 181923. higueraalberto@uniovi.es; pandopablo@uniovi.es; aosorio@uniovi.es

** Hospital de Cabueñes. Camino de Cabueñes, s/n - 33203 Gijón. Tfno: +34 985 181948. cotlola@yahoo.es

Recibido: 26/07/2010 • Aceptado: 15/11/2010

Geometric data collection in medical imaging

ABSTRACT

• Introduction.

The different, proprietary or GPU, three dimensional structural generation software from two dimensions medical images, has results which are based on each developer team's particular considerations, i. e., different software applications can show different results while working from the same data source. This sows the seeds of doubts about the reliability of the results, being necessary a non-modified data interpretation.

Material and Methods.

In order to achieve the correct interpretation of the data contained in medical image techniques, a low level data access has been carried out, comparing the obtained values with their graphic representation and getting, this way, a three dimensional structure which fits the original information without being post-processed.

Results.

Obtained results made possible to know the accurate three dimensional position of the anatomic landmarks independently of image acquisition stage's intrinsic factors. In this way, the accurate anatomical reconstruction and simulation of patient's structures is possible.

Conclusions.

X, Y, Z position of each point, acquisition time, volume of point, absorption coefficient and scale are critical data for a reliable geometric reconstruction. A computer application oriented to be used by engineers should interpret with high reliability values present in DICOM attributes prevailing accuracy over the functionality of the software.

- **KEYWORDS:** medical images, three dimensional reconstruction, anatomical simulation, dicom, voxel, Hounsfield units.

RESUMEN

Introducción.

El diferente *software*, tanto propietario como libre, de generación de estructuras tridimensionales a partir de imágenes médicas en dos dimensiones, presenta resultados basados en consideraciones particulares de cada grupo desarrollador de la aplicación, es decir, diferente *software* puede presentar distintos resultados ante una misma fuente de imágenes. Esto arroja incertidumbre respecto a la fiabilidad de los resultados, siendo necesaria una interpretación de los datos sin la modificación de los mismos.

Material y Métodos.

Para la precisa interpretación de la información presente en las técnicas de imagen médica, se ha realizado una lectura de la misma al más bajo nivel de acceso, estudiando la correspondencia de la misma con su representación gráfica y obteniendo de esa manera una estructura tridimensional ajustada a la información presente sin un tratamiento de la misma.

Resultados.

Los resultados obtenidos permitieron conocer con precisión la posición tridimensional de los puntos que constituyen la anatomía independientemente de factores intrínsecos a la fase de adquisición de las imágenes. De esta manera se permite la reconstrucción y la simulación anatómica fiel de las estructuras del paciente.

Conclusiones.

La posición X, Y, Z de cada punto, su instante temporal, así como su volumen, coeficiente de absorción y escala son datos críticos para una reconstrucción geométrica fiable.

Una aplicación informática orientada a su uso por ingenieros debe interpretar con elevada fiabilidad los valores presentes en los atributos DICOM prevaleciendo sobre la funcionalidad del *software*.

Palabras clave: imagen médica, reconstrucción tridimensional, simulación anatómica, dicom, vóxel, unidades *Hounsfield*.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de las técnicas de estudio por imagen médica permite la planificación de cirugías y el diseño de implantes con mayor precisión, con lo que dota de capacidad tecnológica para realizar diseños que incrementen la duración y la seguridad. A raíz de esta capacidad, tanto cirujanos como pacientes, aspiran a nuevas metodologías que se aprovechen del potencial que ofrecen estas técnicas de estudio.

Desde el punto de vista de la medicina, estos avances han de conllevar el desarrollo de nuevas técnicas quirúrgicas, como la planificación con modelos 3D virtuales (Fig. 1), la navegación quirúrgica y la simulación de rangos de movilidad y estabilidad. De igual manera deben garantizar mayor fiabilidad del diseño a implantar y un óptimo ajuste a la anatomía del paciente, permitiendo análisis del implante mediante elementos finitos y seguimientos que permitan realizar acciones preventivas con la finalidad de restaurar en el paciente la máxima calidad de vida posible.

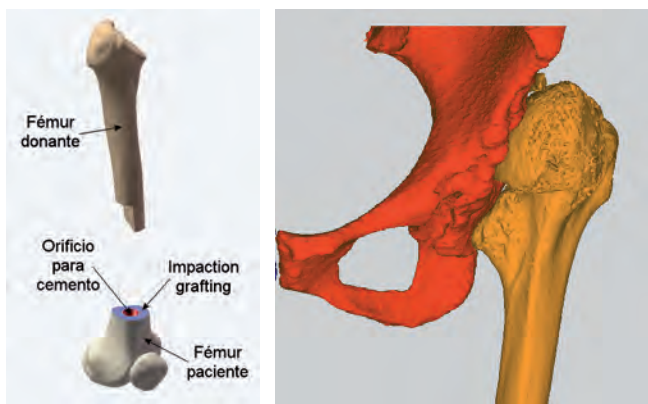


Fig. 1: Planificaciones quirúrgicas con modelos 3D virtuales

El uso clínico de implantes cada vez más precisos mejora tanto el ajuste (*fit*) como el relleno (*fill*) del canal donde irán alojados (Götze, et al, 2002). Este mejor ajuste y relleno repercute en una mayor longevidad del implante, espaciando así el tiempo entre cirugías primarias y de revisión. De igual manera un *fit & fill* (Fig. 2) más preciso reduce el rango de micromovimiento en la estabilidad primaria (Walker, et al, 1989), fase durante la cual el hueso crece alrededor del implante realizándose la osteointegración del mismo.

El micromovimiento del implante durante la estabilidad primaria debe restringirse a un valor inferior a los 100-

200 μ m, pues por encima de esos valores el crecimiento óseo se ve inhibido, formándose un tejido fibroso recubriendo el implante, que puede provocar la pérdida del mismo (Vicenconti, et al, 2000).



Fig. 2: Fit & fill de un vástago femoral

Por todo ello, la precisión en el diseño de la prótesis determinará unos valores correctos de *fit & fill*, junto con un rango de micromovimiento que favorezca el crecimiento óseo en detrimento de la generación de tejido fibroso.

Una de las principales causas de fracaso protésico es la osteolisis periprotésica, tras el aflojamiento aséptico y la luxación recurrente (Lindahl, et al, 2006). Esta última es posible de determinar mediante variadas técnicas radiográficas, mientras que la primera es mucho más difícil de diagnosticar hasta estados avanzados de la patología. El uso de reconstrucciones y el estudio de los volúmenes de *stock* óseo puede permitir un diagnóstico precoz de esta patología, indicando el momento más adecuado para la cirugía de revisión evitando así la posibilidad de que llegue a producirse la fractura periprotésica (Lewallen, et al, 1997).

Para reducir el número de casos en los que la luxación recurrente conlleva el fracaso de la cirugía, las técnicas de imagen médica aportan la capacidad de planificación y navegación que permiten a los cirujanos el posicionamiento correcto de los elementos protésicos, reduciéndose así el riesgo de luxación (Graf, 2006).

Los datos que se pueden obtener durante diferentes pruebas diagnósticas pueden generar una abundante información de gran utilidad en diversas aplicaciones, como la reconstrucción cráneo-facial (Singh, 2008) y la diagnosis basada en tejidos (Kayser, et al, 2008) entre otras muchas, siempre con unos resultados totalmente condicionados por el conocimiento de la precisión del método.

Es por todo esto que un estudio de la validez y fiabilidad de la información recogida mediante las diversas técnicas de imagen médica y almacenada en formato DICOM (Imagen Digital y Comunicaciones en Medicina) es el objetivo principal de la investigación abordada, resultando fundamental en la valoración de la idoneidad de un implante y/o la existencia de diversas alteraciones cuyo conocimiento temprano puede mejorar el tratamiento de la patología.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La interpretación de la información recogida en cualquier imagen médica queda reflejada en una serie de archivos almacenados digitalmente en el formato DICOM.




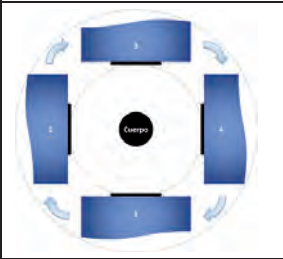
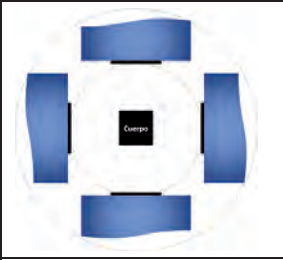

	<p>Durante la realización de una Tomografía Axial Computarizada (TAC) el paciente se ve sometido a una sucesión de radiografías (Rx) interpretadas por computador.</p>
	<p>La realización de una Rx sobre un objeto cilíndrico presenta una imagen radiográfica 2D plana correspondiente con un rectángulo.</p>
	<p>Si emisor y receptor rotan 90° obteniendo una segunda imagen se genera un nuevo rectángulo.</p>
	<p>La proyección en 4 direcciones puede ser computada generando la reconstrucción del cuerpo mediante la interpretación de las proyecciones generadas.</p>
	<p>Si bien con tan escaso número de proyecciones el computador no dispone de la suficiente información para realizar una correcta reconstrucción, pudiendo interpretar el sólido cilíndrico como prismático.</p>
	<p>Al aumentar el número de proyecciones, rotando emisor y receptor, aumenta la precisión de la reconstrucción. Si el número de proyecciones es suficiente el computador puede generar una imagen fidedigna de las secciones radiográficas del paciente.</p>

Tabla I: Funcionamiento del TAC

2.1. FORMATO DICOM

El estándar DICOM define un formato de archivo capaz de almacenar tanto la imagen médica en sí misma, como datos relativos al paciente, al estudio y a los parámetros de adquisición. Este formato de archivo no tiene un carácter vinculante, es decir, los diversos fabricantes de sistemas de imagen médica pueden adoptarlo o no, pero mayoritariamente se ha establecido como un sistema válido, por lo que su uso está estandarizado tanto en la adquisición, como en la visualización y almacenamiento de imágenes.

El núcleo del formato DICOM es la imagen, pero este formato permite añadir datos al archivo de gran interés en la medicina y en la ingeniería. Entre los datos más relevantes presentes en los archivos DICOM figuran:

- Información del paciente: donde se registran datos como el nombre, género, edad, patología, y otros parámetros relevantes sobre el paciente. En algunos casos estos datos pueden estar parcial o totalmente anonimizados en aras de proteger la privacidad de los pacientes.
- Información del estudio: donde, entre otros, figuran los datos que permitirán la reconstrucción geométrica de la anatomía del paciente.
- Información de la modalidad empleada en la exploración: en la que se recoge todo lo relativo al tipo de modalidad (TAC (Tabla I), PET, RM...) y todo aquello que afecte a la valoración médica del estudio, como el contraste y demás parámetros.

La información en formato DICOM se recoge asignando valores a una serie de atributos que definen un objeto (Fig. 3). Dichos atributos pueden ser requeridos, cuando su presencia es necesaria para la correcta definición del objeto, pueden ser condicionales y sólo ser precisa su existencia en función del valor de otro atributo, o pueden ser opcionales, en cuyo caso se pueden emplear para añadir información complementaria pero no imprescindible.

La asignación de valores a los atributos se lleva a cabo accediendo al atributo deseado a través de un identificador único denominado “tag” (Tabla II).

Atributo	Tag
TransferSyntaxUID	0002,0010
ImageType	0008,0008
StudyID	0020,0010
SeriesNumber	0020,0011
AcquisitionNumber	0020,0012
InstanceNumber	0020,0013

Tabla II: Atributos y “tags” del formato DICOM

El valor que se puede dar a cada atributo viene recogido en el formato DICOM, no pudiendo darse valores distintos a los permitidos a los atributos condicionales ni a los requeridos. El estándar es un poco más flexible en aquellos atributos opcionales, dejando una serie de ellos para la libre disposición por parte de los fabricantes de equipos, tanto de adquisición como de visualización, manejo y almacenamiento de imagen médica.

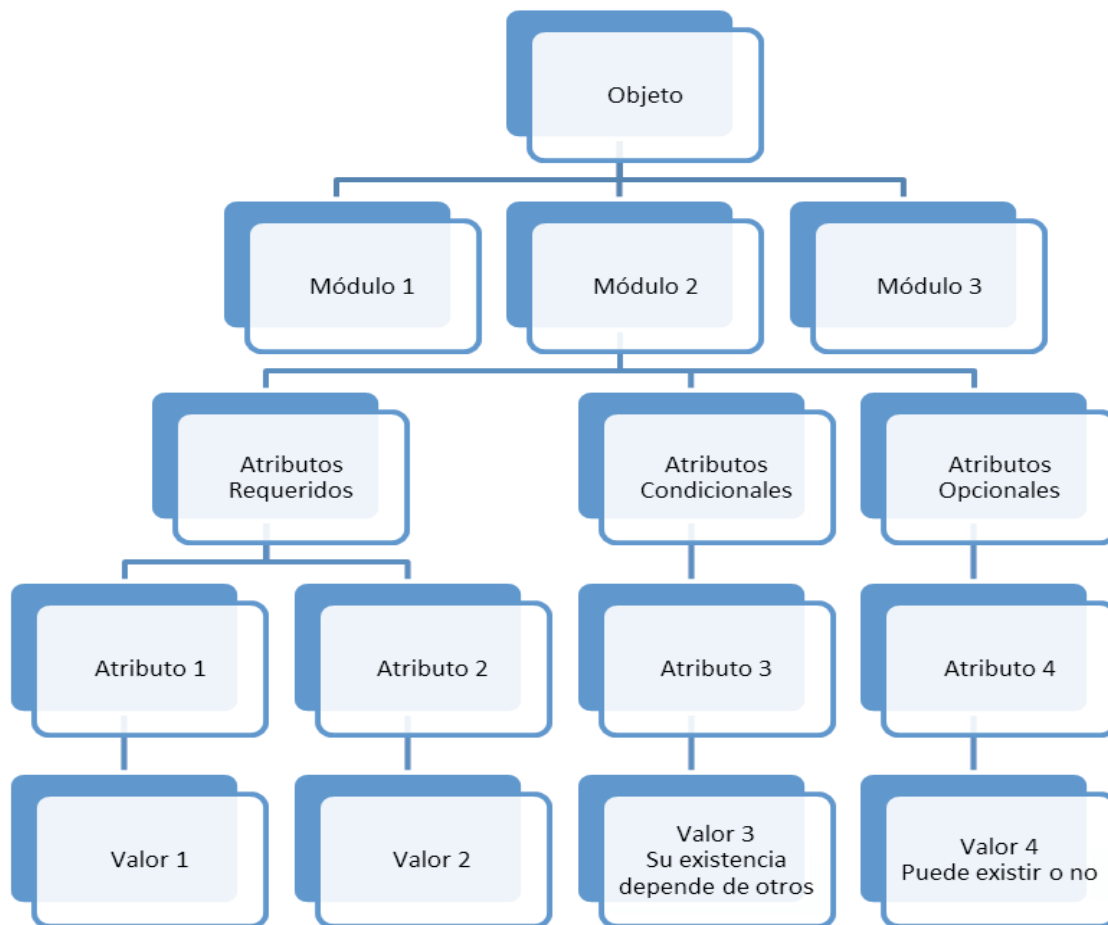


Fig. 3: Objetos y atributos del formato DICOM

Los objetos de información están formados por conjuntos de módulos interrelacionados que, a su vez, agrupan diversos atributos, siendo estos últimos los elementos mínimos de información que maneja el formato DICOM.

La información contenida en un archivo DICOM está jerarquizada en niveles, de los más globales a los más específicos, resultando la imagen médica el centro alrededor del cual se estructuran y adquieren sentido el resto de datos (Fig. 4).

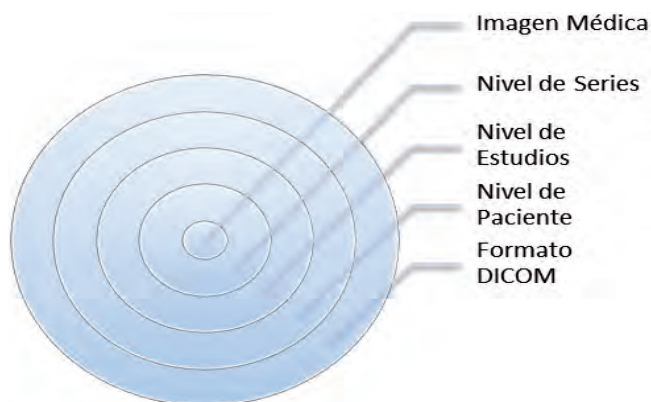


Fig. 4: Niveles de información en el formato DICOM

Dentro del formato DICOM, el nivel de paciente es el superior, en él se almacenan datos médicos y personales del paciente. Dentro de este nivel se encuentra el de estudios, nivel en el que se encuentra toda la información concerniente a la exploración realizada al paciente y que puede estar formado por series de imágenes provenientes de distintas modalidades. En el nivel de serie se agrupan las imágenes en función de su uso clínico, identificando modalidad y demás datos necesarios para la correcta interpretación de las imágenes contenidas en este nivel. En el nivel de imagen se recogen los datos propios de esta, así como la información que permite el posicionamiento de la misma y la que identifica la adquisición a que corresponde.

2.2. PÍXEL Y VOXEL

La representación digital de imágenes se realiza mediante la visualización de los diversos colores que conforman cada punto de las mismas. Dichos puntos, denominados píxeles, presentan una forma cuadrada, siendo fácilmente observables cuando se realiza un aumento suficiente (Fig. 5) de una imagen no vectorial (aquella que no guarda la información de cada punto, sino los datos necesarios para su visualización).



Fig. 5: Pixelización en imágenes

Si a dicha píxel representado en 2D se le añade una tercera dimensión, se denomina vóxel, es decir, un vóxel contiene la información de los colores de un punto de una imagen tridimensional de una manera análoga a como lo hace un píxel en el plano.

2.3. UNIDADES HOUNSFIELD

La representación en el estándar DICOM de los valores que corresponden a cada punto espacial del paciente objeto de estudio se realiza mediante las unidades *Hounsfield* que representan comparativamente la capacidad de atenuación de un tejido frente a la del agua. Conocer el valor de las unidades *Hounsfield* asociado a cada vóxel permite identificar cualitativamente el tejido que se representa en ese punto concreto del espacio.

La fórmula para la obtención de estas unidades compara los valores de atenuación del tejido con la del agua (Dong, et al, 1995):

$$HU = 1000 \cdot \left(\frac{\bar{\mu}_m - \bar{\mu}_w}{\bar{\mu}_w} \right) HU = 1000 \cdot \left(\frac{\bar{\mu}_m - \bar{\mu}_w}{\bar{\mu}_w} \right) \quad (1)$$

Donde $\bar{\mu}_m \bar{\mu}_m$ es una medida del coeficiente de atenuación del material comprendido en el vóxel y $\bar{\mu}_w \bar{\mu}_w$ es una medida del coeficiente de atenuación del agua.

Cada punto de la imagen corresponde al sumatorio de la atenuación que el rayo sufre al atravesar los k vóxeles (van der Bijl, et al, 2005):

$$D = \sum_{i=1}^k (\delta_i \cdot C \cdot H_i) D = \sum_{i=1}^k (\delta_i \cdot C \cdot H_i) \quad (2)$$

Donde $\delta_i \delta_i$ es la distancia que un rayo en concreto recorre al atravesar el vóxel i, C es la curva de calibración del aparato, $H_i H_i$ es el número de *Hounsfield* del vóxel i y k es el número de vóxeles atravesados por el rayo.

Las curvas de calibración representan los números de *Hounsfield* de los diferentes tejidos según sus correspondientes coeficientes de atenuación fotónica. La curva se construye calculando los valores de las unidades *Hounsfield* y los coeficientes de atenuación para múltiples tejidos. Del mismo modo se tienen en cuenta los parámetros de ajuste del sistema de rayos X; entre ellos el ángulo del ánodo, la composición del objeto a estudiar, el voltaje del tubo y diversos parámetros de filtrado. Una vez calculados

(Kock, 2003) los números de *Hounsfield*, se obtienen los valores de los coeficientes de atenuación fotónica de los tejidos para un rayo mediante la integración, a lo largo de todo el espectro de energía, de la ecuación:

$$\bar{\mu}_i = \frac{\int \mu_i(E) \Omega(E) dE}{\int \Omega(E) dE} \bar{\mu}_i = \frac{\int \mu_i(E) \Omega(E) dE}{\int \Omega(E) dE} \quad (3)$$

Donde $\mu_i(E) \mu_i(E)$ es el coeficiente de atenuación del tejido i ante un fotón de energía E (Jackson D. F., et al, 1981) y $\Omega(E) \Omega(E)$ es el valor del espectro emitido ante una energía fotónica E (Tuckeretal, 1991).

Para la construcción de la curva de calibración se emplean tejidos con bajos, medios y altos números de *Hounsfield*; utilizando un mayor número de tejidos blandos por la gran importancia de esta zona del espectro en el estudio del cuerpo humano. El resto de los puntos de la curva se obtiene por interpolación de los así obtenidos (Fig. 6).

En las curvas de calibración se pueden distinguir tres zonas:

- Tejidos esponjosos: abarca la zona comprendida entre -1000 y -100 HU y representa el aire, pulmones y tejidos adiposos.
- Tejidos blandos: en el rango comprendido entre -100 y 100 HU, siendo representación de los tejidos blandos.
- Tejidos óseos: para valores superiores a 100 HU.

La pendiente de la curva de calibración es muy diferente entre estas tres zonas.

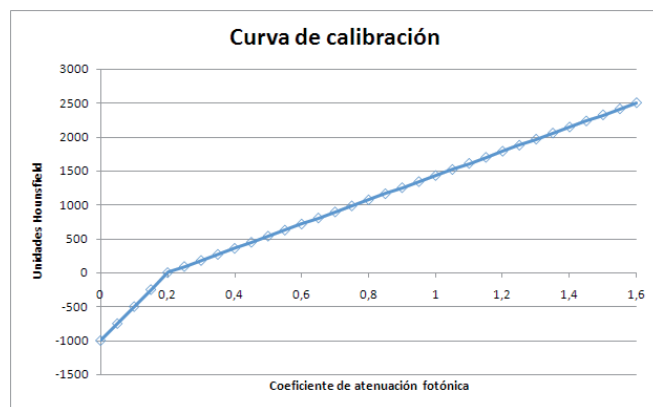


Fig. 6: Curva de calibración

2.4. VISUALIZACIÓN DE IMÁGENES EN FORMATO DICOM

La visualización de imágenes médicas a partir del formato DICOM se realiza mediante la correcta interpretación de la diversa información que el referido formato contiene. Desde el punto de vista de la ingeniería es importante poder conocer con exactitud la disposición en el espacio de los puntos que constituyen la anatomía del paciente.

El *software* que permite la visualización de las imágenes almacenadas en formato DICOM puede limitarse a la

representación de la imagen adquirida en su vista axial (Fig. 7) o puede implementar la capacidad de reconstrucción de las vistas coronal y sagital a partir de la información obtenida de los datos recogidos en el archivo DICOM (Fig. 8).

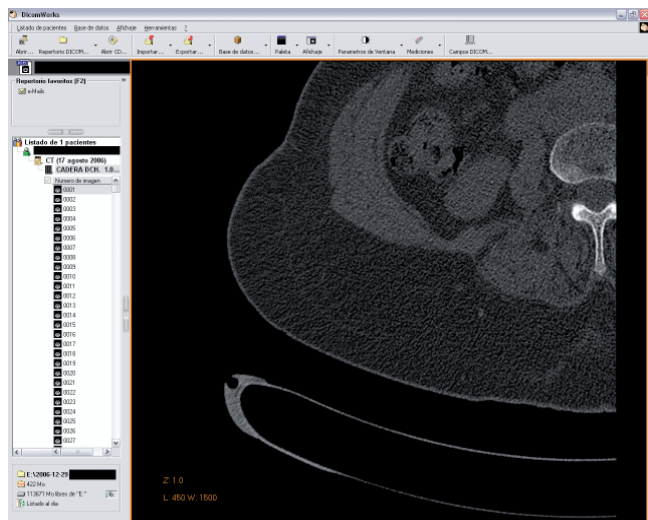


Fig. 7: Programa DicomWorks® de visualización de imagen médica

Un estudio basado en imagen médica está constituido generalmente por un conjunto de series independientes entre sí, conteniendo cada una de ellas un subconjunto de imágenes con sus correspondientes atributos. Cada serie puede presentar distintos valores en los diversos atributos, pudiendo diferir del resto de las series tanto en posición como en orientación y escala.

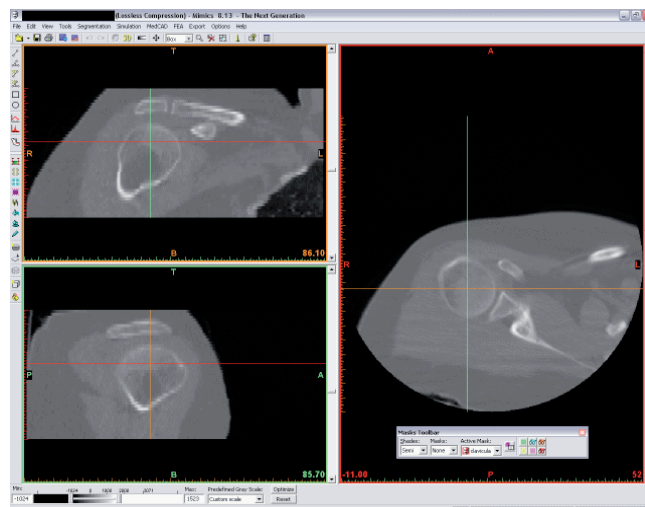


Fig. 8: Programa Mimics® de visualización de imagen médica con proyecciones coronal y sagital

la realidad recogida durante el proceso de adquisición de las imágenes.

El proceso radiológico de adquisición de imágenes consiste en la exploración, generalmente mediante TAC, del paciente, durante la cual la estación de trabajo que controla el dispositivo genera los cortes axiales de la anatomía del paciente, de la manera referida en la Tabla I, y crea automáticamente las imágenes representativas de éstos, dando la opción de ser exportadas en un formato digital de almacenamiento de imágenes (DICOM) a cualquier soporte informático (CD, DVD, llave de memoria, etc.).

Atributo	Etiqueta	Atributo	Etiqueta
TransferSyntaxUID	(0x0002, 0x0010)	StudyInstanceUID	(0x0020, 0x000d)
ImageType	(0x0008, 0x0008)	SeriesInstanceUID	(0x0020, 0x000e)
StudyDate	(0x0008, 0x0020)	StudyID	(0x0020, 0x0010)
SeriesDate	(0x0008, 0x0021)	SeriesNumber	(0x0020, 0x0011)
AcquisitionDate	(0x0008, 0x0022)	AcquisitionNumber	(0x0020, 0x0012)
StudyTime	(0x0008, 0x0030)	InstanceNumber	(0x0020, 0x0013)
SeriesTime	(0x0008, 0x0031)	ImagePositionPatient	(0x0020, 0x0032)
AcquisitionTime	(0x0008, 0x0032)	ImageOrientationPatient	(0x0020, 0x0037)
Modality	(0x0008, 0x0060)	SliceLocation	(0x0020, 0x1041)
StudyDescription	(0x0008, 0x1030)	SamplesPerPixel	(0x0028, 0x0002)
SeriesDescription	(0x0008, 0x103e)	Rows	(0x0028, 0x0010)
PatientsName	(0x0010, 0x0010)	Columns	(0x0028, 0x0011)

Tabla III: Etiquetas y atributos DICOM

Los diferentes valores que, dentro de un mismo estudio, presentan los atributos entre series diferentes requieren el acceso a los valores de cada capa contenida en las mismas, de manera que se tenga la certeza de estar representando siempre

A tal fin, el estándar DICOM recoge los valores de los atributos necesarios para la reconstrucción en una serie de etiquetas (Tabla III) a las que se accede vía *software* haciendo llamadas a la etiqueta correspondiente. Dichos valores

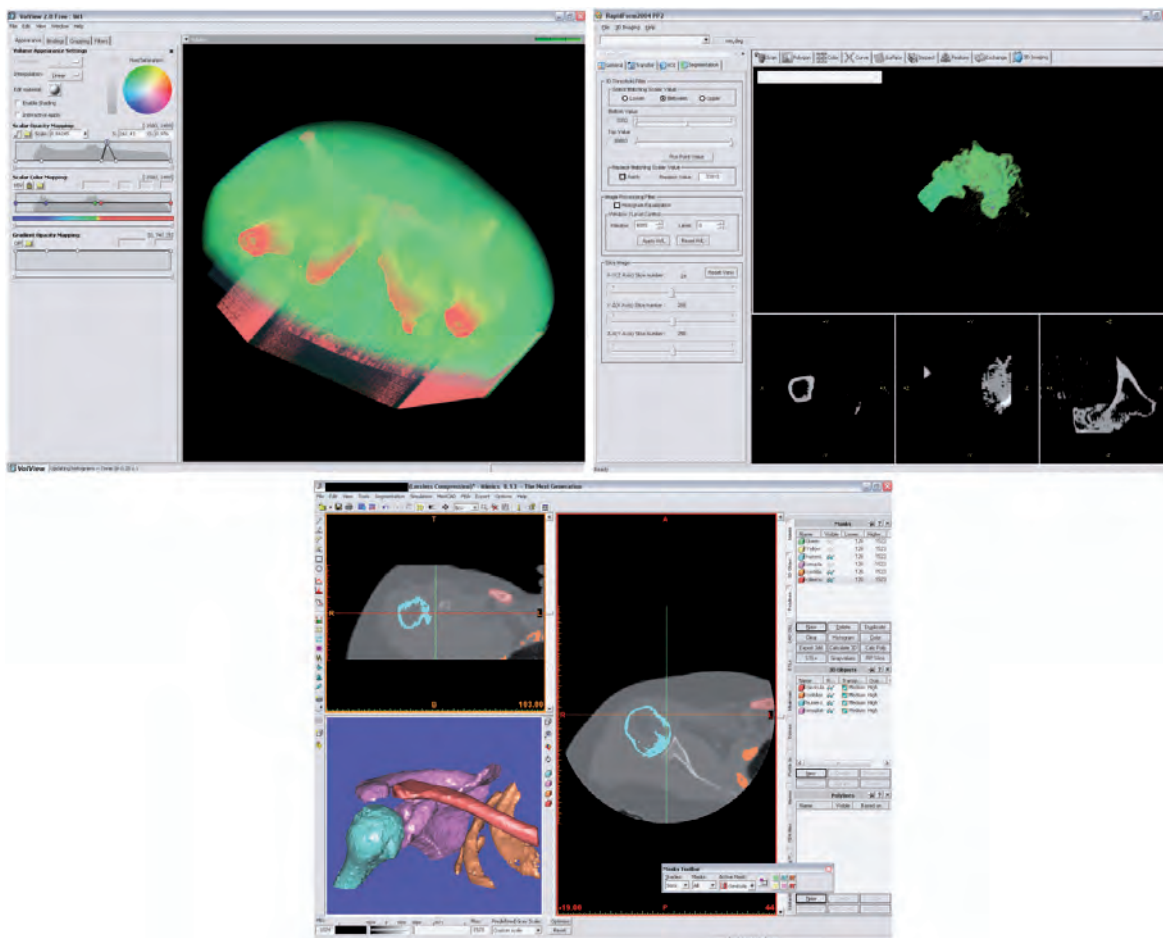


Fig. 9: Diversos sistemas (VolView®, RapidForm®, Mimics®) de visualización 3D de imagen médica

se encuentran expresados tanto con valores numéricos como con caracteres de texto cuyo significado puede ser interpretado o bien directamente o bien a través de tablas que el propio estándar facilita.

El número de serie es un número que identifica a la serie sin ser necesariamente consecutivo. El número de adquisición es un número que se otorga a cada serie, teniendo cada una un número distinto y consecutivo. El número de instancia es el que identifica cada archivo del estudio DICOM dentro de la propia serie. Es a decir, dentro de un mismo estudio dos archivos pueden tener el mismo número de instancia, pero no dentro de una misma serie.

La posición en z de las diversas capas se determina comparando los valores presentados en diversas etiquetas de los DICOM, siendo una de ellas la localización en Z de la capa y otra las coordenadas del vóxel superior izquierdo de cada capa. Con estas referencias y considerando el sistema de coordenadas que establece el formato DICOM se puede realizar la reconstrucción tridimensional de la matriz de puntos que es resultado del estudio de imagen médica.

Una vez reconstruida espacialmente la imagen, ésta puede ser interpretada en tres dimensiones mediante la aplicación

de diverso *software*, si bien existen librerías (dcmTk, itk, vtk...) ya desarrolladas que permiten la implementación de estas rutinas en *software* propio.

El uso del estándar DICOM tras la adquisición de imágenes del paciente, permite el empleo de *software* de reconstrucción tridimensional que, a partir de los datos recogidos durante la toma de imágenes, puede recrear la anatomía del paciente en tres dimensiones, posibilitando la visión de la patología desde distintos puntos y evitando la necesidad de segundas y terceras pruebas radiográficas para obtener nuevas perspectivas.

Existen diversos programas que realizan estas reconstrucciones, basándose generalmente en librerías de amplia difusión en los entornos de la ingeniería gráfica (itk, vtk, dcmTk...) que facilitan e incluso automatizan estos procesos (Fig. 9).

La capacidad de estos programas para reconstruir tridimensionalmente los datos recogidos en capas por los sistemas de imagen médica, se basa en los registros referentes a las coordenadas espaciales de los puntos representados en cada capa del estudio, que se almacenan, junto a la información de la imagen, en el formato DICOM.

La contrastada fiabilidad de los datos es de vital importancia a la hora de realizar una modelización 3D que permita el diseño preciso de implantes basándose en los estudios generados a partir de imagen médica.

Si bien la reconstrucción se encuentra relativamente automatizada por las librerías ya mencionadas, la interpretación correcta de los diversos valores y el acceso a las etiquetas adecuadas para emplearlas como parámetros de entrada en estas librerías son parte fundamental de una reconstrucción válida de la anatomía representada en los archivos DICOM.

El amplio número de aparatos que generan archivos en formato DICOM a partir de adquisiciones de todo tipo realizadas a pacientes por todo el mundo, puede generar ligeras diferencias en la interpretación de los datos que pueden causar graves alteraciones en la reproducción de la anatomía del paciente. Es pues importante que el *software* a emplear sea de contrastada fiabilidad.

Es de especial importancia centrar la atención en la posibilidad de que series de un mismo estudio tengan distinto tamaño de píxel, y por ello distinta escala, y que estén centradas en puntos no alineados a lo largo del eje del estudio (Fig. 10), de manera que una reconstrucción que no considere estos parámetros, aceptando como correctos los obtenidos de la primera serie, estaría generando un grave error en la reconstrucción de la anatomía. Error que se transmitiría íntegramente al diseño del implante y que no sería observable hasta el tiempo quirúrgico, momento en el que los errores son irresolubles.

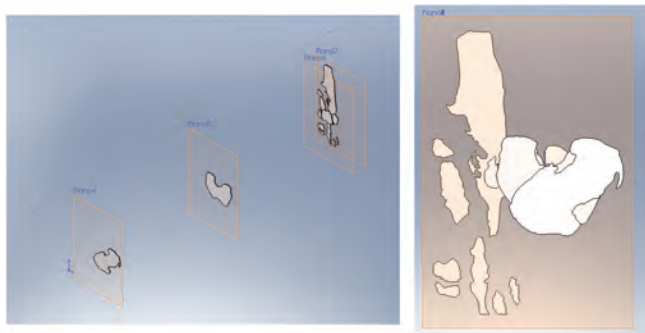


Fig. 10: Distintas escalas y centros en series de un mismo estudio

2.5. RECONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DE LA ANATOMÍA

El proceso mediante el cual se pasa de imágenes bidimensionales a objetos tridimensionales se denomina *segmentación*. Generalmente este proceso se realiza determinando una serie de puntos según un criterio y desechando los demás para, posteriormente, generar una reconstrucción en tres dimensiones de los vóxeles que se han incluido en el rango.

Lo habitual es utilizar un rango de la escala de grises en la que se representa la imagen, de manera que todos los vóxeles contenidos en dicho rango pasan a ser considerados en sus tres dimensiones (X, Y, Z) y en su volumen.

Para facilitar el proceso se utiliza como escala la determinada por *Hounsfield*, dada la asiduidad con la que esta escala es empleada en el entorno clínico para delimitar tejidos y estructuras óseas.

2.5.1. Ventanas de unidades Hounsfield

La obtención del rango a segmentar se lleva a cabo mediante el uso de ventanas. Estas ventanas constan de un centro y de una amplitud, determinando de este modo el valor medio a partir del cual se realiza la segmentación.

Fijar un centro de ventana implica establecer un valor de densidad del tejido. Si este centro se sitúa en zona de tejido óseo, con una correcta amplitud de ventana se puede seleccionar las estructuras con la densidad requerida.

Se selecciona un centro alto de ventana, con una amplitud baja, para abarcar en el rango de selección los tejidos óseos de alta densidad. Se emplea un centro bajo de ventana para la selección de tejidos blandos.

Aplicación de la ventana adecuada:

Una vez determinada la ventana más adecuada, acorde con el valor medio en unidades *Hounsfield* de los tejidos de interés (Fig. 11), se puede proceder a aislar los vóxeles que forman parte de ese rango.

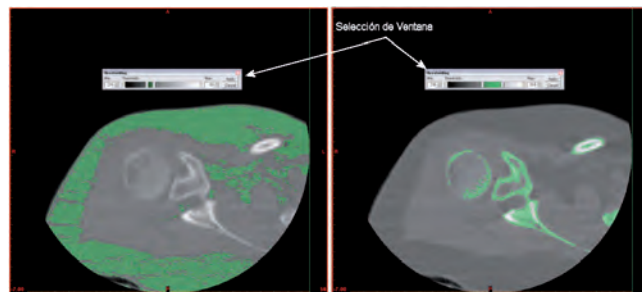


Fig. 11: Selección de ventana para la segmentación

Los vóxeles seleccionados aparecen en diferente color sobre la imagen TAC con el fin de facilitar su identificación (Fig. 12) y permitir la modificación de centro y amplitud de ventana hasta incluir en el rango los vóxeles objeto de interés.

Una vez seleccionados los vóxeles de interés se procede a realizar la reconstrucción de los mismos en tres dimensiones. Para ello habitualmente se emplean diversas librerías como la *Visualization ToolKit* (vtk), *Insight Segmentation and Registration Toolkit* (itk) y la *DICOM Toolkit* (dcmstk).

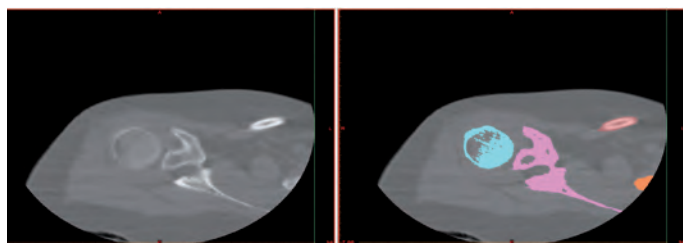


Fig. 12: Visualización de vóxeles seleccionados por ventanas

De esta manera, se utiliza como datos de entrada la matriz de vóxeles contenidos en el rango de selección obteniéndose, una vez procesados por los algoritmos de las librerías referidas, una serie de datos susceptibles de ser representados en un entorno tridimensional (Fig. 13).

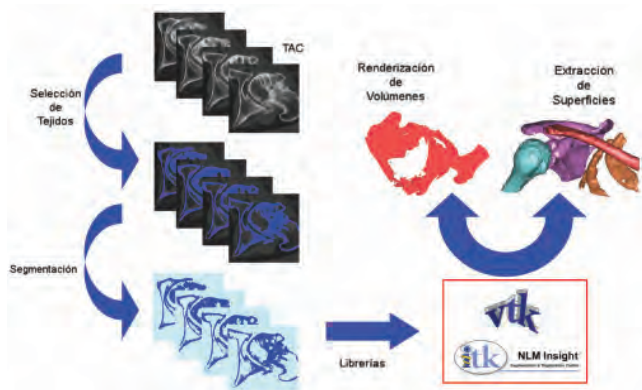


Fig. 13: Proceso de segmentación

2.5.1. Determinación de la geometría a estudiar

La adquisición de imágenes médicas se realiza generalmente a lo largo de un eje, obteniéndose las otras dos vistas mediante reconstrucciones e interpolaciones de la información existente. De tal manera que, para conocer la dimensión en sentido horizontal y vertical de la imagen tomada, resulta imprescindible determinar el tamaño real de cada pixel en milímetros. La reconstrucción de las otras dos vistas precisa de la distancia que existe entre dos imágenes consecutivas y del espesor de la imagen.

El espesor de la capa de imagen, junto con el tamaño del pixel, determina la precisión del estudio, si bien para la reconstrucción de las otras dos vistas generalmente se requiere interpolar la información ya que la distancia entre capas normalmente supera con creces el espesor de cada capa. La interpretación en tres dimensiones de los datos dependerá de estos parámetros (Fig. 14): espesor de la capa (s), distancia entre capas (h) y tamaño del pixel en las dos dimensiones de la imagen (P_x, P_y).

También se debe considerar el efecto de la posición del paciente a la hora de interpretar geoméricamente los datos, pues la reconstrucción no será la misma si las imágenes de las primeras capas han sido adquiridas en planos normales al eje del aparato, mientras que el resto lo han sido en planos oblicuos.

La determinación exacta de la geometría objeto de estudio requiere el conocimiento de:

- El tamaño en las tres dimensiones de los píxeles que forman cada capa: estas tres dimensiones determinarán el volumen del vóxel y fijarán la precisión del estudio.
- El número de píxeles que componen cada capa: que constituirá la resolución de la imagen.
- La distancia entre capas: que, si es superior a

la dimensión en ese eje del vóxel, obligará a la interpolación de los datos para la reconstrucción del estudio.

- La orientación de las capas que forman el estudio entre sí: pues un estudio puede estar constituido por series de imágenes que no son paralelas entre sí, tienen distinta escala o están descentradas unas respecto de otras.
- La posición del paciente respecto al aparato de adquisición de imágenes médicas: que permitirá a los ingenieros reconstruir la posición del mismo dentro del sistema de referencia usado en el computador.

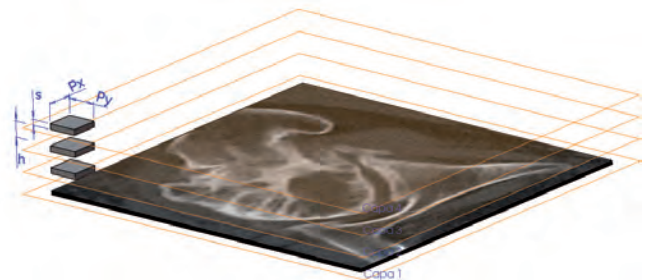


Fig. 14: Parámetros geométricos para la reconstrucción 3D

2.5.3. Visualización de la reconstrucción

La manera en que las diferentes librerías realizan la reconstrucción en tres dimensiones genera diversos modos de visualización, siendo el renderizado de volúmenes el más adecuado a la hora de observar diversos tejidos, con la ayuda de la sustracción digital (Fig. 15), y la extracción de superficies (Fig. 16) el más adecuado a la hora de manejar y exportar a *software* de diseño mecánico los objetos tridimensionales (Fig. 17).

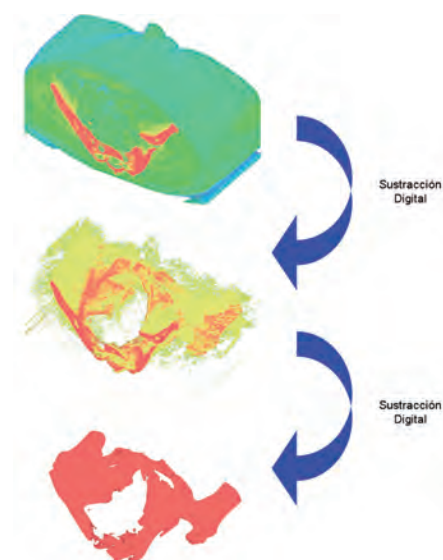


Fig. 15: Reconstrucción tridimensional mediante renderizado de volúmenes

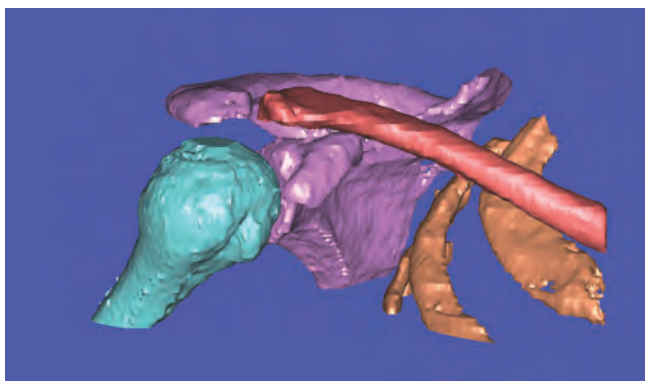


Fig. 16: Reconstrucción tridimensional mediante extracción de superficies

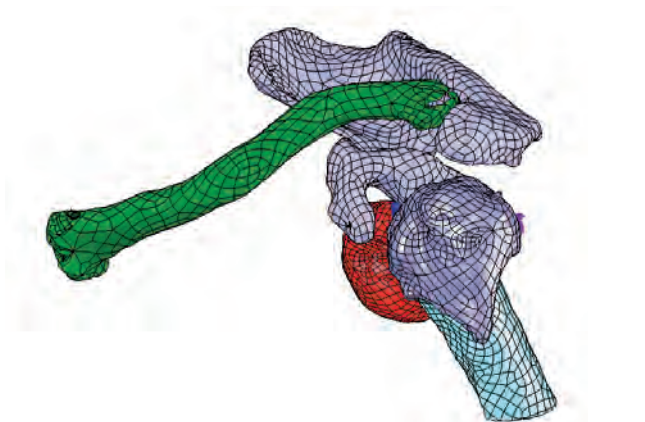


Fig. 17: Exportación a software de diseño mecánico de objetos 3D

3. CONCLUSIONES

La reconstrucción y simulación tridimensional de la anatomía humana puede resultar sencilla y asequible, si bien la reconstrucción precisa requiere poder acceder a los datos del archivo de imagen a bajo nivel, pudiendo constatar que lo representado por el *software* es lo recogido durante el proceso de captación de las imágenes.

Diverso *software* comercial pierde fiabilidad ante estudios complejos, siendo en estos casos recomendable el uso de un *software* propio que permita la trazabilidad geométrica de los puntos de la anatomía. La mayoría de aplicaciones reconstruyen la anatomía a partir del dato de distancia entre imágenes y el espesor de la imagen, no siendo sólo importante estos datos y el coeficiente de absorción de cada punto en el espacio, también es necesario conocer con certeza la escala y la posición real de cada punto, pues en estudios de elevada complejidad se ha constatado imágenes que no respetaban la equidistancia entre ellas o que modificaban sus coeficientes de aspecto y puntos centrales de imagen.

Se definen como críticos para cada punto, de cara a la validez y fiabilidad del estudio, los datos de posición en X, Y, Z individual, el dato del instante temporal, los datos que definen el volumen de cada "punto" y los datos que establecen su coeficiente de absorción y su escala.

La ventaja de un *software* desarrollado bajo estas premisas reside en la interpretación altamente fidedigna de los valores presentes en los atributos DICOM, dejando en segundo plano otros criterios como la comerciabilidad de la aplicación.

El resultado es un *software* exigente con el usuario pero de amplio potencial de desarrollo y uso, con el inconveniente de no ser adecuado para personal no cualificado.

4. AGRADECIMIENTOS

Proyecto realizado dentro del Programa de Fomento de la Investigación Técnica del Ministerio de Industria Comercio y Turismo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Götte C, Steens W, Vieth V, et al. 2002. Primary stability in cementless femoral stems: custom-made versus femoral prosthesis. *Clinical Biomechanics*, 17, pp.167-273.
- Jackson DF, Hawkes DJ. 1981. X-ray attenuation coefficients of elements and mixtures. *Physics Report*, 70(3), pp.169-233.
- Graf R. 2006. Cup navigation, a new approach for total hip endoprosthesis. *J Bone Joint Surg Br*, (88-B), pp.59-e-60.
- Kayser K, Görtler J, Goldmann T, et al. 2008. Image standards in Tissue-Based Diagnosis (Diagnostic Surgical Pathology). *Diagnostic Pathology*, 3, p.17.
- Kock E A d. 2003. CT calibration curves for proton radiotherapy planning. Internal Report. iThemba Labs
- Van der Bijl L, Kock E A d, Muller N. 2005. Influence of different portal radiograph reconstruction methodologies on the accuracy and efficiency of automatic treatment setup verification during conformal radiotherapy. In Sixteenth Annual Symposium of the Pattern Recognition Association of South Africa.
- Dong L, Boyer AL. 1995. An image correlation procedure for digitally reconstructed radiographs and electronic portal images. *Int J. Radiation Oncology Biol. Phys.* 33(5), pp.1053-60.
- Lewallen DG, Berry DJ. 1997. Instructional Course Lectures, The American Academy of Orthopaedic Surgeons - Periprosthetic Fracture of the Femur After Total Hip Arthroplasty. Treatment and Results to Date. *J.Bone and Joint Surg.* (79-A), pp.1881-1890.
- Lindahl H, Garellick G, Regnér H, et al. 2006. Three hundred and twenty-one periprosthetic femoral fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery (American)*, (88), pp.1215-22.
- Singh G. 2008. Digital diagnostics: Three-dimensional modelling. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 46, pp.22-26.
- Tuckeretal DM. 1991. Semiempirical model for generating tungsten target x-ray spectra. *Medical Physics*, 18(2), pp.211-18.
- Vicenconti M, Muccini R, Bernakiewicz M, et al. 2000. Large-sliding contact elements accurately predict levels of bone-implant micromotion relevant to osseointegration. *Journal of Biomechanics*, (33), pp.1611-18.
- Walker PS, Robertson DD. 1989. Design and fabrication of cementless hip stems. *Clinical Orthopaedics*, 249, pp.122-28.

Los sistemas de mejora continua y el despilfarro: la continuación de la obra de TAYLOR



Luis Paipa-Galeano* **
Mari Carmen Jaca-García*
Javier Santos-García*
Elizabeth Viles-Diez*
Ricardo Mateo-Dueñas***

Ingeniero de Producción
Ingeniera Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Dra. en Ciencias
Dr. en Economía e Ingeniero Industrial

* TECNUN. Paseo Manuel de Lardizabal, 13 – 20018 San Sebastián. Tfno: +34 943 219877.
cjaca@tecnun.es; jsantos@tecnun.es; eviles@tecnun.es; lpaipa@tecnun.es

** UNIVERSIDAD DE LA SABANA. Campus Universitario del Puente del Común, Km. 7, Autopista Norte de Bogotá - Cundinamarca (Colombia). Tfno: +571 861 5555.

*** UNIVERSIDAD DE NAVARRA. Campus Universitario Pamplona - 31008 Pamplona (Navarra). Tfno: +34 948 425600. rmateo@unav.es

Recibido: 17/06/2010 • Aceptado: 11/01/2011

THE CONTINUOUS IMPROVEMENT SYSTEMS AND THE WASTE: the continuation of TAYLOR'S work

ABSTRACT

- After Taylor and Ford's approaches, the Japanese industry, with its main leading exponent Toyota, showed that it is possible to have a greater level of flexibility and productivity through its principles of "just in time, versatility of labor, any inventory, continuous flow production and continuous improvement. Diversity of concepts, proposals and even philosophies have arisen from the original ideas of Taiichi Ohno and his associates, however, when they are going to be implemented in a organization its key essence is lost.

The purpose of this paper, result of a review of the literature on continuous improvement systems, is to show how different approaches developed around the Toyota Production System interact. At the same time to emphasize in their common and decisive points to consider in its implementation.

For this task, it has to be turned to original concepts of the leading authors such as Taiichi Ohno, Masaaki Imai, Hiroyuki Hirano, Shigeo Shingo, James Womack and Daniel Jones. All of them known such as gurus in the field of continuous improvement. Thus, this article contributes to a holistic understanding on continuous improvement systems implementation.

As a conclusion, besides the wasting considered the focus of attention of different approaches, there is also a general interest in engaging staff in improvement programs through the change of habits, permanent staff training in the improvement fundamentals and techniques, leaving behind the vicious circle that links continuous improvement with a condition of lacking work, and finally motivate a change of mind, create a climate of trust before starting to implement a continuous improvement program. In this sense, the management processes and the learning of employees working in harmony are two aspects that lead an organization to improve in both: productivity as competitiveness.

- **Key words:** Continuous improvement, waste, transaction processing system.

RESUMEN

Después de los planteamientos de Taylor y Ford, la industria japonesa, con su principal exponente Toyota, demostró que es posible tener un mayor nivel de flexibilidad y productividad a través de sus principios de *Just in Time*, polivalencia de la mano de obra, cero inventarios, producción en flujo continuo y mejora continua. Diversidad de conceptos, propuestas y hasta filosofías han surgido de las ideas originales de Taiichi Ohno y sus colaboradores y, en muchos casos, al querer ser implantados en la organización se pierde la esencia de lo verdaderamente importante.

La finalidad de este artículo, resultado de una revisión bibliográfica sobre sistemas de mejora continua, es mostrar cómo interactúan los diferentes planteamientos desarrollados en torno al Sistema de Producción Toyota, y al mismo poner de relieve sus aspectos comunes y los puntos críticos a considerar en su implementación.

Para tal fin, se ha recurrido a los conceptos originales de los principales autores como son Taiichi Ohno, Masaaki Imai, Hiroyuki Hirano, Shigeo Shingo, James Womack y Daniel Jones, todos ellos considerados gurús de la mejora continua. Así, el artículo contribuye a una comprensión holística sobre la aplicación de los sistemas de mejora continua.

Como síntesis conclusiva se extrae que, además del despilfarro considerado el centro de atención de los diferentes planteamientos, existe también un interés general por lograr la participación del personal en los programas de mejora a través del cambio de hábitos, capacitar permanente al personal en los fundamentos y

técnicas sobre mejora, romper el círculo vicioso que asocia la mejora continua con la pérdida del empleo y, finalmente, generar un cambio de mentalidad como precondition al comenzar a implantar un programa de mejora continua.

En este mismo sentido, la gestión de los procesos y el aprendizaje de las personas son dos aspectos que conducen, de manera interrelacionada, a que una organización mejore su productividad y competitividad.

Palabras clave: Mejora continua, despilfarro, sistema de procesamiento de transacciones.

1. INTRODUCCIÓN

Hablar de sistemas de mejora continua hace pensar indudablemente en los sistemas de producción industrial que clásicamente se han dado en diferentes contextos nacionales y que han caracterizado el desarrollo de la economía de una sociedad.

Principalmente, en Norteamérica, dos legendarios de la producción industrial fueron **Frederick W. Taylor** (1856-1915) y **Henry Ford** (1863-1943). Taylor considerado como el padre de la *Scientific Management* y de la ingeniería industrial (Emerson and Naehring 1988), orientó sus aportaciones a la relación entre el trabajador y las técnicas de producción industrial con el fin de maximizar la eficiencia de la mano de obra y de las máquinas y herramientas. Taylor trató de organizar la actividad productiva de un modo tal que tanto empresarios como trabajadores alcanzaran sus deseos; así introdujo su propuesta más importante y fundamental conocida como la “revolución mental” con la que intentaría transformar las relaciones de antagonismo entre empresarios y trabajadores (Muñoz 2010).

El núcleo del sistema de gestión de Taylor consistió en descomponer el proceso de producción en sus partes y lograr mejorar la eficiencia de cada uno de ellos. (Hopp and Spearman 2001). En este sentido, Taylor propuso la división sistemática de las tareas, la organización racional del trabajo en secuencias, el cronometraje de las operaciones y hasta un sistema de motivación mediante el pago de primas al rendimiento.

Por otro lado, Ford fue famoso por su sistema de producción en línea que revolucionó la industria permitiendo pasar de la clásica producción artesanal a la producción en serie o producción en masa. Su principio fundamental se basó en mantener en movimiento el producto de tal manera que este llegara al trabajador y no el trabajador al producto (Hopp and Spearman 2001).

A riesgo de caer en una generalización, se puede afirmar que tanto las contribuciones de Taylor como las de Ford llevaron a la industria norteamericana a su más vigoroso desarrollo. Al respecto, los historiadores muestran que hubo un periodo de desarrollo industrial entre finales del siglo XIX y la Segunda Guerra Mundial y una aceleración considerable de la productividad en el periodo de madurez del industrialismo entre 1950 y 1973 (Castells 1996).

Posteriormente la llamada crisis económica de 1973 condujo a las empresas a diversificar sus mercados por todo el mundo con lo cual la demanda se volvió impredecible en cantidad y calidad. En estas condiciones, el sistema productivo en serie heredado de los métodos de gestión del “taylorismo” y “fordismo” resultó ser demasiado rígido y costoso para atender las características de la nueva economía. Los historiadores económicos muestran que precisamente en el periodo de 1973-1993 hubo una disminución significativa de la productividad a pesar del importante aumento de los insumos tecnológicos y de la aceleración del ritmo del cambio tecnológico. (Castells 1996).

Ahora bien, es sabido que en Japón después de la Segunda Guerra Mundial la mayoría de las compañías tuvieron que comenzar literalmente de nuevo (Imai 2006) y no pudieron adaptar los conceptos de producción occidentales dada sus limitaciones de espacio y recursos disponibles. Por este motivo, las raíces de su sistema de producción, como es el *Just in Time*, se encuentran profundamente vinculadas a sus aspectos culturales geográficos y económicos; los japoneses aprendieron a producir con sus limitaciones bajo estrictas políticas de control de materiales (Hopp and Spearman 2001), lo que indudablemente marcó un hito para el desarrollo de los conceptos relacionados con los sistemas de producción y mejora continua. A través de estas limitaciones se desarrollaron los conceptos de gestión alrededor del despilfarro, como base de la mejora productiva y el crecimiento económico sostenido de la industria japonesa.

Durante el periodo posterior a la crisis de 1973, a pesar del bajo crecimiento de la economía, el éxito de la industria japonesa atrajo la atención de muchos empresarios principalmente occidentales. Dicho éxito fue atribuido a la alta productividad, flexibilidad y capacidad de adaptación en la nueva dinámica del mercado (Shingo 1990). En este contexto se explica por qué en Occidente surge un periodo caracterizado por una amplia tendencia a la evolución organizativa: “La transición de la producción en serie a la producción flexible” (Castells 1996).

Se puede afirmar que la obra de Taylor que llega a su primer centenario (Muñoz 2010) y los planteamientos de Ford con todo su sistema de producción en serie, han sido de alguna manera superados por el pensamiento nipón.

Si bien Muñoz arguye que algunos de los principales tratadistas de estos tiempos señalan la necesidad de continuar estudiando sobre las obras fundamentales de Taylor, por nuestra parte consideramos que es preciso, aún más, estudiar en detalle y de manera integral los planteamientos de los principales autores que han contribuido a la construcción de los conceptos alrededor de la eliminación del despilfarro. Estos planteamientos han demostrado ser bases efectivas que permiten a una organización adaptarse y mantener el éxito sostenido en la dinámica de un mercado global.

En este sentido, como contribución al propósito de estudiar de manera integral dichos planteamientos se presenta, a través de este artículo, el resultado de una revisión bibliográfica relacionada con los conceptos originales

expuestos por Taiichi Ohno, Masaaki Imai, Hiroyuki Hirano, Shigeo Shingo, James Womack y Daniel Jones.

Así, a partir sus obras tituladas: *Toyota Production System* (Ohno 1988); *Kaizen: La clave de la Ventaja Competitiva Japonesa* (Imai 2006); *Manual para la implantación del JIT: Una guía completa para la fabricación “Just in Time”* (Hirano 1991); el *Sistema de Producción Toyota: desde el punto de vista de la ingeniería* (Shingo 1990) y *Lean Thinking: Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa* (Womack & Jones 2003), se realiza un análisis en el cual se muestra cómo interactúan los diferentes planteamientos desarrollados en torno al Sistema de Producción Toyota y, al mismo se identifican los aspectos comunes y los puntos críticos a considerar en su implementación.

2. LA BASE DE LA MEJORA: ELIMINACIÓN DEL DESPILFARRO

La literatura muestra que **Taiichi Ohno** (1912-1990) identificó que toda aquella actividad que absorbe recursos y no genera valor alguno podría llamarse despilfarro. A través de su experiencia demostró que el despilfarro en una planta podría manifestarse por dondequiera: productos defectuosos, sobreproducción de bienes innecesarios, existencias de productos esperando ser procesados, reprocesamiento, movimientos de personal no requerido, transporte innecesario de productos y paradas de los empleados esperando que una máquina termine su procesamiento (Ohno 1988). De aquí nacieron sus famosos siete tipos de despilfarro y con ello impulsó el desarrollo de todos los conceptos relacionados con la mejora continua, “Fue el enemigo más feroz de los despilfarros de toda la historia” (Womack and Jones 2003).

Despilfarro, desperdicio, waste o muda, como suele conocerse es el término sobre el cual gira todo el *Sistema de Producción Toyota*. Bajo esta misma expresión, diversos autores de reconocido prestigio en el mundo de la producción, entre las décadas de 1980 y 1990, han propuesto otras formas que permiten de una u otra manera contribuir a la eliminación del despilfarro.

Por ejemplo, **Masaaki Imai** (1930) conceptualiza la filosofía Kaizen; mientras **Hiroyuki Hirano** (1946), a través de herramientas como *Just in Time*, *kanban*, control visual, producción nivelada, fabricación en flujo, entre otras y, desde el enfoque de la revolución del pensamiento y las 5S, buscan de manera integral la reducción del despilfarro (Hirano 1991).

Por otro lado, autores como **James Womack** y **Daniel Jones** (Womack and Jones 2003) dan inicio a los planteamientos del *Lean Thinking*, tomando los conceptos del Sistema de Producción Toyota y de la filosofía *Kaizen* para proponer un sistema integrado de herramientas que permitan la mejora continua desde un enfoque muy particular, el cliente y el flujo de valor.

El despilfarro, tanto en los procesos como en las

operaciones, se considera como una de las principales causas de la baja productividad en cualquier tipo de organización. Tener como objetivo la eliminación de al menos estos siete tipos de despilfarro permite mejorar la competitividad y la excelencia de forma sostenida.

Si bien las diferentes propuestas giran alrededor del concepto despilfarro, cada una tiene sus aspectos particulares que a manera de síntesis van a resumirse en las siguientes líneas.

3. EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN TOYOTA

El Sistema de Producción Toyota (TPS por sus siglas en inglés) nace de la combinación de dos conceptos fundamentales de la producción formulados por **Sakichi Toyoda** (1867-1930), fundador del grupo Toyota y su hijo **Kiichiro Toyoda** (1894-1952), primer presidente de la filial Toyota Motor Company, en los años veinte y treinta. Sin embargo, sus conceptos de producción física no se empezaron a convertir en operaciones hasta finales de los años cuarenta gracias a Taiichi Ohno y sus discípulos.

Los conceptos fundamentales del sistema de producción de Toyota hacen referencia, en primer lugar, a las máquinas de paro automático que, al detectar un error, evitan que las piezas defectuosas sigan adelante y perturben el flujo de aguas abajo (*Jidoka*) y, en segundo lugar, a un sistema pull de acuerdo con el cual sólo se fabrican las piezas que realmente son necesarias en la etapa siguiente de producción, es decir lo que se llama el “Just in Time” (Womack and Jones 2003).

El sistema TPS comienza a desarrollarse por el método de ensayo y error con el objetivo de lograr la disminución del despilfarro. Womack y Jones, en su libro “Lean Thinking”, comentan que al poco tiempo de llegar Ohno a Toyota tuvo sus ideas más importantes. En primer lugar se dio cuenta de que los operarios pasaban gran parte del tiempo observando cómo las máquinas realizaban su trabajo, y al mismo tiempo cómo se fabricaban muchas piezas defectuosas antes de que fueran descubiertas por el inspector de calidad a la salida del proceso. Así, Ohno inspirado en esta idea diseñó una serie de mecanismos de forma que las máquinas, una vez cargadas, ejecutasen su trabajo sin intervención del operario y sólo se detuvieran cuando detectasen un error, los famosos Poka-Yoke.

La segunda idea de Ohno le surgió al constatar la existencia de montones de piezas en cada etapa del proceso. Llegó a la conclusión que el problema podría ser resuelto si cada etapa de procesamiento recogía de la etapa precedente el número de piezas que necesitaba para realizar la tarea respectiva. De esta manera surge, aunque de manera rudimentaria el sistema de aprovisionamiento Just in Time (JIT) al imponerse como norma de producción que cada etapa no puede producir más piezas de las que la etapa siguiente ha retirado. En 1953 se introducen las tarjetas *kanban* como un sistema formalizado que hace que la información fluya sin obstáculos aguas arriba al mismo ritmo que las piezas fluyen aguas abajo.

La tercera idea de Ohno fue que las máquinas debían organizarse en forma de herradura, situadas según la secuencia exacta requerida por la pieza a producir. Así Ohno desarrolló el flujo de una sola pieza y la distribución en células con forma de U.

Con un enfoque mucho más científico, en 1989 el ingeniero **Shigeo Shingo** (1909-1990) fundamentó el Sistema de Producción de Toyota en dos elementos: la mejora de los procesos y la mejora de las operaciones (Shingo 1990).

Según estos fundamentos, en el proceso se contempla el flujo del material en el tiempo y en el espacio. Es decir, se considera toda la transformación que sufre la materia prima a componentes en proceso y productos acabados. Por su parte, en las operaciones se contempla el trabajo realizado para completar dicha transformación, esto es, la interacción y flujo de equipos y trabajadores en el espacio y el tiempo. El análisis del proceso examina el flujo del material o del producto en tanto que el análisis de operaciones examina el trabajo realizado por el trabajador y la máquina (Shingo 1990). Una síntesis de lo expuesto puede verse en la Figura 1.

Smith 1994).

Imai hace énfasis en tres aspectos fundamentales. El primero es pensar en los procesos. Pensar en ellos significa que las operaciones de producción (o prestación de servicios) nacen de las necesidades del cliente (interno o externo). “La estrategia Kaizen reconoce que las administraciones deben buscar la satisfacción del cliente y atender sus necesidades si quieren permanecer en el negocio y obtener utilidades” (Imai 2006).

El segundo aspecto es medir el desempeño de los procesos, pues sólo a través de su medición se pueden introducir mejoras. Imai sugiere que el centro de atención de los gerentes no debe estar exclusivamente en los resultados de una operación (utilidades, unidades vendidas), sino que debe tener en cuenta las medidas del desempeño de un proceso para saber en dónde introducir mejoras.

Como consecuencia, Kaizen incorpora conceptos estadísticos y herramientas para el análisis de los problemas de los trabajos desarrollados por **Juran, Deming e Ishikawa**, como principales exponentes. Además, Imai manifiesta que una herramienta importante para lograr la mejora continua

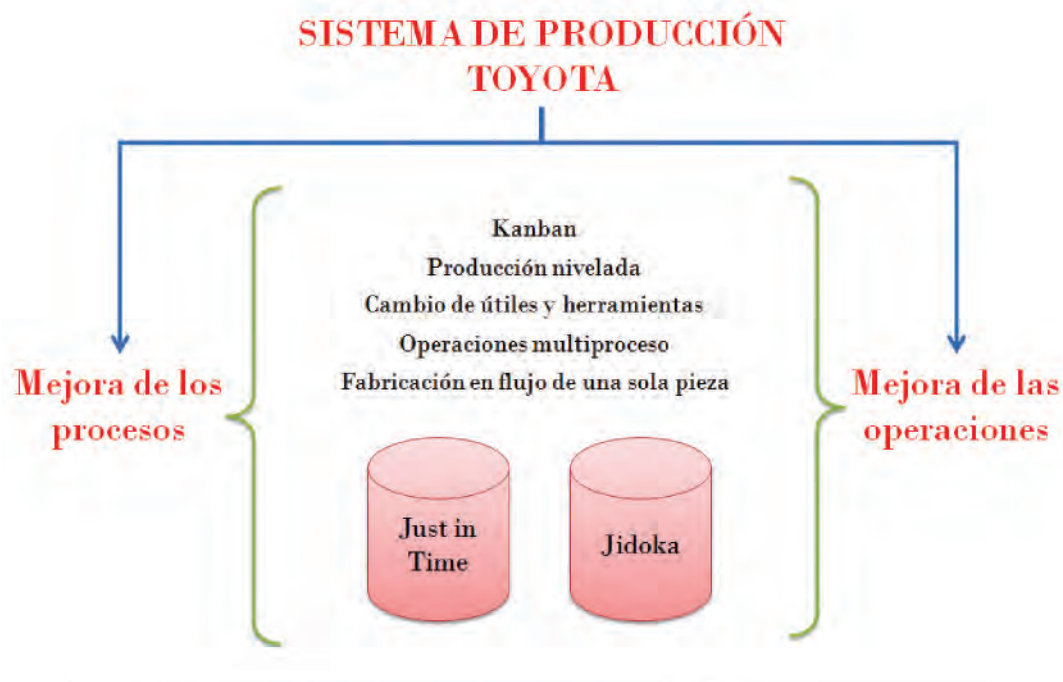


Fig. 1: Sistema de Producción Toyota desde el enfoque de los procesos y las operaciones

4. FILOSOFÍA KAIZEN (MEJORA CONTINUA)

Masaaki Imai presenta a mediados de los años ochenta los elementos conceptuales de la filosofía Kaizen (1986). El término que acuña Imai significa mejora progresiva que involucra a todos, incluyendo tanto a gerentes como a trabajadores (Imai 2006).

En este sentido, Kaizen ha cobrado tal importancia que ha llegado a ser considerado como un elemento clave para la competitividad de las organizaciones japonesas (Elger and

sostenida a lo largo del tiempo es la aplicación del ciclo PDCA, propuesto por Deming.

El tercer aspecto, y no menos importante, consiste en centrar la atención en las personas. Debe existir un clima organizacional que permita el crecimiento de cada persona, aspecto que se encuentra en estrecha relación con la participación de los trabajadores en los grupos o círculos de calidad y en la cultura de las sugerencias por parte de los empleados. En este sentido, Kaizen ha generado una forma

de administración que apoya y reconoce los esfuerzos de las personas orientadas al proceso, aspecto que contrasta con las prácticas administrativas occidentales de revisar estrictamente el desempeño de las personas sobre la base de los resultados y no recompensar el esfuerzo hecho (Imai 2006).

Por otra parte, la implantación de un programa Kaizen puede descomponerse en tres segmentos dependiendo de la complejidad de la organización, estos son: Kaizen orientado a la administración, Kaizen orientado al grupo y Kaizen orientado a la persona (Imai usa el término individuo).

El primero, considerado como el pilar vital, se relaciona con todos los aspectos tanto logísticos como estratégicos y proporciona el impulso para mantener el progreso de la organización y la moral de los trabajadores. En un sentido concreto, Kaizen orientado a la administración se relaciona con la identificación del desperdicio en todas sus posibles manifestaciones. Por tanto, este primer segmento encuentra relación directa con los planteamientos del Sistema de Producción Toyota.

En el segundo segmento, el orientado al grupo, sitúa el trabajo en equipo, representado por los círculos de control de calidad, como un método permanente de resolución de problemas y de toma de decisiones mediante el uso de herramientas estadísticas de calidad. Dicho método también requiere todo el ciclo de PDCA y exige que los miembros del equipo identifiquen además de las áreas problema sus causas, las analicen y ensayen nuevas medidas preventivas y así se logre establecer nuevos estándares y/o procedimientos.

El último segmento, orientado a las personas, se manifiesta en forma de sugerencias, lo cual logra que el trabajador adopte una actitud positiva hacia el cambio y mejora de la forma en que trabaja. Con frecuencia Kaizen orientado a la persona es considerado por Imai como un soporte de la moral y desde este punto, la atención y respuesta a las sugerencias por parte de la administración son esenciales para que los trabajadores se conviertan en “trabajadores pensantes”, y busquen así la mejor manera de ejecutar su trabajo.

Finalmente, un aspecto vital que sostiene Imai, es considerar la mejora continua como asunto de todos y que el éxito de su implementación poco tiene que ver con los factores culturales. La falta de influencia cultural significa entonces que estas prácticas pueden ser y son empleadas con el mismo éxito en cualquier organización. “La diferencia no es de nacionalidad, es de mentalidad” (Imai 2006). Una síntesis de lo expuesto puede verse en la Figura 2.

5. JUST IN TIME – REVOLUCIÓN EN LA FÁBRICA

Hiroyuki Hirano surge como un difusor de las herramientas para lograr la reducción de los desperdicios en el taller de trabajo y lograr así el justo a tiempo de la producción (Gapp et al. 2008). Dichas herramientas hacen referencia a las desarrolladas por Taiichi Onho y Shigeo Shingo a través del Sistema de Producción Toyota.

Sin embargo, Hirano define el JIT como “un área de la ingeniería industrial, que elimina completamente el

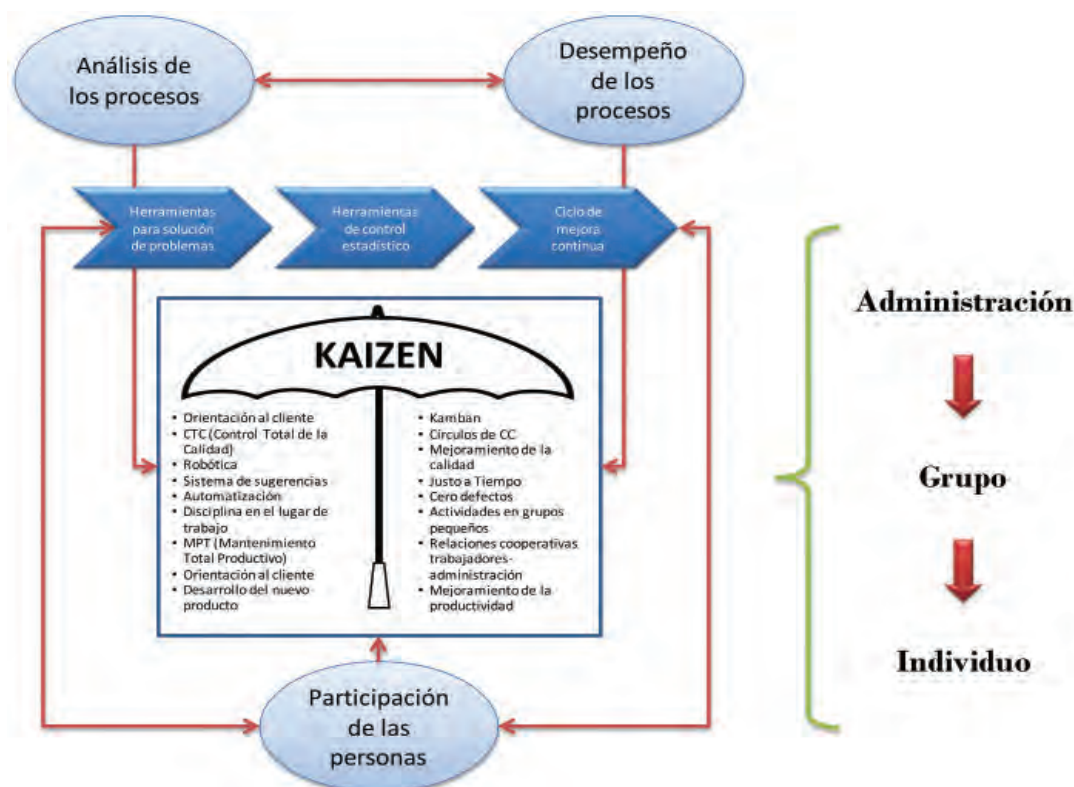


Fig. 2: Filosofía KAIZEN

despilfarro filtrado por todas partes en la mayoría de las fábricas, al mismo tiempo que ayuda a producir productos que sirvan a las necesidades de los clientes” (Hirano 1991). Así, *Just in Time* queda definido como un sistema de producción orientado al mercado que busca satisfacer las necesidades del cliente.

Como primera medida, Hirano hace énfasis en la necesidad de desarrollar la revolución del pensamiento como elemento clave para incorporar las diferentes herramientas del JIT. “Toda innovación comienza en la mente. El concepto de mejora JIT no significa ir directamente a la fábrica para hacer mejorar las cosas que, por supuesto, debe empezar en la alta dirección. En vez de esto, la aproximación mejor es empezar revolucionando la sensibilidad personal” (Hirano 1991).

Como segunda medida, expone que el punto de partida para la implementación del sistema de producción JIT es la aplicación de las 5-S como fórmula que diferencia a la compañía de sus competidores (Bayo M. et al. 2010). Si bien la literatura no presenta a Hirano como desarrollador del concepto (Gapp et al. 2008), sí lo presenta como el primer autor que condiciona su uso al éxito de la filosofía *Just in Time* y con ello a la eliminación del desperdicio. Una síntesis que muestra las diferentes herramientas que componen el sistema se representa en la Figura 3.

6. LEAN THINKING - LEAN MANUFACTURING

En la década de los noventa la filosofía lean propuesta por Womack y Jones comenzó a ser difundida como un sistema

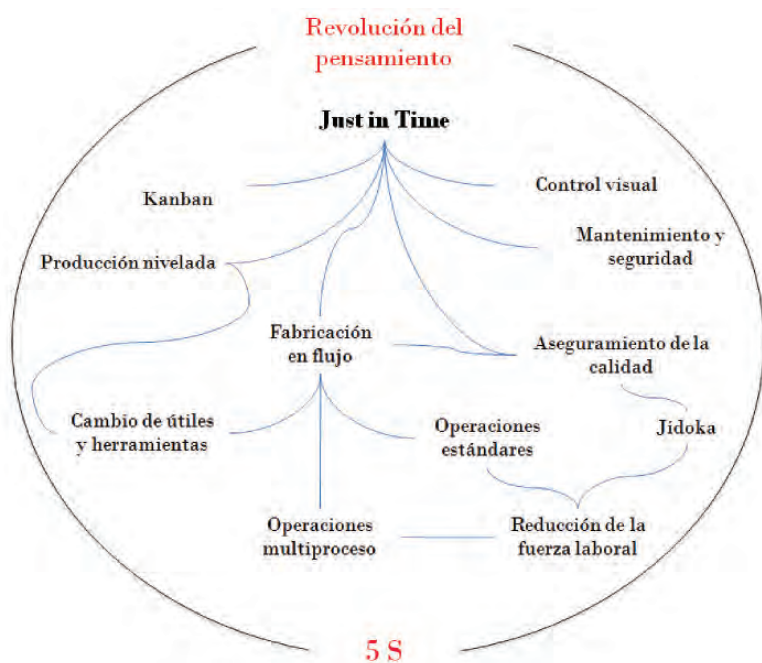


Fig. 3: Sistema de Producción *Just in Time*

empresarial que busca sustituir el sistema de producción propuesto por Ford. *Lean Thinking, Lean Manufacturing o Manufactura Esbelta*, como suele reconocerse, se presenta como una filosofía de pensamiento, caracterizado por la integración de las herramientas que surgen del Sistema de Producción Toyota y los planteamientos de la filosofía Kaizen propuestos por Masaaki Imai.

Lean Thinking, al igual que Kaizen, pone de manifiesto la importancia que tiene el cliente para poder definir sobre la base de sus necesidades todo el flujo de valor de un producto, de un servicio o la combinación de ambos.

Los planteamientos de Womack y Jones pueden ser descritos a través de cinco principios que incluso podrían ser la secuencia de pasos requerida para implantar una filosofía basada en el pensamiento Lean (Womack and Jones 1996):

- Especificar el valor de cada producto desde la perspectiva del cliente. Esto es ponerse del lado del cliente para determinar si una actividad crea valor en función de la satisfacción de sus necesidades. Las actividades que no agreguen valor deben ser eliminadas del proceso.
- Identificar el flujo de valor de cada familia de productos. El flujo de valor se compone de todas aquellas actividades necesarias para pasar desde la materia prima hasta el consumidor.
- Hacer que el valor fluya, que no es más que hacer que fluyan las etapas creadoras de valor sin interrupciones.
- Dejar que el consumidor atraiga hacia sí el valor (*pull*). La conversión de un sistema de producción en lotes y colas a uno de flujo continuo permite que se inicie el flujo de producción a partir de un pedido del cliente, en lugar de basar la producción en una serie de pronósticos de ventas.
- Perseguir la perfección. Este último principio o paso consiste en mantener la mejora continua a través de los ejercicios Kaizen.

Una síntesis que describe las diferentes herramientas que componen el sistema se representa en la Figura 4.

Igualmente, los autores proponen que los cinco principios deben ser aplicados sobre las tres tareas de gestión de cualquier organización; a saber:

- Diseño del producto: La tarea de solución de problemas que inicia en la concepción, sigue en el diseño detallado e ingeniería y llega a su lanzamiento en producción.
- Gestión de pedidos: La tarea de gestión de información que va desde la recepción del pedido a la entrega, a través de una programación detallada.
- Producción o generación del servicio: La tarea de transformación física que incluye los procesos existentes desde la materia prima hasta el producto acabado en manos del consumidor.

Con estos conceptos claros y sencillos, afirman los autores, las empresas de cualquier sector pueden dar una nueva vida dando lugar a un crecimiento sostenido.



Fig. 4: Filosofía Lean Thinking

7. EL COMÚN DENOMINADOR DE LOS SISTEMA DE MEJORA CONTINUA

Después de una revisión de los principales sistemas de mejora, se puede identificar, como se aprecia en la Figura 5, que además de la necesidad de eliminar el despilfarro existe una serie de aspectos que pueden ser considerados de común interés y que, a continuación, serán descritos.

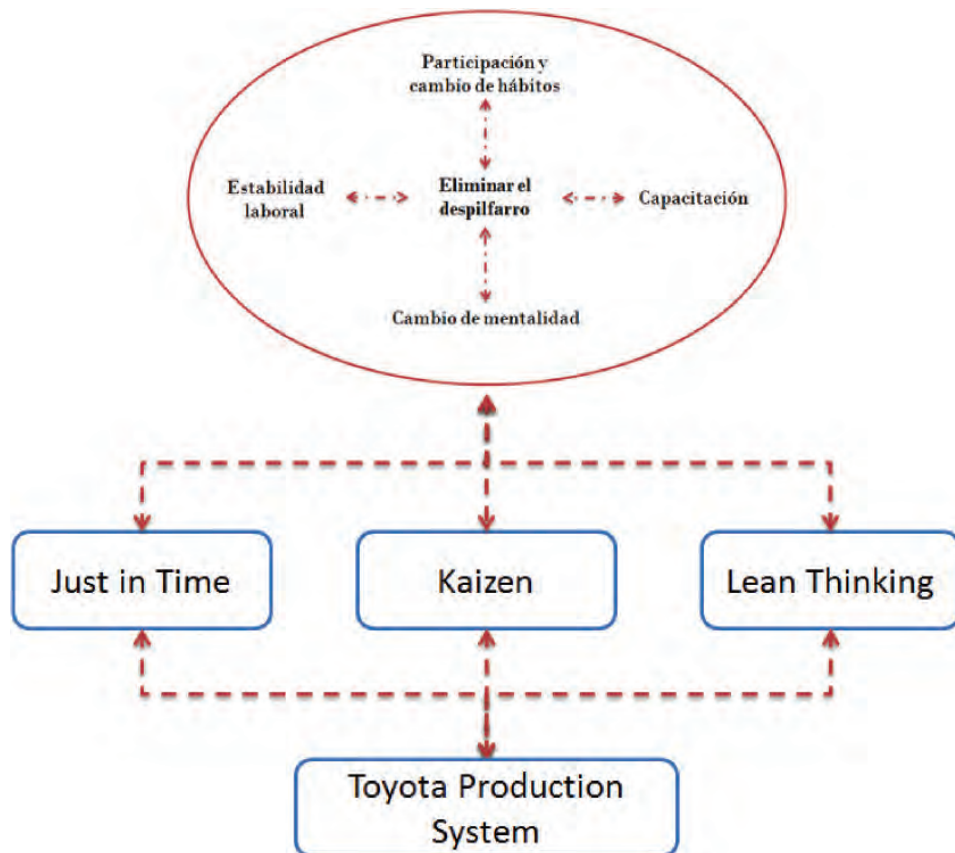


Fig. 5: Sistemas de mejora continua alrededor de los procesos y las personas

Igualmente, la Figura 5 muestra cómo la experiencia desarrollada en los talleres de Toyota fue la fuente para los planteamientos presentados por Imai, Hirano, Womack y Jones principalmente. Estos autores coinciden en afirmar que la clave de la competitividad de Toyota ha sido, en gran parte, gracias a su sistema de producción orientado a los procesos y a las personas.

7.1. PARTICIPACIÓN Y CAMBIO DE HÁBITOS

En todos los planteamientos se hace referencia a la participación de las personas como un elemento clave para lograr la mejora continua en toda la organización y que dicha participación va desde la alta dirección a los operarios en su totalidad. Por lo tanto, lograr convocar y hacer partícipe a todos los miembros de una organización parece ser, cada vez más, un aspecto que exige mayor esfuerzo y compromiso. Por tanto este factor se convierte en crítico, ya que condiciona el éxito o fracaso de cualquier programa de mejora continua.

Esta participación está asociada al cambio de hábitos, como bien se precisa en la filosofía Kaizen “con cada mejora existirá un grupo de personas que va a tener que adoptar nuevos hábitos y consecuentemente tendrá que abandonar los anteriores.”

Por su parte Womack y Jones sostienen que dichos cambios requieren de tiempo, dado que es preciso generar un cambio de actitud: “tres años es aproximadamente el plazo mínimo de tiempo necesario para poner en marcha totalmente

los rendimientos de un sistema lean, y se puede necesitar dos años más para enseñar al número suficiente de empleados a abrir los ojos para que el sistema sea autónomo” (Womack and Jones 1996).

En este mismo sentido, Hirano afirma que es necesario empezar revolucionando la sensibilidad de las personas antes de ir directamente a generar cambios en la fábrica. Lo cual, desde luego, se logra a través de un permanente entrenamiento. El mismo autor puntualiza “la disciplina no se crea en un día. La disciplina es parte de la cultura e historia de una empresa” (Hirano 1997) y, por tanto, propone un listado de quince lecciones para adquirir disciplina.

7.2. CAPACITACIÓN

En este punto surge otro aspecto que bien puede catalogarse común a los diferentes planteamientos, y es precisamente el entrenamiento o capacitación. Los autores coinciden en afirmar que es necesaria una comprensión profunda de cada uno de los fundamentos y técnicas para lograr

la mejora continua. Womack y Jones precisan “Además, deberá disponer de un método sistemático de enseñanza del pensamiento lean para los empleados (incluyendo también a los empleados de clientes y proveedores implicados en los flujos de valor)” (Womack and Jones 2003).

7.3. ESTABILIDAD LABORAL

Otro aspecto relacionado también con las personas y al cual hacen referencia los diferentes autores es la estabilidad laboral. Esto supone que las acciones de mejora continua que surjan al interior de una organización no deben implicar el despido de un empleado.

Al parecer, por los casos presentados en el texto de Womack y Jones, han sido varias las empresas que al iniciar programas de mejora han tenido que despedir empleados y por tanto dichos programas terminan tropezando con los problemas de las relaciones humanas como bien lo expresa Hirano (Hirano 1997).

En este sentido, Toyota no ha sido ajeno a vivir la experiencia de los despidos. Como comenta el mismo Ohno, para lograr tener una organización flexible fue necesario, garantizar el trabajo de por vida a los operarios, además de convencerlos de que no se produciría ningún despido en el futuro a causa de la mejora de los procesos “...un solo desliz – en el cumplimiento del compromiso de proteger los empleados – puede tardar años en repararse” (Womack and Jones 2003).

En esta perspectiva, Imai enfatiza que su propuesta Kaizen se encuentra también orientada a las personas y concretamente al esfuerzo de las mismas. Así a las personas comprometidas con la mejora de la organización se les debe garantizar el trabajo de por vida (Imai 2006). Algo difícil de sostener en la coyuntura económica actual.

7.4. CAMBIO DE MENTALIDAD

Por otra parte, en las diferentes propuestas los autores expresan que es necesario una serie de precondiciones antes de comenzar a implantar algún sistema de mejora. Así, Womack y Jones hacen referencia a la necesidad de una crisis interna o externa para conseguir arrancar sobreponiéndose a la inercia propia de cualquier organización.

Este aspecto lo ratifica Ohno afirmando “las compañías que obtienen beneficios, aunque sean modestos, jamás utilizan el sistema de producción Toyota. No pueden. Por otra parte, hay empresas prácticamente al borde de la quiebra, que deciden aplicarlo íntegramente,

sabiendo que no perderán gran cosa si no funciona... esta es la ventaja de una actitud desafiante” (Womack and Jones 2003).

Por su parte Hirano considera que, además de la revolución de la sensibilidad o cambio de mentalidad, es necesario como condición inicial la aplicación de la técnica de las 5-S, ya que es el fundamento sobre el que se construirán otros bloques de acciones relacionados con la mejora (Hirano 1997).

8. CONCLUSIONES

Después de una mirada panorámica a los sistemas de mejora y habiendo identificado sus principales puntos en común, no es repetido afirmar que son, en definitiva, la gestión de los **procesos** y el aprendizaje de las **personas** los dos aspectos que conducen, de manera interrelacionada, a que una organización mejore su productividad y competitividad.

En relación con los procesos se puede decir que la producción en flujo continuo y los procesos orientados al cliente (interno o externo) constituyen los dos pilares de la producción y sobre los cuales interactúan las herramientas desarrolladas para eliminar el despilfarro (Kanban, SMED, Jikoda, TPM, 5-S, entre las principales). Igualmente, la gestión de los procesos debe orientarse hacia las tres tareas rutinarias propias de cualquier organización: diseño de productos o servicios, gestión de pedidos y producción física del producto o prestación del servicio. Una representación gráfica puede ser como la que se presenta en la Figura 6.

De la misma manera, los planteamientos presentados por Imai, Hirano, Womack y Jones, inspirados en las experiencias de los talleres de Toyota, revelan que el análisis de los procesos y la medición del desempeño de los mismos son el punto de partida para saber dónde introducir mejoras.

En este sentido, las herramientas principalmente desarrolladas por Juran, Deming e Ishikawa son fundamentales para identificar problemas y así contribuir a la mejora de las operaciones y de los procesos en cualquier organización.

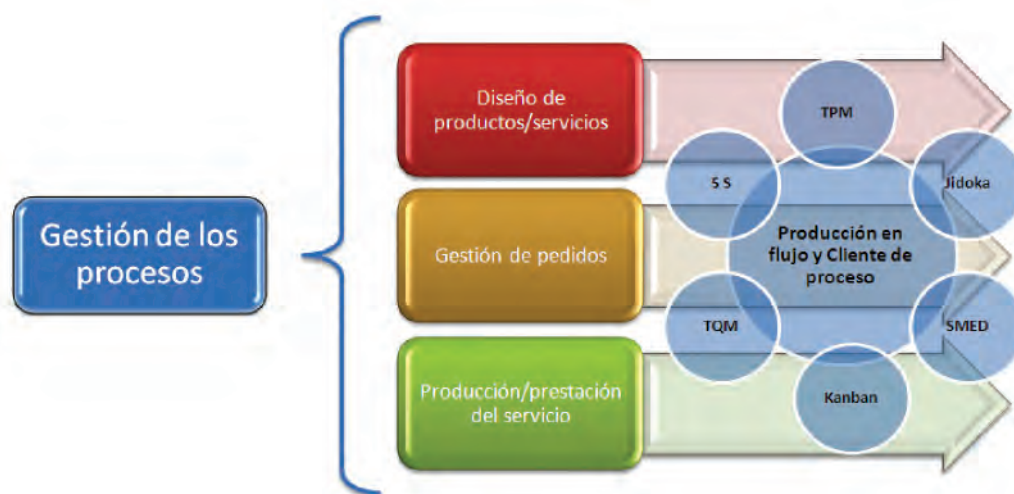


Fig. 6: Gestión integral de los procesos

De otra parte, es importante reconocer que si bien las herramientas para eliminar el despilfarro se han venido desarrollando y mejorando, el aprendizaje de las personas resulta ser el aspecto vital, por no decir el más importante, para el éxito de cualquier organización. Así, por lo menos lo plantea **Peter Senge** en su libro *la quinta disciplina* (Senge 1992), en donde muestra que se requiere, al menos, de cinco disciplinas básicas para lograr impulsar el aprendizaje en una organización (pensamiento sistémico, dominio personal, modelos mentales, construcción de una visión compartida, aprendizaje en equipo).

Las disciplinas a las que Senge se refiere se encuentran íntimamente relacionadas para propiciar un aprendizaje permanente en la persona (llámese gerente, directivo, operario) y así, por un lado, lograr las metas de la organización y, por otro el crecimiento mental, espiritual, social y familiar de las personas que hacen parte de la organización, consideradas estas el activo más valioso.

Pero si las personas tienen su propia voluntad, su propio parecer y su propio modo de pensar, ¿cómo lograr un aprendizaje permanente y duradero para que alcancen su crecimiento personal y, que al mismo tiempo permita a una organización alcanzar el nivel deseado y sostenido de rentabilidad, calidad y productividad?

Creemos entonces que la clave se encuentra en el aprendizaje y asimilación de una serie de buenos hábitos dentro del ambiente de trabajo. En este sentido, los autores citados terminan por atribuir a las 5-S un camino para desarrollar los hábitos de orden, limpieza y disciplina que a su vez resultan ser motores esenciales para introducir a una organización en el camino de la mejora continua de sus procesos.

Hablar de las 5-S se refiere a un tema que ha sido tratado desde hace más de dos décadas tanto en el ámbito académico como organizacional. Sin embargo, diferentes investigaciones muestran que su práctica, por lo menos en empresas occidentales, se hace dejando de lado la comprensión holística que supone la aplicación de esta herramienta.

Creemos que, en esencia, esto se debe a que si bien las 5-S tienen su origen a partir de aspectos heredados de la cultura japonesa, no se cuenta con un modelo teórico fundamentado científicamente que explique por qué son 5-S, cómo operan, cuáles son sus limitaciones y cómo se puede mejorar la propia herramienta.

Lo anterior claramente muestra una línea de investigación en el campo de la mejora continua en aras de hallar un modelo que, desde un enfoque científico, pueda orientar la mejora de los procesos y el aprendizaje de las personas en cualquier tipo de organización.

Podemos finalmente afirmar que la línea de racionalización y mejora del trabajo abordada por F.W. Taylor puede continuarse si somos capaces de aplicar los criterios de eliminación del desperdicio, búsqueda de la perfección en los procesos y, sobre todo, aplicar las bases que permitan la mejora de los procesos y el aprendizaje de las personas. Lo

que conducirá a establecer las condiciones para que todos los empleados puedan llevar una vida enriquecedora.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Bayo A, Bello A, Merino J. "5S use in manufacturing plants: contextual factors and impact on operating performance", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 27- 2, 2010 p. 217-230
- Castells M. *La era de la información: Economía Sociedad y Cultura. Vol. I: La sociedad red*. 6ª edición. México: Siglo XXI Editores, S.A. de C.V., 2005. 565p. ISBN 968-23-2168-9
- Elger T, Smith C. *Global Japanization: the transnational transformation of the labour process*. London: Routledge. 1994. 391p. ISBN 0-415-08587-X
- Howard E, Douglas N. *Origins of industrial engineering: the early years of a profession*. Norcross, Georgia: Industrial Engineering & Management Press, Institute of Industrial Engineering, 1988. 121p. ISBN 0898060974
- Gapp R, Fisher R, Kobayashi K. "Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system", *Management Decision*, Vol. 46-3-4, 2008 p. 565-579.
- Hirano H. *Manual para la implantación del JIT. Una guía completa para la fabricación "Just in Time"*. 1ª edición. Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción, 1991. 486p.
- Hirano H. *5 Pilares de la fábrica visual - la fuente para implantación de las 5 S*. 1ª edición. Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción, 1998. 307p. ISBN 9788487022371
- Hopp W, Spearman M. *Factory physics: foundations of manufacturing management*. 2ª edición. Boston: McGraw-Hill, 2001. 726p. ISBN 0-256-24795-1
- Imai M. *KAIZEN. La clave de la Ventaja Competitiva Japonesa*. Vesseur A (traductor). 1ª edición. México: Compañía Editorial Continental, 1986. 300p. ISBN 968-26-1128-8
- Muñoz A. "On a coming centenary. The work of F.W. TAYLOR", *Dyna Ingeniería Industrial*. Vol.85-5, 2010 p. 407-413.
- Ohno, T. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. 1ª edición. New York: Productivity Press, 1988. 137p. ISBN 0-915299-14-3
- Senge P. *La quinta disciplina*. Gardini C (traductor). 1ª edición. Barcelona: Ediciones Juan Granica S.A., 1992. 492p. ISBN 950-641-0136-0
- Shingo S. *El Sistema de Producción Toyota desde el punto de vista de la ingeniería*. Cuesta A (traductor). Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción, 1990. 316p. ISBN 84-87022-60-X
- Womack J, Jones, D. "Beyond Toyota: How to root out waste and pursue perfection", *Harvard Business Review*, Vol.74-5, 1996 p. 140-152
- Womack J, Jones D. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*. 1ª edición. New York: Free Press, 2003. 396p. ISBN 9780743249270

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 la Unión Europea

Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (DOUE 17/12/2010).

La Directiva 2010/75/UE, de 24 de noviembre, con la que se deroga una batería importante de normas comunitarias previas, se enmarca en el contexto de las actuaciones que la Comisión está adoptando en el ámbito de la calidad del aire y que entre otros, pretende simplificar, esclarecer y racionalizar el gran número de instrumentos jurídicos existentes en relación a las emisiones industriales.

Con esta nueva directiva se quiere establecer, bajo los principios de que “*quien contamina paga*” y prevención, un marco general para el control de las principales actividades industriales, dando prioridad a la intervención en la misma fuente, y establecer un planteamiento integrado para la prevención y el control de las emisiones a la atmósfera, el agua y el suelo, la gestión de residuos, la eficiencia energética y la prevención de accidentes, armonizando los requisitos que deben cumplir las instalaciones industriales con respecto al comportamiento medioambiental.

En concreto, las instalaciones reguladas por esta Directiva son las IPPC, las instalaciones de combustión, las de incineración y co-incineración de residuos, las instalaciones y actividades que utilizan disolventes orgánicos, así como aquéllas que producen dióxido de titanio.

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:ES:PDF>

En España

Real Decreto 301/2011, de 4 de marzo, sobre medidas de mitigación equivalentes a la participación en el régimen de comercio de derechos de emisión a efectos de la exclusión de instalaciones de pequeño tamaño (BOE 05/03/2011)

La nueva Disposición Adicional Cuarta de la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el comercio de derechos de

emisión, introducida por la Ley 13/2010, de 5 de julio, con la finalidad de adaptar dicha Ley a las nuevas características y requisitos del régimen de comercio de derechos de emisión, establece la exención de dicho régimen para pequeños emisores u hospitales, esto es, instalaciones con emisiones inferiores a 25.000 toneladas de CO₂e y con una potencia térmica nominal inferior a 35 MW.

Esta exclusión requiere, asimismo, la implantación de un sistema de seguimiento y notificación de información sobre emisiones equivalentes, así como la aplicación de medidas de mitigación, que conduzcan a una contribución a la reducción de emisiones equivalentes, con respecto a la prevista por la participación en el régimen de comercio de derechos de emisión. La finalidad de este Real Decreto es definir las características y requisitos básicos que dichas medidas deben cumplir.

<http://www.boe.es/boe/dias/2011/03/05/pdfs/BOE-A-2011-4118.pdf>

Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible (BOE 05/03/2011)

En noviembre de 2009 el Consejo de Ministros aprobó la Estrategia para una Economía Sostenible, estrategia que articula un programa de reformas, que profundiza en la dirección de algunas de las opciones estratégicas adoptadas, como son: la prioridad otorgada al incremento en la inversión en investigación, desarrollo e innovación, al fomento de las actividades relacionadas con las energías limpias y al ahorro energético la trasposición rigurosa de la Directiva de Servicios.

La Estrategia incluye un variado elenco de iniciativas legislativas, reglamentarias y administrativas, así como la promoción de reformas en ámbitos específicos de la economía española, que pretenden servir a un nuevo crecimiento equilibrado, duradero y sostenible.

La Ley de Economía Sostenible es una de las piezas más importantes de la Estrategia ya que aborda, transversalmente y con alcance estructural, muchos de los cambios que, con rango de ley, son necesarios para incentivar y acelerar el desarrollo de una economía sostenible, entendiendo como tal un patrón de crecimiento que concilie el desarrollo

económico, social y ambiental en una economía productiva y competitiva, favoreciendo el empleo de calidad, la igualdad de oportunidades y la cohesión social, y que garantice el respeto ambiental y el uso racional de los recursos naturales, de forma que permita satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades.

<http://www.boe.es/boe/dias/2011/03/05/pdfs/BOE-A-2011-4117.pdf>

Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino (BOE 30/12/2010)

La presente ley incorpora al derecho español la Directiva 2008/56/CE (Directiva marco sobre estrategia marina), y además, engloba la regulación de otros aspectos de la protección del medio marino que hasta ahora no se habían abordado en la legislación estatal. De esta manera, la Ley de Protección del Medio Marino se constituye como el marco general para la planificación del medio marino, con el objetivo de lograr su buen estado ambiental.

El objetivo de la norma es lograr un buen estado ambiental del medio marino, y la herramienta para alcanzar dicha meta es llevar a cabo una planificación coherente de las actividades que se practican en el mismo. Para ello, la norma establece el régimen jurídico que rige la adopción de las medidas necesarias, para lograr o mantener el buen estado ambiental del medio marino, a través de su planificación, conservación, protección y mejora. Además, en su calidad de bien de dominio público, establece la ley, que se asegurará un uso sostenible de los recursos del medio marino que tenga en consideración el interés general.

<http://www.boe.es/boe/dias/2010/12/30/pdfs/BOE-A-2010-20050.pdf>

Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación (BOE 29/01/2011)

El objeto de este real decreto es la actualización del catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera, contenido en el anexo IV de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, así como establecer determinadas disposiciones básicas para su aplicación y unos mínimos criterios comunes, en relación con las medidas para el control de las emisiones, que puedan adoptar las comunidades autónomas para las actividades incluidas en dicho catálogo.

<http://www.boe.es/boe/dias/2011/01/29/pdfs/BOE-A-2011-1643.pdf>

Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire (BOE 29/01/2011)

Mediante el presente Real Decreto se incorpora al derecho nacional la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Asimismo, completa la derogación del Decreto 833/1975, iniciada con la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, sustituyendo otros tres Reales Decretos.

Su objeto es definir y establecer objetivos de calidad del aire, con respecto a las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno, monóxido de carbono, ozono, arsénico, cadmio, níquel y benzo(a)pireno en el aire ambiente, todo ello con la finalidad de evitar, prevenir y reducir los efectos nocivos de las sustancias mencionadas sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.

<http://www.boe.es/boe/dias/2011/01/29/pdfs/BOE-A-2011-1645.pdf>

En las Comunidades Autónomas

MURCIA: Ley 4/2009, de 14 de mayo, de protección ambiental integrada (BOE 10/02/2011)

El objeto de la presente ley es establecer el régimen jurídico y los procedimientos integrados de intervención administrativa a los que deben sujetarse los planes, programas, proyectos y actividades que pueden afectar al medio ambiente, así como diversos mecanismos de fomento, con la finalidad de alcanzar un elevado nivel de protección del medio ambiente, en el marco de las competencias de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Destacan como principales características de esta nueva regulación, su marcado carácter procedimental que dirige sus esfuerzos a la integración y simplificación de trámites para corregir la dispersión originada por el excesivo número de normas y autorizaciones ya existentes, siendo este esfuerzo no sólo sobre evaluaciones y autorizaciones con fines generales sino también sobre las sectoriales; la distribución competencial de las administraciones de cara a impulsar e instruir en cada momento el procedimiento integrado, sin perjuicio de las competencias del resto de administraciones que las canalizan a través de informes y otras formas de participación; y la distinción de tres grandes tipos de actividades cuya autorización tiene un tratamiento jurídico diferente: las actividades sujetas a la autorización ambiental integrada, las sujetas a la nueva autorización ambiental única y las sujetas únicamente a la licencia de actividad.

<http://www.boe.es/boe/dias/2011/02/10/pdfs/BOE-A-2011-2547.pdf>



LA MEJOR
INGENIERÍA
SUPERA LOS
MAYORES DESAFÍOS





Plantéate nuevas oportunidades en una Universidad líder en la formación de profesionales.

En la **Universidad Europea de Madrid** vas a encontrar las titulaciones de grado y postgrado más novedosas y demandadas en el área industrial, en horarios compatibles con tu actividad profesional.

El gran contenido práctico de nuestros programas, combinado con una formación teórica impartida por los mejores profesionales, así como el aval de las empresas más importantes del sector, hace de nuestros programas la elección más segura en el ámbito industrial. Decide lo mejor para tu futuro profesional.

Titulaciones en horarios compatibles con la actividad profesional

- Ingeniero Industrial (2º Ciclo)
- Ingeniero en Organización Industrial (2º Ciclo)
- Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática
- Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática (curso de adaptación para Ingenieros Técnicos Industriales en Electrónica Industrial)
- Grado en Ingeniería Mecánica (curso de adaptación para Ingenieros Técnicos Industriales en Mecánica)

Titulaciones de Grado

- Grado en Ingeniería de la Energía*
- Grado en Ingeniería Mecánica
- Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática
- Grado en Ingeniería en Organización Industrial

Másteres (www.proy3cta.uem.es)

- Máster Universitario en Energías Renovables
- Máster en Climatización
- Máster Universitario en Edificación Eficiente y Rehabilitación Energética Medioambiental

*Nueva titulación conforme al Espacio Europeo de Educación Superior, pendiente de autorización.

Campus de Villaviciosa de Odón
Campus La Moraleja

Infórmate
902 23 23 50 uem.es



**Universidad
Europea de Madrid**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Pensada para el mundo real