

Investigación y transferencia en la Escuela Politécnica de Cuenca

Coordinadores:

Miguel Ángel López Guerrero,
David Sanz Martínez,
Ana María Torres Aranda



Ediciones de la Universidad
de Castilla-La Mancha



Escuela Politécnica de Cuenca Universidad de Castilla-La Mancha

Investigación y Transferencia en la Escuela Politécnica de Cuenca

Coordinadores:

Miguel Ángel López Guerrero, David Sanz Martínez, Ana María Torres Aranda

Comité científico:

Francisco Javier Castilla Pascual, Miguel Ángel López Guerrero, José Manuel Pastor García, César Sánchez Meléndez, David Sanz Martínez, Ana María Torres Aranda



2015, Universidad de Castilla La Mancha.
Edita Escuela Politécnica de Cuenca

ISBN: 978-84-608-1482-5

Queda prohibida la reproducción, la distribución, la comercialización, la transformación y, en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de la totalidad o de cualquier parte de esta obra sin autorización expresa y por escrito de los autores.

PRÓLOGO

Siempre se ha dicho que el prólogo de los libros es lo último que se escribe, aunque esté al principio..., pero este prólogo sí que se “empezó” hace mucho tiempo: unos veinte años.

Cuando se comenzó (noviembre 1994) el plan de estudios de la primera de las carreras de la actual Escuela Politécnica de Cuenca se procuró acopiar una biblioteca especializada juntamente con un mobiliario adecuado, y sobre todo un ámbito de prácticas docentes...amén de un profesorado, y personal auxiliar, preparado, que se fue incorporando año a año de acuerdo con las materias del plan de estudios y al ritmo de su aparición ante los alumnos.

Conseguir la vertiente práctica de los estudios no fue fácil en una Universidad nueva y de predominio teórico. Pero el fundamento estaba en la creencia de que la creación de centros técnicos y facultades experimentales tenía que conllevar su esencia: la experimentación y, posteriormente, la investigación.

Se propuso que la creación de un Centro Técnico debía llevar consigo, casi como anexo, el servicio o dependencia autonómica con él relacionado. Así se aducía que la Arquitectura Técnica debía tener adjunto un laboratorio de calidad de la edificación y de certificación de materiales; una posible escuela de Topografía, el non nato Servicio de Cartografía Regional; la Telecomunicación, un laboratorio de técnicas audiovisuales y de sistemas de telecomunicación, etc.

Era la vía de iniciar, desde el comienzo, un servicio a las empresas que justificara la existencia misma de un Centro y sus carreras. No se trataba de crear profesionales no cualificados destinados sólo a llevar a sus colegios oficiales a la plétora profesional.

La actividad económica que genera la certificación y la aplicación de técnicas en la industria de Castilla-La Mancha no debe ser un flujo exportador; ese valor añadido debía quedar en la región y, de paso, financiar la investigación que se avecinaba.

Los laboratorios adquiridos, con mucho esfuerzo, para la práctica docente se aplicaron de inmediato a la llamada “prestación de servicios”... a ello contribuyó la convicción de ciertos consejeros de la Administración de que los únicos laboratorios que mantenían permanencia y resultados eran los docentes. Las siguientes creaciones de centros evitaron tanto la masificación como su pobreza en la experimentación y la investigación. Y

se aceptó como normal lo que las siglas I+D+i significan: Investigación para que las innovaciones creen un desarrollo sostenido y sostenible.

La exigencia de un proyecto fin de carrera, no siempre bien entendido, permitió a las diversas promociones alcanzar numerosos premios fin de carrera de ámbito nacional... Es una buena cantera de ideas y técnicas.

Al auge actual contribuyó, en gran manera, el salto adelante que supuso la implantación de una rama de las Telecomunicaciones como segunda carrera y la incorporación de profesores muy cualificados que consideraban la experimentación y la investigación como esencial en estos centros de la Universidad.

Las relaciones con otros centros de nuestra misma Universidad, la conexión a través de los departamentos de la misma y los acuerdos con cátedras e investigadores de otras universidades, han llevado a las dos carreras actuales a un nivel muy aceptable de investigación y transferencia de tecnología del que es muestra, no completa, este resumen que presentamos al cumplirse veinte años de la existencia de esta ESCUELA POLITÉCNICA de la UCLM en Cuenca.

Hay centros con los que la Escuela Politécnica mantuvo y mantiene conexión en investigación y comunicación de resultados como las escuelas de las mismas ramas y especialidades de varios lugares, la Escuela Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, la cátedra de Química Orgánica e Inorgánica de la Facultad de Farmacia de Madrid, el Hospital Provincial de Cuenca, sociedades científicas, etc. A estos centros y profesores agradecemos su ayuda y colaboración.

Cuenca, a 31 de mayo del año dos mil quince.

A todos, en nombre de todos, GRACIAS.

José Antonio Peña Rodríguez
Director de la Escuela Politécnica 1994-2004
Profesor Emérito de la UCLM

ÍNDICE

GENERALIDADES.....	9
Las matemáticas en la investigación desarrollada desde la Escuela Politécnica de Cuenca.	11
<i>Miguel Ángel López y Raquel Martínez</i>	
Participación en el proyecto Symbcity para la competición internacional Solardeathlon 2014.	25
<i>Francisco Javier Castilla, José Luis Serrano, Jesús Alfaro, Víctor Pérez, Antonio Baño y Fernando Estirado</i>	
ACÚSTICA Y APLICACIONES.....	41
Análisis objetivo y subjetivo del ruido emitido por máquinas.....	43
<i>José A. Ballesteros, Marcos D. Fernández, Samuel Quintana, Isabel González</i>	
Identificación de fuentes de ruido en los sectores automovilístico y de la construcción.	65
<i>José A. Ballesteros, Marcos D. Fernández, Samuel Quintana</i>	
Ruido y vibraciones en el sector de la construcción.....	81
<i>Isabel González, José A. Ballesteros, Marcos D. Fernández, Samuel Quintana</i>	
Sonidos en la arquitectura de San Pedro. Un estudio acústico desde la perspectiva técnica y artística de la creación sonora en la Iglesia de San Pedro en Cuenca (España).....	95
<i>Nelia Valverde</i>	
GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA EDIFICACIÓN	121
Enfoque gráfico para la docencia basada en proyectos en el Grado de Ingeniería de Edificación de la Escuela Politécnica de Cuenca.....	123
<i>Josemanuel Cañizares y David Valverde</i>	

Investigación cualitativa de las políticas y prácticas de desarrollo profesional de empresas constructoras con arquitectos técnicos e ingenieros de edificación que trabajan como jefes de obra. Análisis del efecto sobre su satisfacción laboral.....	135
<i>Joaquín Fuentes y Elena Navarro</i>	
El estudio del entorno urbano: de la alta velocidad ferroviaria a la patología en los "barrios de oro"	175
<i>Carmen Mota</i>	
La gestión de la producción en la edificación.	183
<i>Juan Pedro Ruiz</i>	
Integración de la prevención de riesgos laborales en las pymes del sector de la construcción.....	189
<i>María Segarra, Ángel Rodríguez y Jesús Esteban</i>	
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	197
La recuperación de la tierra como material de construcción: tradición e innovación.....	199
<i>Francisco Javier Castilla</i>	
Diseño y caracterización de absorbedores acústicos, a la carta, en geometrías realizadas en materiales de construcción.	213
<i>Pedro Huertas</i>	
Nuevos materiales para la construcción de fachadas de GRC fotocatalíticas, autolimpiables y de máxima sostenibilidad ambiental.....	229
<i>Jose M. Pastor, Jesús Blanco y Juan Peña</i>	
LACAE, el Laboratorio de Calidad en la Edificación de la Escuela Politécnica de Cuenca. Investigación y Transferencia.	251
<i>Miguel Ángel Ruiz, Juan Vicente Visier y Enrique Torrero</i>	
Caracterización de pétreos de la Catedral de Santa María de Cuenca.....	259
<i>Enrique Torrero, David Sanz y Vicente Navarro</i>	
TELECOMUNICACIONES	275
Avances en Tecnologías de Comunicación basadas en Microondas.	277
<i>Leticia Martínez, Ángel Belenguer, Alejandro L. Borja, Joaquín Cascón, Marcos D. Fernández, José Antonio Ballesteros, Ana Torres y Jorge Mateo</i>	

La identificación por radiofrecuencia (RFID) y sus aplicaciones.....	289
<i>José Iván San José, Jesús Blanco, Juan José de Dios, Roberto Zangróniz y José M. Pastor</i>	
Certificados, acreditaciones y titulaciones en electromedicina sanitaria e ingeniería clínica.....	313
<i>César Sánchez y Raúl Alcaraz</i>	
Estudio y análisis de medidas de posicionamiento GPS a partir de la Estación de Referencia ubicada en la Escuela Politécnica de Cuenca.....	331
<i>Ana M. Torres y Joaquín Cascón</i>	

GENERALIDADES

Las matemáticas en la investigación desarrollada desde la Escuela Politécnica de Cuenca.

Miguel Ángel López* y Raquel Martínez*

Resumen Con este capítulo se pretende hacer un recorrido por las líneas investigadoras que han llevado a cabo los profesores que actualmente desempeñan su labor docente e investigadora en el Departamento de Matemáticas de la Escuela Politécnica de Cuenca. La investigación ha ido cambiando en función de los profesores implicados en el departamento, por lo que entendemos que esta no sigue una única línea de trabajo pero creemos que es de calidad. Así pues, se expone brevemente la investigación realizada por los profesores Dr. Miguel Ángel López Guerrero y Dra. Raquel Martínez Lucas donde se comentan las líneas de investigación desarrolladas en sus respectivas tesis doctorales, la colaboración en diferentes proyectos de investigación y las colaboraciones con otros profesores de la escuela. También se presentan algunos de los artículos más relevantes publicados por estos profesores.

*Departamento de Matemáticas. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, Mangel.lopez@uclm.es y Raquel.martinez@uclm.es

Introducción

La investigación desarrollada en el Departamento de Matemáticas de la Escuela Politécnica de Cuenca no sigue una única línea de trabajo. Esto se debe principalmente a que desde el inicio de la escuela han pasado por el departamento ocho profesores. Algunos de ellos han aportado buenos resultados a la investigación desarrollada en la escuela con una cantidad de artículos bastante considerable, como la desarrollada por el profesor Dr. Juan Luis García Guirao, que actualmente desempeña su actividad docente e investigadora en la Universidad Politécnica de Cartagena. Otros profesores, dos de ellos doctores, han participado en el departamento como profesores asociados, por lo que esa situación provisional ha hecho que hayan realizado una muy buena labor docente pero, en cambio, no se hayan involucrado a fondo en la investigación. Como ellos ya no están en la escuela, se ha preferido en este artículo presentar solo lo que se ha investigado y lo que se ha aportado por el Departamento de Matemáticas a través de los profesores pertenecientes a este departamento y que actualmente imparten docencia e investigan en esta escuela; la del Dr. Miguel Ángel López Guerrero, profesor de la escuela desde 1995, y la de la Dra. Raquel Martínez Lucas, profesora de la escuela desde 2007.

La estructura de este capítulo es la siguiente: en primer lugar se exponen brevemente las líneas de investigación desarrolladas en las respectivas tesis doctorales realizadas por estos profesores. En segundo lugar, se presentan los trabajos de investigación en los que se ha colaborado con profesores de esta escuela pertenecientes a otros departamentos y de los que se han realizado dos tesis doctorales (una está en la fase previa a la lectura y defensa). En tercer lugar, se comenta brevemente la colaboración en diferentes proyectos de investigación nacionales y autonómicos y, finalmente y antes de la bibliografía, se presentan las referencias bibliográficas de algunos de los principales trabajos publicados resultado de la investigación desarrollada.

Queremos destacar que se ha publicado en 14 revistas distintas impactadas en JCR (Journal Citation Report). Muchas de ellas son de reconocido prestigio y están relacionadas con la ingeniería y la matemática aplicada como: Chaos, Solitons and Fractals; Nonlinear Dynamics (An International Journal of Nonlinear Dynamics and Chaos in Engineering Systems) (JCR 2013: 2.42. Esta revista es la nº 15 de 126 en la categoría

Engineering, Mechanical); Journal of Computational and Applied Mathematics; MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry; Journal of Vibration and Chaos (JCR 2013: 4.355. Esta revista es la n° 3 de 126 en la categoría Engineering, Mechanical) o Journal of Mathematical Chemistry. Nótese que MATCH Commun. Math. Comput. Chem. ocupó el primer puesto del ranking en matemática interdisciplinar con un índice de impacto JCR 2010 de 3.291.

Umbral orden-caos y bifurcaciones en sistemas no autónomos bajo perturbaciones periódicas generalizadas

Desde el año 1995, prácticamente el inicio de la actual Escuela Politécnica de Cuenca, se ha trabajado e investigado en diversos proyectos de relevante importancia. Este es el inicio de ellos y fue plasmado en la tesis doctoral (López, 1998) realizada por el Dr. Miguel Ángel López Guerrero, cuyo título es el mismo que el de este epígrafe.

Con esta tesis se alcanzaron varios objetivos. En primer lugar se mostró una breve panorámica de los sistemas dinámicos continuos y discretos que constituyen en la actualidad un campo de investigación muy fecundo debido a sus profundas implicaciones heurísticas y filosóficas en numerosas parcelas del saber humano.

En segundo lugar, se mostró cómo la aplicación de débiles perturbaciones periódicas, mediante excitación paramétrica o forzamiento adicional, constituye un mecanismo eficaz para disminuir y suprimir el escape caótico en un sistema dado. En particular, tal procedimiento es aplicable a osciladores no lineales, amortiguados y excitados periódicamente, cuya separatriz no perturbada está formada por órbitas homoclinas y/o heteroclinas. Como ejemplos concretos para ilustrar el problema se eligieron el oscilador de Helmholtz y la ecuación de escape de Thompson. Suponiendo que el sistema se encuentra inicialmente en una situación de escape caótico, se estudia el efecto inhibitorio sobre el mismo que tiene la aplicación de una débil excitación paramétrica armónica en los términos cuadrático y lineal del oscilador, así como la aplicación de un forzamiento adicional de pequeña amplitud. Las predicciones analíticas obtenidas mediante el método de Melnikov establecen las condiciones para la inhibición del caos. El objetivo es determinar bajo qué ligaduras (regiones en el espacio de valores de los parámetros) se produce la disminución o eliminación del caos. Se comprobó, para casos como la

ecuación de escape de Thompson, que hay un intervalo prohibido de frecuencias para cada resonancia donde es imposible la supresión de escape caótico.

Recientemente se ha estudiado la estabilidad estructural de la dinámica de osciladores no lineales, amortiguados y excitados periódicamente, bajo cambios en la forma de onda de la modulación periódica. Ello implica considerar modelos más realistas para las perturbaciones periódicas que actúan sobre los mismos. Las funciones periódicas más simples que cumplen este requisito son las funciones elípticas de Jacobi. Así pues, en tercer lugar, otra línea de interés en esta investigación se centró en la estabilidad de la dinámica caótica bajo cambios en la forma de onda de la perturbación; es decir, se estudió la estabilidad estructural del sistema cuando sólo se modifique la forma de onda de la excitación tanto con la función elíptica senam como con la cosam .

Las funciones senam ó cosam , más la identidad, vistas como funciones reales de variable real, presentan además una notable particularidad y es que consideradas como familias uniparamétricas de transformaciones (considerando que el parámetro que varía es el módulo elíptico) presentan, para algunos valores de dicho módulo, bifurcaciones de tipo "flip" o de tipo de "duplicación de período" pero bajo diferentes condiciones de no degeneración. Por tanto, y en cuarto lugar, se mostró que en el caso de la función senam la condición de no degeneración se refiere a las derivadas parciales terceras, y en el caso de la función cosam a derivadas parciales quintas. Así pues, se presentaron ejemplos con este tipo de no degeneración, ya que hasta ese momento no se conocían funciones analíticas reales con este tipo de bifurcación.

Cuando se utilizan sistemas dinámicos discretos en la modelización de fenómenos de las ciencias experimentales se plantea un problema de cierto interés; si en lugar de la verdadera función f del modelo, usamos otra parecida aproximada f' , ¿qué ocurre con las órbitas del espacio de fases?, ¿se comportarán de una forma similar? Luego, en quinto lugar, se dio respuesta a este tipo de preguntas.

Sistemas transitivos y modelos localmente Cournot

A continuación se presenta un breve resumen de la tesis doctoral titulada "Sistemas transitivos y modelos localmente Cournot" (Martínez, 2010),

realizada por la Dra. Raquel Martínez Lucas y codirigida por el Dr. Miguel Ángel López.

Dado un sistema dinámico discreto tratamos de estudiar su dinámica, es decir, averiguar el comportamiento asintótico de las trayectorias de todos los puntos del espacio de fases. Este comportamiento depende fuertemente de la topología existente en el espacio de fases y de la morfología de la aplicación definida sobre él. Como consecuencia de esta dependencia, a este tipo de estudio se le conoce como análisis de la "dinámica topológica" del sistema.

El objetivo de este trabajo es doble y está estrechamente relacionado con la evolución histórica de la teoría de los sistemas dinámicos. Por un lado estudiamos problemas relacionados con una de las nociones dinámicas que está presente en muchas de las definiciones de la noción de caos, transitividad topológica, estableciendo las relaciones de implicación entre este concepto con las principales definiciones del concepto de caos y entropía topológica. Para el análisis de la estabilidad del concepto de transitividad nos centramos en sistemas dinámicos discretos inducidos por funciones transitivas de clase C^1 definidas en el intervalo $[0,1]$ y que sean topológicamente conjugadas a un polinomio algebraico. Mostramos que existen pequeñas perturbaciones del modelo original fijado que rompen la noción de transitividad. También somos capaces de construir otro sistema perteneciente a la misma clase que el sistema original tan cerca, en una norma adecuada, como queramos al sistema original.

Por otro lado estudiamos ciertas aplicaciones a modelos que proceden de la economía, son los llamados modelos de tipo Cournot, es decir, sistemas dinámicos discretos n -dimensionales que constituyen, por un lado la generalización del bien conocido modelo económico del duopolio de Cournot y por otro lado, conforman el entorno de modelización matemática para ciertos procesos económicos y biológicos. Se plantea un modelo n -dimensional que se encuentra a mitad de camino entre la competencia perfecta y el oligopolio y para el que existen rudimentos teóricos para poder estudiar su dinámica. Finalmente se estudia la dinámica de los modelos con competencia local citados anteriormente. Para dimensiones 3 y 4 y conjunto de vecinos de influencia de dimensión 1 se estudian los puntos de equilibrio y se da cierta información sobre las órbitas periódicas de periodo 2. Para el caso de dimensión 4 se realiza un estudio completo y pormenorizado de la dinámica del sistema.

La planificación de la implantación de la alta velocidad ferroviaria. Un estudio comparativo de la política de ordenación desde el análisis de las implicaciones territoriales

Este es el resultado de la colaboración entre profesores del Departamento de Matemáticas de la UCLM y profesores del Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación de la UCLM, que desarrollan su actividad docente e investigadora en la Escuela Politécnica de Cuenca. De esta colaboración se alcanza la tesis doctoral (Mota, 2013) cuyo título es el mismo que el de este epígrafe, realizada por la Dra. Carmen Mota Utanda y codirigida por el Dr. Miguel Ángel López. Aunque esta tesis tiene una gran componente urbanística, en este capítulo se menciona la parte directamente relacionada con las matemáticas, más concretamente, con la teoría de grafos.

La accesibilidad es un concepto empleado en diversos campos científicos, como la planificación del transporte, la planificación urbana y la geografía, ocupando un papel primordial en la configuración de políticas económicas y sociales. No obstante, se trata de un concepto de compleja definición en términos inequívocos y objetivamente cuantificables. La medida de la accesibilidad basada en la infraestructura desempeña un papel crucial en las políticas de transporte, de tal manera que la planificación de las políticas de transporte en muchos países es sometida a la aplicación matemática, como ha sido el caso de la planificación nacional del transporte del Reino Unido o el holandés.

El problema más interesante que hemos abordado ha sido el análisis del grado de accesibilidad de la estación de la alta velocidad ferroviaria en su contexto local, con el propósito de facilitar el establecimiento de un marco comparativo sobre las diferentes políticas de integración llevadas a cabo en ciudades de un rango similar. Se presenta un modelo basado en la teoría de grafos y en el estudio estático y dinámico de las redes aplicado a la red de autobuses de transporte público urbano.

Estos estudios estáticos y dinámicos que evalúan el grado de conexión de la estación respecto a una red secundaria de transporte, se han aplicado en cuatro ciudades de tamaño intermedio, dos alemanas, Ulm-Neu Ulm y Fulda, y dos españolas, Toledo y Lleida. Los resultados revelan diferencias de importante consideración, apuntando a la necesaria revisión de las políticas de integración del transporte en la localidad, sin cuya adecuación la irradiación de los efectos positivos de la misma decrece sustancialmente.

Análisis de las curvas de producción en la promoción pública de VPO en Castilla-La Mancha

Esto es otra investigación resultado de la colaboración entre profesores del Departamento de Matemáticas de la UCLM y profesores del Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación de la UCLM, que desarrollan su actividad docente e investigadora en la Escuela Politécnica de Cuenca. De esta colaboración se está finalizando la tesis doctoral, cuyo título es el mismo que el de este epígrafe, del doctorando D. Juan Pedro Ruiz Fernández y codirigida por el Dr. Miguel Ángel López.

El análisis de la distribución en el tiempo de los costos de construcción a través de datos históricos es un tema inédito en España, no así en la esfera internacional, donde existen investigaciones desde el último cuarto de siglo pasado.

El objetivo es dotar a promotores y constructores de una herramienta fiable para la previsión temprana de los flujos de caja originados en el proceso de materialización del proyecto de construcción. En nuestro caso analizamos los flujos de caja de 161 promociones públicas de VPO dentro del ámbito territorial de Castilla-La Mancha en base a las certificaciones mensuales abonadas por el promotor al constructor. El estudio se centra en dos tipologías muy concretas: edificios de viviendas en bloque y edificios de viviendas unifamiliares adosadas. Mantenemos que un análisis estadístico, desactivando buena parte de los factores que influyen sensiblemente en la producción, proporciona curvas de previsión fiables.

Por otro lado, hemos medido las diferencias de producción ocasionadas por los efectos estacionales en las obras de edificación estudiadas. Los resultados de flujos de caja que pudiéramos obtener gracias a las curvas de producción estándar atemporales serán mucho más precisos si se cuantifican los efectos producidos por los factores estacionales, obteniendo de esta forma pronósticos de flujos de caja mensuales concretos para fechas concretas de inicio de obra.

Participación en proyectos de investigación nacionales y autonómicos

A continuación se presentan algunos de los proyectos nacionales y autonómicos (financiados por la Junta de Comunidades de Castilla-La

Mancha) en los que los profesores actuales del Departamento de Matemáticas han participado como colaboradores o como investigador principal del proyecto. Como en los proyectos se pretenden alcanzar varios objetivos, aquí solo vamos a presentar un breve resumen en el que se describa la participación de estos profesores.

Proyecto de investigación nacional (1995-1996): Dinámica topológica en sistemas uni y bidimensionales

Se estudiaron una serie de problemas en sistemas dinámicos unidimensionales mediante el uso de métodos topológicos para el conocimiento de la dinámica. Se investigó cómo evitar el comportamiento caótico de ciertos osciladores no lineales no autónomos que de forma natural lo presentan. Esto se hizo a través de excitaciones paramétricas de tipo armónico de los términos lineal y cuadrático del oscilador. Se realizó un estudio desde el punto de vista analítico y numérico.

Proyecto de investigación nacional (1996-1999): Dinámica en sistemas bidimensionales

Se colaboró en el estudio de los sistemas dinámicos discretos bidimensionales que aparecen vía la aplicación de Poincaré asociada a sistemas autónomos tridimensionales de ecuaciones diferenciales ordinarias, sobre todo en aquellas zonas próximas a órbitas homoclínicas, donde resulta casi imposible entender cómo es la dinámica en el sistema. Se siguió con la investigación de evitar el comportamiento caótico de ciertos osciladores pero mediante forzamientos adicionales.

Proyecto de investigación nacional (1999-2002): Sistemas dinámicos bidimensionales: estructura periódica, caos y supresión del comportamiento caótico

Se investigó cómo evitar el comportamiento caótico de ciertos osciladores no lineales no autónomos que de forma natural lo presentan. Como ya se

había resuelto este problema a través de excitaciones paramétricas de tipo armónico de los términos lineal y cuadrático del oscilador, se generalizó utilizando las funciones elípticas de Jacobi como débiles perturbaciones ya que producían efectos más precisos sobre la inhibición del caos pero a costa de complicar enormemente la manipulación analítica del problema.

***Proyecto de investigación autonómico (2002-2004):
Dinámica de ecuaciones de onda no lineales y álgebra
numérica: teoría y aplicaciones en sistemas caóticos y
criptografía***

Se investigó sobre la supresión de caos en sistemas caóticos. Se trabajó sobre el diseño e implementación de criptosistemas seguros. También se investigó la posible utilización de sistemas dinámicos no lineales en ruptura de claves. Se trabajó en la relación entre la dinámica de ecuaciones no lineales y la criptografía.

***Proyecto de investigación nacional (2002-2005):
Complejidad asintótica en la dinámica: omega-límites,
caos y minimalidad***

Tomando como eje conductor el estudio de la estructura de los conjuntos omega-límite en sistemas dinámicos, se analizaron diversas cuestiones relacionadas con la complejidad asintótica en la dinámica, con especial énfasis en las diferentes nociones de caos y la universalidad. Se siguió con la investigación de la supresión del escape caótico al modificar la forma de onda de las excitaciones.

***Proyecto de investigación nacional (2005-2008): Aspectos
topológicos de la dinámica diferenciable***

Se ha investigado la estructura topológica de los conjuntos omega-límite de transformaciones bidimensionales en el plano intentando obtener una caracterización de los mismos. También se analizan otros conjuntos con

propiedades de retorno más débiles como los conjuntos de puntos no errantes.

***Proyecto de investigación autonómico (2006-2008):
Asintoticidad en sistemas dinámicos: conjuntos omega-
límite, orden-caos, universalidad y minimalidad***

Aunque se han analizado diversas cuestiones relacionadas con la complejidad asintótica de la dinámica de los sistemas dinámicos, se ha participado más directamente en la supresión del escape caótico (transición orden-caos) al modificar la forma de onda de las excitaciones. Se ha investigado la posible extensión de los resultados obtenidos para los osciladores de Helmholtz y Thompson a otros osciladores. Se ha investigado si es posible suprimir la condición de resonancia entre la frecuencia responsable de la supresión del escape caótico y la frecuencia del forzamiento que la origina.

***Proyecto de investigación nacional (2009-2011):
Ecuaciones en diferencias y diferenciales y series
temporales: aspectos puros y aplicados de la dinámica no
lineal***

Considerando la clase D formada por las funciones $f: I \rightarrow I$ de clase C^∞ , transitivas y topológicamente conjugadas a un polinomio, se ha probado la siguiente propiedad de estabilidad: la clase D no tiene puntos aislados y para cada f de D y cualquier ϵ mayor que 0, real y arbitrariamente pequeño, existe una función g de D compartiendo con f los mismos puntos fijos excepto uno y tal que la diferencia entre f y g en la norma 1 es igual a ϵ . Por el contrario, se ha estudiado también que para cada f de D existe una función de clase C^∞ ; topológicamente conjugada a un polinomio, no transitiva y en la norma 1 cerca de la función f . También se ha generalizado el teorema del muestreo del Shannon para una clase de señales que no son de banda limitada y que juega un papel central en la teoría de la señal.

**Proyecto de investigación autonómico (2009-2012):
Sistemas dinámicos discretos y continuos con aplicaciones**

Se ha investigado sobre la dinámica de modelos procedentes de la química y la economía. Se ha iniciado una línea de investigación sobre dinámica de sistemas hamiltonianos y sobre ciertos modelos mecánicos con formulación hamiltoniana. También se ha generalizado el teorema del muestreo del Shannon para una clase de señales que no son de banda limitada y que juega un papel central en la teoría de la señal.

Proyecto de investigación nacional (2012-2015): Sistemas dinámicos discretos diferenciables y dinámica hamiltoniana con énfasis en la estructura periódica

Se investiga en el análisis de la estructura periódica en sistemas dinámicos discretos diferenciables, es decir, obtención de información sobre los posibles conjuntos de periodos de las órbitas periódicas del sistema. Se usa la teoría del promedio para sistemas dinámicos para obtener información de sistemas hamiltonianos y de ecuaciones diferenciales con órbitas periódicas aisladas. También se colabora en las aplicaciones de los sistemas dinámicos diferenciables a la química, a la economía y a la ingeniería.

Algunas publicaciones relevantes

A continuación se presentan algunas de las publicaciones más relevantes en las que han participado los profesores pertenecientes al Departamento de Matemáticas y que actualmente imparten docencia e investigan en la Escuela Politécnica de Cuenca. Se han subrayado los profesores participantes en esos artículos. Se presentan por orden creciente de año de publicación y, excepto en tres artículos, los autores aparecen en orden alfabético.

Chacón, R., Balibrea, F. y López, M.A. (1996). Inhibition of chaotic escape from a potential well using small parametric modulations. *Journal of Mathematical Physics* 37(11), 5518-5523.

Chacón, R., Balibrea, F. y López, M.A. (1997). Role of parametric resonance in the inhibition of chaotic escape from a potential well. *Physics Letters A* 235, 153-158.

Balibrea, F., Chacón, R. y López, M.A. (1998). Inhibition of chaotic escape by an additional driven term. *International Journal of Bifurcation and Chaos* 8(8), 1719-1723.

Balibrea, F., Chacón, R. y López, M.A. (2001). Bifurcations on elliptic functions. *International Journal of Bifurcation and Chaos* 11(3), 793-800.

Chacón, R., Balibrea, F. y López, M.A. (2001). Role of nonlinear dissipation in the suppression of chaotic escape from a potential well. *Physics Letters A* 279, 38-46.

Balibrea, F., Chacón, R. y López, M.A. (2005). Reshaping-induced order-chaos routes in a damped driven Helmholtz oscillator. *Chaos, Solitons and Fractals* 24, 459-470.

Balibrea, F., Guirao, J.L. y López, M.A. (2010). Disturbing smooth transitive interval maps. *International Journal of Bifurcation and Chaos* 20(9), 2949-2953.

Antuña, A., Guirao, J.L. y López, M.A. (2011). An asymptotic sampling recomposition theorem for gaussian signals. *Mediterranean Journal of Mathematics* 8, 349-367.

Guirao, J.L., López, M.A., Llibre, J. y Martínez, R. (2012). A note on the equilibria of an economic model with local competition `à la Cournot'. *Journal of Computational and Applied Mathematics* 236, 3052-3057.

Guirao, J.L., López, M.A. y Vera, J.A. (2012). C1 non-integrability of a hydrogen atom in a circularly polarized microwave field. *Central European Journal of Physics* 10(4), 742-748.

López, M.A. y Martínez, R. (2013). A note on the generalized Rayleigh equation: limit cycles and stability. *Journal of Mathematical Chemistry* 51, 1164-1169.

De Bustos, M.T., López, M.A. y Martínez, R. (2013). On the Periodic Auto-Oscillations of an Electric Circuit with Periodic Imperfections on Its Variables. *Applied Mathematics & Information Sciences* 7(6), 2105-2111.

De Bustos, M.T., López, M.A. y Martínez, R. (2014). On the periodic solutions of a linear chain of three identical atoms. *Nonlinear Dynamics* 76(2), 893-903.

Antuña, A., Guirao, J.L., y López, M.A. (2014). Pseudo-radioactive decomposition through an generalized Shannon's recomposition theorem. *MATCH Commun. Math. Comput. Chem.* 72(2), 403-410.

López, M.A., Martínez, R. y Mota C. (2014). Analysis of transport networks in the urban environment in order to plan the integration of

high-speed rail. *Applied Mathematics & Information Sciences*, Aceptado, 1-9.

De Bustos, M.T., López, M.A. y Martínez, R. (2014). On the periodic orbits of the perturbed Wilberforce pendulum. *Journal of Vibration and Control*, Aceptado, 1-11.

Antuña, A., Guirao, J.L., y López, M.A. (2015). Shannon Whittaker Kotel'nikov's theorem generalized. *MATCH Commun. Math. Comput. Chem.* 73(2), 385-396.

Bibliografía

López, M.A. (1998). Umbral orden-caos y bifurcaciones en sistemas no autónomos bajo perturbaciones periódicas generalizadas. *Tesis doctoral*, Universidad de Murcia.

Martínez, R. (2010). Sistemas transitivos y modelos localmente Cournot. *Tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Cartagena.

Mota, C. (2013). La planificación de la implantación de la alta velocidad ferroviaria. Un estudio comparativo de la política de ordenación desde el análisis de las implicaciones territoriales. *Tesis doctoral*. Universidad de Castilla-La Mancha.

Participación en el proyecto Symbcity para la competición internacional Solardecathlon 2014.

Francisco Javier Castilla*, José Luis Serrano*, Jesús Alfaro*, Víctor Pérez*, Antonio Baño** y Fernando Estirado**

Resumen La Universidad de Castilla-La Mancha junto con la Universidad de Alcalá de Henares presentaron en diciembre de 2012 una candidatura para participar en la competición de diseño y construcción de viviendas de consumo energético casi nulo "Solar Decathlon" Europe 2014. La propuesta fue seleccionada junto con otras 19 del resto del mundo para participar conjuntamente, bajo el nombre de "Plateau Team", en este evento. El desarrollo de la propuesta conlleva una gran cantidad de tareas además de construir un prototipo, ya que consiste en actuar en edificios existentes de modo que, aumentando el volumen del edificio por las fachadas y la cubierta se consigan nuevos espacios vivideros y aprovechables, que hagan crecer la densidad de las ciudades, sin ocupar nuevo suelo, a la vez que mejoran la eficiencia energética de los edificios a los que se adaptan. Dadas las características de la propuesta, no se tratan soluciones constructivas ni materiales convencionales, sino que se tienen en cuenta factores como la sostenibilidad, el impacto medioambiental, el Análisis de Ciclo de Vida, la rapidez y sencillez en la ejecución y montaje, posibilidades de prefabricación y otros parámetros que dotan a la propuesta de un carácter innovador. Los resultados obtenidos han sido muy satisfactorios, tanto desde el punto de vista académico como de la propia competición, donde el prototipo "Symbcity" logró demostrar su eficiencia energética y su capacidad de mantener condiciones de confort con un mínimo consumo energético.

*Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, FcoJavier.Castilla@uclm.es, JoseLuis.Serrano@uclm.es, Jesus.Alfaro@uclm.es y Victor.Perez@uclm.es

**Departamento de Arquitectura. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, Spain, antonio.banno@uah.es y fernando.estirado@uah.es

Introducción. La competición SOLAR DECATHLON

Solar Decathlon Europe (SDE) es una competición universitaria internacional que impulsa la investigación en el desarrollo de viviendas eficientes y de bajo consumo energético basadas en la energía solar. El objetivo de los equipos participantes es el diseño y construcción de casas que consuman la menor cantidad de recursos naturales, produzcan un mínimo de residuos durante su ciclo de vida y reduzcan la demanda y el consumo de energía, obteniendo el máximo posible a partir del sol.



Durante la fase final de la competición cada equipo ha de construir su prototipo en un recinto abierto al público denominado Villa Solar, donde todas ellas pueden ser

visitadas, a la vez que se enfrentan a las diez pruebas (de ahí el nombre de "decathlon") que determinan cuál es la ganadora de la edición. Cada uno de estos equipos procede de una o más universidades, con la colaboración económica y técnica de instituciones y empresas. El protagonismo durante todo el proceso, desde el inicio del diseño a la última fase del concurso recae sobre los estudiantes, conocidos como "decathlets", tutelados por profesores, "Faculty Advisors".

La organización del evento tiene una doble finalidad formativa y científica: los decathletas aprenden a trabajar en equipos multidisciplinares, que se enfrentan a los retos que plantea el futuro de la edificación, desarrollando soluciones innovadoras. El público comprueba y toma conciencia de las posibilidades reales de aunar una disminución del impacto medioambiental, con el mantenimiento del confort y calidad del diseño en sus hogares, y para los profesionales supone un muestrario de soluciones constructivas poco convencionales que pueden estudiar y aplicar posteriormente. Además, los voluntarios, generalmente estudiantes universitarios, imprescindibles para la realización de SDE, tienen la oportunidad de intercambiar experiencias con los equipos y crecer profesionalmente a través de su trabajo durante la competición. Por su parte, las universidades, empresas y organismos públicos acceden a un nuevo modo de colaboración, evaluando nuevas soluciones constructivas

en condiciones reales, para llevarlos más adelante al mercado, o perfeccionando y aplicando de forma creativa productos existentes.

Las 10 pruebas

La competición se divide en las siguientes pruebas. Algunas de ellas son evaluadas por un jurado y otras mediante monitorización o realización de tareas.

1. <i>Arquitectura</i>	– Jurado – 120 puntos
2. <i>Ingeniería y Construcción</i>	– Jurado – 80 puntos
3. <i>Eficiencia Energética</i>	– Jurado – 80 puntos
4. <i>Balance de Energía Eléctrica</i>	– Monitor. –120 puntos
5. <i>Condiciones de Confort</i>	– Monitor.-test –120 puntos
6. <i>Funcionamiento de la Casa</i>	– Monit.-tareas –120 puntos
7. <i>Comunicación y Conciencia Social</i>	– Jurado – 80 puntos
8. <i>Diseño Urbano, Transporte y Asequibilidad</i>	– Jurado – 120 puntos
9. <i>Innovación</i>	– Jurado – 80 puntos
10. <i>Sostenibilidad</i>	– Jurado – 80 puntos

El equipo. PLATEAU TEAM.

Plateau Team está formado por un grupo de 40 estudiantes de la Universidad de Alcalá de Henares y la Universidad de Castilla-La Mancha. Se trata de un equipo multidisciplinar especializado en diferentes áreas como Arquitectura, Ingeniería de Edificación e Ingeniería Industrial, creando así el ambiente perfecto para el desarrollo del proyecto (Fig. 1).

Para fomentar la participación y creación del equipo, se estableció por parte de los profesores un primer periodo de presentación libre de propuestas, en las que cada alumno, o grupo de ellos, de cualquier escuela expusiese su visión del proyecto. La organización de la competición proponía los puntos básicos sobre los que giraría la edición de 2014 y sobre los que los estudiantes deberían enfocar sus planteamientos, entre ellos la capacidad de adecuación al contexto socioeconómico local. De este experimento, los profesores involucrados, ejerciendo su labor de guías, seleccionaron las propuestas que tenían la suficiente fuerza para

conseguir formalizar una candidatura adecuada a las exigencias de la competición.



Figura 1. Grupo de estudiantes y profesores integrantes de Plateau Team en una de las convivencias de trabajo. Alcalá de Henares. Mayo 2013.

En la candidatura debían desarrollarse los aspectos más importantes sobre los que iba a tratar el proyecto: Objetivos, diseño e innovación, capacidad de financiación, integración en la formación de los estudiantes, organización y planificación y comunicación del proyecto. La propuesta de Plateau Team cumplió los requisitos necesarios para ser uno de los 20 equipos candidatos a participar en Solar Decathlon Europe 2014. Así es como se puso la primera piedra del proyecto llamado Symbcity.

El proyecto. SYMBCITY.

Contexto urbano. La rehabilitación de edificios

De los análisis urbanísticos realizados hasta ahora, es conocida la situación de la edificación existente y la necesidad de mejorarla para adaptarla a las exigencias europeas del 2020. Es por ello, por lo que se plantea la necesidad de creación de una metodología que permita afrontar la

regeneración urbana integrada, incluyendo análisis urbanos, sociales, técnicos y económicos. El problema depende de una amplia variedad de factores, desde lo social a lo técnico, pero los más importantes son la viabilidad de las operaciones a gran escala y la conciencia social sobre la importancia de la reutilización y transformación de nuestros viejos edificios. Este enfoque ha sido planteado en relación a nuestro contexto local, centrándonos en los edificios y los grupos sociales que más necesitan las operaciones de reacondicionamiento y ahorro de energía, en nuestro caso, el gran parque de viviendas construido a partir de la década de 1950 y hasta los años 80, que necesita operaciones de reforma urgente.

El concepto de "Symbcity" se basa en la posibilidad de compartir energías entre lo que la ciudad existente tiene que ofrecer y lo que las nuevas viviendas sostenibles pueden conseguir con el fin de ayudar a detener la destrucción de nuestro medio ambiente.

Esta idea surge desde la trasposición del concepto "SIMBIOSIS" a la ciudad, evidenciando la necesidad que tiene la ciudad actual de recurrir a soluciones imaginativas que permitan reponer el valor perdido de nuestra edificación, en base a las actuales exigencias de confort, habitabilidad y sostenibilidad. El organismo (edificio) "huésped" proporciona tecnología actual, la posibilidad de adaptación a nuevos tiempos. El "anfitrión", aporta un suelo urbano amortizado y un entorno urbano consolidado. Este concepto ha sido desarrollado para resolver un verdadero desafío para nuestras ciudades: para iniciar la reforma energética total de las obsoletas viviendas de las ciudades españolas, convirtiéndose en una alternativa económica y socialmente "sensible" para la industria de la construcción. De esta manera, la transformación de nuestras ciudades puede convertirse en una realidad mediante acciones individuales, convirtiéndose paso a paso en una verdadera alternativa para nuestro futuro.

SymbCity

Se propone la "colonización" de las cubiertas de los edificios "Anfitrión" mediante la construcción de un nivel superior, implantando una amplia variedad de usos, desde instalaciones públicas a viviendas, en las que Plateau Team centra su investigación. La venta de éste suelo urbano adicional ayuda a financiar una operación de rehabilitación global del edificio, creando de esta manera un beneficio mutuo entre las viviendas "Anfitrión" (existentes) y las viviendas "Huésped" (nuevas). Esta relación

simbiótica guía todo el proyecto, desde la economía hasta los principios constructivos y la manera de compartir la energía y los equipamientos. Las nuevas viviendas huéspedes serán construcciones de consumo energético casi nulo mientras que las viviendas de los edificios anfitriones conseguirán al menos una certificación energética B, mediante la renovación de su envolvente térmica y sus instalaciones. La accesibilidad, un tema principal para los usuarios de este tipo de edificios, se mejora gracias a la incorporación de nuevos núcleos de escaleras y ascensores o la renovación de los existentes.

Symbcity comienza con la construcción de una estructura de madera independiente al edificio existente por el exterior, que puede anclarse a la estructura existente o apoyarse en el suelo con una cimentación independiente. El sistema estructural generado permite ampliar las viviendas existentes creciendo éstas 1 metro hacia el exterior en la fachada con orientación más favorable, aumentando la superficie de la vivienda y creando un espacio habitable entre la nueva fachada y la existente donde se pueden generar ganancias solares, reduciendo el consumo de calefacción en invierno. La figura 2 muestra un modelo virtual de aplicación de esta operación.



Figura 2. Imagen de la propuesta aplicada a uno de los edificios en un barrio tipo de viviendas de los años 60. (Fuente Plateau Team)

El resto de la envolvente se mejora mediante sistemas convencionales de aislamiento o sustitución de ventanas, y las instalaciones de captación solar se colocan en la cubierta del nuevo nivel de viviendas.

Las nuevas viviendas siguen un patrón estandarizado, creando tres áreas diferenciadas que permitan su modificación independiente en cada caso según las necesidades. En la figura 3 se muestra una planta del prototipo con la identificación de los distintos espacios: la estancia principal, donde tienen lugar las actividades cotidianas, una segunda estancia multifuncional, que funciona como un patio o un invernadero según las estaciones, y un tercer espacio o el bloque técnico que contiene las instalaciones y cuartos húmedos. De esta manera, la vivienda puede ser fácilmente industrializada por partes.

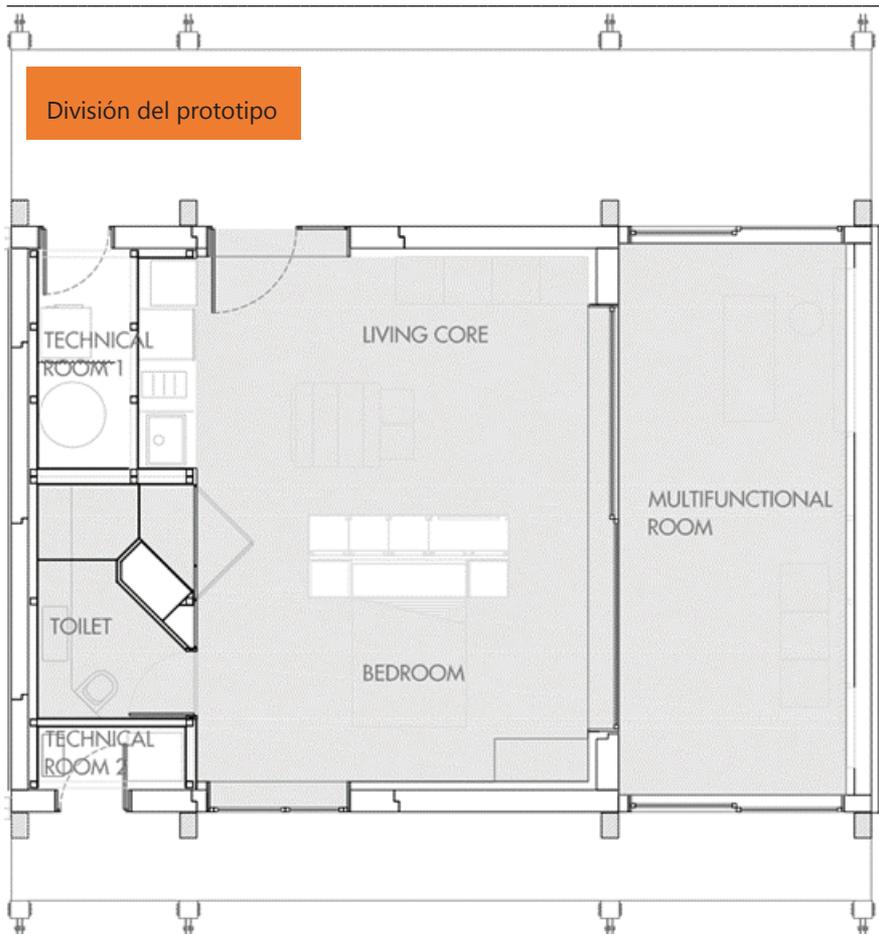


Figura 3. Planta de una de las viviendas prototipo con 10 m de fachada, donde se identifican los distintos espacios (Fuente Plateau Team)

El nivel adicional que se construye en la cubierta está colgando de la estructura de tirantes de madera sin apoyos intermedios, transmitiendo todas las cargas estructurales al suelo o la estructura existente sin sobrecargar la cubierta. Esta característica es especialmente importante para ejecutar un proceso de construcción que no interfiera con el uso del edificio, requiriendo para ello un sistema estructural flexible que se adapte a las condiciones particulares de cada caso. El diseño de la vivienda tiene en cuenta principios bioclimáticos e incorpora elementos innovadores como acabados interiores de barro con materiales de cambio de fase, muros vegetales con elementos reciclados, y sistemas de ventilación mecánica con recuperación de calor, que minimizan la demanda de otras

fuentes de energía para la climatización. El principal reto de Symbcity es obtener del sol toda la energía demandada por las nuevas viviendas y generar un excedente para alimentar energéticamente a las viviendas del edificio existente, por lo que la cubierta incorpora en toda su superficie captadores solares térmicos y fotovoltaicos.

La competición. VERSALLES 2014.

Fase de proyecto

Durante año y medio, desde la selección de los equipos participantes (diciembre 2012) al desarrollo de la competición propiamente dicha en Versailles (junio-julio, 2014) el trabajo realizado por nuestro equipo ha consistido en distintas tareas, como la difusión y concienciación social, la captación de fondos y patrocinios, y la materialización del prototipo de vivienda. La organización del concurso exigía la entrega periódica de documentación, cada tres meses, que debía reunir las condiciones mínimas para poder seguir adelante en la competición. Durante esta fase los estudiantes se repartieron el trabajo y las responsabilidades en grupos dirigidos por algún profesor, las reuniones por videoconferencia han sido el método de trabajo habitual y se han realizado varios talleres conjuntos en las distintas sedes (Alcalá de Henares, Cuenca y Albacete). La escuela politécnica de Cuenca, además de realizar las labores de difusión en el ámbito local, ha participado activamente en el diseño y ejecución de las instalaciones de agua y climatización de la vivienda, consistentes en un sistema de producción de agua caliente sanitaria y para climatización, mediante paneles solares, con suelo y techo radiante, apoyado por un sistema de aerotermia de alta eficiencia. También han sido los estudiantes de nuestra escuela los que han asumido la responsabilidad de controlar todas las cuestiones relacionadas con la seguridad y salud durante el proceso de construcción.

Construcción

Los requisitos de la competición obligaban a la construcción de un prototipo de vivienda con dimensiones limitadas, en un solar de 20x20m, con posibilidad de ser visitada por el numeroso público asistente al evento, durante las tres semanas de exposición. La figura 4 muestra la parte seleccionada del edificio con una de las nuevas viviendas incorporada y su transposición al solar de la competición. Además era necesario realizar el montaje del mismo en 10 días y desmontarlo en 5, por lo que el prototipo, aparte de ilustrar la idea global de nuestro proyecto debía tener un alto grado de prefabricación, que permitiera su montaje previo en España, incluyendo la prefabricación de varios elementos en distintas localidades, su desmontaje, traslado y nuevo montaje en el lugar de competición, así como la operación inversa. Esto responde además a las condiciones reales de implantación de un sistema de este tipo en edificios existentes, donde las operaciones a realizar in situ deben ser las mínimas para garantizar la eficacia del proceso y el menor impacto posible durante la ejecución.

El sistema constructivo se basa en paneles de entramado de madera rellenos de aislamiento de espesores entre 15 y 20 cm, que conforman suelos, paredes y techos de la vivienda, para evitar la pérdida de energía

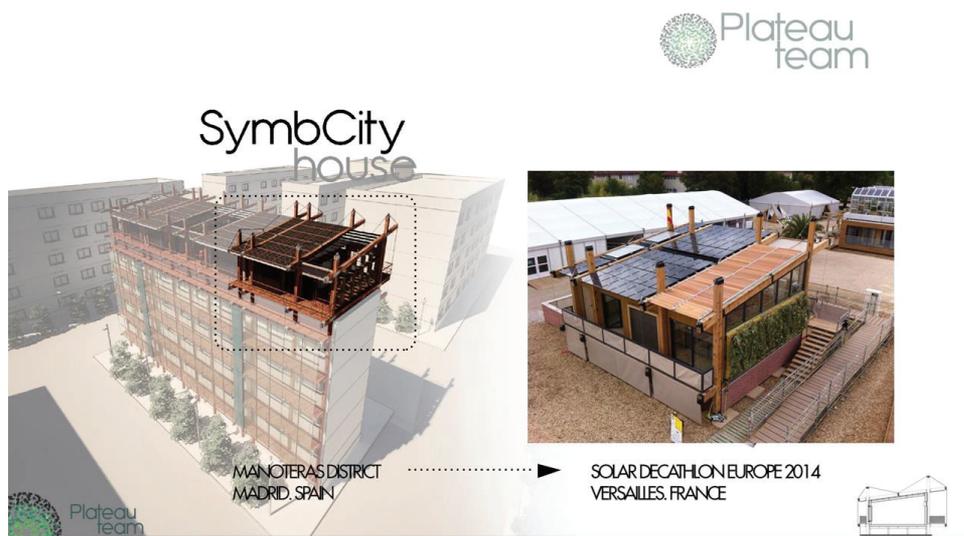


Figura 4. Imagen del edificio con la vivienda seleccionada para su construcción y del prototipo ya construido en la villa solar.

Estos paneles están contruidos con madera contralaminada y bastidores y estructura interna de madera enteriza. Al mismo tiempo se incorporan materiales de cambio de fase⁴ para conseguir mayor inercia y mantener una temperatura constante en la cara interior. Los marcos de las ventanas y vidrios tienen igualmente una transmitancia térmica muy baja. Las figuras 5 y 6 muestran imágenes de la vivienda terminada y el proceso de montaje de la misma en la villa solar.



Figura 5. Proceso de montaje del prototipo en la villa solar. Versailles, junio 2014.

⁴ Ver trabajo recogido en esta misma publicación: “La recuperación de la tierra como material de construcción: tradición e innovación”.



Figura 6. Imagen del equipo junto al prototipo terminado en la villa solar. Versailles, junio 2014.

El módulo de instalaciones se fabrica en dos bloques independientes que se colocan en obra una vez ensamblados los cerramientos del edificio. Cada bloque alberga las instalaciones de maquinaria y cuadros eléctricos, realizándose en obra tan solo las conexiones con los otros módulos y las instalaciones de la cubierta.

Resultados

Una experiencia de este tipo es una oportunidad inigualable para poder comprobar realmente el comportamiento de una construcción que se ha modelizado previamente, y de este modo contrastar los resultados obtenidos mediante simulaciones previas con los aportados por la monitorización, aunque sea durante las tres semanas de competición. En este sentido, el diseño de la vivienda ha cumplido en gran medida con las expectativas obteniendo muy buenos resultados en las pruebas de *eficiencia energética* y *condiciones de confort*. Las figuras 7 y 8 recogen la clasificación y resultados de estas pruebas.

En el primer caso, el equipo obtuvo un tercer puesto, tratándose de una prueba de evaluación por un jurado de expertos. El jurado valoró enormemente tanto la apuesta de rehabilitación de edificios completos como la sencillez y claridad en la utilización de las estrategias de diseño.

bioclimático. La incidencia solar es controlada cuidadosamente por aleros y lamas de protección orientables sobre la cubierta acristalada del invernadero. De esta manera se obtiene un buen equilibrio entre estrategias de ahorro energético activas y pasivas, logrando un consumo de energía casi nulo. El patio/invernadero es un espacio muy flexible que puede ser adaptado en función del cambio de estaciones. Se convierte en un lugar agradable en verano, comportándose como patio tradicional mediterráneo donde la protección solar, la ventilación y un jardín vertical refrescan el ambiente. Durante los meses de invierno la envolvente se cierra completamente, convirtiéndose en un espacio adicional calefactado de forma pasiva.

En lo referente a las condiciones de confort, la vivienda quedó clasificada en quinto lugar, tratándose de una prueba de monitorización de distintos parámetros, como temperatura, humedad y contaminación del aire interior, así como de la comprobación de niveles de iluminación y ruido. Las estrategias expuestas anteriormente permitieron mantener unas condiciones muy próximas a las de confort durante casi todo el tiempo, sin utilizar otros sistemas mecánicos de climatización que un ventilador para realizar renovaciones periódicas de aire. Igualmente la correcta disposición de huecos y permitió obtener la máxima puntuación en las mediciones de iluminación natural sin que esto repercutiera en ganancias solares y calentamiento excesivo del espacio interior.



Figura 7. Resultados de la prueba de eficiencia energética y gráfico obtenido de las simulaciones energéticas.



Figura 8. Resultado de la prueba de condiciones de confort y vista del interior de la vivienda y gráfico con la monitorización de temperaturas, interior y exterior.

La participación en el proyecto ha supuesto una oportunidad única para profesores y alumnos, que ha permitido involucrar a los estudiantes en el desarrollo sostenible de la edificación. La organización de la competición anima a vincular este trabajo, llevado a cabo por estudiantes, con sus actividades académicas, por lo que se han podido realizar varios trabajos de fin de grado relacionados con este proyecto: "Proyecto de investigación sobre los edificios existentes de castilla-la mancha y la comparación de dos tipos de intervención en el mismo edificio" (Elena Cuevas Gómez y Luis López López); "Estudio, propuesta y aplicación de estrategias pasivas para el proyecto symbcity" (Ángel Sanchez Inocencio); "Parametrización del prototipo 'SYMB CITY' en software BIM (ArchiCAD)" (Jesús Ángel Martínez Carpintero). El resto de alumnos del Grado en Ingeniería de Edificación de la Escuela Politécnica de Cuenca, participantes en el proyecto son: Alejandro Gil Graells, María José Martínez Gómez, Paloma Santos Gómez y Álvaro Tarancón Vinuesa.

Finalmente, hay que destacar el papel de un buen número de empresas y patrocinadores, sin cuya aportación este proyecto hubiera sido inviable y que consistía a su vez en uno de los objetivos del mismo, lograr la colaboración universidad-empresa, todos ellos aparecen incluidos en nuestra web oficial. www.plateauteam.com, donde figuran además el resto de miembros del equipo.

Referencias

<https://www.facebook.com/photo.php?v=10152292105281336&l=1858260490011084930>

Video del proceso de montaje del prototipo Symbcity

<https://www.thesphere.com/417332>

Visita virtual al interior de la vivienda

<https://www.youtube.com/watch?v=nPq0apvt1uo>

Video explicativo de la propuesta de Plateau Team

<https://www.facebook.com/PlateauTeam>

Actividades realizadas durante el desarrollo de todo el proyecto e información de eventos organizados o en los que se ha participado.

<http://www.solardecathlon2014.fr/en/documentation>

Resultados de la competición, y documentación técnica completa del proyecto Symbcity y resto de equipos y proyectos participantes.

ACÚSTICA Y APLICACIONES

Análisis objetivo y subjetivo del ruido emitido por máquinas.

José A. Ballesteros*, Marcos D. Fernández*, Samuel Quintana*, Isabel González*

Resumen El ruido industrial producido por las máquinas es una fuente de ruido muy extendida en los países industrializados, y que afecta tanto a trabajadores como a vecinos. Dada la gran importancia de esta fuente de ruido, el grupo de Investigación y Desarrollo en Acústica (IDEA) de la Escuela Politécnica de Cuenca ha llevado a cabo diversas investigaciones centradas en la medida y evaluación del ruido producido por las mismas. Dichas investigaciones se han centrado en la evaluación tanto objetiva como subjetiva del ruido producido por las máquinas. Desde el punto de vista objetivo, se ha evaluado la potencia acústica emitida por máquinas de diversos tamaños, desde máquinas pequeñas (taladros, amoladoras, etc.) a máquinas grandes (excavadoras, dumpers, etc.), analizando el método estandarizado que mejor se adecúa a la medida de potencia acústica en cada uno de estos grupos y la emisión acústica de dichas máquinas. Desde el punto de vista psicoacústico, se han evaluado los parámetros psicoacústicos objetivos, permitiéndonos conocer en mayor detalle la emisión que presenta este tipo de máquinas. Además, se han pasado encuestas a distintas personas, con el fin de conocer la percepción subjetiva que tienen del ruido emitido por las mismas. Los resultados obtenidos con los distintos parámetros analizados (acústicos y psicoacústicos) permitió la elaboración de patrones acústicos y de un nuevo código de etiquetado de máquinas en el que se ponen de manifiesto, de forma clara y sencilla, las características del ruido emitido por las mismas y su percepción psicoacústica. Además, se han explorado nuevos procedimientos de medida en base a distintas técnicas de procesado, como por ejemplo la separación ciega de fuentes, que establecen un punto de partida que podrá permitir la medida de la potencia acústica de las máquinas evitando los problemas que presentan las técnicas estandarizadas actuales.

*Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, josea.ballesteros@uclm.es, Marcos.Fernandez@uclm.es, Samuel.Quintana@uclm.es e Isabel.Gonzalez@uclm.es

Introducción

El ruido industrial es hoy en día uno de los agentes contaminantes más importantes, principalmente debido a su influencia en la salud de los trabajadores expuestos a altos niveles de presión sonora, tanto a nivel físico como psicológico.

Es difícil definir qué quiere decir que el ruido es un contaminante físico. Normalmente se considera el ruido como un sonido no deseado, pero esta clasificación es subjetiva, ya que un sonido puede ser agradable para unas personas y desagradable para otras, o agradable durante un determinado periodo y desagradable en otro.

Cada día, en la Unión Europea, los trabajadores están expuestos a ruido y a sus consecuentes riesgos en el lugar de trabajo, siendo los más destacables las pérdidas auditivas.

El parámetro más obvio a la hora de caracterizar el ruido es su nivel de presión sonora, no obstante, se deben tener en cuenta otros factores importantes como la duración de la exposición, la impulsividad, la frecuencia, el espectro o la distribución a lo largo de la jornada laboral. Es por ello, que las medidas de niveles objetivos no son suficientes, y se deben evaluar parámetros psicoacústicos y realizar encuestas de percepción.

En los trabajos realizados por el grupo de Investigación y Desarrollo en Acústica (IDEA) de la Escuela Politécnica de Cuenca, se han realizado estudios tanto objetivos como subjetivos del ruido producido por distintas máquinas, elaborando, a partir de ellos, patrones de emisión de las distintas familias de máquinas y un código de etiquetado que incluye tanto la evaluación objetiva como subjetiva. Además, se ha definido un nuevo procedimiento de medida de potencia sonora que permita subsanar los problemas encontrados en las técnicas de medidas estandarizadas actuales.

Evaluación objetiva del ruido de máquinas

Cuando queremos evaluar el ruido emitido por máquinas, uno de los parámetros más importantes que debemos evaluar es la potencia acústica generada por las mismas. Este parámetro representa una característica

propia de la máquina bajo ensayo, como podría ser su longitud o su peso, por lo que no varía en función de la distancia o del entorno acústico en que hagamos la medida.

Cuando medimos la potencia acústica de las máquinas, podemos elegir entre dos procedimientos estandarizados. El primero, descrito en la familia de normas ISO 374x se basa en la medida de la presión acústica emitida por la máquina. El segundo, basado en la familia de normas 9614-x, se basa en la intensidad acústica radiada por la misma.

Para realizar la medida de potencia acústica utilizando el método de presión, debemos incluir la máquina en una superficie de referencia, de tal forma que queden excluidas las partes de la misma o elementos auxiliares que no presentan emisión. Posteriormente, esta superficie de referencia se incluirá en una superficie de medida, sobre la que se determinarán las posiciones de medida, en las que se colocarán los micrófonos necesarios.

Una vez determinadas las posiciones de medida, mediremos tanto el nivel de presión sonora, como el nivel de ruido de fondo en esos puntos, determinando el nivel de potencia acústica de la máquina en base a ellos y a las características del entorno de ensayo.

En cuanto a la técnica basada en intensidad, nuevamente incluiremos la máquina en una superficie de referencia. En dicha superficie estableceremos los puntos de medida (medida por puntos de discretos) o los segmentos correspondientes (medida por barrido), realizando la medida de la intensidad sonora radiada por la máquina y calculando a partir de ella la potencia acústica de la misma (Figura 1).

Teniendo en cuenta las dos familias de normas estandarizadas de las que disponemos, resulta de interés conocer cual debemos aplicar en cada momento, para que la medida sea más rápida, fiable, etc. Teniendo esto en cuenta, se han realizado diversas comparativas de metodología en máquinas de distinto tamaño.



Figura 1. Realización de medidas por intensidad.

En el primero de estos estudios (Ballesteros et al., 2008a) tras comprobar en la medida de una mini-excavadora que no existían diferencias importantes entre los resultados obtenidos por ambos métodos, y la medida de un número considerable de máquinas (tabla 1) empleando ambas técnicas, se determinó cual se debería utilizar para la medida de máquinas manuales:

1. Para máquinas de pequeño tamaño, como máquinas manuales, es mejor utilizar el método de presión sonora, dada la dificultad que supone realizar los barridos debido al área pequeña de los segmentos.
2. A la hora de medir máquinas grandes, es preferible utilizar el método basado en intensidad sonora, ya que el número de puntos de medida que tendríamos con el método de presión es elevado, lo que conllevaría un tiempo de medida también elevado.
3. Para aquellas máquinas cuyo ruido no es constante, es mejor utilizar el método de presión con un tiempo de medida suficientemente grande para registrar un ciclo completo de la máquina. Con el método de intensidad incurriríamos en errores al tener diferencias en la intensidad medida en cada uno de los dos barridos a realizar en los respectivos segmentos.
4. Si no conocemos el entorno acústico o el nivel de ruido de fondo es elevado, es preferible utilizar el método de intensidad, ya que es más tolerable a este tipo de problemas.
5. Si la experiencia del técnico de medida con la sonda de intensidad no es suficiente, es mejor utilizar el método de presión, ya que es un método más sencillo.

Tabla 1 Relación de máquinas medidas en la primera fase.

Tipo de máquina	UNE-EN ISO 3744	UNE-EN ISO 9614-2
Compresor	6	4
Tejedoras	0	10
Fresadora	3	7
Sierra de calar	10	0
Amoladora	10	0
Taladro	10	0
Sierra escuadradora	1	9
Owerlock	0	2
Cortacésped	4	0
Amoladora	0	3
Torno	0	10
Grupo electrógeno	0	10
Imprenta offset	0	6
Motosierra	7	0
Enconadora	0	1
Mini-excavadora	1	1
Total	52	63

Tras la realización de este estudio, se procedió a comprobar sobre máquinas de movimiento de tierras qué método era mejor utilizar (Ballesteros et al., 2008b). Para ello, se tuvieron en cuenta, no sólo los dos anteriores, sino también el estándar específico para este tipo de máquinas.

Este estándar, descrito en la norma UNE-74100, establece que debemos definir una superficie de referencia hemiesférica a partir de la longitud característica de la máquina, en la que situaremos 6 puntos de medida a distintas alturas como puede observarse en la figura 2.



Figura 2. Realización de medidas según la norma UNE-74100.

Tras comparar los tres métodos en la medida de una mini-excavadora, y la medida de distintas máquinas (tabla 2) entre las que se incluyen, no sólo máquinas de movimiento de tierras, sino también otras similares en cuanto a tipo y tamaño, se determinaron una serie de recomendaciones, además de las anteriormente descritas, a la hora de medir este tipo de máquinas:

1. El mejor procedimiento para medir la potencia acústica de este tipo de máquinas, así como otras de gran tamaño, es el método de intensidad, ya que es un método más rápido. El número de puntos de medida necesarios según el método de la norma UNE-EN ISO 3744 es elevado, y el proceso de montaje según el método de la norma UNE 74100 es lento.
2. Si tenemos una máquina cuyo ruido no es constante con el tiempo, es mejor utilizar los métodos basados en la presión acústica emitida por la máquina. La elección entre estos dos métodos vendrá determinada por el número de puntos de medida al aplicar la norma UNE-EN ISO 3744, así como de la altura de los micrófonos necesaria según la norma UNE 74100.

Tabla 2 Relación de máquinas medidas en la segunda fase.

Tipo de máquina	UNE-EN ISO 3744	UNE-EN ISO 9614-2	UNE 74100
Retroexcavadora	0	5	0
Mixta			
Camión hormigonera	0	5	0
Mini-excavadora	1	5	1
Plataforma elevadora	0	1	0
Excavadora	0	5	0
Manitude	0	1	0
Dumper	0	4	0
Apisonadora	0	1	0
Total	1	32	1

Otro ítem importante en esta investigación consistió en la evaluación del ruido emitido por grandes máquinas, sobre todo aquellas relacionadas con el sector de la construcción (González et al., 2009).

En este caso, se procedió a la evaluación de la potencia acústica de 5 familias de máquinas utilizadas principalmente en el sector de la construcción: retroexcavadoras mixtas, mini-excavadoras, excavadoras, camiones hormigonera y dumpers. Como conclusiones del estudio, se puso de manifiesto lo siguiente:

- Las grandes máquinas utilizadas en el sector de la construcción presentan un nivel de emisión elevado, debido en muchos casos a un mal mantenimiento de las mismas, que hace que su nivel de emisión aumente a medida que aumenta su tiempo de uso.
- Las máquinas más grandes (Retroexcavadoras mixtas, excavadoras y camiones hormigonera) presentan un espectro de emisión plano con un descenso de la emisión a alta frecuencia, sin embargo, las máquinas con un tamaño menor (mini-excavadoras y dumpers)

presentan un espectro con un mayor nivel de emisión a baja frecuencia que disminuye a medida que aumenta la frecuencia.

Esta investigación se enmarcó dentro del proyecto regional “Caracterización acústica de materiales y medida del ambiente sonoro para el sector de la construcción - CAMMAS (JCCM, Ref. PAI07-0101-3656)”.

Evaluación subjetiva del ruido de máquinas

Además de la evaluación objetiva del ruido producido por distintas máquinas a partir de la medida de su potencia acústica, se han realizado diversos estudios acerca de la calidad sonora de este tipo de ruido (Fernández et al., 2007). Dichos estudios se han realizado evaluando tanto los parámetros psicoacústicos objetivos, como los resultados de encuestas a la población acerca de su opinión sobre el ruido producido por dichas máquinas.



Figura 3. Realización de medidas con un HATS.

Para la valoración de los parámetros psicoacústicos objetivos (Fernández et al., 2007) se graba el ruido producido por la máquina con un HATS (Simulador de cabeza y torso - Head And Torso Simulator) situado en la posición del trabajador, como se observa en la figura 3, el cual presenta dos micrófonos localizados en las orejas artificiales de un dummy que simula la cabeza y el torso humanos. A partir del procesado de estas grabaciones se determinan ciertos parámetros relacionados con la percepción humana: Loudness (impresión de sonoridad), Sharpness (impresión de alta frecuencia), Roughness (impresión causada por modulaciones de baja frecuencia), Fluctuation Strength (impresión causada

por modulaciones de frecuencia media) o SIL (interferencia causada por el sonido con el habla normal - Speech Interference Level).

Tras obtener los parámetros psicoacústicos objetivos (Fernández et al., 2007), se procede al diseño de la encuesta de percepción. En el estudio llevado a cabo se han realizado dos test de semántica diferencial, en los que el oyente debe marcar una opción en una escala entre dos adjetivos opuestos. El primero de los test sirve para evaluar la capacidad de los oyentes, y así tener resultados coherentes. Una vez pasado el primer test, el segundo consiste en la evaluación de la máquina propiamente dicha. El test de valoración se definió de forma que los adjetivos utilizados fueran fácilmente entendibles y tuvieran una relación con los parámetros objetivos, tal y como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 Encuesta de percepción.

Pregunta	Relacionado con:
Fuerte / Débil	Presión sonora promedio, Nivel de presión sonora Loudness
Constante / Variable	Variación del sonido con el tiempo, Roughness, Fluctuation Strength
Cíclico / No cíclico	Patrón de repetición del sonido, Roughness, Fluctuation Strength
Envolvente / Detallado	Existencia de picos importantes, Sharpness
Seco / Reverberante	Extinción del sonido, reverberación, viveza, Loudness, Roughness, Fluctuation Strength
Presencia / Ausencia de agudos	Contenido en alta frecuencia, Sharpness
Presencia / Ausencia de bajos	Contenido en baja frecuencia, Roughness, Fluctuation Strength
Compatible / Incompatible con el habla	Interferencia con una conversación simultánea, SIL
Agradable / Desagradable	Pleasantness, Psychoacoustic annoyance
Tiempo (0-8 h) que estaría dispuesto a trabajar con la máquina	Máximo nivel de exposición sonora, Pleasantness, Psychoacoustic annoyance

El procedimiento descrito se aplicó a distintas familias de máquinas, como por ejemplo taladros (Fernández et al., 2007), observándose cómo el ruido percibido por este tipo de máquinas presenta una impresión general bastante negativa y un usuario medio sólo estaría dispuesto a trabajar con ella 3 h. de una jornada de 8 h. Otro ejemplo es el de las sierras de calar (Fernández et al., 2009a), en el que se observó que la impresión de general volvía a ser negativa y un usuario medio no estaba dispuesto a trabajar con ella más de media hora de una jornada de 8h. Además, se ha observado que la presencia de agudos en el ruido de estas familias de máquinas es muy marcada, por lo que se recomienda modificar el diseño de las mismas para conseguir una mayor agradabilidad.

Este estudio se enmarcó dentro del proyecto nacional "Caracterización del campo sonoro en ambientes industriales. Efectos psicoacústicos y bases de datos – CICYT, Ref DPI 2004-07073-C02-02" y del proyecto regional "Caracterización acústica de materiales y medida del ambiente sonoro para el sector de la construcción - CAMMAS (JCCM, Ref. PAI07-0101-3656)".

A parte de utilizar un HATS para llevar a cabo los estudios psicoacústicos, existe otro método que consiste en usar unos micrófonos binaurales localizados en los oídos del sujeto. Para comprobar si se obtienen los mismos resultados con ambas técnicas, se procedió a realizar medidas sobre diversos tipos de máquinas tanto con el HATS, como con los micrófonos binaurales, los cuales se localizaron en los oídos de personas con distinta altura, peso, sexo, complexión, etc. (Ballesteros et al., 2009a), observándose que no existían diferencias significativas entre los resultados obtenidos con ambas técnicas.

Teniendo esto en cuenta, se recomienda utilizar los micrófonos binaurales para medidas de máquinas manuales con bajos niveles de emisión de ruido, ya que al utilizar el HATS, el cuerpo del técnico que deberá utilizar la máquina influirá en la medida. Por otro lado, se recomienda usar el HATS para la medida de máquinas medianas y grandes, así como aquellas con niveles elevados de emisión sonora, ya que en otro caso, el técnico estaría expuesto a altos niveles de presión sonora.

Otros resultados

Además de la evaluación de los parámetros objetivos y subjetivos de las máquinas, se han obtenido una serie de resultados adicionales, como son

los patrones acústicos de las máquinas bajo ensayo y la elaboración de un código de etiquetado de máquinas en función no sólo de sus parámetros de emisión, sino también de la evaluación psicoacústica llevada a cabo.

Patrones acústicos

Los estudios anteriores, tanto objetivos como subjetivos, permitieron obtener el patrón acústico de varias familias de máquinas. Estos patrones acústicos consisten en encontrar descriptores comunes y relaciones entre todas las máquinas estudiadas que tengan algo en común, normalmente, que realicen la misma función, por lo que parece lógico pensar que su emisión acústica también será similar.

Las posibilidades que ofrece la realización de los patrones acústicos son elevadas. Si a la hora de realizar la encuesta de percepción se tienen en cuenta los posibles compradores del producto, se podría observar el grado de aceptación de la misma en materia de ruido. Por otro lado, si se obtiene un resultado negativo, el resultado debería evaluarse por el departamento de desarrollo del producto para adecuar el sonido a los gustos de los clientes. Además, podría observarse si una determinada familia de máquinas produce determinados efectos en los trabajadores, o si estos necesitan equipos de protección individual.

Es importante tener en cuenta que este proceso es dinámico y los gustos de los posibles clientes cambian con el paso de los años, por lo que el patrón acústico de la máquina deberá adaptarse a estos cambios.

Los parámetros necesarios para obtener el patrón de un grupo o familia de máquinas serán: potencia sonora, Loudness, Roughness, Sharpness, Fluctuation Strength y SIL, así como los resultados de las encuestas de percepción psicoacústica. Estos parámetros deben compararse entre un número suficiente de máquinas, de forma que se garantice la representatividad estadística de los resultados.

Para determinar el patrón acústico de una familia de máquinas, realizamos el siguiente proceso:

- Se compara el espectro de potencia acústica, en octavas y tercios de octava, de un número representativo de máquinas.
- Se realiza un análisis de regresión para obtener un espectro promedio con un R^2 tan próximo a 1 como sea posible.

- A partir de las medidas psicoacústicas objetivas se obtienen la media y la desviación estándar entre todas las máquinas medidas.
- Se procesan los resultados de las encuestas psicoacústicas.
- Con estos tres análisis se cruzan todos los datos para extraer las relaciones que definan el patrón.
- Finalmente, se comparan los patrones obtenidos para distintas familias de máquinas con el fin de observar si existen relaciones entre las mismas.

Dada la complejidad de esta tarea se creó una base de datos alojada en web (NOMAD) que permitía crear informes de las distintas máquinas y hacer procesados entre los distintos parámetros (Fernández y Recuero, 2005).

En (Suárez, Fernández y Blas, 2005) se definió el patrón acústico de un taladro a partir de la medida de 10 taladros de distintas marcas y modelos. Los resultados muestran lo siguiente:

- El espectro muestra una tendencia común entre todos los taladros medidos, que puede predecirse a partir de una curva inversa ($R^2 = 0,949$) o de una curva-S ($R^2 = 0,955$).
- Se obtienen correlaciones claras entre los parámetros psicoacústicos y las magnitudes físicas, especialmente para el nivel de potencia acústica y el Loudness.
- Existe una gran contribución en altas frecuencias.

En (Fernández et al., 2009b) y (Fernández et al., 2011) se procedió a la evaluación del patrón acústico de la familia de sierras escuadradoras a partir de las medidas de 10 máquinas de distintas marcas y modelos, observándose los siguientes resultados:

- El espectro medio de estas máquinas puede dividirse en dos regiones: en la primera, hasta 1250 Hz, podemos predecir su comportamiento con una curva inversa que presenta una correlación de 0,930 sobre 1; a partir de 1600 Hz la curva cúbica presenta una correlación de 0,907.
- El patrón muestra un mayor nivel a baja frecuencia que decrece hasta la segunda región, donde se incrementa de nuevo con un aumento de nivel hasta los 3150 Hz.
- El nivel de potencia medio es de 90,3 dB, nivel bastante elevado y que sugiere el uso de protectores auditivos para el uso de este tipo de máquinas.
- La correlación entre el nivel de potencia y el Loudness es también relevante.

- Las respuestas a las encuestas son bastante homogéneas, contando con una desviación muy baja, siendo remarcables los resultados obtenidos para el caso de la evaluación de la molestia (3,87 sobre 5, siendo 5 el grado de máxima molestia) y el corto periodo de tiempo que se está dispuesto a utilizar la máquina (3,13 horas de una jornada de 8 h.).
- En lo referente a la relación entre los resultados de la encuesta con otros parámetros, la primera pregunta (fuerte/débil) presenta una alta correlación con el Loudness, y la agradabilidad con el Sharpness.
- El Sharpness es el parámetro que mejor define este tipo de máquinas, considerándose como molesta y presentando unos niveles de emisión elevados.

Este estudio se enmarcó dentro del proyecto nacional "Caracterización del campo sonoro en ambientes industriales. Efectos psicoacústicos y bases de datos – CICYT, Ref DPI 2004-07073-C02-02" y del proyecto regional "Caracterización acústica de materiales y medida del ambiente sonoro para el sector de la construcción - CAMMAS (JCCM, Ref. PAI07-0101-3656)".

Elaboración de un código de etiquetado

La elaboración de un código de etiquetado parte de que se está comprobando que no es suficiente con mostrar en las etiquetas de las máquinas los parámetros típicos de presión y potencia acústica, sino que se debe incluir también información psicoacústica. Además, los fabricantes, aunque no den información psicoacústica, sí que utilizan ésta durante el proceso de fabricación, ya que también consideran que la escala en dB es insuficiente.

En (Fernández, Recuero y Blas, 2008) se define el nuevo código de etiquetado de máquinas. Éste código de etiquetado debe cubrir al menos dos aspectos: la potencia sonora y la calidad sonora.

Tras la realización de medidas de potencia acústica y parámetros psicoacústicos definidos anteriormente, y su correlación con los parámetros objetivos clásicos, el máximo tiempo de exposición sonora, el riesgo de pérdidas auditivas y los equipos de protección auditiva más adecuados, así como la evaluación de los parámetros psicoacústicos

subjetivos a través de encuestas, se definen las características que debería cumplir el código de etiquetado propuesto:

- En la parte objetiva, se establece la siguiente escala de colores de acuerdo con el nivel de presión sonora:
 - $L_{pA} \leq 80$ dBA → No hay riesgo → Verde
 - 80 dBA < $L_{pA} \leq 85$ dBA → Bajo riesgo → Amarillo
 - 85 dBA < $L_{pA} \leq 90$ dBA → Riesgo medio → Naranja
 - $L_{pA} \geq 90$ dBA → Riesgo elevado → Rojo
- En la parte psicoacústica objetiva se elige el parámetro de molestia psicoacústica (OPA – Objective Psychoacoustics Annoyance), ya que unifica los valores obtenidos para Loudness, Sharpness, Roughness y Fluctuation Strength, modificándolo para evitar la alta variabilidad de los resultados obtenidos (OPA). La escala de colores en este caso quedaría de la siguiente forma:
 - $OPA' \leq 90$ → muy aceptable → Verde
 - $90 < OPA' \leq 100$ → aceptable → Amarillo
 - $100 < OPA' \leq 120$ → molesto → Naranja
 - $OPA' \geq 120$ → muy molesto → Rojo
- En la parte psicoacústica subjetiva hay dos preguntas en la encuesta que ayudan a extraer la información necesaria sobre la aceptabilidad de la máquina, estas son las preguntas 9 y 10, las cuales preguntan sobre si el sonido es agradable o desagradable en una escala de 1 a 5, y el número de horas que se estaría dispuesto a trabajar con esa máquina de una jornada de ocho horas en una escala de 0 a 8 h. en pasos de media hora. Con las respuestas a estas dos preguntas se determina un nuevo índice definido como molestia psicoacústica subjetiva (SPA - Subjective Psychoacoustic Annoyance).

Para el código de etiquetado, se ha tenido en cuenta además la reacción de las personas ante los colores propuestos: verde evoca seguridad, amarillo indica actividad, naranja evoca agitación y miedo y el rojo sugiere peligro y excitación.

Un ejemplo del código de etiquetado resultante se muestra en la figura 4, donde el cuadro con la letra O muestra la evaluación objetiva y el cuadro con la letra S la subjetiva. El cuadro objetivo se colorea de acuerdo a la escala establecida para el nivel de presión sonora en ponderación A y lleva el valor obtenido para la potencia acústica de la máquina. El cuadro de evaluación subjetiva se ha coloreado de acuerdo a la escala establecida

para el parámetro OPA', y el número muestra el resultado del parámetro SPA.

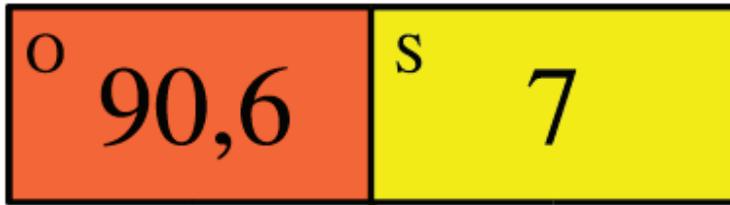


Figura 4. Ejemplo de etiquetado.

Teniendo todo esto en cuenta, el código de etiquetado muestra una gran cantidad de información:

- Nivel de presión sonora en ponderación A.
- Riesgo de exposición sonora.
- Evaluación de la calidad sonora.
- Molestia establecida por los usuarios.

Separación ciega de fuentes

Desde el comienzo de la investigación del grupo IDEA en relación al ruido emitido por máquinas, se observaron algunos problemas de las técnicas de medida estandarizadas a la hora de medir la potencia acústica generada por las máquinas.

El principal problema radica en el ruido de fondo presente en el lugar de ensayo, así, en un hipotético caso en el que el ruido de fondo fuera elevado, no sería posible realizar la medida por ninguno de los dos métodos estandarizados, ya que no existiría suficiente relación señal a ruido en el caso del método de presión y la intensidad parásita haría inviable la realización de la medida con el método de intensidad.

En (Ballesteros et al. 2005) se presenta el modelo inicial del nuevo método de medida, el cual se sirve de las posiciones de medida descritas en la normativa de medida de potencia por presión UNE-EN ISO 3744, pero ahora puede haber más de una fuente en funcionamiento al mismo tiempo.

Una vez definidas las posiciones de medida, se grabarán las señales en los puntos de medida, además de al menos tantas señales de ruido ambiente como máquinas interferentes haya.

Tras la grabación de todas las señales, se introducirán en los algoritmos de separación ciega de fuentes (BSS – Blind Source Separation), proponiéndose como mejora del sistema un preprocesamiento con transformada Wavelet antes de introducir las señales en los algoritmos BSS.

Para identificar, de entre todas las señales de salida del sistema de procesamiento, cual se corresponde con la máquina de interés, se realiza una correlación en frecuencia con una señal grabada en la que sólo esté en funcionamiento la máquina de interés, y se elegirá la señal de salida que presente una mayor correlación.

Obtenidas las señales propias de la máquina bajo ensayo, realizamos el mismo procesamiento para determinar la potencia acústica de la máquina que el descrito en la norma de medida de potencia por presión UNE-EN ISO 3744.

El esquema general del procedimiento se muestra en la figura 5.

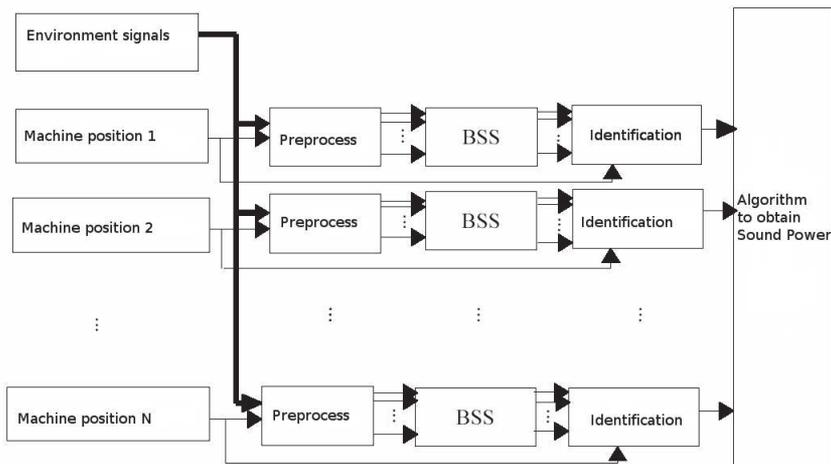


Figura 5. Esquema general de procesamiento con BSS.

Para evaluar la bondad del método propuesto, en (Ballesteros et al. 2005) se realizó la grabación de todas las señales necesarias en laboratorio de forma independiente, es decir, no se grabó la mezcla real, sino que se procedió a mezclarlas posteriormente mediante procesamiento software.

Las mezclas realizadas fueron lineal y simulada, con y sin ruido blanco gaussiano.

Los resultados obtenidos mostraron un alto nivel de correlación entre las señales obtenidas a la salida de los algoritmos BSS y las que se deberían obtener.

En (Fernández, Recuero y Ballesteros, 2007) se incorpora además un análisis de distintas formas de identificación de la señal de salida del algoritmo BSS para saber cuál es la señal de la máquina de interés. Las formas de identificación propuestas consistían en lo siguiente:

- A partir de la señal original: Esta técnica fue propuesta como una técnica de valoración de los resultados obtenidos con las otras dos, consistiendo en la evaluación de la correlación frecuencial entre las señales obtenidas a la salida de los algoritmos BSS y una señal propia de la máquina.
- A partir de la mezcla: Esta técnica consistía en realizar la correlación frecuencial entre las señales a la salida de los algoritmos BSS y la señal mezcla en uno de los puntos de interés de la máquina bajo ensayo. Como esta técnica identificaba la propia mezcla como la señal de la máquina, se decidió establecer un 75% de parecido como punto de discriminación, de forma que si la correlación era superior a este 75% se consideraba que se había identificado la propia mezcla y se proseguía con el proceso de identificación.
- Desde el patrón acústico de la máquina: A partir del espectro de potencia promedio se determinaba la señal que presentaba una densidad de energía similar a la del patrón.

Dado que los mejores resultados se obtenían comparando con una señal original de la propia máquina, se eligió éste como método de identificación. Esta técnica presenta el problema de tener que desconectar el resto de máquinas durante el tiempo de medida de esta señal de referencia, pudiendo estar conectadas durante el resto de la medida, lo que supone una ventaja respecto a las técnicas estándar. Además, si las máquinas interferentes presentan patrones acústicos distintos a la de interés, es probable que esta técnica arroje buenos resultados.

Finalmente, se probó la técnica propuesta en un entorno real, concretamente en una fábrica de maderas, donde se procedió a la medida de una cepilladora-perfiladora automática, comparando los resultados con los obtenidos al realizar la medida con la técnica de intensidad durante los periodos en los que el resto de máquinas estaban desconectadas, ya que en otro caso, la intensidad parásita era muy elevada.

Los resultados obtenidos mostraron que aunque existen diferencias entre las dos técnicas, la técnica iba en la buena dirección para el propósito que se había marcado.

Finalmente, en (Ballesteros et al., 2009b) se evaluó la aplicación de un preprocesado mediante cepstrum antes de incluir las señales en el algoritmo BSS, dado que permite transformar señales que están en un dominio no lineal a un dominio lineal.

Para evaluar la bondad de este preprocesado se aplicó esta técnica a la medida de la potencia sonora de un cortacésped, teniendo como fuentes interferentes una amoladora radial y un compresor, tal y como aparece en la figura 6, y posteriormente se realizó la misma medida dejando el compresor como fuente de interés y las otras dos como interferentes.



Figura 6. Realización de medidas para evaluar el preprocesado Cepstrum.

Como resultados del estudio se observó que la correlación frecuencial de la señal obtenida con la original era mayor en el caso de utilizar este preprocesamiento.

Como líneas futuras a este estudio se están evaluando otra serie de preprocesados, con distintas transformaciones de señal, con el fin de obtener la cadena de procesamiento que arroje los mejores resultados.

Parte de este estudio se enmarcó dentro del proyecto nacional "Caracterización del campo sonoro en ambientes industriales. Efectos psicoacústicos y bases de datos – CICYT, Ref DPI 2004-07073-C02-02".

Conclusiones

El ruido industrial es uno de los problemas de ruido más acusados hoy en día en los países desarrollados.

Los trabajos realizados por el grupo IDEA en este ámbito han ido enfocado a la evaluación objetiva y subjetiva del ruido producido por máquinas de distintas familias, tamaños, marcas, etc.

La evaluación objetiva de este tipo de máquinas se ha basado principalmente en la evaluación del nivel de potencia acústica emitida por las mismas, utilizando para ellos tres familias de normas estandarizadas: UNE-EN ISO 374x para la medida de la potencia por presión, UNE-EN ISO 9614-x para la medida por intensidad y UNE-74100 para la medida de la potencia acústica en máquinas de movimiento de tierras, comparándolas entre sí y estableciendo una serie de recomendaciones sobre cuándo se debe utilizar cada una de ellas.

La evaluación subjetiva del ruido emitido por este tipo de máquinas se ha basado en dos pilares diferentes, por un lado se han evaluado los parámetros psicoacústicos objetivos a través de medidas realizadas con un HATS, y por otro lado se ha tenido en cuenta la opinión de la población sobre el ruido producido por dichas máquinas a través de la realización de encuestas. Además, se han comparado los resultados obtenidos con el HATS con los obtenidos al utilizar micrófonos binaurales para este tipo de medidas.

Los resultados de los estudios objetivos y subjetivos han llevado a la determinación de los patrones acústicos de distintas familias de máquinas, así como a la definición de un nuevo código de etiquetado que tiene en cuenta ambos tipos de estudios, objetivos y subjetivos.

Para intentar solventar los problemas observados en los métodos estandarizados para la evaluación de la potencia acústica en máquinas, se ha desarrollado un nuevo procedimiento de medida mediante la aplicación de técnicas de separación ciega de fuentes utilizando distintos preprocesamientos.

Bibliografía

Ballesteros, J.A., Fernández, M.D., Sánchez, C., Rieta, J.J., Alcaraz, R. (2005). Aplicación de los métodos BSS a la medida de potencia acústica en máquinas. X Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio. Gandía.

Ballesteros, J. A., Fernández, M. D., Quintana, S., Suarez, I., Rodríguez, L. (2008a). Comparison of International Standards for Measuring Sound Power in Tool-Machines. Acoustics-'08 (Euronoise 2008 - 155th Meeting ASA). Paris.

Ballesteros, J.A., Recuero, J., Fernández, M.D., Quintana, S., González, I. (2008b). Comparison of international standards for measuring sound power in earthworks machines. International Conference on Noise and Vibration Engineering (ISMA2008). Leuven.

Ballesteros, J.A., Fernández, M.D., Quintana, S., González, I., Rodríguez, L. (2009a). Comparison of Methods for Measuring Sound Quality through HATS and Binaural Microphones. AES 126th Convention. Munich.

Ballesteros, J.A., Fernández, M.D., Quintana, S., González, I., Rodríguez, L. (2009b). Blind Source Separation in the Cepstrum Domain. Application to the Sound Power Measurement of Machines. 16th International Congress on Sound and Vibration. Cracovia.

Fernández, M., Recuero, M. (2005). Data base for machinery noise (NOMAD), 12 International Congress on Sound and Vibration, Lisboa.

Fernández, M.D., Recuero, M., Ballesteros, J.A. (2007). Measurement of Acoustic Power through BSS Techniques. First European Forum on efficient solutions for managing occupational noise risks -Noise at Work. Lille.

Fernández, M. D., Recuero, M., Ballesteros, J.A., Blas, J. M. (2007) Improvement of the Working Place through Psychoacoustic Assessment of the Noise Emitted by the Machines. 19th International Congress on Acoustics -ICA2007MADRID. Madrid.

Fernández Berlanga, M.D., Recuero López, M. Y Blas Arnau, J.M. (2008). Definition of a labelling code for the noise emitted by machines. Applied Acoustics 69, pp. 141 - 146.

Fernández, M.D., Ballesteros, J.A., Suárez, I., Quintana, S., González, I. (2009a). Psychoacoustic Assessment of the Noise Emitted by the Machines. The Case of Grinders. AES 126th Convention. Munich.

Fernández, M. D., Ballesteros, J.A., Suárez, I., Quintana, S., González, I., Rodríguez, L. (2009b). Acoustic Pattern of the Panel Saws Family. 16th International Congress on Sound and Vibration. Cracovia.

Fernández, M.D., Ballesteros, J.A., Suárez, I., Quintana, S., González, I., Rodríguez, L. (2011). Sound Pattern of the Panel Saws Family. *International Journal of Acoustics and Vibration*. 16 - 1, pp. 12 -16.

González, I., Rodríguez, L., Recuero, J., Ballesteros, J.A., Fernández, M.D., Quintana, S. (2009). Sound Power Emitted by Big Machines in the Construction Sector. *Euronoise 2009*. Edimburgo.

Suárez, I., Fernández, M.D., Blas, J.M. (2005). Patrón acústico de un taladro. *X Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*. Gandía.

Identificación de fuentes de ruido en los sectores automovilístico y de la construcción.

José A. Ballesteros*, Marcos D. Fernández*, Samuel Quintana*

Resumen La identificación de fuentes de ruido es uno de los temas de actualidad en el campo de la acústica, ya que nos permite conocer las causas de la generación de ruido y atajar el problema en su raíz, actuando sobre aquellas zonas en las que la emisión de ruido es mayor. En el presente artículo se muestra la investigación sobre identificación de fuentes de ruido llevada a cabo en dos sectores distintos: el sector automovilístico y el sector de la construcción. En el sector automovilístico se han llevado a cabo dos investigaciones diferenciadas. En primer lugar, se ha evaluado la forma en que las distintas fuentes de ruido del vehículo parado (motor y tubo de escape) influyen en el ruido percibido por el conductor y los viandantes, identificando las fuentes más molestas y cuyo nivel de ruido debería reducirse. Por otro lado, se han identificado las fuentes que mayor nivel de ruido generan cuando el vehículo circula a velocidad constante, observándose que la mayor radiación se produce en la interacción de las ruedas con el asfalto, siendo el siguiente paso el diseño de neumáticos y pavimentos que, cumpliendo las exigencias de seguridad, contribuyan a una menor generación de ruido, que redunde en un mayor confort acústico en nuestras ciudades. Dentro del sector de la construcción, se han utilizado distintas técnicas que nos permiten identificar aquellas partes de los paramentos que poseen un menor aislamiento acústico, localizando las partes de los mismos (juntas, ventanas, puertas...) sobre las que deberíamos actuar si queremos mejorar el aislamiento acústico en los edificios.

*Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, josea.ballesteros@uclm.es, Marcos.Fernandez@uclm.es y Samuel.Quintana@uclm.es

Introducción

El ruido de tráfico es una de las fuentes de ruido más importantes en los países industrializados. Hoy en día, aunque los límites respecto a ruido de tráfico han sido reducidos por la Unión Europea, los niveles de ruido de tráfico no han descendido, debido al incremento del tráfico y la extensa red de carreteras.

Cuando un fabricante de vehículos tiene dificultades para aprobar su modelo, es importante conocer las contribuciones relativas de cada una de las fuentes al ruido total generado por el vehículo, para realizar un control de ruido efectivo sobre las fuentes que presenten una mayor emisión.

Los procesos de homologación basados en test de aceleración han reducido el ruido del motor y del escape en los coches, sin embargo, este procedimiento ha tenido una menor repercusión en el ruido de rodadura, lo que ha provocado que este sea la principal fuente de ruido cuando el coche está en movimiento.

Respecto al sector de la construcción, son numerosos los problemas de aislamiento que existen en negocios y viviendas, por lo que resulta de utilidad, no sólo conocer el valor del aislamiento de un determinado paramento, sino identificar aquellas partes del mismo que poseen un debilitamiento, con el fin de conocer dónde debemos actuar para mejorarlo.

Teniendo en cuenta lo anterior, las técnicas de identificación de fuentes resultan de gran utilidad, ya que nos permiten identificar aquellos puntos o fuentes de ruido que resultan problemáticos y actuar sobre la raíz del problema.

Identificación de fuentes sonoras en el sector automovilístico

La mejora ha estado siempre ligada al diseño y desarrollo de automóviles, además, en las últimas décadas, esta mejora ha ganado importancia debido a la legislación, que limita los niveles de ruido emitidos por los vehículos (directiva 70/157/EEC), y a la diferenciación y mejora de los vehículos respecto a la competencia.

La categorización de fuentes de ruido en el sector automovilístico es necesaria para conseguir que el nivel de ruido sea el menor posible. Esto implica conocer las fuentes de ruido con la mayor contribución al nivel de ruido total, para poder actuar sobre ellas.

En relación con el ruido emitido por los coches, se han realizado dos tipos de estudios. En el primero de ellos, se han llevado a cabo varios experimentos, evaluando la relación que existe entre el ruido emitido por diferentes partes del coche a ralentí y el ruido percibido por una persona situada dentro o fuera del coche. En el segundo de los estudios, se han identificado y evaluado las principales fuentes de ruido presentes cuando el coche se desplaza a velocidad constante.

Evaluación de las fuentes sonoras con el coche parado

El primer paso en la investigación consistió en la evaluación de la relación entre el ruido emitido por un coche parado al ralentí con el percibido por el conductor del mismo y los viandantes. Para ello, se eligió la técnica de intensidad selectiva, que es una técnica efectiva para determinar las causas internas del ruido emitido.

El principio en el que se basa esta técnica consiste en calcular qué parte de la intensidad medida en un punto está relacionada con un transductor de referencia (micrófono, acelerómetro, hidrófono, etc.) localizado en la que se sospecha es la causa del ruido emitido. Si la hipótesis es correcta, el espectro de la intensidad y la intensidad selectiva estarán relacionados.

En (Ballesteros, Fernández y Ballesteros, 2014) se definieron tres experimentos distintos para evaluar el ruido producido por un coche al ralentí. Como consideraciones iniciales y comunes a los tres experimentos, se puede destacar que se ha utilizado un coche de gama media, situado en campo libre sobre una superficie reflectante y a más de 3m de cualquier obstáculo. El coche estuvo funcionando a ralentí, lo que nos asegura estacionaridad del ruido emitido y repetibilidad de las medidas.

Experimento 1: Coherencia entre la intensidad sonora en el asiento del conductor y micrófonos externos.

Para determinar la relación entre la intensidad medida en la posición del conductor, y la que llega a distintos micrófonos situados en el exterior, se tomaron como referencia las normas UNE-EN ISO 11205 e ISO 5130. De

esta forma, se localizó la sonda de intensidad en tres ejes, tal y como se muestra en la figura 1, y se midió la intensidad sonora durante 15s.

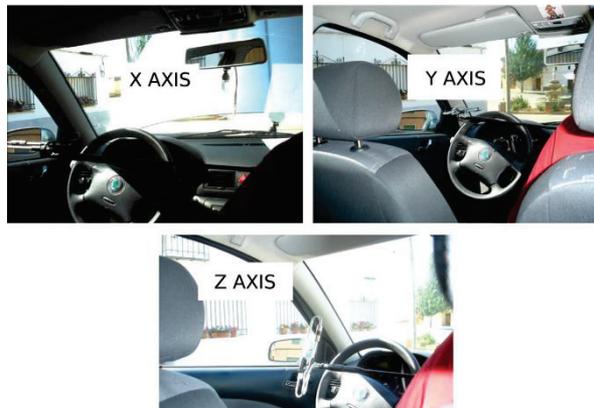


Figura 1. Colocación de la sonda de intensidad en cada uno de los ejes.

Como micrófonos de referencia se han utilizado cuatro micrófonos situados en el exterior del coche, tal y como se muestra en la figura 2. El primer punto se localiza en el tubo de escape, a la altura del orificio de salida de gases, a una distancia de 0,5m y con un ángulo de $45^\circ \pm 10^\circ$. Otros dos micrófonos de referencia se han situado a cada lado del eje frontal del coche, a una distancia de 0,5m. El último punto se ha situado en el motor.

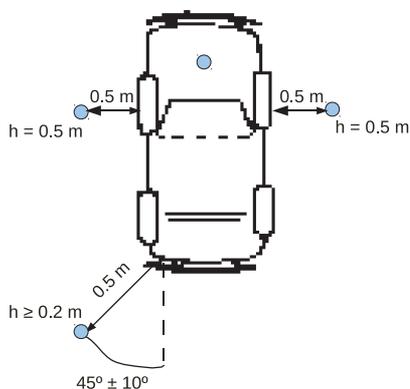


Figura 2. Localización de los puntos de referencia.

Tras analizar la coherencia entre la intensidad medida en cada eje en la posición del conductor y cada uno de los cuatro micrófonos de referencia, se observó lo siguiente:

- Para el eje x, la mayor contribución provenía del motor, bien debida a su propia emisión o a las emisiones laterales.
- Para el eje y, la mayor contribución proviene nuevamente del motor, siendo él mismo la fuente de mayor coherencia, y en otras bandas frecuenciales uno de sus laterales.
- Para el eje z, la fuente con una mayor coherencia en todas las bandas frecuenciales era el tubo de escape.
- Como caso excepcional, en la banda de 250Hz, todas las fuentes sonoras aparecieron como coherentes.

Por otro lado, no resultó aconsejable unificar los resultados de los tres ejes como un nivel de intensidad selectiva conjunto, ya que el factor cuadrático que hay que introducir en la ecuación hace que se pierda la información de sentido de la intensidad dada por el signo.

Experimento 2: Coherencia entre la intensidad sonora en puntos en el exterior del coche y diferentes posiciones de un HATS.

En este caso, se ha localizado la sonda de intensidad en los mismos puntos en el exterior del coche en los que localizábamos las señales de referencia en el experimento anterior. Ahora, como señales de referencia, se han utilizado los micrófonos situados en los dos oídos de un HATS (Head And Torso Simulator – Simulador de cabeza y torso), para obtener una mayor aproximación a lo que escucharía una persona situada en el mismo punto. El HATS se ha situado en la posición del conductor y a 0,5m a cada lado del eje frontal del coche. La configuración de la medida puede observarse en la figura 3.

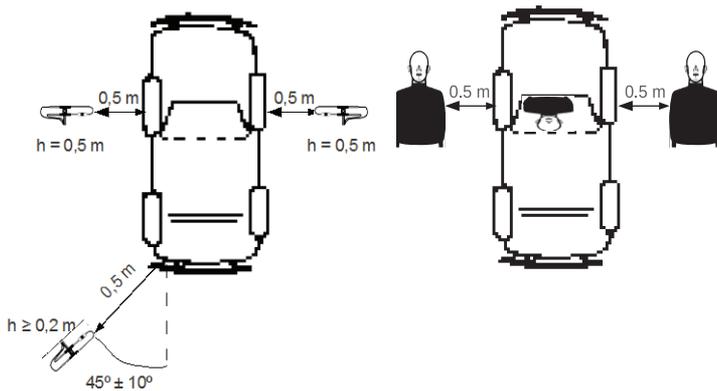


Figura 3. Localización de la sonda de intensidad y el HATS durante el segundo experimento.

Tras la realización de las medidas, y el cálculo de la intensidad selectiva, se ha obtenido la relación entre ambos parámetros para cada posición de la sonda de intensidad y del HATS, observándose los siguientes resultados:

- Cuando el HATS se sitúa en la posición del conductor, para el oído derecho la mayor coherencia se obtiene con la medida de intensidad del eje frontal del lado del conductor, mientras que la menor coherencia se obtiene para el punto de medida de intensidad opuesto. Para el canal izquierdo no es posible establecer una fuente como más o menos coherente porque ésta depende de la banda frecuencial evaluada.
- Para el caso en el que el HATS se sitúa en el eje frontal del coche, en el lado del conductor, la mayor contribución se obtiene para el punto de medida de intensidad situado en la misma localización del HATS para ambos oídos, fruto de la proximidad entre ambas medidas.
- Finalmente, cuando el HATS se sitúa en el eje frontal, en el lado del copiloto, se observa cómo la mayor coherencia para el canal derecho se obtiene con la medida de intensidad localizada en el mismo punto que el HATS, fruto de la proximidad entre ambas medidas. Sin embargo, para el canal izquierdo, la fuente que presenta la mayor o menor coherencia depende de la banda frecuencial evaluada.

Experimento 3: Coherencia entre la intensidad medida en el motor y diferentes posiciones de un HATS.

En este caso, se pretende observar la influencia del ruido emitido por distintas partes del motor en tres posiciones de un HATS, indicadas en la figura 3. Para ello, se ha definido una matriz de 15 puntos de medida sobre el motor del coche, tal y como puede verse en la figura 4.

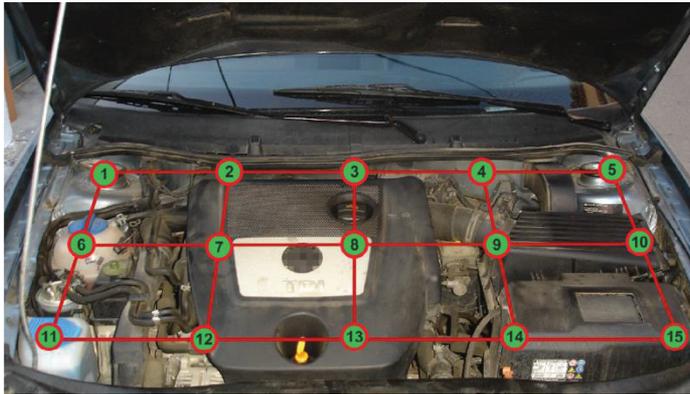


Figura 4. Malla de medida.

Los resultados obtenidos al evaluar la relación entre la intensidad y la intensidad selectiva no revelan, en ninguna de las configuraciones de medida, un punto que presente una mayor coherencia, sino que la misma depende de la banda frecuencial de interés. Además, los resultados para ambos oídos del HATS son similares.

Evaluación de las fuentes sonoras durante el pass-by del coche

Cuando el coche está en movimiento aparecen nuevas fuentes de ruido que no podemos evaluar en parado, entre ellas podemos destacar el ruido de rodadura, el ruido aerodinámico, etc.

Los métodos estandarizados para la medida del ruido durante el pass-by de un coche sólo dan información de ciertos parámetros como el nivel de presión sonora o el espectro, pero no identifican las fuentes de ruido principales. Los métodos avanzados, identifican las principales fuentes de

ruido durante el pass-by del coche pero presentan problemas a la hora de situar los transductores de medida.

Teniendo en cuenta lo anterior, en (Ballesteros et al., 2014) se describe una nueva metodología para la realización de medidas mediante Beamforming durante el pass-by de un coche, utilizando para ello un array de micrófonos. Para definir esta metodología se han llevado a cabo diversas simulaciones, lo que ha permitido definir el array, el escenario de medida y elegir el algoritmo que mejor se adapta a lo que queremos.

Como resultados de las simulaciones, se eligió el array que aparece en la figura 5, localizado a 5m del coche, y a una altura de 1,5m entre el centro del array y el suelo. Para el procesado de datos se eligió el algoritmo de foco móvil con ciertas modificaciones que permitían la obtención de unos resultados más precisos.

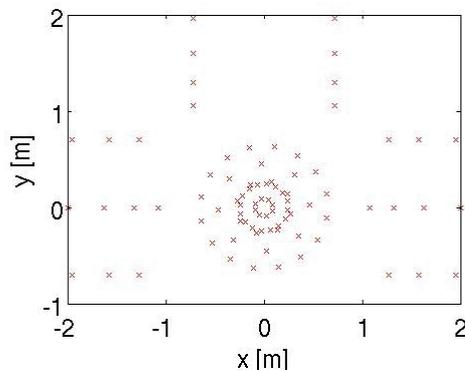


Figura 5. Array para las medidas de pass-by.

El esquema de medida y procesado definido en las simulaciones, se probó en la medida de un coche circulando a 80km/h. Para llevar a cabo la medida, se situaron 2 fotocélulas al inicio y final de la trayectoria del vehículo. Al pasar por la primera fotocélula se activaba una señal de trigger que iniciaba la medida, 5m después de que el coche pasara por la segunda fotocélula, es decir, cuando todo el coche había abandonado la zona de medida, la medida se paraba. Las figuras 6 y 7 muestran el escenario de medida y la realización de las mismas.

Los resultados del estudio mostraron cómo la mayor fuente de ruido se localizaba en la zona de contacto entre la rueda y la carretera (ruido de rodadura), cerca del centro de la pisada y con una mayor emisión de la parte delantera de la rueda que de la trasera (figura 8). Comparando estos

resultados con los mostrados en la literatura mediante el uso de otras técnicas de medidas, se observa que las conclusiones coinciden.

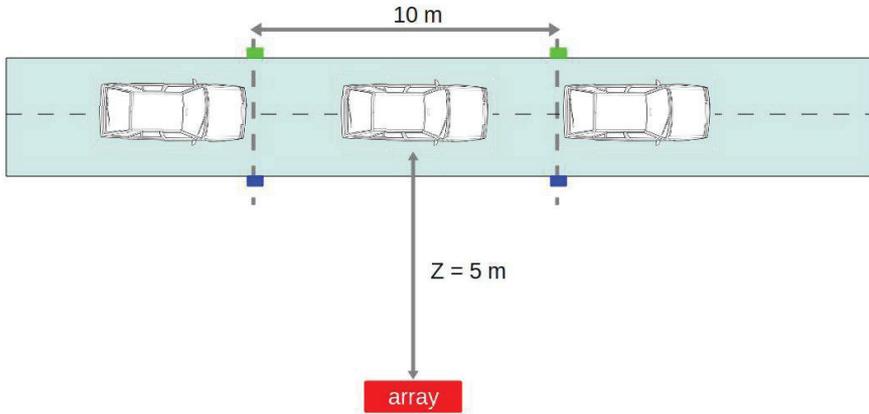


Figura 6. Escenario de medida.



Figura 7. Realización de las medidas de pass-by.

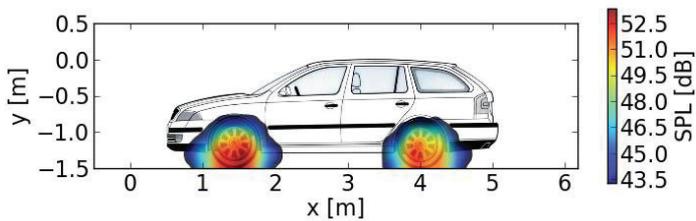


Figura 8. Ejemplo de los resultados obtenidos a 80km/h en la banda de 3150Hz.

Por otro lado, con el fin de evaluar mejor el ruido de rodadura, se definieron unos sectores alrededor de las ruedas, obteniendo, mediante la integración de todas las fuentes presentes, el espectro de esta fuente de ruido.

Los resultados mostraron una tendencia similar en ambas ruedas, compuesta por un pico alrededor de 1kHz y un decrecimiento del nivel de presión sonora a medida que aumenta la frecuencia. Resultados coherentes con otros estudios mostrados en la literatura mediante el uso de otras técnicas de medida.

Una vez definida la metodología de medida, en (Ballesteros, et al., 2015) se realizaron diferentes medidas a velocidad constante utilizando dos coches de gama media, uno diesel y otro gasolina. Las medidas se hicieron desde 30km/h a 80km/h en pasos de 10km/h de derecha a izquierda (el lado del conductor más cerca del array) y de izquierda a derecha (el lado del acompañante más cerca del array). La marcha engranada fue 3ª a 30km/h, 4ª a 40km/h, 5ª a 50km/h y 6ª en el resto de casos. Además se realizaron diferentes medidas a 50km/h engranando desde 2ª a 6ª de derecha a izquierda y de izquierda a derecha.

A partir de los resultados obtenidos para ambos coches, se observó que no había diferencias entre los resultados obtenidos para ambos lados del coche, además, se corroboran los resultados del estudio previo en cuanto a la forma del espectro y la localización de las fuentes de ruido con un mayor nivel.

Por otro lado, se ha observado cómo a 30km/h y 40km/h el nivel de ruido de la rueda delantera es mayor que el de la trasera a partir de entre 1kHz y 1,6kHz, no existiendo diferencias a partir de esta velocidad.

En cuanto a las diferencias cuando se engranan distintas marchas a 50km/h, se observó cómo a partir de la 4ª velocidad, no había diferencias entre los distintos espectros, ya que las r.p.m. del motor son muy bajas y el ruido se genera debido a la interacción entre la rueda y el pavimento. En 3ª velocidad el nivel de presión sonora es mayor y en 2ª se observa el mayor incremento de nivel, esto es debido a que el motor funciona a elevadas r.p.m. y el ruido medido en la rueda delantera aumenta significativamente por la emisión del mismo.

Dado que los resultados obtenidos en los dos coches son similares, todas las medidas se han mezclado, permitiéndonos obtener ecuaciones de predicción del ruido de rodadura en tercios de octava en función de la

velocidad para la rueda delantera y trasera, obteniéndose una elevada correlación entre los datos medidos y los resultados de las ecuaciones.

El número de Strouhal es una magnitud adimensional que describe mecanismos de flujo oscilante. Como el coche viaja a través de un fluido (el aire) se pueden obtener otras ecuaciones dependientes del número de Strouhal, a partir de la frecuencia, la velocidad y la dimensión característica del vehículo. Nuevamente, mezclando todos los datos medidos obtenemos las ecuaciones dependientes del número de Strouhal, que vuelven a arrojar resultados con una alta correlación entre los datos y las ecuaciones.

Este estudio se realizó en colaboración con investigadores de reconocido prestigio de la Brandenburgische Technische Universität de Cottbus, Alemania.

Identificación de fuentes sonoras en el sector de la construcción

En el sector de la construcción se utilizan dos tipos de técnicas de medida para determinar el aislamiento acústico de los paramentos verticales. El primero de ellos, descrito en la norma ISO 140-4, se basa en la realización de medidas de presión sonora, pero no permite identificar las partes del paramento que presentan un menor aislamiento y no permite eliminar las transmisiones indirectas que afectan a la medida. El segundo de ellos, descrito en la norma ISO 15186-2, permite identificar las partes del paramento que presentan un menor aislamiento y eliminar las transmisiones indirecta, pero tiene como contrapartida la necesidad de realizar un elevado número de puntos de medida para tener suficiente resolución en la identificación de dichas partes con menor aislamiento, lo que conlleva un elevado tiempo de medida.

En (Ballesteros et al., 2012) se plantea una nueva metodología de medida basada en Beamforming y SONAH (Holografía de campo cercano optimizada estadísticamente - Statistically Optimized Near Field Holography), la cual presenta las ventajas descritas en las dos técnicas estandarizadas: rapidez y detección de fugas.

El procedimiento de medida descrito define los recintos emisor y receptor de igual forma que en las normas de aislamiento, esto es, el recinto emisor será el más reverberante, y el receptor el más anecoico. Una vez definidos los recintos emisor y receptor, colocaremos una fuente omnidireccional en el recinto emisor, emitiendo ruido blanco debidamente

ecualizado y con un nivel suficiente como para garantizar la relación señal a ruido en el recinto receptor, determinando seguidamente el nivel de presión sonora incidente sobre el paramento bajo ensayo. En el recinto receptor situaremos el array con el que realizaremos las medidas (Figura 9).



Figura 9. Array utilizado.

Dado que Beamforming presenta una mala resolución a baja frecuencia, y SONAH la presenta a alta frecuencia, debemos combinar ambas técnicas para cubrir el rango frecuencial de interés, debiendo realizar una medida a media-larga distancia con Beamforming, la cual cubrirá toda la superficie bajo ensayo, y otra medida con SONAH en campo cercano (10 cm del paramento) focalizando el array en diferentes partes de la superficie bajo ensayo, ya que no es posible cubrir la totalidad de la misma.

Una vez realizadas las medidas, se obtiene el nivel de intensidad resultante con cada una de ellas, y utilizando el mismo procesamiento que en la norma ISO 15186, se determina el aislamiento del paramento o de una parte de éste.

Para comprobar los resultados de la técnica de medida propuesta, se han realizado medidas sobre una pared doble y tres puertas construidas con distintos materiales. La puerta se eligió por ser un elemento separador uniforme, muy conocido y estudiado teórica y experimentalmente, por lo que nos sirve como referencia para probar la técnica. La elección de las puertas viene determinada porque, junto a las ventanas, suelen ser los elementos constructivos que presentan un menor aislamiento. Estas medidas se han realizado tanto con el nuevo método propuesto, como con los métodos estandarizados.

Los resultados obtenidos muestran una correcta identificación de las partes del paramento vertical que presentan un menor aislamiento, tal y como se puede ver en el ejemplo de la figura 10 para la puerta de madera. En el caso de Beamforming el mayor nivel, y por tanto, el menor aislamiento, se localiza en la parte inferior de la puerta, en la que existe bastante separación con el suelo. En el caso de SONAH, el mapa es bastante uniforme al tratarse de una superficie homogénea.

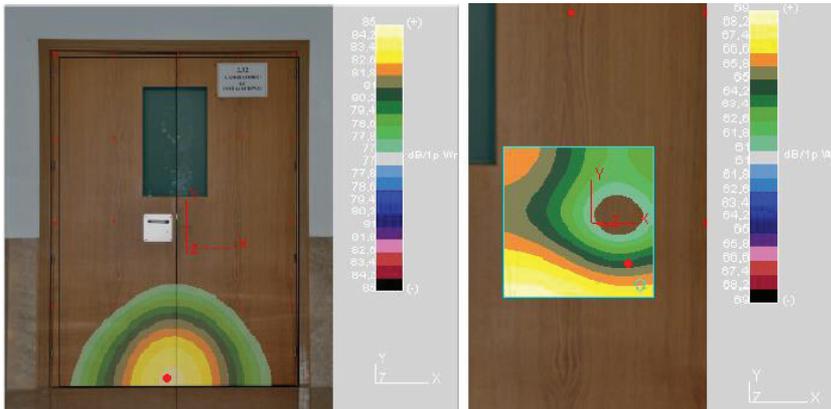


Figura 10. Ejemplo de resultados para la puerta de madera. Izq: Beamforming en el tercio de octava de 500Hz. Dcha: SONAH en el tercio de octava de 250Hz.

En cuanto a la comparación de los resultados de aislamiento obtenidos con los que derivan de las técnicas estandarizadas, se comprobó que la tendencia de la curva de aislamiento acústico es muy similar en todos los casos, no obstante, el valor numérico obtenido presenta ciertas diferencias.

Esta investigación se enmarcó dentro del proyecto regional "Determinación del aislamiento acústico de puertas y mamparas macizas, acústica y resistentes al fuego (JCCM, Ref. PPII10-0172-426)".

Conclusiones

Tanto en el caso del ruido en automóviles, como en el caso del aislamiento en paramentos verticales, resulta de utilidad conocer las fuentes de ruido que generan el mayor nivel o las partes del paramento que presentan el menor aislamiento. Para este fin, las técnicas de identificación de fuentes de ruido resultan especialmente útiles, tal y como se ha observado en las investigaciones llevadas a cabo.

Para la identificación de las fuentes de ruido en un coche parado a ralentí, se han realizado tres experimentos distintos. En primero ha consistido en la evaluación de la coherencia entre la intensidad medida en tres ejes en el interior del vehículo y cuatro micrófonos de referencia, comprobándose que esta técnica es útil para tener indicios de la contribución de ciertas fuentes a la intensidad medida en cada eje en la posición del conductor, pero no para establecer un nivel de intensidad selectiva. El segundo ha consistido en la evaluación de la coherencia entre las señales de un HATS situado en tres posiciones distintas y tres posiciones de medida de la intensidad sonora, observándose que el procedimiento es suficientemente preciso y útil para observar la influencia de diferentes fuentes sonoras en distintas posiciones de escucha e identificar si ésta influencia es similar para ambos oídos o no. La última técnica ha consistido en evaluar la coherencia entre el ruido emitido por distintas partes del motor del vehículo con el recibido en tres posiciones de medida del HATS, comprobando cómo esta técnica permite identificar la influencia de cada una de las partes del motor en el ruido escuchado por el conductor del vehículo o en el exterior del mismo. Además, el uso del HATS permite no sólo evaluar los resultados en cuanto al nivel de ruido, sino también tener en cuenta el ruido percibido por una persona.

Para la identificación de fuentes de ruido durante el pass-by de un coche, se han realizado una serie de simulaciones que han permitido definir una metodología de medida mediante Beamforming que solventa los problemas de técnicas de medida estandarizadas y avanzadas utilizadas en estudios previos, obteniendo resultados coherentes a los obtenidos con dichas técnicas.

Además, se ha observado cómo a 50km/h el nivel de ruido aumenta engranando 2ª y 3ª, siendo esta emisión independiente de la marcha engranada a partir de 4ª.

La unificación de todos los resultados medidos, ha permitido obtener ecuaciones de predicción basadas en la velocidad y el número de Strouhal con un alto grado de precisión.

En el caso de la identificación de las partes de los paramentos verticales que presentan un menor aislamiento acústico, se ha definido una metodología de medida combinando dos técnicas basadas en array: Beamforming y SONAH.

Estas técnicas permiten una rápida y precisa identificación de aquellas zonas en las que el aislamiento es menor, por lo que pueden utilizarse como una primera medida de control, y en el caso de observarse

problemas de aislamiento, utilizar los métodos estandarizados para cuantificarlos.

Bibliografía

Ballesteros, J.A., Quintana, S., Fernández, M.D., Martínez, L. (2012). Application of Beamforming and SONAH to airborne noise insulation measurements. Berlin Beamforming Conference 2012, Berlín, Alemania.

Ballesteros, J.A., Fernández, M.D., Ballesteros, M.J. (2014). Using selective intensity and a HATS to evaluate noise sources in a car working at idle. *Journal of Applied Acoustics*. 76 - 1, pp. 1 – 13.

Ballesteros, J.A., Sarradj, E., Fernández, M.D., Geyer, T., Ballesteros, M.J. (2014). Methodology for pass-by measurements on cars with Beamforming. Berlin Beamforming Conference 2014, Berlín, Alemania.

Ballesteros, J.A., Sarradj, E., Fernández, M.D., Geyer, T., Ballesteros, M.J. (2015). Noise source identification with Beamforming in the pass-by of a car. *Journal of Applied Acoustics*. 93, pp. 106 - 119.

Ruido y vibraciones en el sector de la construcción.

Isabel González*, José A. Ballesteros*, Marcos D. Fernández*, Samuel Quintana*

Resumen De los contaminantes presentes en entornos laborales, el ruido es uno de los agentes más comunes, aunque suele pasar más desapercibido que otros. En diferentes trabajos realizados por el grupo de investigación IDEA (Investigación y Desarrollo en Acústica) de la Escuela Politécnica de Cuenca, se han evaluado varias metodologías de medida y análisis de la exposición de ruido y vibraciones en entornos laborales en el sector de la construcción mediante sonómetros, dosímetros, vibrómetros y HATS (head-s). Se han analizado los resultados de los niveles de exposición atendiendo a distintas profesiones y tareas, fundamentalmente en obras de tamaño pequeño y mediano, para comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos por la legislación en el Real Decreto 286/2006, en caso de niveles de ruido, y el Real Decreto 1311/2005 para vibraciones y, en caso necesario, poder establecer medidas para proponer soluciones preventivas. También se han realizados estudios de percepción de niveles de ruido para comparar los resultados objetivos con la sensación de riesgo y la evaluación subjetiva de distintos ambientes laborales, aplicando los parámetros típicos empleados en psicoacústica.

*Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, Isabel.Gonzalez@uclm.es, josea.ballesteros@uclm.es, Marcos.Fernandez@uclm.es y Samuel.Quintana@uclm.es

Introducción

El ruido es uno de los contaminantes físicos más presentes en cualquier entorno laboral, especialmente en los países desarrollados, donde los modelos de desarrollo social, económico y tecnológico son claves en el incremento de los niveles de ruido. El sector de la construcción es uno de los sectores productivos más ruidosos, particularmente en España, donde se basa en la construcción con cemento.

No se suele tener tanta conciencia de los efectos nocivos del ruido y las vibraciones como de otro tipo de contaminantes, al tratarse normalmente de efectos acumulativos en el tiempo, que van apareciendo de forma lenta y progresiva. Por otro lado, cabe distinguir entre los niveles objetivos de exposición y la percepción de molestia o peligro, de modo que un trabajador puede no percibir niveles de ruido como dañinos, aun estando por encima de los límites impuestos por la legislación. Esto hace del ruido un factor de contaminación más tolerado que otros. Sin embargo, la pérdida de audición causada por exposición a ruido es aún una de las enfermedades laborales más comunes en la Unión Europea. La exposición a elevados niveles de ruido no sólo provoca daños auditivos como son pérdida de audición o tinnitus (acúfenos), también hay evidencias de efectos en la salud causados por niveles medios de ruido como problemas vocales, estrés, afecciones cardiovasculares y neurológicas. En cuanto a las vibraciones, los efectos más comunes están relacionados con mareos, malestar, dolores de espalda, en caso de vibraciones que afecten al cuerpo completo, o pérdida de sensibilidad y síndrome de dedos blancos en vibraciones mano-brazo.

El ruido, además, es uno de los factores que incrementa el riesgo de accidentes en el lugar de trabajo, al interferir en la comunicación. Los trabajadores con protectores auditivos pueden no ser capaces de escuchar las instrucciones verbales o señales acústicas de alarma. Un entorno laboral más silencioso produce un entorno más seguro, con menos accidentes, con mejor rendimiento y menor absentismo.

Los índices básicos de evaluación de la exposición al ruido en entornos laborales se establecen en la directiva europea 2003/10/CE y, a nivel nacional, los marca el Real Decreto 286/2006. Estos índices que se evalúan son el nivel de exposición diaria equivalente LAeq,d y el nivel de pico Lpeak.

Se considera que por debajo de niveles de $LA_{eq,d}=80$ dBA y $L_{peak}=135$ dBC no existe riesgo de pérdida auditiva.

Si se supera este límite inferior y los niveles están entre 80-85 dBA para $LA_{eq,d}$ y/o 135-137 dBC para L_{peak} , se debe fomentar y facilitar el uso de equipos de protección auditiva, informar y formar a los trabajadores, realizar controles audiométricos preventivos cada 5 años, una evaluación de los riesgos y medidas de niveles de ruido cada 3 años como mínimo.

Para niveles que superen el margen superior sin llegar a los valores límite, y por tanto estén entre 85-87 dBA de $LA_{eq,d}$ y 137-140 dBC de L_{peak} , deben adoptarse un programa con medidas técnicas y de organización, haciendo obligatorio el uso de equipos de protección auditiva, realizando una evaluación de riesgos y medición de niveles anual, con audiometrías cada tres años y señalizando las zonas limitando el acceso en la medida de lo posible.

La exposición al ruido está limitada de modo que en ningún caso se podrán superar los valores límite máximos de $LA_{eq,d}=87$ dBA y $L_{peak}=140$ dBC. Para el cálculo de estos valores máximos se considera la atenuación proporcionada por los dispositivos de protección personal.

Si se llega a este límite, deben tomarse medidas inmediatas para reducir la exposición.

Además de estos índices, en los estudios realizados se han medido otros parámetros como son los niveles percentiles L10, L50, L90, L95 y L99, $LA_{Fmáx}$, Dosis de ruido D(%) y espectro de 12,5 Hz a 20kHz (Quintana et al., 2008).

Para evaluar la exposición de trabajadores a vibraciones mecánicas se distinguen dos tipos de vibraciones en función del sistema de transmisión: vibraciones mano-brazo y vibraciones cuerpo completo. Las primeras suelen estar causadas por herramientas eléctricas manuales, rotativas o percutoras, así como la manipulación de volantes y palancas de vehículos y máquinas generadoras de vibraciones, mientras que las segundas se suelen transmitir en el asiento desde el que se maneja el vehículo de transporte o máquinas generadoras de vibración. Esta clasificación también es válida para los efectos causados por las vibraciones: las vibraciones transmitidas mano-brazo pueden causar efectos sobre el sistema vascular, apreciables en primer lugar en la punta de los dedos, dando lugar al conocido como síndrome de Raynaud o de los dedos blancos, afectando al sistema nervioso, que se percibe como pinchazos o entumecimiento; la exposición a vibraciones sobre cuerpo completo puede causar malestar, mareo y, afectar a las zonas de la espalda y estomacal. Los efectos varían dependiendo de la amplitud de la vibración y la frecuencia, causando

interferencia con la respiración (1-4 Hz), dolor de espalda (10-12 Hz), tensión muscular, dificultades en el habla (10-20Hz), afección a la capacidad visual, de lectura o motora.

El Real Decreto 1311/2005 de 4 de noviembre sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición a vibraciones establece como parámetro de medida el valor de aceleración normalizada a 8 horas A(8), e indica límites diferentes para el caso de vibraciones cuerpo completo o mano-brazo. Para el caso de vibraciones mano-brazo se establece un valor límite de exposición diaria de 5 m/s² y en valor que da lugar a la acción en 2.5 m/s². En cuanto a las vibraciones cuerpo completo, el valor límite que no debe superarse es de 1,15 m/s² y el valor que da lugar a una acción es de 0,5 m/s². También difiere el margen de frecuencias en cada caso: el rango de evaluación para vibraciones mano-brazo es de 5 a 1.250 Hz y para vibraciones de cuerpo completo se reduce el rango de 1 a 80 Hz.

Para calcular el valor de exposición a vibraciones A(8) se debe realizar medidas en cada uno de los ejes ortogonales (x,y,z) y ponderar el resultado en función de la percepción del ser humano a la vibración en cada uno de los ejes. Para realizar las medidas se empleó un vibrómetro portátil con acelerómetros triaxiales colocados empleando los adaptadores necesarios. La metodología de medida ha tomado como referencia la normativa internacional ISO 5349-1:2001 para el caso de vibraciones mano-brazo y la ISO 2631-1:1997, recomendadas en el RD 1311/2005. En ambos casos el tiempo de medida debe garantizar la representatividad de la medida, cubriendo más de un ciclo de trabajo en caso de la señal de vibraciones tenga carácter cíclico. Para poder comparar los valores obtenidos la exposición diaria a vibraciones se expresa en términos de energía equivalente 8 horas, A(8).

Exposición a ruido en el sector de la construcción

Se han realizado varias campañas de medida de niveles de exposición al ruido en distintas tipologías de obras de tamaño pequeño y mediano, que incluyen la edificación de bloques de pisos, viviendas unifamiliares y almacenes.

Se emplearon distintas metodologías con el objeto de comparar los resultados obtenidos, empleando simultáneamente sonómetros (en el puesto de trabajo o dosímetros). Todas las medidas se realizaron conforme

a la ISO 1999:1990 e ISO 9612:1997 y según lo marcado por el RD 286/2006. Considerando las fuentes de ruido y la estabilidad de los niveles a medir, se resolvió emplear tiempos de medida de dos horas (Quintana et al., 2008).

Después de estudiar los niveles de ruido de 40 trabajadores de distintas profesiones en obras de tipo mediano-pequeño se observa que existen niveles altos de ruido en cualquiera de los ambientes, con ratios de un 60%-70% de trabajadores expuestos a dosis de ruido superiores al 100%.

El 67,5% de los trabajadores superan el nivel LAeq,d de 80dBA, con lo que se encuentran en un ambiente nocivo desde el punto de vista acústico. Además, el 50% de ellos supera 85dBA, tal como se ve en la figura 1. (Fernández et al., 2009a).

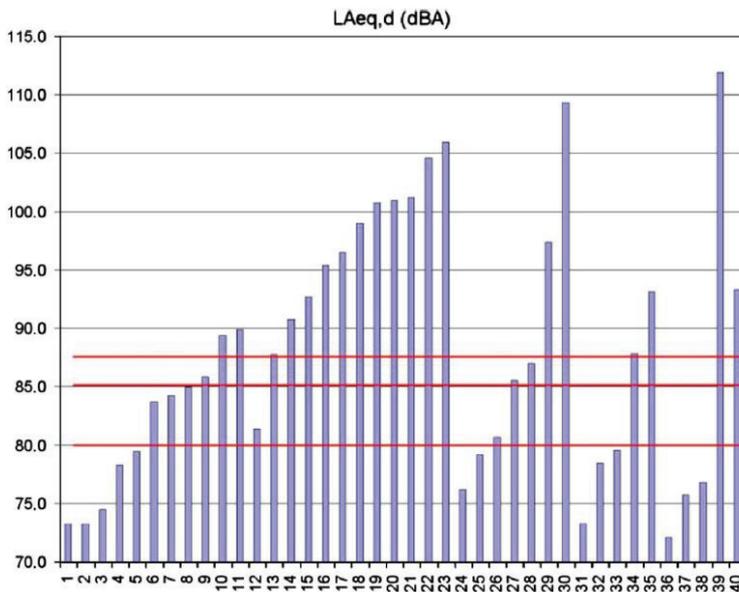


Figura 1. LAeq,d trabajadores sector construcción.

A pesar de estos valores de exposición tan elevados, lo que indica que en la mayoría de los casos deberían tomarse acciones inmediatas de prevención y reducción de exposición al ruido, además de obligar al uso de dispositivos de protección auditiva, la mayoría de trabajadores no utilizaba estos equipos de protección (aun cuando se les eran facilitados), lo que pone de manifiesto varios problemas, además del elevado grado de exposición a altos niveles de ruido: la escasa concienciación de los efectos del ruido por parte de los trabajadores y la falta de cumplimiento de lo

establecido en el RD286/2006 tanto en la persistencia en observar el uso obligatorio de estos dispositivos, como en la toma de medidas para la reducción y prevención de ruido al superar los niveles superiores establecidos.

Los trabajadores con niveles de exposición diaria menores a 85 dBA no suelen usar maquinaria en su trabajo diario, mientras que la práctica totalidad de los trabajadores con niveles por encima de 90 dBA deben usar maquinaria de forma continuada para desempeñar su trabajo en la obra. Atendiendo a esta clasificación de trabajadores, encontramos una clara diferencia en las componentes espectrales del ruido, destacando que el espectro de ruido de los trabajadores que emplean maquinaria muestra más contribución a alta frecuencia (ver figura 2). (Fernández et al., 2010b).

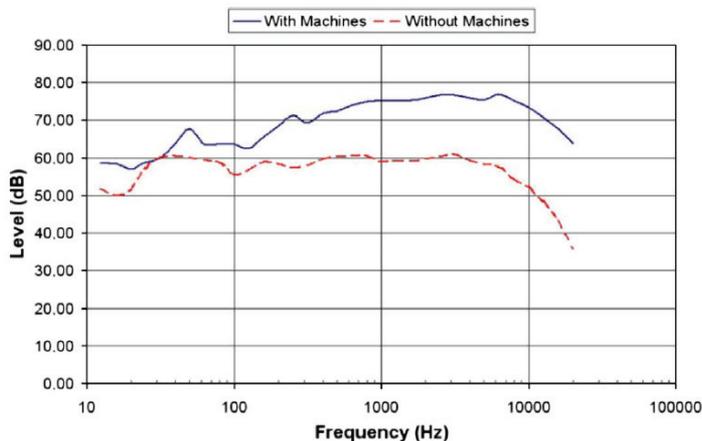


Figura 2. Espectros promedio de ruido en trabajadores con y sin máquinas.

La información espectral es especialmente útil para una adecuada elección de protectores auditivos individuales, pues en función de la tarea del trabajador se deberán elegir equipos con más atenuación en ciertas bandas de frecuencia.

El nivel promedio de los trabajadores que deben usar maquinaria es muy elevado, de $LA_{eq,d} = 96,7$ dBA, mientras que el promedio para los trabajadores que apenas usan maquinaria en su trabajo es de 83,3 dBA.

Exposición a vibraciones mecánicas en el sector de la construcción

Se presentan los datos de medidas realizadas en distintos trabajadores no según el oficio desempeñado sino en función del tipo de maquinaria, ya que es el uso de la misma maquinaria lo que iguala la exposición a las vibraciones. Así pues, se ha agrupado la maquinaria en amoladoras grandes, amoladoras pequeñas, taladros, martillos percutores y maquinaria pesada.

Como ejemplo se muestran los resultados para amoladoras grandes, amoladoras pequeñas, martillos percutores y maquinaria grande. De las máquinas generadoras de vibraciones mano-brazo se observó que la mayoría de amoladoras grandes (figura 3) superarían los valores límite de vibración de ser usadas durante una jornada laboral de 8 horas, pero dado que su uso normal se reduce a un total de dos o tres horas diarias, dado su uso para tareas puntuales de corta duración, no se superan los valores límite establecidos en el RD 1311/2005. (Fernández et al., 2010c).

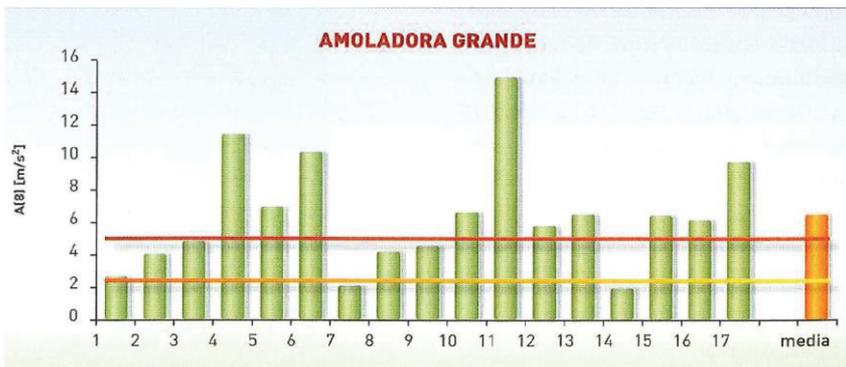


Figura 3. Valores A(8) en amoladoras grandes.

Este comentario es extrapolable a las amoladoras pequeñas (figura 4), donde sólo se superarían los niveles que dan lugar una acción si la exposición fuera de 8 horas diarias, pero no se superan en las condiciones normales de uso. (Fernández et al., 2010c).

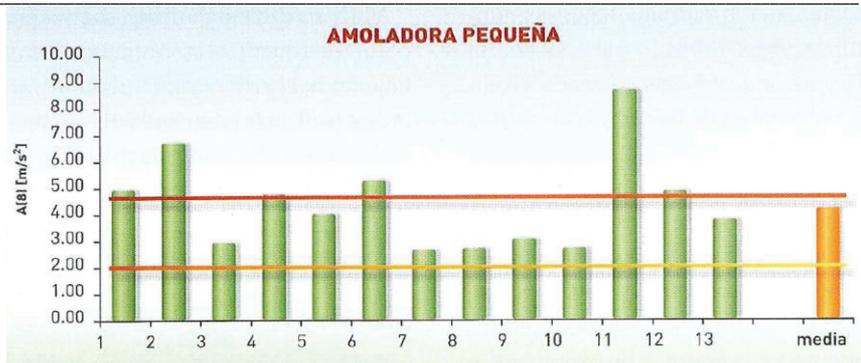


Figura 4. Valores A(8) en amoladoras pequeñas.

De nuevo se superan los niveles de exposición a vibraciones en el caso de martillos percutores (figura 5), y al calcular el tiempo de utilización máximo de estas herramientas para no superar los límites establecidos por la legislación, se obtienen valores de poco más de una hora en la mayoría de los casos. (Fernández et al., 2010c).

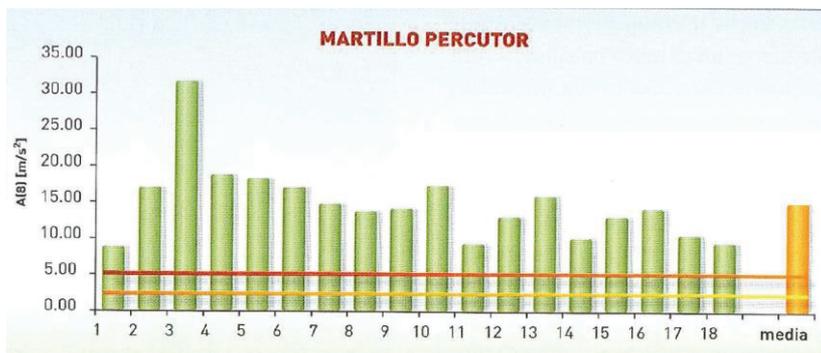


Figura 5. Valores A(8) en martillos percutores.

Así pues, en este tipo de máquinas no sólo es recomendable el uso de medidas de protección individual como los guantes aislantes, sino que deben tomarse medidas como la rotación en el puesto de trabajo para limitar el uso de esta maquinaria. Otra medida a considerar es la revisión y adquisición de martillos con menor transmisión de vibraciones.

De todas las máquinas mano-brazo evaluadas sólo los martillos percutores representan valores de vibración que podrían causar un A(8) mayor de 5 m/s² en un uso normal durante una jornada laboral. El resto de máquinas podría usarse de modo normal sin llegar a superar este límite,

dado su uso en periodos cortos más o menos frecuentes a lo largo de la jornada laboral.

La maquinaria pesada evaluada presenta elevada disparidad, habiéndose medido máquina para carga, transporte, descarga y colocación de material, limpieza de escombros y realización de zanjas. En este caso las vibraciones son de tipo cuerpo completo y se han medido con un acelerómetro triaxial situado entre el asiento y el cuerpo del trabajador. Para este tipo de exposición sólo tres de las dieciséis medidas realizadas superan el límite de $1,15 \text{ m/s}^2$, estando en la mayoría de las ocasiones por debajo del valor que da lugar a una acción, como puede observarse en la figura 6. (Fernández et al., 2010a).

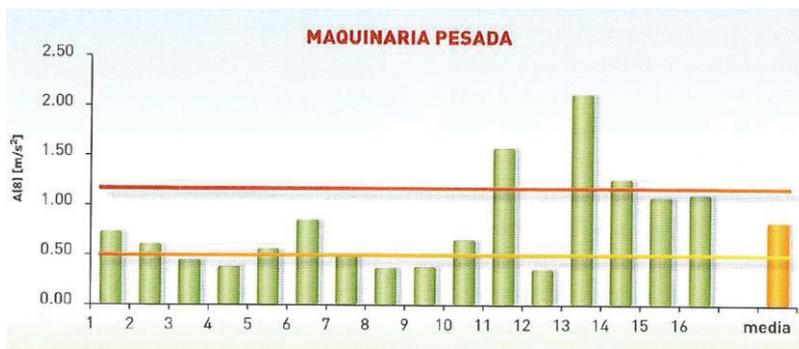


Figura 6. Valores A(8) en maquinaria grande.

En las tres mediciones que superan el valor límite se encontró que la máquina circulaba sobre escombros, con lo que una circulación por un terreno más limpio ayudaría a reducir las vibraciones. Por otro lado, en este tipo de maquinaria grande la habilidad y profesionalidad del trabajador son factores importantes a la hora de manejar correctamente las máquinas con objeto de reducir las vibraciones. Por otro lado, estas maquinarias sí que se emplean durante prácticamente toda la jornada laboral, por lo que es importante una adecuada selección y utilización de la maquinaria para garantizar unos valores de exposición por debajo del límite.

Los datos de exposición a ruido y vibraciones mencionados en este artículo corresponden a la investigación que se enmarcó dentro del proyecto regional "Caracterización acústica de materiales y medida del ambiente sonoro para el sector de la construcción - CAMMAS (JCCM, Ref. PAI07-0101-3656)".

Percepción de la exposición al ruido

También se ha estudiado la percepción de los niveles de ruido, para comparar los índices objetivos con la percepción de peligro, para comprobar si dada la frecuencia de superación de los límites de niveles de ruido en el ámbito de la construcción, sobre todo en trabajadores no especializados, se tiene o no sensación de riesgo, a pesar de las graves consecuencias de la exposición a los niveles existentes. Además, se han realizado grabaciones de 120 segundos con un HATS (simulador de cabeza y torso) para definir los parámetros psicoacústicos más representativos y relacionarlos con la percepción de ruido por medio de una encuesta de diez preguntas. (Fernández et al., 2009b). La encuesta fue respondida por una población agrupada en trabajadores especializados familiarizados con los ruidos grabados y personas no familiarizadas con los ruidos.

En la tabla 1 se muestran los parámetros psicoacústicos calculados para 30 trabajadores evaluados, donde se incluyen en nivel diario equivalente LAeq,d, nivel de pico Lpeak, Dosis D(%), máximo tiempo de exposición para lograr una dosis de 100%, T100%, dosis de vibración para una jornada de 8 h A(8), y los parámetros psicoacústicos de sonoridad (loudness, L), aspereza (roughness, R), agudeza (sharpness, S), y fuerza de fluctuación (fluctuation force, FS). (Fernández et al., 2010a).

Los resultados de la encuesta de percepción de ruido muestra correlación entre los niveles más altos de LAeq,d y la percepción de estar expuesto a niveles altos o muy altos, así como la exposición a niveles de pico por encima de 135 dBC y la sensación de carácter impulsivo en la exposición al ruido. En la mayoría de los casos el ruido se percibe como alto o muy alto, incompatible con el habla normal, en consonancia con los altos valores de sonoridad. El sonido es percibido más como agudo que como grave, lo que concuerda con las medidas espectrales y los altos valores de agudeza obtenidos. El ruido es percibido como ligeramente variable, especialmente a baja frecuencia, lo que coincide con valores de fuerza de fluctuación más altos que los del parámetro de aspereza. (Fernández et al., 2010a).

Tabla 1. Parámetros medidos y calculados.

N	$L_{Aeq,d}$ (dB(A))	L_{peak} (dB(C))	D_{8h} (%)	$T_{100\%}$ (h)	$A(8)$ (m/s^2)	L (son)	S (acum)	R (asper)	FS (vacil)
1	104.5	134.5	9051	0.09	11.48	163.50	3.63	0.50	1.26
2	104.1	134.6	8309	0.10	10.31	139.50	3.49	0.59	2.03
3	102.6	134.1	5876	0.14	8.51	133.50	4.21	0.58	1.70
4	102.0	139.0	5115	0.16	5.24	142.50	4.32	0.57	1.99
5	100.4	133.4	3542	0.23	5.09	176.00	3.57	0.52	1.41
6	100.2	125.2	3321	0.24	7.01	146.50	3.55	0.58	1.59
7	99.6	133.1	2938	0.27	6.63	144.50	4.11	0.52	1.10
8	99.3	125.8	2703	0.30	5.08	170.00	3.83	0.45	1.27
9	98.7	135.1	2375	0.34	4.91	131.00	3.58	0.76	1.69
10	94.8	123.3	965	0.83	4.27	139.50	3.52	0.54	1.99
11	94.1	123.5	826	0.97	4.82	109.50	3.22	0.57	1.59
12	90.7	126.1	370	2.16	4.71	132.50	3.48	0.58	1.30
13	90.5	122.3	353	2.27	4.00	93.80	3.17	0.46	2.05
14	86.2	118.3	133	6.03	4.25	95.20	2.97	0.58	1.09
15	101.7	137.1	4662	0.17	31.98	138.50	3.42	2.07	1.93
16	95.0	130.9	996	0.80	18.87	103.20	2.63	1.00	1.77
17	93.7	135.2	738	1.08	25.75	81.20	2.65	1.01	2.13
18	92.3	133.7	539	1.48	17.49	85.90	3.00	1.39	2.00
19	91.0	129.8	402	1.99	18.72	86.10	2.73	1.85	1.89
20	92.2	131.9	533	1.50	19.01	77.80	2.72	0.98	2.12
21	91.9	129.8	497	1.61	15.24	86.80	3.04	0.65	0.96
22	91.6	122.8	455	1.76	18.36	97.10	2.57	0.47	1.79
23	90.0	126.4	318	2.51	21.85	80.40	3.05	0.55	3.62
24	89.5	124.5	282	2.84	16.94	102.00	2.87	0.62	1.80
25	95.8	112.1	1221	0.66	3.00	115.50	3.16	0.49	1.25
26	87.7	108.2	188	4.25	3.03	94.80	3.06	0.46	1.20
27	87.0	116.0	144	5.54	2.42	60.80	3.38	0.54	1.33
28	100.9	131.2	3912	0.20	34.52	166.50	2.00	0.51	1.87
29	98.1	131.5	2073	0.39	10.32	142.50	1.93	0.49	1.52
30	92.0	132.0	505	1.58	11.89	127.50	2.15	0.63	2.02
Mean	95.3	128.0	2111	1.42	11.86	118.80	3.17	0.72	1.71
Std.Dev.	5.4	7.4	2428	1.56	8.80	31.38	0.60	0.40	0.50
Maximum	104.5	139.0	9051	6.03	34.52	176.00	4.32	2.07	3.62
Minimum	86.2	108.2	133	0.09	2.42	60.80	1.93	0.45	0.96

A pesar de los elevados niveles de exposición a ruido, y a vibraciones en caso de los martillos percutores (trabajadores 24 a 28), ninguno de los trabajadores usa en la práctica protectores individuales para ruido ni vibraciones.

Medidas a adoptar

Las líneas básicas del control de ruido establecen tomar medidas en la fuente (reduciendo la emisión de ruido), en la vía de transmisión (reduciendo la propagación del ruido) o en el receptor (reduciendo los niveles de exposición). Preferiblemente debería actuarse sobre la fuente, en el diseño y elección de maquinaria menos ruidosa, para cual resulta muy útil el sistema de etiquetado propuesto por normativas internacionales como la Directiva Europea 98/37/CE y nacionales. Medidas como la

reducción de impactos metal-metal, aislamiento de ruido y vibraciones, instalaciones de silenciadores y un adecuado programa de mantenimiento contribuyen a la reducción de niveles de emisión de ruido en maquinaria.

Para reducir los niveles en la vía de propagación se puede recurrir al uso de cabinas de aislamiento, barreras acústicas, materiales absorbentes para evitar reflexiones. Además, pueden adoptarse medidas como una adecuada organización de las tareas o reducción de tiempos de trabajo en ambientes ruidosos.

Por último, podrían adoptarse medidas sobre el trabajador, como el uso de protectores individuales. Lamentablemente este tipo de medidas no suelen ser las últimas sino las primeras en adoptarse, dado su bajo coste económico frente a las anteriormente propuestas. Existe una amplia variedad de equipos de protección individual, y es muy importante su correcta selección y el cálculo de los niveles de exposición con el uso de estos protectores debe realizarse considerando el espectro del ruido al que estará expuesto el trabajador que lo vaya a usar.

Conclusiones

Dentro de los puestos de trabajo analizados puede distinguirse dos subsectores: lugares de trabajo con maquinaria trabajando todo el día, donde destacan niveles de ruido muy elevados componentes a alta frecuencia. Otro subsector donde no hay tanta presencia de maquinaria y hay más componentes a baja frecuencia.

Se han evaluado la exposición a las vibraciones en el sector de la construcción, causadas por maquinaria, y comparado con los límites establecidos en el RD1311/2005, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que pueden derivarse de la exposición a vibraciones. Se ha observado que en las herramientas que transmiten las vibraciones al sistema mano-brazo, el uso durante intervalos relativamente cortos de tiempo no hace obligatorio el uso de protectores, excepto en el caso de martillos percutores. En el caso de vibraciones transmitidas a cuerpo completo, a pesar de aumentar el tiempo de exposición, los niveles de vibraciones registrados tampoco apuntan a la obligatoriedad de protectores, aunque sí resulta recomendable una correcta elección y utilización de la maquinaria.

Los trabajadores más expuestos a ruido y vibraciones son los menos especializados, que realizan diferentes tareas con herramientas eléctricas y

ayudan a otros trabajadores cualificados, y que suponen el más numeroso sector laboral en la construcción.

Además, las empresas que realizan este tipo de obras no suelen disponer de un departamento de seguridad e higiene laboral, por lo que no se suelen disponer de estrategias para adoptar las medidas necesarias en la acciones para reducir la exposición al ruido de los trabajadores. Medidas preventivas como una adecuada planificación de fases en la construcción para reducir los niveles de exposición a ruido, selección de maquinaria menos ruidosa o instalación de barreras acústicas no se han visto en ninguno de los entornos laborales bajo estudio, limitándose las medidas a facilitar equipos de protección individual a los trabajadores.

Los trabajadores no son conocedores de los efectos causados por una prolongada exposición a ruido más allá de los efectos sobre el sistema auditivo. En el campo de las vibraciones, los efectos de la sobre-exposición son aún menos conocidos que en el ámbito del ruido.

No se tiene consciencia de la gravedad de los efectos, por lo que no se atiende a la obligatoriedad de usar protectores personales. Aunque la tendencia está cambiando y cada vez son más conscientes de la necesidad de protectores individuales.

Bibliografía

Fernández, M. D. et al. (2010a). Noise, vibration and perception of risk of workers of the construction sector, *Acta Acustica United with Acustica*, vol. 96, p. 784-790.

Fernández, M. D. et al. (2010b). Are workers in the construction sector overexposed to noise, *Noise and vibration worldwide*, vol. 41, n.2., p.11-14

Fernández, M. D. et al. (2010c). Muestreo y evaluación de la exposición a las vibraciones mecánicas en el sector de la construcción, *Seguridad y Medio Ambiente*, año 30, nº 117, p. 26-35.

Fernández, M. D. et al. (2009a). Noise exposure of workers of the construction sector, *Applied Acoustics*, vol. 70, p. 753-760.

Fernández, M. D. et al. (2009b). Noise, vibration and perception in excavator operators, *Acta congreso Euronoise 2009*, Edimburgh, Scotland.

Quintana et al. (2008). Measurement method for noise exposure of workers of the construction sector, *Acta del Congreso Euronoise 2008*, Paris, Francia.

Sonidos en la arquitectura de San Pedro. Un estudio acústico desde la perspectiva técnica y artística de la creación sonora en la Iglesia de San Pedro en Cuenca (España).

Nelia Valverde*

Resumen La presente comunicación resume la tesis doctoral de Nelia Valverde Gascueña, profesora de la Escuela Politécnica de Cuenca, dirigida por D. Javier Ariza Pomareta (Departamento de Arte, profesor de la Facultad de Bellas Artes de Cuenca, UCLM) y D. Marcos D. Fernández Berlanga (Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones, profesor de la Escuela Politécnica de Cuenca, UCLM), presentada en el Departamento de Arte de la UCLM y leída en la Escuela Politécnica de Cuenca en el año 2009. Esta línea de investigación surge con la intención de unificar dos vertientes formativas: la artística y la técnica. Consiste en la caracterización acústica de la iglesia de San Pedro, situada en Cuenca (España), desde un punto de vista técnico y objetivo, con la medición de parámetros acústicos concretos; y desde un punto de vista subjetivo, a través de la realización de un concierto en la iglesia (incluyendo una obra de composición propia) y de un posterior análisis psicoacústico basado en la realización de una encuesta. Los objetivos establecidos son, por tanto, determinar la calidad acústica de la iglesia y establecer una posible equivalencia entre los resultados acústicos obtenidos a través de mediciones objetivas in situ y entre los obtenidos a través de las valoraciones subjetivas realizadas por los oyentes. La interdisciplinariedad conforma el trabajo realizado: la acústica se presenta como una interacción entre música y arquitectura.

*Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, Nelia.Valverde@uclm.es

Introducción

El sonido constituye un elemento fundamental en la vida del ser humano desde la aparición de las primeras comunidades primitivas, definiendo el espacio habitable y determinando el lugar de las actividades a realizar en dicho espacio. Las circunstancias acústicas han influido de manera evidente en esta relación con el medio.

Gracias al estudio de tradiciones orales y escritas poseemos una amplia información del ámbito sonoro en los diferentes períodos de la historia y tenemos constancia de conocimientos acústicos ya desde épocas lejanas.

La evolución de las tecnologías electroacústicas hace posible el progreso de las técnicas de medida en psicoacústica, pudiendo relacionar una serie de parámetros subjetivos (inteligibilidad de la palabra, claridad musical, reverberación o intimidad acústica) con otros parámetros objetivos obtenidos a partir de mediciones efectuadas in situ. Todo esto favorecerá el desarrollo de la acústica hacia campos como la percepción auditiva y la especialización del sonido. Actualmente, el intercambio de conocimientos entre diferentes disciplinas amplía en gran medida las posibilidades de la investigación acústica.

Existe una estrecha relación entre el sonido y el espacio; la acústica nos enseña cómo se produce el sonido en un punto del espacio y cómo se expande dentro de él de formas diversas dependiendo de los volúmenes y de los materiales que encuentra a su paso. De la misma manera, un sonido nos informa sobre las características físicas del espacio (si es grande o pequeño, abierto o cerrado...); y también nos aporta contenidos culturales y emocionales (agrado, rechazo, aburrimiento...) que contribuyen de manera definitiva, junto con otras informaciones, a la percepción de un lugar (Palmese y Carles, 2005).

Históricamente, las relaciones entre arquitectura y acústica han estado siempre presentes y han quedado determinadas, principalmente, por la relación entre forma y función. En algunas ocasiones, la perfecta conjunción entre forma y función ha sido resultado en parte de una elección fortuita tanto de los materiales constructivos como de la definición de las formas (Carrión, 1998). En otras ocasiones, la atención a las construcciones arquitectónicas destinadas a un auditorio, en cuanto a la transmisión de la voz o de la música, ha sido especial. El sonido ha estado y sigue claramente unido a los recintos, los lugares de recepción del mismo. Hoy en día las relaciones del sonido se amplían y ya son muchas

las prácticas artísticas que plantean cuestiones más amplias sobre el sonido y su relación con el entorno (Ariza, 2003).

Este trabajo trata de relacionar el espacio arquitectónico objeto de estudio, en este caso la iglesia de San Pedro en Cuenca (España), con sus propiedades acústicas a través de tres obras de géneros musicales diferentes. Una vez interpretadas en la iglesia, sirven de base para que los oyentes califiquen de forma subjetiva la calidad sonora del recinto por medio de una encuesta. El público tiene una participación especial en esta investigación: la recepción de imágenes, impresiones o sensaciones a través de sus sentidos nos revelan percepciones diferentes que se pueden reflejar en resultados estadísticos.

Acústica de iglesias

La acústica es una ciencia relativamente joven que engloba, entre otras, varias disciplinas como la acústica ambiental, la acústica musical, la psicoacústica y la acústica arquitectónica. Este trabajo se ocupa fundamentalmente de la acústica arquitectónica, más concretamente de la acústica de recintos y, en particular, de la acústica de la iglesia de San Pedro en Cuenca (España).

Desde el punto de vista técnico, uno de los parámetros que describe la acústica de una iglesia, al igual que la de cualquier sala, es el tiempo de reverberación y su comparación con el tiempo óptimo de reverberación. Para obtener el tiempo óptimo de reverberación se recurre a medios experimentales que van a variar en función del autor; así, podemos tener curvas que nos dan el margen permitido de reverberación en función del volumen (figura 1), o fórmulas empíricas como la recomendada por Pérez Miñana y adaptada especialmente para iglesias (Pérez, 1969):

$$T_{opt} = f \cdot u \cdot i \cdot \sqrt[3]{V}$$

En esta expresión, f es un coeficiente que depende de la frecuencia, u otro que depende del uso que se le dé al recinto, e i un índice que cambia dependiendo de si hay o no apoyo electroacústico. Por último, V es el volumen del local medido en m^3 . Esas variaciones están recogidas en la tabla 1:

Tabla 1. Parámetros para determinar el tiempo de reverberación óptimo (Sendra et al. 1997).

Frec (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
f	1,30	1,15	1,00	0,90	0,90	0,90
Uso	palabra	música de ópera	música de cámara	música sinfónica	música wagneriana	música religiosa
u	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095	0,100
i	Con apoyo electroacústico: 0,85			sin él: 1,00		

De cualquier forma, el tiempo de reverberación también depende de la aplicación principal a la que se destine la iglesia. Así, se puede diferenciar entre música litúrgica, canto o sermón, tal como muestra la figura 1:

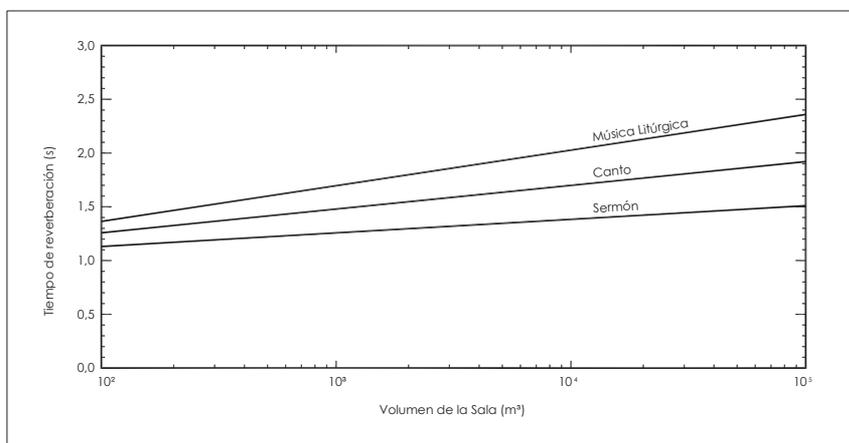


Figura 1. Tiempos recomendados para iglesias (f= 500 Hz) (Sendra et al. 1997).

La mayor dificultad acústica de estos recintos está en compaginar una buena acústica para la música y al mismo tiempo unas condiciones adecuadas para la palabra. El criterio que normalmente prevalece es la comprensión de la palabra, manteniendo en la medida de lo posible un buen ambiente musical.

Los valores del tiempo de reverberación a 500 Hz dados en la figura 2 son para una capacidad de audiencia de 2/3, y han resultado adecuados en el diseño de un gran número de iglesias y lugares de culto (Knudsen y Harris, 1980). Esta gráfica se basa tanto en exigencias de la palabra como de la música.

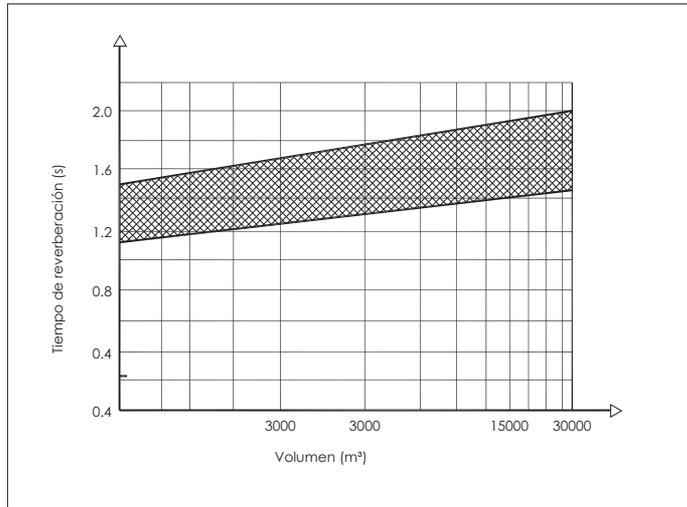


Figura 2. Tiempo de reverberación en función del volumen (Recuero y Gil, 1993).

El tiempo de reverberación no es el único parámetro que determina la acústica de una iglesia, pero se puede asegurar que si este valor es muy elevado será necesario tomar medidas. Así, se puede escoger como criterio de actuación el siguiente: si la diferencia relativa entre el tiempo de reverberación y el óptimo supera el 10%, será necesario un acondicionamiento acústico del recinto.

Otro aspecto a tener en cuenta en este tipo de recintos es la inteligibilidad, que puede decaer debido a los altos tiempos de reverberación que se manejan. Una iglesia con una inteligibilidad correcta puede tener un tiempo de reverberación de hasta 1,5 segundos; a partir de aquí la reverberación degradará la inteligibilidad, haciéndose necesario el uso de sistemas de refuerzo sonoro. Por otra parte, una reverberación excesivamente baja ($<0,5$ s) resta energía útil a la señal, dejando a la señal directa sin el refuerzo que aporta el campo reverberante (Fernández y Recuero, 2005).

El control del ruido de fondo en el interior de las iglesias también es uno de los aspectos más importantes a valorar en su acústica, debido a las características de sus aplicaciones. Las fuentes de ruido interferentes pueden ser conversaciones, pisadas, instalaciones, tráfico rodado y actividades comerciales externas, entre otras. A partir de la medición del espectro de ruido de fondo se pueden extraer indicadores y curvas de valoración que relacionan la respuesta subjetiva al ruido de fondo en los

edificios. Los indicadores de ruido de fondo más importantes son el nivel de presión sonora ponderado LA y el nivel sonoro continuo equivalente LAeq; las curvas permiten relacionar un espectro determinado a partir de un solo número. Así, la curva NR asocia el espectro de ruido, la NC relaciona el espectro de ruido con la perturbación producida en la comunicación verbal y la PNC introduce mejoras técnicas en la NC. Para una iglesia, los niveles máximos recomendables que no se deben sobrepasar se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Niveles de ruido máximos en las iglesias (Sendra et al. 1997).

Niveles máximos de iglesias	NR	NC	PNC	Nivel de ruido	
	dB	dB	dB	dB	dB_A
	35	30	35	40	45

Además, la acústica de la iglesia vendrá determinada por el volumen de la misma, por la relación que existe entre sus dimensiones y por los materiales y las formas de las superficies que la delimitan; teniendo en cuenta, asimismo, la ocupación del recinto y las condiciones ambientales presentes en cada momento.

Partiendo de todos los aspectos mencionados, se puede caracterizar la acústica de una iglesia, y a partir de ahí decidir las actuaciones a llevar a cabo.

Evolución de la forma en las iglesias cristianas

La forma geométrica de cualquier tipo de recinto, y por tanto de las iglesias, tiene una influencia grande en la calidad de su acústica. A su vez, la forma arquitectónica de los recintos religiosos a lo largo de la historia ha estado determinada por la época y el lugar de construcción de los mismos, así como por la religión a la que pertenecían (Sendra y Navarro, 1997).

En su origen, la iglesia era el lugar destinado a la celebración del culto religioso, un lugar de reunión para los fieles; la predicación, y su mensaje a través de la palabra, constituía una prioridad. Pero la iglesia también va a ser lugar de recepción de la música, según el momento histórico y la liturgia celebrada. Durante muchos siglos la música de occidente se creará para ser interpretada en las iglesias, adaptando su forma, su disposición de voces o instrumentos y su estructura melódico-armónica.

Es cierto que algunos compositores escribían su música pensando en la

sala o recinto donde debía ser interpretada, adecuándola de tal forma que el resultado final fuese el óptimo. Es el caso, por ejemplo, de Johann Sebastian Bach (1685-1750) y la Thomaskirche de Leipzig, una adaptación de una iglesia gótico-tardía al rito luterano; en ella Bach fue cantor y, precisamente para esta iglesia, ya en el período barroco, compuso gran parte de su obra coral y una de sus obras maestras religiosas: La Pasión según San Mateo. Según M. Forsyth, la acústica de la Thomaskirche, con un tiempo de reverberación de 1,6 segundos en las frecuencias medias con la sala llena (Palmese y Carles, 2005), influyó de manera notable en las características compositivas de esta obra, pues «... permitía que se oyesen más claramente los pasajes de cuerda, tiempos más veloces y cambios de armonía más rápidos de los que habrían sido posible en una iglesia medieval» (Forsyth, 1985).

Ludwig van Beethoven (1770-1827) también compuso algunas de sus sinfonías pensando en el recinto al que iban destinadas, es el caso, por ejemplo, de la Octava Sinfonía, creada para el Redoutensaal, salón de baile del Palacio Imperial de Hofburg en Viena; Richard Wagner (1813-1883) compuso óperas como El Anillo del Nibelungo para el Festspielhaus de Bayreuth; y Hector Berlioz (1803-1869) su Réquiem para la iglesia de Los Inválidos de París.

Tenemos, por tanto, dos funciones combinadas para un mismo continente sonoro (la iglesia) con una forma determinada: por una parte, la inteligibilidad de la palabra debía ser buena para que la predicación oral se entendiera; por otro lado, la reverberación debería ser la adecuada si se había de interpretar música.

Pese a que tanto la palabra como la música han tenido una gran importancia en la vida de las iglesias, apenas se encuentran valoraciones, tanto en la historiografía arquitectónica como en la musical, sobre el problema acústico en estos recintos. Parece imprescindible la consideración de ciertas condiciones acústicas para las iglesias que condicionen el diseño de las mismas, pero no siempre se han tenido en cuenta: la mayoría de las veces el gran interés artístico de las iglesias ha eclipsado sus posibles valores funcionales o litúrgicos. Hasta hace relativamente poco, los problemas acústicos en las iglesias no han sido considerados en toda su amplitud hasta ver los fracasos producidos al adaptar las mismas a otros usos, ya sean teatrales, musicales o para conferencias.

Si bien unas determinadas características acústicas deberían determinar la forma o el diseño de una iglesia, dicha forma condicionará de manera absoluta la acústica del recinto. La estructura de las primeras iglesias

paleocristianas era en planta de cruz, con techos planos de madera no muy elevados, paramentos realizados con ladrillo y sin bóvedas. Esto contribuía a crear una acústica adecuada para la buena inteligibilidad de la palabra y por tanto para la predicación, lo cual era el fin original de la iglesia. Pero estas buenas condiciones acústicas para el mensaje oral cambiarían con la arquitectura románica, que pasó a utilizar grandes muros de piedra desnudos junto a la construcción de bóvedas, lo que contribuyó a crear una acústica caracterizada por tiempos de reverberación muy elevados que reducían la inteligibilidad y producían focalización del sonido. Sin embargo, estas nuevas condiciones acústicas eran beneficiosas para la interpretación de la música del momento: el canto gregoriano. En cierto sentido, la pérdida de inteligibilidad casi no importaba, la repercusión de la palabra ya no era la misma, puesto que la celebración litúrgica se realizaba en latín, lengua que la mayor parte de la congregación no comprendía.

Con la construcción de las iglesias de estilo gótico no se mejora la acústica de estos recintos. Sus enormes dimensiones, la altura excesiva de las bóvedas (sobre todo la central) y las grandes superficies murales paralelas reflectantes producían, además de un elevado tiempo de reverberación, la formación de ecos. Pese a todo, dos aspectos positivos, desde el punto de vista acústico, iban a aparecer en este período: por una parte el efecto producido por las grandes vidrieras, que aumentaban la absorción sonora para los sonidos graves, produciendo así una disminución de los tiempos de reverberación (Recuero y Gil, 1993); y, por otra parte, la introducción de capillas laterales profundas, que actuaban como difusores para los sonidos graves y aumentaban la absorción sonora con su ornamentación, disminuyendo por tanto los tiempos de reverberación de la iglesia y mejorando la difusión del sonido en su interior. Resulta evidente que el estilo gótico es más apropiado para la interpretación de la música, llegando a su máxima expresión con la catedral, donde las notas emitidas se prolongaban durante largo tiempo, dando mayor brillantez a la polifonía y de este modo a las ceremonias religiosas.

El renacimiento va a suponer una vuelta a los techos planos, principalmente de artesonado en madera, y a las proporciones más pequeñas y armoniosas con plantas que ya no eran en cruz. A esto se va a añadir una rica ornamentación, que contribuye a la difusión de los agudos; y las capillas laterales abovedadas, que cobran protagonismo y facilitan la difusión de los graves, por lo que en este periodo mejora notablemente la acústica de las iglesias. A pesar de todo, también hubo quien construyó con plantas centrales circulares o desarrolladas a partir de un contorno

poligonal, cubiertas mediante cúpulas, que no ayudaban nada a la acústica, dada su alta focalización. En comparación con la planta de cruz latina, solamente la ausencia de superficies reflectantes y el acortamiento de distancias entre el oficiante y los fieles evitan agravar esos problemas.

En la segunda mitad del siglo XVI se produce un cambio sustancial sobre la consideración del problema acústico en las iglesias, debido a la importancia que el Concilio de Trento concede a la predicación (Ackerman, 1972). En un principio, la inteligibilidad del texto en el mensaje oral era primordial, ahora también lo era dentro de la música, y este fue uno de los objetivos principales para la reforma católica. Para conseguir tal objetivo se adoptó como modelo la polifonía homofónica, de manera que se pudiera entender bien el texto; pero, a parte de una reforma musical había que proponer mejoras arquitectónicas que dotaran a las iglesias de condiciones acústicas apropiadas a dicha polifonía. Varios documentos de ese período reformador atestiguan cómo se relacionaba la decisión sobre la forma de cubrir la iglesia con las condiciones acústicas en su interior. Otros aspectos importantes que se consideraban en el análisis del problema acústico en las iglesias eran el tamaño, la ocupación y la presencia de capillas laterales.

Los efectos de los cambios que provocó el Concilio se manifestarían principalmente en el barroco. En este período se mejoró aún más la acústica, debido a lo recargado de la decoración, a las capillas laterales, a la utilización de yeserías y tapices y a la alternancia de formas cóncavas y convexas que eliminan la focalización y contribuyen a la difusión del sonido a medias y bajas frecuencias. Pero, por el contrario, se continuaron utilizando plantas centrales que no beneficiaban en nada a la acústica.

Como contracorriente al barroco surge el neoclasicismo, lo que supone una nueva vuelta a la forma de construcción clásica, recuperando el estilo renacentista, aunque abandonando las plantas centrales.

Ya en el siglo XIX, los modernistas inician una revolución arquitectónica que mezcla un poco de todos los estilos. En la actualidad, en el diseño de iglesias ya se tiene en cuenta la acústica, no suelen estar excesivamente adornadas ni recargadas arquitectónicamente; por el contrario, se suelen incluir elementos difusores panelados o una forma de techo adecuada.

Estudio histórico-artístico de la iglesia de San Pedro

La iglesia de San Pedro, cuya vista general podemos apreciar en la figura 3, está situada en la parte más alta de Cuenca. Fue construida poco tiempo

después de que la ciudad fuera conquistada por Alfonso VIII el 21 de septiembre de 1177 (Troitiño, 1995). A mediados del siglo XV, la iglesia fue destruida y parece ser que reconstruida posteriormente en estilo gótico. Durante el siglo XVI apenas sufrió alteraciones, tal vez sólo la construcción de la Capilla de San Marcos. A finales del siglo XVII está documentada la restauración de la torre de la iglesia para impedir su hundimiento. En el siglo XVIII la iglesia es saqueada e incendiada. Más tarde, en este mismo siglo es totalmente renovada, y el encargado de esta renovación es el arquitecto José Martín de Aldehuela, muy influyente en el barroco conquense (Barrio, 1990; Chueca, 1944). Después de la Guerra Civil se llevan a cabo varias restauraciones más; la última deja al descubierto bajo la iglesia enterramientos con numerosos restos materiales y estructurales hallados.

La planta de la iglesia es un octógono en el que se inscribe una circunferencia a cuyo perímetro se adosan pilastras, entre las que se voltean arcos de medio punto. La cubrición de la capilla evidencia el diseño octogonal de la planta. No obstante, en este espacio centralizado, el ábside, que también es poligonal, marca un claro eje, al extremo del cual se sitúa la fachada, constituida por la portada y la torre, quedando aquélla desplazada del centro del hastial. Sobre la puerta se dispone un pequeño coro. Este espacio circular, que es recorrido por una cornisa denticulada ampliamente resaltada, se cierra con cúpula sobre tambor, cuyas ventanas, de forma mixtilínea, están muy de acuerdo con la estética de José Martín. También la rocalla, que adorna capiteles y guarniciones de huecos, es un motivo ornamental empleado con frecuencia por este arquitecto. Asimismo, la portada es muy ilustrativa del arte de Martín de Aldehuela, con el arco de medio punto de tronco de cono entre pilastras cajeadas y hornacinas sobre ménsulas en los lados; lo mismo puede decirse de la superposición de la cornisa que se incurva ligeramente, en cuyo centro se inscribe el escudo del benefactor de la reconstrucción de la iglesia, y de la curiosa decoración incisa que une el cuerpo inferior con el nicho del cuerpo alto enmarcado por pilastras jónicas, ocupado por la imagen de una Virgen. La puerta, adintelada, presenta en su frontón el símbolo de San Pedro, la tiara y las llaves. La torre, que se compone de tres cuerpos decrecientes, fue rematada a fines del siglo XVIII con un cuerpo de campanas.

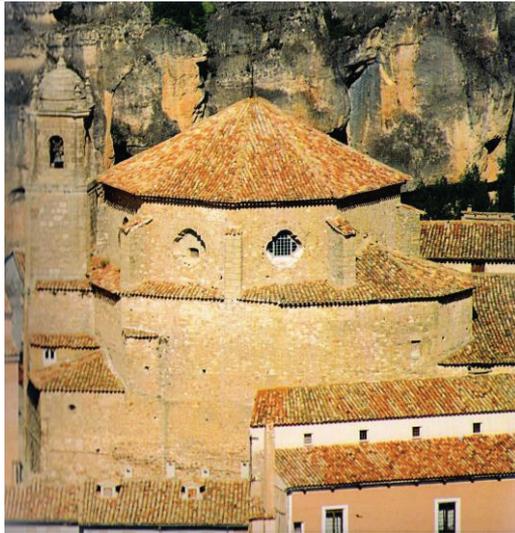


Figura 3. Iglesia de San Pedro, vista general (Rokinski, 1995).

El 4 de julio de 2002, mediante resolución de la Dirección General de Bienes y Actividades Culturales, de la Consejería de Educación y Cultura de Castilla-La Mancha, se acuerda incoar expediente para declarar bien de interés cultural, con categoría de monumento, al inmueble correspondiente a la «Iglesia de San Pedro», localizado en Cuenca (publicado en el BOE nº 235 de 1 de Octubre de 2002).

El uso actual de la iglesia de San Pedro es la celebración del culto religioso y la realización de conciertos de música clásica.

Algunos de los materiales principales que conforman los revestimientos interiores de la iglesia, y que condicionan las características acústicas de la misma, son: yeso pintado en paredes y techos; estuco en detalles de ornamentación, mármol en el solado del centro de la iglesia y granito en el resto, y madera en el zócalo del presbiterio, en las barandillas del coro y de la galería y en el techo de la Capilla de San Marcos. La mayoría de estos materiales son reflectantes, por tanto, deberían evitar una pérdida excesiva tanto de sonidos graves como de agudos, garantizando una buena acústica; pero debemos tener en cuenta otros factores, como la forma y el volumen de la iglesia, que provocan una reverberación excesiva. Estas condiciones empeoran con el suelo de mármol en la zona de central y la cúpula que corona el edificio. A pesar de ser una reconstrucción en estilo barroco, la ornamentación resulta bastante escasa; se puede observar la falta de alfombras, cortinajes o tapices que mejorarían la absorción del sonido y, por tanto, disminuirían la reverberación.

Estudio acústico de la iglesia de San Pedro

Para llevar a cabo la caracterización acústica de la iglesia es necesario medir varios parámetros: tiempo de reverberación, apoyado por el índice ALCONS que hace referencia a la inteligibilidad, nivel de presión sonora y nivel de ruido de fondo, además de conocer las dimensiones, volumen y superficie total del recinto. Los datos de presión sonora y ruido de fondo se obtienen midiendo el espectro, en octavas o tercios de octava, con una fuente de ruido conectada o apagada, respectivamente. Para medir el tiempo de reverberación se sigue la norma UNE 74-043-87 (Medida del Tiempo de Reverberación de Auditorios), que se corresponde con la UNE-EN ISO 3382: 2001 (Acústica. Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos). Todas las medidas fueron tomadas con la iglesia vacía y el mobiliario propio de la misma. La cobertura espacial elegida para realizarlas se indica en la distribución en planta de la figura 4:

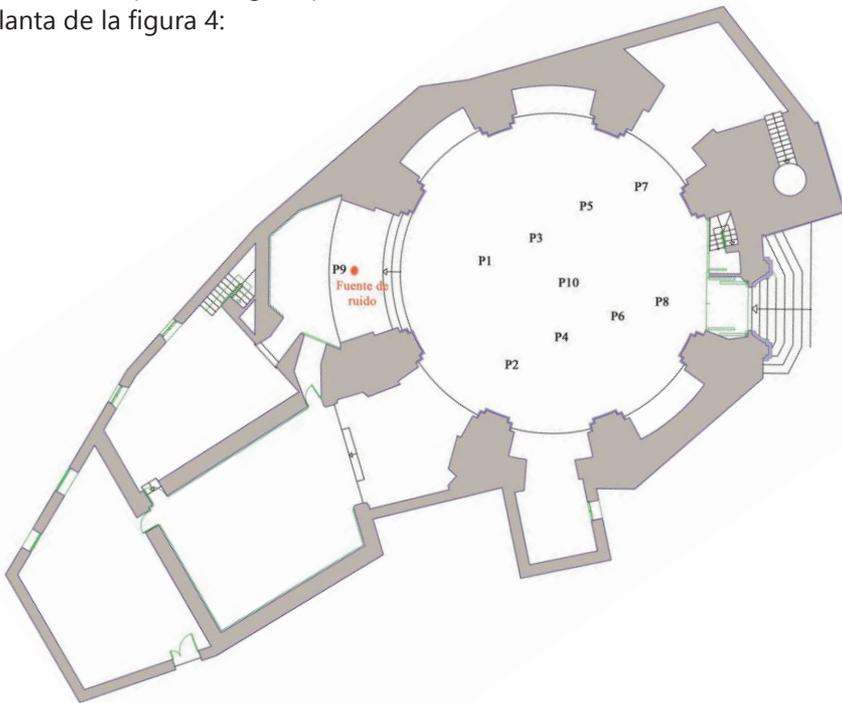


Figura 4. Ubicación de la fuente de ruido y de los puntos de medida.

Para la realización de la medición in situ de los diferentes parámetros acústicos se utilizaron dos micrófonos tipo 40AF con sus respectivos preamplificadores 26AK; dos bolas antiviento, para evitar ruidos y entradas de polvo u otras partículas en los micrófonos; un calibrador Aclan Cal 01; dos trípodes para apoyar los micrófonos; dos conectores *Lemo* de 7 pines; una plataforma de adquisición tipo *Symphonie* conectada a un PC marca TOSHIBA y el software de 01dB. El volumen del recinto se ha obtenido mediante simulación en el programa *EASE 3.0*, tomando como datos los planos de la iglesia. Los resultados geométricos son: 6.657,63 m³ de volumen y 3.260,99 m² de superficie.

El tiempo de reverberación ha sido medido mediante el “Método de ruido impulsivo”. La fuente utilizada para ello ha sido una pistola de foguero de 9 mm, ubicada en el centro del altar, donde normalmente se sitúa el orador y donde se ubican los músicos para realizar los conciertos a modo de escenario.

Los valores obtenidos muestran que el tiempo medio de reverberación resultante (5,87 s) es un valor muy elevado para el volumen de la iglesia, desde el punto de vista estrictamente acústico (figura 5). Este tiempo de reverberación sería idóneo para cierto tipo de música; sin embargo, no es apropiado para la inteligibilidad de la palabra.

Por otro lado, el coeficiente medio de absorción de la iglesia obtenido es 0,056; puesto que los valores de este coeficiente pueden variar entre 0 y 1, el valor que resulta nos muestra una absorción mínima, lo que explica en parte la elevada reverberación de la iglesia.

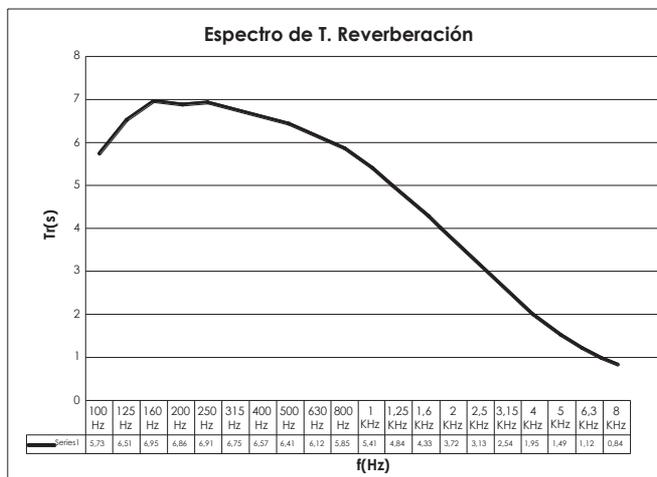


Figura 5. Espectro de tiempo de reverberación medio para cada frecuencia.

La medida del ruido de fondo se realiza con la fuente de ruido apagada. El valor del nivel de ruido global medio es de 31,84 dB. El resultado del espectro es bueno, ya que permanece por debajo de los niveles máximos recomendables para iglesias (figuras 6 y 7). A pesar de todo, hay que destacar que las condiciones de medida del ruido de fondo fueron muy favorables, ya que el aislamiento de la iglesia no es muy bueno, pues cada vez que circula cualquier vehículo por las proximidades se cuela bastante ruido, incluso con las puertas cerradas.

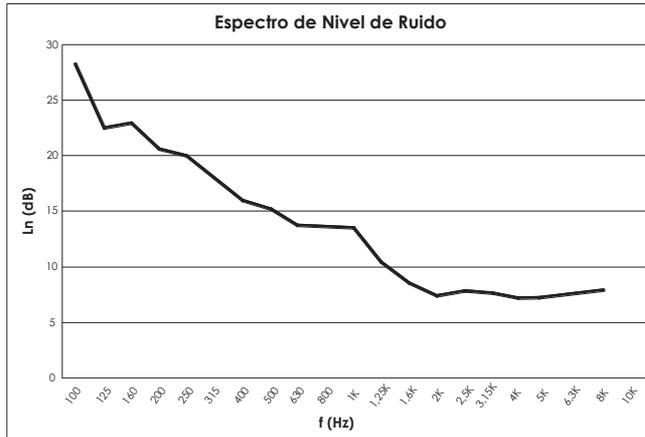


Figura 6. Espectro de nivel de ruido.

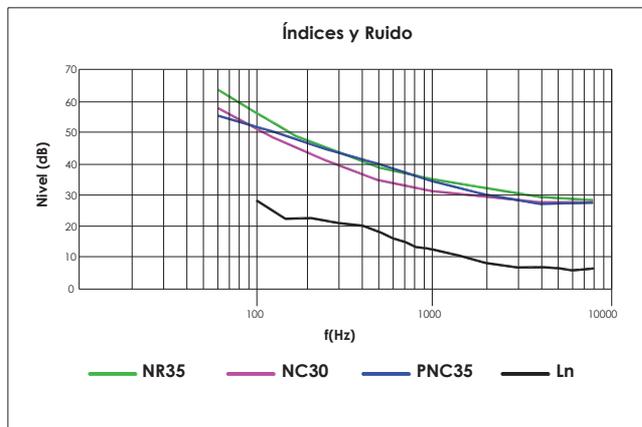


Figura 7. Comparación entre las curvas NR, NC y PNC y el espectro de nivel de ruido.

Para realizar la medida del nivel de presión en el recinto (figura 8) se ha utilizado la técnica de fuente de ruido ininterrumpida: una fuente de ruido rosa colocada en el altar emitiendo un nivel superior al menos en 40 dB al ruido de fondo. Se puede observar que el espectro de presión sonora es bastante uniforme. El valor medio del nivel de presión global lineal es de 95,34 dB.

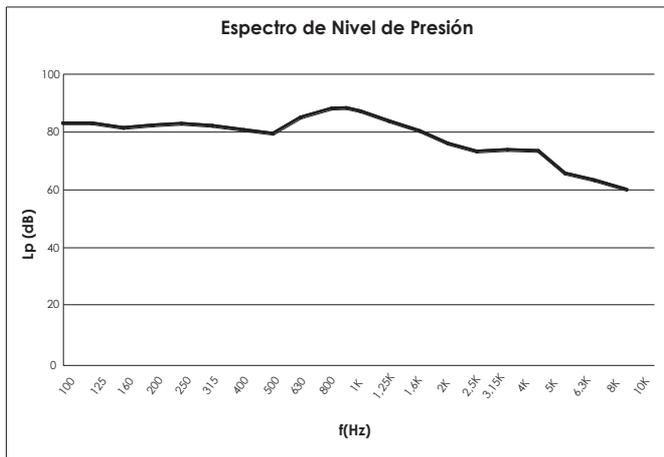


Figura 8. Espectro de nivel de presión.

Para obtener los criterios de calidad e inteligibilidad se ha empleado la misma cadena de medida que en los casos anteriores, y las medidas se han realizado también en los mismos puntos.

El valor medio de EDT obtenido (6,02 s) es ligeramente superior al tiempo de reverberación medio de la iglesia, lo que significa que existe una buena difusión en el recinto.

En el caso de la claridad, parámetro que nos ayuda a valorar el comportamiento de la iglesia para la música, los valores obtenidos se alejan de los recomendados.

El índice ALCONS se calcula tomando el valor del tiempo de reverberación obtenido para la frecuencia de 2 kHz. Según se observa en la figura 9, para distancias menores a la distancia límite (9,80 m) la inteligibilidad de la iglesia es pobre, para distancias mayores es mala. La inteligibilidad de la iglesia es aceptable hasta que se sobrepasan los 7,75 m de distancia de la fuente al oyente, lo cual no es un buen dato, pues el área de audiencia tiene un alcance mayor (hasta 15 m aproximadamente).

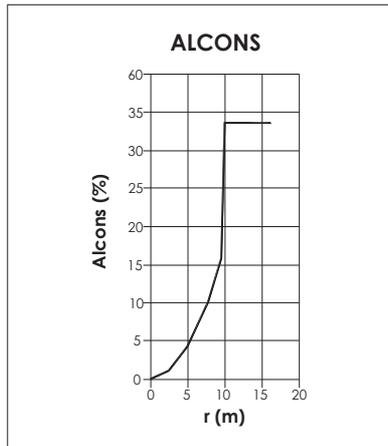


Figura 9. Valores del índice ALCONS (%) en función de la distancia r (m).

Otros factores acústicos calculados son los siguientes:

1. Viveza.- estamos ante un recinto muy vivo (5,91 s), pues los valores normales están comprendidos entre 1,5 y 2 segundos.
2. Calidad acústica.- los resultados nos indican una buena calidez acústica, ya que el valor (1,14) está muy cercano al recomendado de 1,1.
3. Brillo.- El valor obtenido es muy pequeño (0,48), frente a los valores recomendados comprendidos entre 0,8 y 1.

Por último, y según se ha comentado anteriormente, como la diferencia relativa entre el tiempo de reverberación y el óptimo supera el 10% (216%) se haría necesario un acondicionamiento acústico en la iglesia desde un punto de vista estrictamente acústico; no así desde un punto de vista artístico.

Concierto "Sonidos en la Arquitectura de San Pedro"

La parte experimental de la tesis doctoral motivo de esta comunicación es el concierto "Sonidos en la Arquitectura de San Pedro". Se hace necesario incidir en la experiencia artística que supone este concierto y en la creatividad que se deriva de dicha experiencia, tanto en el producto final como en el proceso de elaboración y en la función que cada elemento ha representado en el conjunto; asimismo, se acerca humildemente al diálogo de la obra con el oyente, que alumbró la idea de lo que debe ser una obra

artística (López Quintás, 2004). Estas reflexiones ayudan a no perder en ningún momento de vista la perspectiva artística de la creación sonora a la que se hace alusión en el título de la tesis.

El concierto-investigación que se realizó en la iglesia de San Pedro el 9 de enero de 2009 (figura 10) constaba de dos partes. En la primera parte se interpretaron tres obras musicales diferentes que se adaptan de formas diversas a la acústica de la iglesia:

1. La primera composición programada era *Évangile*, que corresponde al sexto movimiento de la obra *Requiem*, compuesta en 1973 sobre textos de la misa de difuntos por Michel Chion, compositor, escritor y realizador de cine y vídeo. Se trata de música electroacústica sobre soporte o de música concreta. Creo necesario resaltar la suerte de haber podido conocer en persona a Michel Chion, quien me concedió una entrevista exclusiva en París el 13 de diciembre de 2008, adjunta en la tesis.
2. La segunda obra que se escuchó en el concierto fue *Tu es Petrus*, para cuatro voces mixtas y órgano, compuesta específicamente por Nelia Valverde para esta investigación y para la iglesia de San Pedro (lo cual marca el punto de vista creativo de este trabajo) e interpretada por la Capilla de Música de la Catedral de Cuenca. La elección del texto responde a la intención de reflejar en la partitura las palabras que figuran bajo las balconadas que sirven de base a la cúpula que corona la iglesia, de las cuales se ha tomado la última frase: TU ES PETRUS ET SUPER HANC PETRAM AEDIFICABO ECCLESIAM MEAM, (Mateo 16, 18).
3. La tercera obra programada era *Alleluia (Justus)*, canto cristiano occidental antiguo (Reznikoff, 1993) interpretado por Iégor Reznikoff, especialista en arte sagrado y en música antigua. Es una obra monódica dividida en dos partes: la primera se construye sobre el canto tradicional del *Alleluia*, y la segunda se construye sobre el texto del *Justus Germinavit*; ambas interpretadas siguiendo los manuscritos existentes entre los siglos IX y XI (d.C.).

Después de la audición, el público participó de forma activa en la investigación mediante la realización de una encuesta, calificando de manera subjetiva la acústica de la iglesia a través de la percepción de las diferentes obras presentadas.

En la segunda parte del concierto, la Capilla de Música de la Catedral y el Dr. Reznikoff interpretaron una serie de obras como agradecimiento a la participación desinteresada del público: cuatro obras del siglo de oro de la polifonía sagrada y '*Grand Magnificat*', una cantata creación de Iégor

Reznikoff. Es de agradecer el haber contado con la inestimable colaboración del Dr. Iégor Reznikoff como asesor externo de la investigación y como intérprete y compositor en el concierto celebrado en la iglesia de San Pedro, por lo que, en su día, nos pareció más que acertado incluir en la tesis una entrevista inédita realizada en París el 19 de diciembre de 2008.

El hecho de poder contar con el testimonio de compositores como Iégor Reznikoff y Michel Chion enriquece el trabajo y, sin duda, aporta exclusividad al mismo.

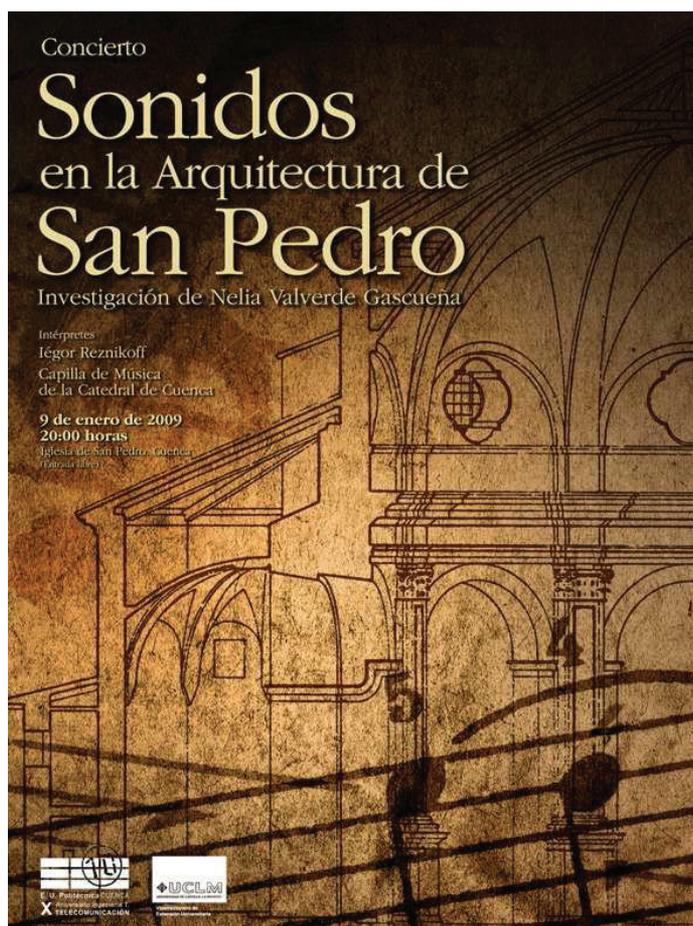


Figura 10. Cartel publicitario del concierto-investigación.

Análisis psicoacústico

De las personas que asistieron al concierto (150 aproximadamente), fueron 92 las que se prestaron a realizar la encuesta, cuyo formato se presenta en la figura 11.

La estructura del cuestionario realizado (Barron, 1993) parte de una introducción que nos sirve para conocer determinados aspectos personales de los encuestados, así como su nivel de conocimientos musicales. A continuación se plantean 13 preguntas, varias de ellas relacionadas directamente con la iglesia y la percepción acústica en la misma, otras relacionadas directamente con la percepción musical de las composiciones presentadas, y una de ellas relacionada con las sensaciones que evocan dichas obras a cada una de las personas que responden la encuesta. Esta última pregunta añade otro punto de vista al cuestionario desarrollado por Barron, lo cual contribuye a ampliar las conclusiones de esta línea de investigación.

En general, las respuestas ofrecidas a los encuestados son de tres tipos:

1. Valoración en una escala de 1 a 6, eligiéndose un número par de ítems con la finalidad de que los encuestados se decanten hacia un lado u otro y no se queden en la neutralidad del término medio.
2. Elección entre dos o más opciones.
3. Respuesta libre.

Con el fin de hacer la encuesta accesible a todo el público asistente al concierto se incorpora en cada pregunta una pequeña definición de los principales conceptos a evaluar, indicando con qué se corresponderían los ítems del 1 al 6 en las respuestas planteadas como de primer tipo. De esta forma, aunque no se conozca el significado de los parámetros que se están evaluando, en principio cualquier persona podría responder correctamente a las cuestiones propuestas.

CONCIERTO: Sonidos en la Arquitectura de San Pedro (09/01/2009)
ENCUESTA

EDAD:

SEXO: H M

OCUPACION:

FORMACION MUSICAL: Ninguna E. Elementales E. Profesionales E. Superiores Otros
(en este caso describir cuáles):

1. ¿Ha escuchado alguna vez los tres tipos de música que se acaban de interpretar?

Obra1.- M. electroacústica: Si No

Obra2.- Polifonia y órgano: Si No

Obra3.- Canto cristiano antiguo: Si No

2. Califique la claridad musical percibida, es decir, si se juntan o no los sonidos confundiendo unos con otros. El 1 correspondería a un sonido muy confuso y el 6 a un sonido muy claro.

Obra1.- M. electroacústica: 1 2 3 4 5 6

Obra2.- Polifonia y órgano: 1 2 3 4 5 6

Obra3.- Canto cristiano antiguo: 1 2 3 4 5 6

3. Indique si se pueden distinguir las palabras que componen los textos. El 1 correspondería a un texto que no se entiende en absoluto y el 6 a uno que se entiende perfectamente.

Obra1.- M. electroacústica: 1 2 3 4 5 6

Obra2.- Polifonia y órgano: 1 2 3 4 5 6

Obra3.- Canto cristiano antiguo: 1 2 3 4 5 6

4. Un recinto se denomina "vivo" cuando el tiempo de permanencia de un sonido en dicho recinto es elevado, una vez que la fuente que lo emite deja de hacerlo. ¿Considera la iglesia un recinto "vivo" o "apagado"? Valórelo de uno a seis, siendo 1 un recinto excesivamente apagado y 6 uno excesivamente vivo.

Obra1.- M. electroacústica: 1 2 3 4 5 6

Obra2.- Polifonia y órgano: 1 2 3 4 5 6

Obra3.- Canto cristiano antiguo: 1 2 3 4 5 6

5. ¿Cómo percibe el ruido de fondo?

Obra1.- M. electroacústica: inaudible aceptable intolerable

Obra2.- Polifonia y órgano: inaudible aceptable intolerable

Obra3.- Canto cristiano antiguo: inaudible aceptable intolerable

6. Un recinto posee calidez acústica cuando se percibe riqueza en los graves, suavidad y melosidad en la música. Valore la calidez acústica del recinto de uno a seis, siendo 1 una calidez excesivamente pobre y 6 elevada.

Obra1.- M. electroacústica: 1 2 3 4 5 6

Obra2.- Polifonia y órgano: 1 2 3 4 5 6

Obra3.- Canto cristiano antiguo: 1 2 3 4 5 6

7. Califique el brillo del recinto, es decir, si el sonido se percibe nítido y rico en armónicos. El 1 correspondería a un recinto con brillantez nula y el 6 a uno con brillantez muy elevada.

Obra1.- M. electroacústica: 1 2 3 4 5 6

Obra2.- Polifonia y órgano: 1 2 3 4 5 6

Obra3.- Canto cristiano antiguo: 1 2 3 4 5 6

8. La sonoridad percibida, o sensación de intensidad del sonido, ¿es elevada o deficiente? Califíquela de uno a seis, siendo 1 una sonoridad muy deficiente y 6 una sonoridad muy elevada.

Obra1.- M. electroacústica: 1 2 3 4 5 6
Obra2.- Polifonía y órgano: 1 2 3 4 5 6
Obra3.- Canto cristiano antiguo: 1 2 3 4 5 6

9. Al escuchar cada una de las obras, ¿la localización del sonido se corresponde siempre con la fuente de origen del mismo o, por el contrario, percibe la procedencia del sonido desde otros puntos del recinto?

Obra1.- M. electroacústica: en la fuente en otros puntos por todo el recinto
Obra2.- Polifonía y órgano: en la fuente en otros puntos por todo el recinto
Obra3.- Canto cristiano antiguo: en la fuente en otros puntos por todo el recinto

10. Indique el grado de adecuación de cada obra a la acústica de la iglesia. El 1 correspondería a una adecuación pésima y el 6 a una excelente.

Obra1.- M. electroacústica: 1 2 3 4 5 6
Obra2.- Polifonía y órgano: 1 2 3 4 5 6
Obra3.- Canto cristiano antiguo: 1 2 3 4 5 6

11. ¿Cuál es su impresión global de la acústica del recinto?

muy mala mala mediocre aceptable buena muy buena excelente

12. Describa qué sensaciones o imágenes le evoca cada una de las obras (puede adjuntar un dibujo, un gráfico...).

Obra1.- M. electroacústica:

Obra2.- Polifonía y órgano:

Obra3.- Canto cristiano antiguo:

13. Escriba los comentarios globales que considere oportunos.

Figura 11. Formato de la encuesta realizada.

Los resultados obtenidos de la encuesta, reforzados por entrevistas personales incluidas en la tesis, se presentan en las tablas 3, 4 y 5:

Tabla 3. Resultados correspondientes a las preguntas 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 10, con una escala de respuestas de 1 a 6.

		Música Electroacústica	Polifonía y órgano	Canto cristiano antiguo
Preg. 2	xmedio	2,71	4,72	5,63
	desviación	1,33	0,95	0,67
Preg. 3	xmedio	2,51	4,56	5,20
	desviación	1,34	1,14	1,22
Preg. 4	xmedio	3,77	4,81	5,22
	desviación	1,47	1,11	0,98
Preg. 6	xmedio	3,27	4,78	5,46
	desviación	1,50	1,09	0,69
Preg. 7	xmedio	3,27	4,84	5,24
	desviación	1,59	1,10	0,94
Preg. 8	xmedio	3,79	5,11	5,28
	desviación	1,50	0,93	0,82
Preg. 10	xmedio	2,46	4,90	5,56
	desviación	1,40	1,08	0,77

Tabla 4. Resultados en porcentajes correspondientes a las preguntas 1, 5 y 9.

		Música Electroacústica	Polifonía y órgano	Canto cristiano antiguo
Preg. 1	sí	65,22	94,57	71,74
	no	31,52	3,26	25,00
	no contesta	3,26	2,17	3,26
Preg. 5	inaudible	28,26	31,52	23,91
	aceptable	47,83	60,87	63,04
	intolerable	13,04	1,09	7,61
	no contesta	10,87	6,52	5,43
Preg. 9	en la fuente	46,74	18,48	18,48
	en otros puntos	23,91	30,43	15,22
	por todo el recinto	18,48	44,57	64,13
	no contesta	10,87	6,52	2,17

Tabla 5. Resultados en porcentajes correspondientes a la pregunta 11.

Preg. 11	muy mala	mala	mediocre	aceptable	buena	muy buena	excelente	No contesta
%	0,00	1,09	1,09	6,52	38,04	42,39	8,70	2,17

No todos los encuestados contestaron a la pregunta 12 y, además, prácticamente todos lo hicieron con palabras. Pero esta incidencia no impide observar y analizar las sensaciones o imágenes que las tres composiciones evocan a cada uno de los oyentes, representadas en la figura 12:

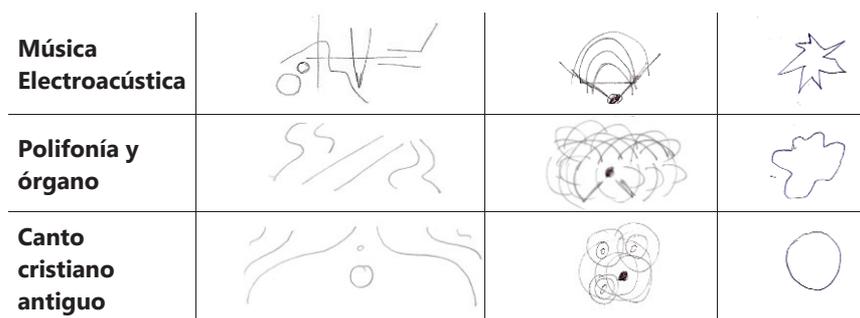


Figura 12. Dibujos realizados por algunos encuestados sobre las diferentes obras presentadas.

Conclusiones

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente podemos extraer las siguientes conclusiones:

La acústica de la iglesia de San Pedro "gusta" al público para la interpretación de la música presentada. La calificación acústica subjetiva de la iglesia ha resultado ser en general de "muy buena". A pesar de la medición de parámetros acústicos objetivos y de que existan ciertas orientaciones para la calificación de la acústica de cualquier recinto en función de los valores así obtenidos, hemos podido comprobar que es el

oyente del concierto quien finalmente pone nombre a la acústica del recinto.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la composición musical más adecuada en cuanto a la percepción y a las condiciones acústicas de la iglesia es la de canto cristiano antiguo. Esto se debe, en parte, a la elevada reverberación de la iglesia que ayuda a la ejecución del canto; pero también se debe a que el público ha sabido acomodar su escucha para poder percibir los beneficios del mismo, lo que podemos deducir de los comentarios realizados en las encuestas. Por otro lado, podemos afirmar que las imágenes o sensaciones evocadas por cada una de las obras interpretadas son prácticamente las mismas para todos los encuestados.

La diferencia entre la difusión del género acusmático, o de la música electroacústica sobre soporte, a través de altavoces y la interpretación en directo de las otras dos obras ha influido de manera notable en la percepción de los oyentes. Hemos podido comprobar que, al igual que el impacto estético que recibe el oyente al entrar en una sala puede influir considerablemente en su juicio de la calidad acústica de ésta, la impresión visual que recibe durante la ejecución de una determinada obra musical también influye.

Las condiciones acústicas de la iglesia cambiaron de encontrarse vacía a estar llena de público; sobre todo en relación a la reverberación y a la sonoridad. La reverberación de la iglesia vacía resulta excesiva incluso para el canto cristiano antiguo, de notas largas y ritmo pausado; sin embargo, con la iglesia llena la reverberación disminuyó sensiblemente, lo cual benefició la ejecución del gran canto. La sonoridad experimenta el mismo proceso, que esta vez resulta perjudicial para la música electroacústica.

De forma general, podemos establecer ciertas equivalencias entre los resultados de las mediciones objetivas in situ y entre los resultados de las valoraciones subjetivas realizadas por los oyentes (tabla 6), aunque salvando las distancias por realizar las medidas objetivas con la iglesia vacía. Los parámetros objetivos que coinciden en general con las percepciones subjetivas son los de viveza, calidez acústica y ruido de fondo. Los parámetros objetivos que no coinciden son la claridad musical, el brillo y la inteligibilidad de los textos, más elevados en sus valores subjetivos.

Tabla 6. Equivalencia entre resultados acústicos objetivos y subjetivos.

	Resultados Objetivos	Resultados Subjetivos
Viveza	5,91 s	bastante vivo
Calidez Acústica	1,14	buena
Ruido de fondo	31,84 dB	aceptable
Claridad musical	-6,79 dB / +6,27 dB	casi elevada
Inteligibilidad	si $r \leq DI \rightarrow$ ALCONS = 15,97 % si $r > DI \rightarrow$ ALCONS = 33,48 %	elevada
Brillo	0,48	elevada

El mejor lugar para la escucha de la música en la iglesia de San Pedro, considerando la ubicación de los intérpretes en el altar, se encontraría situado en cualquier punto dentro de un radio aproximado de 7 u 8 metros medidos desde la fuente emisora; preferiblemente en la zona central de la iglesia, en la dirección de proyección del sonido.

Teniendo en cuenta que existen otros estudios ya realizados sobre la acústica de recintos y, concretamente, la acústica de iglesias, debemos indicar que lo que diferencia la tesis presentada de estos otros estudios es, sobre todo, la metodología de trabajo propuesta y desarrollada, la cual parte de un parámetro aglutinador que integra historia y cultura con creatividad, aportando de este modo una perspectiva completamente innovadora. Por otra parte, añade la particularidad de ser el primer estudio de estas características realizado en la iglesia de San Pedro en Cuenca (España).

Bibliografía

Ackerman, J. (1972). "The Gesù in the Light of Contemporary Church Design"; en *Baroque Art: The Jesuit Contribution*. Ed. R., Wittkober & I., JAFFÉ. Nueva York.

Ariza, J. (2003) *Las imágenes del sonido*. Ediciones de la Universidad de Castilla La Mancha, Cuenca.

Barrio, J. L. (1990). "El arquitecto aragonés José Martín de Aldehuela y sus obras en Cuenca". Goya: Revista de Arte, nº 217-218, pp.50-56. Madrid.

Barron, M. (1993). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. Spon Press.

Boletín Oficial del Estado. BOE, nº 235, de 1 de Octubre de 2002.

Carrión Isbert, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Edicions UPC, Barcelona.

Chueca, F. (1944). "El arquitecto José Martín de Aldehuela: datos para el estudio de un arquitecto del siglo XVIII". *Revista de Arte Español*. Madrid.

Fernández, M. y Recuero, M. (2005). "Data Base Design for Acoustics: The Case of Churches", *J. of Building Acoustics*. Multi Science Pub.Co. Ltd., U.K. 12.

Forsyth, M. (1985). *Buildings for music: the architect, the musician and the listener from the seventeenth century to the present day*. Cambridge University Press. Cambridge.

Knudsen, Vern O. y Harris, Cyril M. (1980). *Acoustical Designing in Architecture*. Republished by Acoustical Society of America, American Institute of Physics. New York.

López Quintás, A. (2004). *La experiencia estética y su poder formativo*. Editorial de la Universidad de Deusto, Bilbao.

Palmese, C. y Carles, J. L. (2005). "Acústica y arquitectura: El marco acústico y su evolución", en *Revista Scherzo*, Año XX, Núm. 193: 113-132.

Pérez Miñana, J. (1969). *Compendio práctico de acústica*. Ed. Labor. Barcelona.

Recuero, M. y Gil, C. (1993). *Acústica Arquitectónica* (2ª edición). Edit. Paraninfo, Madrid.

Reznikoff, I. (1993). *Le chant de Vézelay: Marie-Madeleine au tombeau*. SM 12 21.62, París (CD)

Rokinski, M. L. (1995). *Arquitecturas de Cuenca*. Servicio de Publicaciones de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Sendra, J.J. y Navarro, J. (1997). *La Evolución de las Condiciones Acústicas en las Iglesias: del Paleocristiano al Tardobarroco*. I.U.C. Construcción, Sevilla.

Sendra, J.J.; Zamarreño, T.; Navarro, J. y Algaba, J. (1997). *El problema de las Condiciones Acústicas en las Iglesias: Principios y Propuestas para la Rehabilitación*. I.U.C. Construcción, Sevilla.

Troitiño, M. A. (1995). *Arquitecturas de Cuenca: el paisaje urbano del casco antiguo*. Servicio de Publicaciones de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA EDIFICACIÓN

Enfoque gráfico para la docencia basada en proyectos en el Grado de Ingeniería de Edificación de la Escuela Politécnica de Cuenca.

Josemanuel Cañizares* y David Valverde*

Resumen Nos encontramos en una sociedad-cultura donde la forma de aprehender y contar el mundo es eminentemente visual. Desde el punto de vista que nos compete, profesional y docente, podemos constatar la preponderancia de la documentación gráfica en el proceso edificatorio. En las asignaturas del área de expresión gráfica aplicada a la edificación -de los estudios de Grado de Ingeniería de Edificación- que preceden a las asignaturas Proyectos Técnicos y Proyecto Fin de Grado, prevalece esta concepción finalista de las aplicaciones CAD -*computer aided design*/diseño asistido por ordenador-. Este enfoque dista de explotar su enorme capacidad como herramienta gráfica al servicio del proyecto técnico. La docencia de la asignatura de Proyectos Técnicos propone una metodología de trabajo destinada a la elección/definición "consciente" de los materiales/sistemas constructivos que integran un proceso constructivo complejo. En ella el uso del lenguaje gráfico es la principal herramienta junto a la capacidad de lectura y utilización prestacional de la normativa técnica y el mercado. La inminente/inexcusable implementación del BIM -*building information modelling*/modelado de información para la construcción- propone una metodología de trabajo y de entender las asignaturas gráficas entorno a la cual se podría articular gran parte de la docencia de Ingeniería de Edificación.

*Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, Jose.Canizares@uclm.es y David.Valverde@uclm.es

Introducción

Nos encontramos en una sociedad-cultura donde la forma de aprehender y contar el mundo es eminentemente visual. Desde el punto de vista que nos compete, profesional y docente, podemos constatar la preponderancia de la documentación gráfica en el proceso edificatorio.

Profundizando en esta situación de dominio, que parece lógica y hasta imperecedera, podemos distinguir dos perfiles bien marcados: el generador de documentación gráfica -diseñador- y el usuario final de la misma durante el proceso constructivo -constructor-.

De este modo la documentación gráfica jugaría el papel de "canal" en este proceso básico de comunicación, normalmente unidireccional, para transmitir un "mensaje" codificado entre un "emisor" -generador de documentación- y un "receptor" -usuario final-, y podríamos afirmar que su papel es finalista, es decir, se genera con el único fin de documentar qué hay que hacer y cómo hacerlo.

Aplicaciones CAD -*computer aided design*/diseño asistido por ordenador-

La informática forma parte de nuestras vidas, tanto personal como profesionalmente, y entre sus múltiples posibilidades se encuentran las aplicaciones CAD (Valverde, 2011).

La utilización directa/habitual de las aplicaciones CAD sólo supone la adecuación a los medios digitales el proceso de delineación clásica a tinta o *drafting* (Valverde, 2010), sin que la aparición de dicha tecnología haya generado consuetudinariamente un cambio de paradigma apoyado en ella, es decir manteniendo el enfoque finalista comentado con anterioridad.

En las asignaturas del área de expresión gráfica aplicada a la edificación de los estudios de GIE -Grado en Ingeniería de Edificación- que preceden a las asignaturas Proyectos Técnicos y Proyecto Fin de Grado prevalece también esta concepción finalista de las aplicaciones CAD. Este enfoque, desde nuestro punto de vista, y seguramente en relación al nivel de preparación del alumno y la limitación de su carga docente, dista de

explotar su enorme capacidad como herramienta gráfica al servicio del proyecto técnico.

El lenguaje gráfico como herramienta analítica

Es en la docencia basada en proyectos utilizada en la asignatura Proyectos Técnicos -sexto semestre de GIE (Cañizares y Valverde, 2010)-, con un marcado carácter aplicado basado en la resolución de casos reales desde la aplicación metodológica de los conocimientos adquiridos en el resto de asignaturas del plan de estudios, donde ha sido posible explorar la utilización del lenguaje gráfico como una herramienta que debe y puede ir más allá del referido papel finalista de documentar qué hay que hacer y cómo hacerlo.

La filosofía de la asignatura Proyectos Técnicos parte del nivel de conocimientos adquirido previamente por el alumno en las asignaturas programadas con anterioridad y, sin pretender aportar nuevos conocimientos, propone una metodología de trabajo destinada a la elección/definición "consciente" de los materiales/sistemas constructivos que integran un proceso constructivo complejo. Suponiendo, pues, capacidad al alumno para resolver la representación geométrica de la edificación y conocimiento de los códigos gráficos propios del lenguaje arquitectónico.

Junto a la capacidad de lectura, la utilización prestacional de la normativa técnica y el mercado -entendidos como bibliografía básica-, el uso del lenguaje gráfico es la principal herramienta de la asignatura: el alumno, trabajando en grupo y, de forma aplicada sobre un enunciado concreto, debe emplear recursos gráficos para identificar/entender los problemas que debe solucionar, resolverlos y transmitir su solución en sesiones críticas de carácter colectivo.

Más pormenorizadamente, el alumno ha de generar un discurso gráfico destinado a analizar los condicionantes derivados de la implantación de un determinado proceso constructivo, tanto de su implantación dentro de un contexto físico/real, como de la satisfacción de la normativa técnica que le es aplicable. Y, a partir de ellos, a determinar los sistemas constructivos más adecuados a dicho nivel de exigencia debiendo estructurar dicho discurso gráfico con carácter sintético/analítico de forma que se configure como un documento metodológico, útil para abordar aplicaciones

distintas. El alumno genera, así, una bibliografía propia destinada a controlar la producción/interpretación del documento técnico.

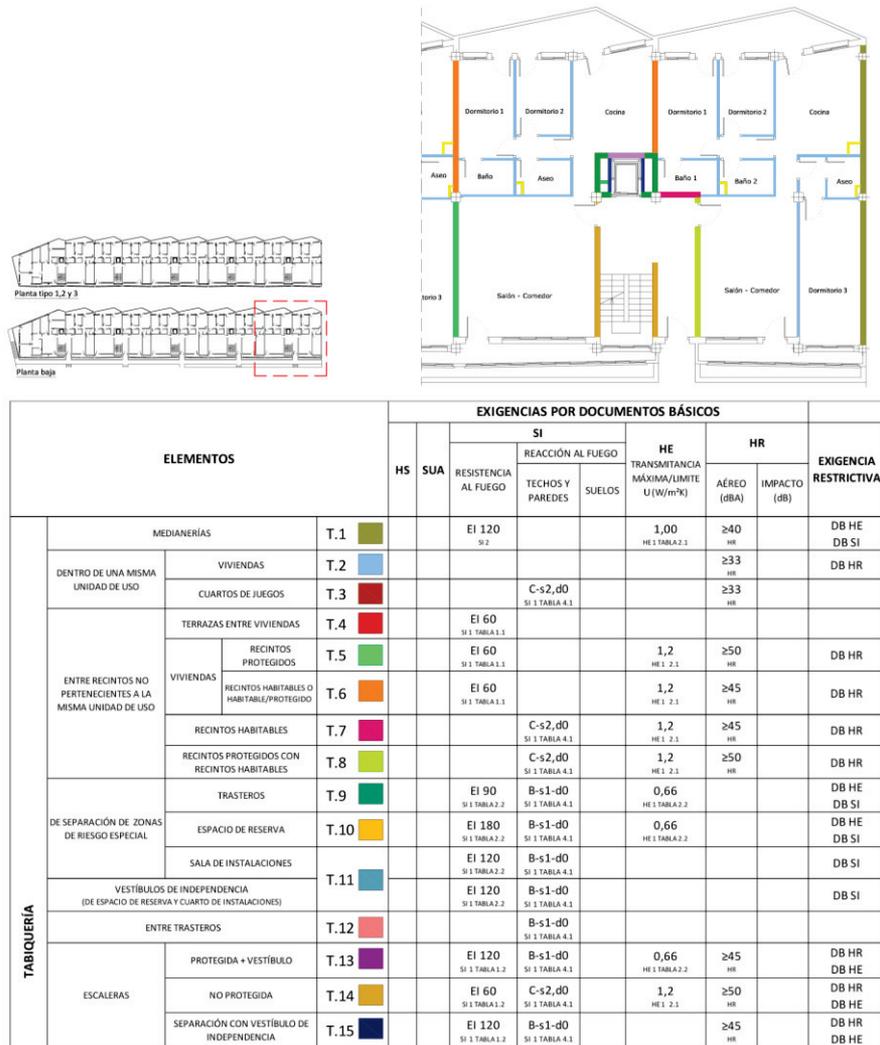


Figura 1. Análisis de exigencias normativas del CTE para particiones, extracto GB-04 2010-2011. Fuente: elaboración propia.

Dicho discurso gráfico tiene como objetivo inmediato, y como límite, su presentación/defensa al conjunto de la clase y la aceptación del debate colectivo dirigido por el profesorado que conduzca a la paulatina corrección del trabajo expuesto y, fundamentalmente, a la exposición y

desarrollo de los contenidos de la asignatura. Así, adquiere especial relevancia desarrollar en el alumno la capacidad de transmitir eficazmente la información de acuerdo al marco espacio-temporal que se le propone.

En este contexto es posible abordar el dibujo, ahora sí y mediante la incentivación útil del mismo, como herramienta analítica que sirva a la comprensión y representación de la edificación como proceso constructivo necesariamente referenciado/condicionado. Es posible, también, utilizar el dibujo como único soporte necesario a la articulación de discursos susceptibles de ser objeto de reflexión y debate.

En relación a esta utilización del dibujo como herramienta útil para producir el discurso exigido al alumno, se desarrollan los siguientes conceptos (Valverde y Cañizares, 2014):

1. Dotar de contenido a las variables gráficas como método de análisis y, también, de transmisión de significados -la conciencia/control del contenido asociado a la variable gráfica utilizada sirve a limitar las posibilidades de su trazado, a identificar casuísticas similares ante las que poder intervenir de forma sistemática, a exigir prestaciones a los sistemas constructivos... o a conocer la necesidad/extensión de las soluciones constructivas que los componen, todo ello de forma previa a la elección/determinación de las mismas- (Figura 1).
2. Limitar el contenido de la información a transmitir como método de optimización del discurso -sirve a determinar el grado de abstracción necesario/idóneo de la representación gráfica y, en consecuencia, el nivel de definición adecuado... o a priorizar y potenciar la información a transmitir-. Sirva como ejemplo la plantilla de corrección/evaluación del trabajo del propio alumno (Figura 2).

00. SEGUIMIENTO				
	asistencia	exposiciones		participación
		teóricas	prácticas	
GA-01	2	2	2	3
01. IMPLANTACION				
	geometría	geotecnia	infraestructuras	
GA-01	2	0	1	
02. GEOMETRIA				
	análisis dimensional		actualización	
		formal		
GA-01	2	2	1	
03. SISTEMA ENVOLVENTE				
	clasificación	exigencias		soluciones
	espacios	elementos	definición	definición
GA-01	2	2	1	1
	potencia	capacidad gráfica		
		línea/color	síntesis	
	2	1	2	
04. SISTEMA ESTRUCTURAL				
	cargas	esquema	soluciones	
			definición	
GA-01	2	2	1	
	potencia	capacidad gráfica		
		línea/color	síntesis	
	2	1	1	

CRITERIOS DE CALIFICACION

- no se evalúa
- 0 no existe
- 1 existe/no suficiente
- 2 existe/suficiente
- 3 existe/óptimo

Figura 2. Plantilla gráfica de corrección/evaluación de la entrega final -convocatoria ordinaria-, extracto. Fuente: elaboración propia.

3. Clasificar -ordenar metodológicamente- el contenido de la información a transmitir como único método de generación del discurso, para lo que es fundamental el proceso de maquetación o conversión en imagen de la representación gráfica -la articulación de las distintas partes de la representación sirve a propiciar una eficaz lectura/transmisión del documento, ahora ya discurso-.
4. Producir y gestionar de forma eficaz el dibujo mediante:
 - a. La implementación de procedimientos y metodologías dentro del trabajo en grupo.
 - b. Conceptos de gestor gráfico *-cad manager-* o flujo de trabajo gráfico *-workflow-*, estandarización de estilos/referencias, gestión compartida de archivos locales y remotos -la nube, gestión de recursos informáticos...-.
 - c. La implementación de herramientas específicas de aplicaciones para la producción de gráficos como el empleo de bloques, referencias externas *-REFX-*, imágenes, ..., y la definición y gestión conceptual de capas, archivos, fuentes, estilos ...
 - d. La implementación de herramientas específicas de aplicaciones para la exposición de trabajos como el concepto y gestión de espacio modelo y espacio papel, nociones básicas de maquetación y de generación discursiva, soportes y medios de exposición.
 - e. ...

Los resultados obtenidos por el alumno desde la implementación de esta metodología docente muestran un significativo desarrollo de su

capacidad tanto para el análisis/síntesis como para la comunicación mediante el lenguaje gráfico, de acuerdo a las conclusiones obtenidas de una encuesta específica realizada, mediante formulario online con respuestas cerradas, para evaluar el impacto de las herramientas gráficas en el desarrollo de la asignatura de Proyectos Técnicos (Valverde y Cañizares, 2014).

En dicha encuesta se hace referencia a la percepción por parte del alumno sobre algunas de sus aptitudes generales derivadas de las competencias referidas en la guía docente. De los valores globales, y en una escala sobre 10, se puede concluir un aumento medio desde los 5,6 a los 7,7 puntos antes y después de superar la asignatura. Destacan, y nos alegramos por ello, los incrementos en el ítem B1 sobre la capacidad de análisis/síntesis, referido a la competencia de la guía docente G01, con un 61%, y en el B6 sobre la capacidad de razonamiento crítico, referido a la G06, con un 50% (Figura 3).

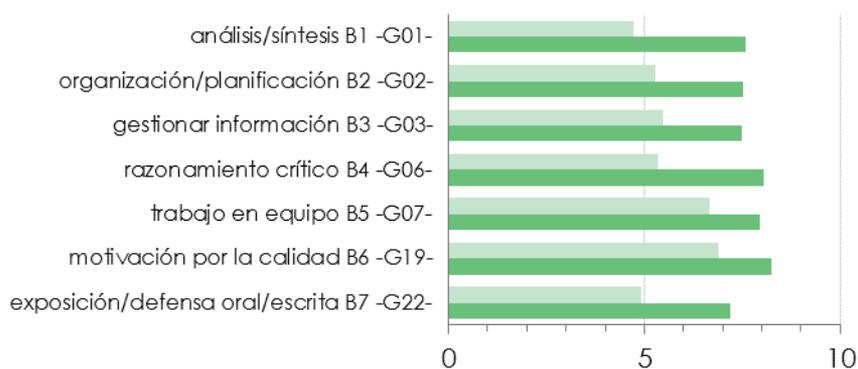


Figura 3. Ítems B1 a B7, aptitudes generales antes/después de PPTT -valoración subjetiva media por alumno-. Fuente: elaboración propia.

En la valoración concreta de sus aptitudes gráficas los resultados medios hablan de un incremento desde los 6,1 a los 8,1 puntos. En este caso destacan los valores de los ítems C3 sobre la capacidad para abstraer y codificar elementos constructivos, el C6 sobre la capacidad para ordenar información y generar un discurso gráfico y C7 sobre la capacidad para transmitir ideas gráficamente con un incremento del 40, 45 y 44% respectivamente antes y después de superar la asignatura (Figura 4).

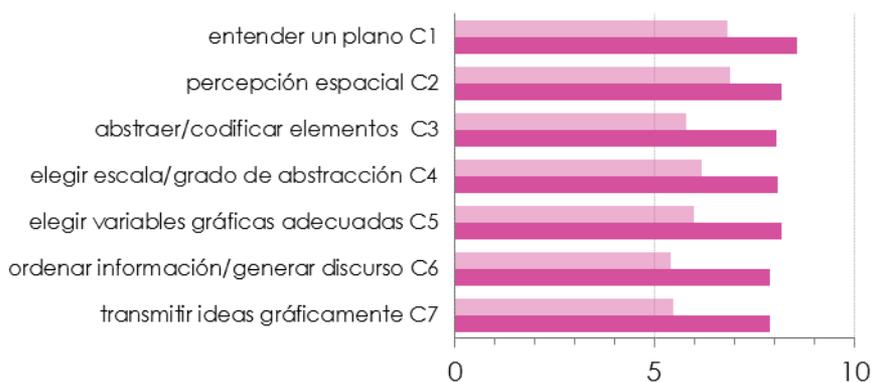


Figura 4. Ítems C1 a C7, aptitudes gráficas antes/después de PPTT -valoración subjetiva media por alumno-. Fuente: elaboración propia.

Por último se cuestionó al alumno que calificara -como sin conocimientos, deficiente, suficiente, buena, notable o nivel profesional- su destreza en el manejo de las herramientas gráficas más habituales.

Nos encontramos con un ligerísimo incremento en la percepción del alumno sobre su destreza en el dibujo a mano alzada. Parece claro que los mayores incrementos se producirán en las herramientas que el alumno necesite emplear para superar la asignatura, por lo que consideramos este dato como negativo, creemos que la potencia e inmediatez de esta herramienta casa muy bien con la filosofía de la asignatura por lo que intentaremos implementar ejercicios que fomenten su utilización directa.

De los siguientes tres ítems destaca el incremento registrado en D3 (Figura 5) sobre herramientas gráficas CAD, y donde el 93% de los encuestados manifiesta haber alcanzado un nivel notable o superior después de cursar la asignatura frente al 50% inicial. Este dato refleja el profuso uso de este tipo de aplicaciones en contraste con la escasa variación de destrezas en delineación clásica -ítem D2- y aplicaciones BIM -ítem D4-. Con respecto a este último grupo de aplicaciones habría mucho de qué hablar pero sólo indicaremos que su nivel de desconocimiento es cercano al 65% y que la asignatura ni resuelve ni debe resolver, de acuerdo al contenido de su programa, la implantación de nuevas herramientas gráficas si no el desarrollo de aquellas ya conocidas por el alumno.

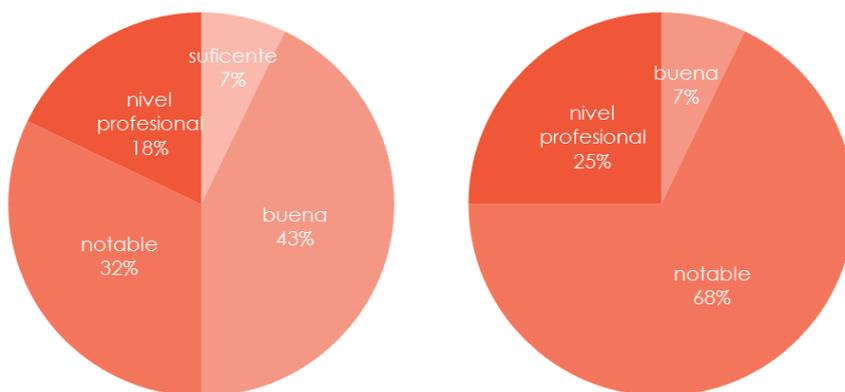


Figura 5. Ítem D3, valoración subjetiva por el alumno sobre su destreza, antes/después de cursar PPTT, en herramientas gráficas CAD -AUTOCAD y similares-. Fuente: elaboración propia.

El futuro es BIM -*building information modelling*/ modelado de información para la construcción-

Del mismo modo en que la forma de generación de documentación gráfica para la construcción de edificios no volvió a ser la misma desde la introducción del CAD con la inminente/inexcusable implementación del BIM el cambio resulta más radical si cabe: ya no sólo cambia la forma en que generamos esa documentación gráfica, sino que también afecta a la forma en que diseñamos, construimos y usamos los edificios.

No es sólo una nueva herramienta, exige también un nuevo procedimiento de trabajar que, necesariamente, demanda adecuar nuestras metodologías tanto profesionales como docentes (Valverde, Alfaro y Arteaga, 2011). La tecnología BIM está aún lejos de una adopción generalizada en el campo profesional, en el que aparecen muchas reticencias y que, en muchos casos, representa un enorme esfuerzo con inciertos/infimos beneficios reales a corto plazo.

En el campo docente el panorama es más esperanzador: la integración del BIM en todos los niveles educativos es una realidad palpable que evoluciona y se perfecciona a la par que las herramientas. Abordar esta adaptación minimizando el ingente esfuerzo que conlleva como profesionales -redacción/dirección de proyectos técnicos de edificación- y

como docentes es probablemente el principal reto al que, en este contexto, debemos enfrentarnos.

Como proyección a futuro en el campo docente, y con el nuevo enfoque que propone la metodología BIM, el rol de las asignaturas gráficas pasaría de ser una mera herramienta de representación a ser "la herramienta" entorno a la cual se podría articular gran parte de la docencia de GIE. Así mientras el alumno aprende a generar la documentación gráfica - construyendo de manera virtual con una herramienta de modelado BIM- se podrían programar ejercicios transversales con los que implementar y evaluar las distintas soluciones estudiadas en construcción, valorar el coste de cada una o conocer su incidencia sobre los sistemas estructurales -con las herramientas específicas BIM correspondientes en cada caso-.

Estas son las corrientes que traen los nuevos tiempos y, como punta de lanza en la formación/reciclado de profesionales, deberíamos fijar como objetivos la investigación e implementación de estas metodologías.

Bibliografía

Cañizares, J.M. y Valverde, D. (2010). Docencia de Proyectos Técnicos en Ingeniería de Edificación. En AA.VV. *Actas de VI INTERCAMPUS. Evaluación de competencias en los nuevos Grados, Cuenca 2010*. Ciudad Real: Vicerrectorado de Ordenación Académica y Formación Permanente de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2010, pp. 100-114. ISBN 978-84-693-1832-4.

Valverde, D. (2010). Aplicaciones CAD -diseño asistido por ordenador- para Ingeniería de Edificación. En AA.VV. *Actas del X Congreso Internacional expresión gráfica aplicada a la edificación, Alicante 2010*. Alicante: APEGA, 2012, pp. 149-158. ISBN: 978-84-268-1528-6.

Valverde, D. (2011). Las nuevas tecnologías en Arquitectura. En AA.VV. *Actas de las I Jornadas doctorales de Castilla-La Mancha. El doctorado: impacto social y futuro profesional, Ciudad Real 2011*. Ciudad Real: Universidad de Castilla-La Mancha, Vicerrectorado de grado, máster y doctorado, 2011, p. 145. ISBN: 978-84-693-9605-6.

Valverde, D., Alfaro, J. y Arteaga, J. J. (2011). Herramientas para la docencia de Proyectos Fin de Grado de Ingeniería de Edificación. En AA.VV. *Actas del III Congreso Internacional UNIVEST'11: la autogestión del aprendizaje, Girona 2011*. Girona: Universitat de Girona, Institut de Ciències

de L'educació Josep Pallach, 2011, publicación digital online. ISBN: ISBN 978-84-8458-354-7.

Valverde, D. y Cañizares, J.M. (2014). El lenguaje gráfico como herramienta analítica en la asignatura de Proyectos Técnicos. En AA.VV. Actas del XII Congreso Internacional expresión gráfica aplicada a la edificación, Madrid 2014. Madrid: APEGA, 2014, pp. 395-404. ISBN: 978-84-7207-226-8.

Investigación cualitativa de las políticas y prácticas de desarrollo profesional de empresas constructoras con arquitectos técnicos e ingenieros de edificación que trabajan como jefes de obra. Análisis del efecto sobre su satisfacción laboral.

Joaquín Fuentes* y Elena Navarro**

Resumen La investigación ha indagado sobre las políticas y prácticas de desarrollo profesional que las empresas constructoras desarrollan con arquitectos técnicos e ingenieros de edificación que trabajan como jefes de obra. Concretamente se estudiaron las acciones de formación desarrolladas por las empresas, la promoción y los planes de carrera. Además se ha analizado el efecto de estas prácticas sobre la satisfacción laboral de estos técnicos. Se ha utilizado una metodología cualitativa realizando entrevistas semi-estructuradas a 34 arquitectos técnicos e ingenieros de edificación. El contenido de las entrevistas se analizó utilizando el programa ATLAS.ti aplicando elementos de la Grounded Theory como la codificación abierta y la comparación constante. En los resultados sobre los planes de carrera, salvo una gran empresa, no existían ni muchos entrevistados habían oído hablar de ellos. Igualmente, excepto una gran empresa, no existe una planificación de la formación que responda completamente a las necesidades de estos profesionales. Existe una formación introductoria en los sistemas de gestión de la empresa (cuando los hay), y la obligatoria por ley en prevención de riesgos laborales. Adicionalmente, la mayoría de los ingenieros realizan actividades de formación propias, con el fin de actualizar o aumentar conocimientos, o

*Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Universidad de Castilla-La Mancha. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, joaquin.fuentes@uclm.es

**Departamento de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, Spain, enavarro@omp.upv.es

para mejorar en el puesto de trabajo. Aparecieron varias barreras que dificultan la existencia de la formación y los efectos que podría tener sobre las personas que la realizan. Finalmente, el efecto de la formación sobre la satisfacción laboral suele ser positivo, con mayor intensidad en aquellos casos en los que la formación ayuda a mejorar el desempeño en el puesto de trabajo. La promoción laboral es un aspecto importante para el desarrollo profesional de los trabajadores. Los resultados revelan que la promoción está relacionada, entre otros factores, con el tamaño de la empresa, la cantidad de obras realizadas por la compañía, la cualificación, la antigüedad en la empresa y los resultados. Adicionalmente, cuando existe promoción su influencia sobre la satisfacción laboral puede ser positiva, negativa o neutra, mientras que cuando no existe, el efecto es negativo o nulo. La investigación aporta la visión que los ingenieros de edificación/arquitectos técnicos tienen sobre las políticas y prácticas de desarrollo profesional. Con ella se cubre un vacío existente en la literatura sobre estos aspectos de la dirección y gestión de recursos humanos en el Sector de la Construcción en España.

Introducción

El origen de la investigación surge como resultado de la revisión bibliográfica realizada como para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados (DEA) del Programa de Doctorado Gestión de Empresas impartido en el Departamento de Organización de Empresas de la Universidad Politécnica de Valencia. Uno de los resultados de esa revisión bibliográfica fue la ponencia presentada en el I Congreso Nacional de Investigación Aplicada a la Gestión de la Edificación COIGE'10 (Fuentes y Navarro, 2010). En ella se resumen los factores que afectan a la satisfacción laboral relacionados con las características del trabajo que pueden afectar a los profesionales técnicos de la industria de la construcción. Se constata que, a diferencia de otros países de Europa y de América del Norte, la investigación existente en España sobre este tema es bastante limitada.

Está sobradamente demostrada la importancia que tiene en el adecuado funcionamiento de las empresas la adecuada gestión de los recursos humanos (Gómez-Mejía et al., 2001). Muchas compañías consiguen una ventaja competitiva sobre otras a través de la adecuada gestión de sus empleados (Fey et al., 2009).

Por otro lado, en la literatura se recoge que los recursos humanos (RRHH) representan el elemento más importante y variable de la producción (Kazaz y Ulubeyli, 2007), además de ser un elemento estratégico vital para cualquier organización que desee mejorar su productividad y competitividad (Aragón-Sánchez y Esteban-Lloret, 2000; Kazaz y Ulubeyli, 2007). Teniendo en cuenta lo anterior, no se puede infravalorar la importancia que puede tener la gestión de los recursos humanos en una industria como la construcción que se caracteriza por ser intensiva en mano de obra (Ajuntament de Barcelona, 2013).

Es en este punto donde es necesario incluir una breve descripción de las grandes áreas funcionales de un sistema de gestión de recursos humanos (RRHH) con el fin de poder encuadrar los resultados de la investigación. Utilizando la publicación de González et al. (2011) se ha elaborado la tabla 1 donde se recogen los componentes de un sistema de gestión de RRHH.

Como se aprecia en la tabla 1, uno de los componentes fundamentales de la gestión de RRHH es el Desarrollo del Personal a través de prácticas y políticas en las que se incluyen la formación, la promoción y la carrera profesional. Como afirman Loosemore et al. (2003) el éxito empresarial

depende de la gestión efectiva de su personal, por tanto, la implementación de políticas y prácticas de desarrollo adecuadas tendrá una fuerte relación con el rendimiento de las organizaciones (Osman et al., 2011).

Es en éste componente de la gestión de RRHH, el Desarrollo del Personal, donde se encuadra la investigación realizada con arquitectos técnicos e ingenieros de edificación que trabajan como jefes de obra. En particular, se ha estudiado el efecto que las prácticas y políticas de desarrollo profesional tienen sobre su satisfacción laboral.

La satisfacción laboral de los empleados depende de numerosos factores relacionados tanto con su contexto de trabajo (la compensación, las condiciones de trabajo, las oportunidades de promoción) como con su contenido (el trabajo mismo) (Abdullah et al., 2007; Henne y Locke, 1985).

La satisfacción laboral repercute en la actividad productiva de las empresas al estar relacionada con el abandono, el absentismo, las actividades de protesta y el desempeño de la tarea (Navarro-Astor et ál., 2010).

Tabla 1. Componentes de un sistema de gestión de RRHH (González, 2011). Fuente: elaboración propia.

Componente	Funciones
General	Diseño de estrategia, políticas y prácticas de RRHH e implantación, administración y desarrollo de las mismas; gestión de la cultura organizativa, disciplina y clima laboral; gestión del conocimiento; gestión del cambio.
Organización del trabajo y estructura de la organización	Diseño de los puestos de trabajo en cuanto a contenido, discrecionalidad y autonomía, sus relaciones con otros puestos de trabajo y su ubicación física, y el diseño de la estructura en cuanto a agrupaciones de puestos en unidades, contenido de su trabajo, autonomía y relaciones entre ellas, su tamaño en número de empleados y la ubicación física de las mismas.
Provisión de personal	Planificación de personal, reclutamiento, selección y contratación, asignación del personal, traslados y ceses.
Retribución	Sistemas de remuneración e incentivos y de evaluación del rendimiento.
Desarrollo del	Orientación, formación, promoción y carreras

personal	profesionales.
Participación	Participación directa y relaciones laborales (RRLL) colectivas

La idea de centrar el estudio en la satisfacción laboral de los arquitectos técnicos e ingenieros de edificación vino determinada como continuidad de la línea de investigación comenzada por Dña. Elena Navarro Astor (2008) en su tesis doctoral. También influyó el hecho de que ambos autores sean profesores en la titulación de Arquitectura Técnica, ahora Grado en Ingeniería de Edificación, pues existía un interés personal en conocer el desarrollo profesional de estos técnicos con mayor profundidad.

Asimismo, se escogió a arquitectos técnicos que estuvieran trabajando como jefes de obra para profundizar en los resultados de Navarro (2008). Ella constató que las condiciones laborales y su efecto sobre la satisfacción laboral de estos profesionales presentaban características propias y diferenciadoras frente a los profesionales con la misma titulación que trabajaban como dirección facultativa o como empleados públicos.

Para tal fin se diseñó un estudio exploratorio y descriptivo. El estudio exploratorio ha permitido examinar un tema poco tratado en España como es el de la satisfacción laboral de los arquitectos técnicos e ingenieros de la edificación (Cantonnet et al., 2011). La parte descriptiva ha tratado de especificar las características y propiedades más importantes de los entrevistados con el fenómeno sometido a análisis (Hernández et al., 2007).

Al ser una investigación exploratoria se comenzó con expectativas mínimas de cara a poder desarrollar explicaciones del fenómeno estudiado (Bowen, 2005). Por otro lado, los resultados encontrados están condicionados por una serie de variables como son:

- El tipo de trabajo desarrollado por el jefe de obra;
- Las características propias de la Industria de la Construcción en España;
- La educación universitaria recibida por los jefes de obra y, finalmente
- La región geográfica donde desarrollaban su labor, con poco desarrollo tecnológico e industrial.

Teniendo en cuenta lo anterior, no se han tenido pretensiones de alcanzar una alta generalización de los resultados (Martínez, 2006). Pero por otro lado, son éstas variables las que han centrado el estudio de la satisfacción laboral bajo unos condicionantes que previamente no habían sido tenidos en cuenta dentro de la literatura científica en España.

Al igual que Silverman (2010) recoge en su libro, al disponer de recursos limitados para la realización de este trabajo, los autores eran conscientes de la imposibilidad de ofrecer un completo y complejo desarrollo teórico. Por tanto, se ha optado por hacer un análisis cuidadoso de los datos, describiendo la metodología utilizada, que ha permitido publicar los resultados en revistas y congresos científicos.

Para la obtención de datos se escogió la entrevista semi-estructurada al ser una herramienta que genera una gran cantidad de información descriptiva (Taylor y Bogdan, 1992). Debido a su flexibilidad y habilidad para adaptarse a un amplio rango de situaciones de investigación, es una herramienta clave dentro de la investigación cualitativa (Caven, 2012). Durante el análisis, se ha tenido en cuenta que los datos obtenidos estarán contextualizados por el perfil del entrevistado, su formación previa y actual, su trabajo, sus experiencias, etc. (Rodríguez et al., 1999). Analizando las perspectivas propias de cada participante, los datos han permitido descubrir nuevas relaciones y conceptos de los aspectos estudiados (Cárcel y Roldán, 2013), facilitando una mejor comprensión de sus aportaciones (Phelps y Horman, 2008).

Considerando lo anterior, la pregunta de investigación a la que se quería dar respuesta es la siguiente:

Para los arquitectos técnicos que trabajan como jefes de obra en empresas constructoras dedicadas a la edificación, ¿Qué impacto tienen las políticas de desarrollo profesional sobre la satisfacción laboral?

La investigación se llevó a cabo en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, realizando 34 entrevistas entre los meses de julio de 2010 y mayo de 2011.

Como principales resultados de ella, en el área de la formación se publicó el artículo titulado: *La formación de ingenieros de edificación en empresas constructoras en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. Su influencia en la satisfacción laboral* (Fuentes y Navarro, 2013b). En el área de la promoción se publicó el artículo titulado: *Sistemas de promoción utilizados por pymes constructoras en Castilla-La Mancha (España). ¿Afectan a la satisfacción laboral del ingeniero de edificación?* (Fuentes-del-Burgo y Navarro-Astor, 2013).

Existen otros resultados secundarios que permitieron realizar varias ponencias en varios congresos internacionales (Fuentes-del-Burgo y Navarro-Astor, 2012a; Fuentes-del-Burgo y Navarro-Astor, 2012b; Fuentes y Navarro, 2013a). Las comunicaciones presentadas en congresos se realizaron como medio para intercambiar ideas y compartir experiencias con otros investigadores, lo que permitió posteriormente reflexionar sobre

los aspectos tratados en el congreso y así enriquecer el contenido de los artículos (Valderrama, 2010).

A continuación se incluye un apartado donde se describen las variables estudiadas, le sigue el correspondiente a la aproximación metodológica empleada para centrarnos posteriormente en el apartado donde se resumen los resultados principales. Se finaliza con un breve apartado con las conclusiones más importantes.

Variables estudiadas

Satisfacción laboral

A pesar de no existir aún una definición unánimemente aceptada del concepto de satisfacción laboral (Bravo et al., 2007), existen varias definiciones que permiten acercarnos a esta actitud hacia el trabajo.

Según Locke (citado en Salgado et al., 1996, p. 330), la satisfacción laboral es una respuesta emocional positiva al puesto de trabajo como resultado que hace el individuo de la evaluación de si el puesto cumple o permite cumplir sus valores laborales. Una de sus principales características de la satisfacción laboral es su carácter multidimensional al verse afectada por un gran número de factores con mayor o menor peso sobre ella (Purhoit, 2004).

En los artículos también se utiliza la definición dada por Spector (1997, p. 2) según la cual la satisfacción laboral es cómo siente la gente su trabajo y los diferentes aspectos del mismo. Es una extensión de lo que a la gente le gusta (satisfacción) o le disgusta (insatisfacción) de su trabajo. La satisfacción laboral puede ser considerada como un sentimiento global sobre el trabajo o como un grupo de actitudes sobre varios aspectos o facetas del trabajo.

La satisfacción laboral puede ser examinada desde múltiples puntos de vista usando diferentes categorías o conceptos (Schmidt, 2007). En esta investigación se han estudiado el efecto que tienen sobre ella la formación, la promoción y los planes de carrera.

Formación

La formación ha sido objeto de debate con varias funciones y definiciones (Owoyemi et al., 2011). La formación proporciona al individuo los conocimientos, habilidades y actitudes necesarios para desempeñar una actividad en un entorno laboral (Rigby y Ponce, 2011).

El objetivo fundamental de la formación es modificar permanentemente el comportamiento de los empleados para alcanzar mejoras que permitan la consecución de los objetivos de la organización (Loosemore et al., 2003).

Entre otros beneficios, la formación permite a las empresas aumentar su capacidad de responder y adaptarse a los cambios del entorno empresarial (Marín-Díaz et al., 2011), mejorar la calidad e incrementar la productividad (Aragón-Sánchez y Esteban-Lloret, 2010; Muñoz y Salinero, 2011) o aumentar el compromiso organizacional de los empleados (Aragón-Sánchez y Esteban-Lloret, 2010)

Promoción

La promoción se produce dentro de las organizaciones cuando existe la intención de cubrir las vacantes con los mejores empleados de los niveles inferiores que satisfagan los requerimientos del nuevo puesto (Armstrong, 2006). La promoción supone un cambio de puesto dentro de la empresa que suele llevar aparejado un incremento del sueldo (McCue, 1996) o tener un efecto en otras características del trabajo, como la formación recibida o el aumento de las responsabilidades (Pergamit y Veum, 1999). Así, supone un incentivo para los trabajadores superior al mero ámbito de la retribución económica (Fernández, 2006).

La promoción puede ser una herramienta empresarial para aumentar el compromiso de sus mejores trabajadores (Pergamit y Veum, 1999) y para reducir el abandono (Kosteas, 2011). Además, a través de la promoción la empresa mejora su eficiencia económica pues se provee de candidatos cualificados para acometer procesos de selección a futuras vacantes (Núñez-Cacho et al., 2012).

Planes de carrera

Los planes de carrera establecen la formación y la gestión del desarrollo de empleados que asegure la ruta a través de la jerarquía de la organización con el fin de desarrollar al máximo su potencialidad, preparándolos para ocupar futuros puestos de mayor responsabilidad (Loosemore *et ál.*, 2003; Porret, 2008). Con los planes de carrera se intenta proveer a la empresa con el personal de cualificación adecuada que pueda cubrir nuevos puestos u otros que vayan a quedar vacantes (Porret, 2008). Con la planificación de las carreras se armonizan los intereses, aspiraciones y objetivos de los empleados con los objetivos de la organización (Porret, 2008).

Aproximación metodológica

Según Flick (Gibbs, 2012: 12) es difícil encontrar una definición común de la investigación cualitativa que sea aceptada por la mayor parte de sus enfoques e investigadores. En este apartado solo se pretende introducir el concepto de investigación cualitativa y se describe la metodología utilizada en este trabajo.

En investigación, la metodología cualitativa se caracteriza por obtener datos descriptivos (Taylor y Bogdan, 1992). La investigación cualitativa intenta responder a las preguntas del tipo "Cómo", más que a las del tipo "Cuánto", con el objetivo de intentar comprender el mundo desde la perspectiva de las personas estudiadas (Pratt, 2009), obteniendo una gran cantidad de información (Phelps y Horman, 2008) que proporcione profundidad y detalles para la comprensión e indagación de las cuestiones planteadas (Rodríguez *et ál.*, 1999; Bowen, 2005). Se trata de conocer, explicar, comprender la realidad de los seres humanos (Urraco, 2007), su estructura dinámica y las razones que rigen su comportamiento y manifestaciones (Martínez, 2006).

En la recogida de datos se ha intentado que éstos reflejen las relaciones y experiencias de los individuos con el problema estudiado (Bowen, 2005). Además, con el fin de poder informar con objetividad, claridad y precisión (Rodríguez *et al.*, 1999) los datos han de poseer características como fidelidad, exactitud, fiabilidad y objetividad (Glaser y Holton, 2004). El análisis llevado a cabo ha sido riguroso, sistemático, disciplinado y metodológicamente documentado (Smit, 2002).

El proceso de investigación seguido se basa en la propuesta de Rodríguez et al., (1999) compuesto por cuatro fases: preparatoria, trabajo de campo, analítica e informativa. Cada una de estas fases se superpone y se mezcla con el resto. A su vez, como indica la figura 1, cada fase está formada por varias etapas.

En la Fase Preparatoria se elaboró el Guión de la Entrevista, con las preguntas que buscaban la respuesta a la pregunta de investigación.

Pregunta de Investigación

Para los arquitectos técnicos que trabajan como jefes de obra en empresas constructoras dedicadas a la edificación, ¿Qué impacto tienen las políticas de desarrollo profesional sobre la satisfacción laboral?

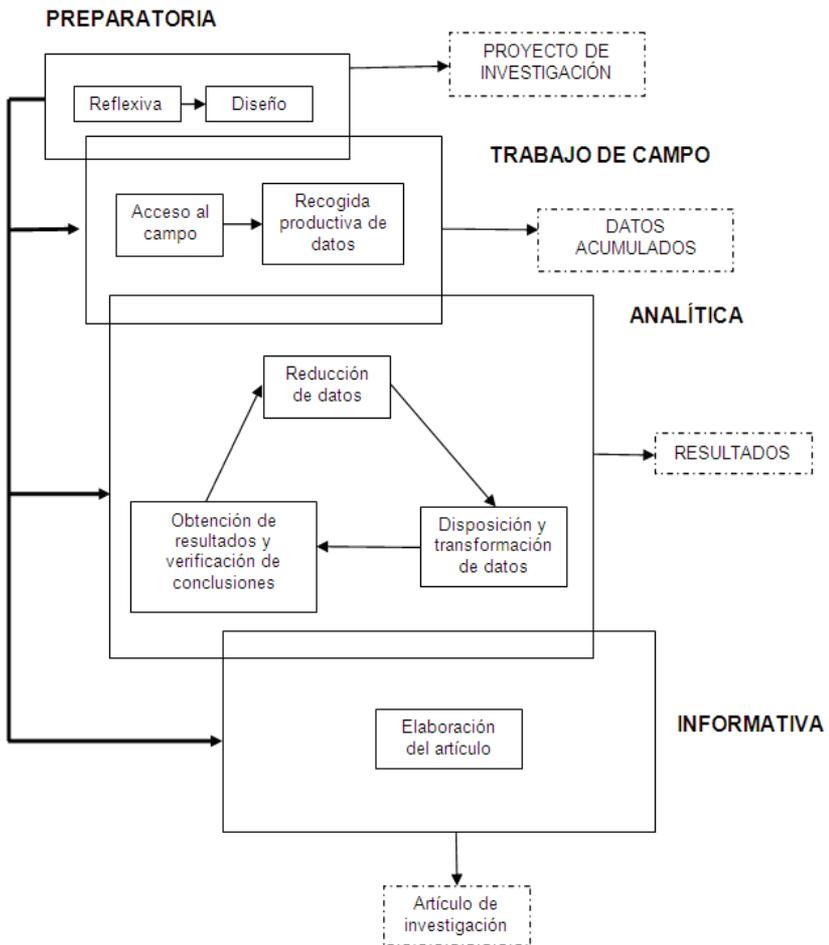


Figura 1. Fases y etapas de la investigación cualitativa. Adaptada de Rodríguez et al., 1999. Fuente: Elaboración propia.

Preguntas de la entrevista

- Formación
 - o Formación impartida en la empresa
 - ¿Qué tipo de formación recibe?
 - ¿Dónde tiene lugar la formación?
 - ¿En qué horario se realiza la formación?
 - ¿Cuáles son los contenidos de dicha formación?

- ¿Cómo afecta a su satisfacción laboral la formación impartida por la empresa?
- Formación realizada por cuenta propia
 - ¿Qué tipo de formación realiza?
 - ¿De qué modalidad prefiere la formación?
 - ¿Dónde tiene lugar la formación?
 - ¿En qué horario se realiza la formación?
 - ¿Cuáles son los contenidos de dicha formación?
 - ¿Cómo afecta a su satisfacción laboral la formación que desarrolla por cuenta propia?
- Promoción
 - ¿Qué tipo de sistema de promoción utiliza su empresa?
 - ¿Puede afectar su titulación profesional a la promoción dentro de su empresa?
 - ¿Cómo afecta a su satisfacción laboral las posibilidades de promoción que contempla su empresa?
- Plan de carrera
 - ¿Sabe si su empresa tiene diseñado algún plan de carrera para sus empleados? Póngame algún ejemplo concreto.
 - La existencia o no de los planes de carrera, ¿cómo afecta a su satisfacción laboral?

Trabajo de campo

La muestra

La selección muestral se llevó a cabo mediante un muestreo por conveniencia inicial (Byant y Charmaz, 2007), seguido de un muestreo en avalancha (Martín-Crespo y Salamanca, 2007). A través del Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de la Edificación de Cuenca se envió un correo electrónico a los arquitectos técnicos colegiados que estaban desarrollando funciones de jefe de obra en empresas constructoras, informando del objetivo de la investigación. Solo cuatro profesionales respondieron a ese primer correo.

Un total de 26 entrevistas se concertaron solicitando números de teléfonos a estos cuatro primeros participantes así como a compañeros de la Escuela Politécnica de Cuenca (UCLM) que conocían a arquitectos

técnicos que estaban trabajando en esos momentos como jefes de obra. En otras palabras, se aplicó la técnica de "bola de nieve" (Taylor y Bogdan, 1992; Martín-Crespo y Salamanca, 2007).

Otras cuatro entrevistas se concertaron directamente por el investigador al visitar obras que aún estaban construyéndose en Cuenca, presentándose a los jefes de obra y explicándoles el objetivo de la investigación.

Hasta la entrevista número 15 todos los participantes residían en Cuenca o en pueblos de la provincia. Viendo las dificultades que aparecían para conseguir un tamaño muestral adecuado, se tomó la decisión de aumentar el radio geográfico de la investigación ampliándolo a todas las provincias de Castilla-La Mancha. Así, se aplicó la recomendación de Martínez (2006: 133): "la información hay que buscarla donde está".

De esta manera, finalmente se consiguió una muestra de 34 arquitectos técnicos que reunían los requisitos propuestos y que tenían conocimiento de primera mano del trabajo de jefe de obra (Bowen, 2008). Cuando se realizó la última entrevista en mayo de 2011 ya se habían transcrito y analizado parcialmente más de 22 entrevistas. Al comparar la grabación de las tres últimas entrevistas con el análisis que se estaba realizando se comprobó que las aportaciones de los últimos participantes no añadían nada nuevo a lo que se había transcrito, considerando en ese momento que se había alcanzado la saturación teórica (Flick, 2007). Con este criterio se conseguía la suficiencia de los datos recogidos y, con el ajuste del perfil de los participantes a las necesidades de la investigación, se lograba la adecuación de los datos, asegurando así el rigor de la misma (Rodríguez et al., 1999).

En el momento en que las entrevistas tuvieron lugar los participantes estaban trabajando en las siguientes provincias: Cuenca (53%), Albacete (26%), Ciudad Real (12%), Toledo (6%) y Guadalajara (3%).

La muestra está compuesta por 27 hombres y 7 mujeres, con edades comprendidas entre los 23 y los 63 años. El 15, 23, 47, 12 y 3% de los participantes tenía una edad inferior a 29 años, 30 a 33, 34 a 37, 38 a 40 y por encima de sesenta, respectivamente. El 65% estaban casados, el 3% vivían en pareja y el 32% restante estaban solteros. El 27% de los casados no tenían hijos mientras que el 46% tiene dos hijos y el 27% tiene un hijo.

La titulación de todos los participantes es la de arquitecto técnico o ingeniero de edificación. En relación con el lugar donde obtuvieron su titulación, el 67% son de la Universidad de Castilla-La Mancha, 12% de la Universidad Politécnica de Valencia, 12% de la Universidad Politécnica de Madrid, 6% de la Universidad de Burgos y 3% de la Universidad de Granada.

El 9% trabaja como profesional liberal en equipos de gestión de proyectos de construcción, el 6% trabaja en su propia empresa de construcción y el 85% son jefes de obra o directores de equipo en empresas constructoras. En cuanto al tamaño de la empresa en la que trabajan estos últimos, el 10% tiene menos de 10 empleados, el 39% tiene menos de 50 empleados, el 41% tiene menos de 251 empleados y el 10% restante es superior a 250 e inferior a 1.000.

La entrevista

Para la recogida de datos se optó por las técnicas de conversación-narración en general y la entrevista con preguntas semi-estructuradas en particular. Con el fin de estimular respuestas que proporcionaran nueva información y matices sobre el objetivo de la investigación (Caven, 2012; Ozols y Fortune, 2012), se intentó dar al entrevistado el mayor grado de libertad posible (Flick, 2007). Para ello, se utilizó un guión que permitiera una entrevista flexible y dinámica pero sin dejar de cubrir ninguno de los tópicos investigados (Taylor y Bogdan, 1992; Bowen, 2005).

Con el fin de facilitar al máximo la participación de los profesionales, las entrevistas se concertaron en el lugar y horario que mejor les conviniera (Caven, 2012). Así, se realizaron en el despacho del centro de trabajo del entrevistador (38%), en las oficinas de la empresa/casetas de obra de los participantes (38%), y en cafeterías (24%), con una duración media de 60 minutos.

La entrevista comenzaba con una introducción informativa del objetivo de la investigación, se aseguraba al participante la confidencialidad de sus datos y se le informaba de que toda la entrevista se iba a grabar en soporte digital, mostrándole la grabadora (Kvale, 2011). Asimismo, para evitar malentendidos, se le animaba a preguntar cualquier duda que tuviera sobre las cuestiones planteadas. Se prefirió no tomar notas durante la entrevista para evitar distraer al participante o correr el riesgo de interrumpir el ritmo normal de la conversación (Kvale, 2011).

En esta fase se utilizó un Cuaderno de Campo que realizó las mismas funciones que el diario de investigación que describe Gibbs (2012). Permitted registrar las incidencias que aparecieron en todo el proceso de toma de datos, los correos electrónicos enviados, las fechas de concertación de las entrevistas, las ideas, los problemas, las impresiones e incidencias que surgieron durante las entrevistas (Caven, 2012). Tras finalizar las entrevistas se dedicaba un pequeño espacio de tiempo para

reflexionar sobre todo lo anterior (Kvale, 2011), redactando las anotaciones en un formato abierto sin ningún tipo de reglas y con muy poco orden (Gibbs, 2012). Durante la fase de análisis, las anotaciones en este cuaderno de campo constituyeron más información que se empleó en el estudio de las transcripciones, dentro de la idea propuesta por Glaser y Holton (2004: 12): "all is data".

El análisis de los datos

El proceso de análisis comenzó con la transcripción de cada entrevista, generando un documento de texto que facilitara el estudio y la comparación de la información (Cárcel y Roldán, 2013).

La mayor ventaja que se encontró al transcribir las entrevistas fue que durante el proceso de escritura se pudo comenzar a analizar y reflexionar sobre los datos, familiarizándose con el contenido y generando nuevas ideas y preguntas (Gibbs, 2012). La transcripción de la primera entrevista comenzó en Cuenca, el 17 de Julio de 2010 y la de la última finalizó en Bristol (UK) el 4 de Septiembre de 2011.

La fase de analítica de reducción de datos se realizó utilizando el software ATLAS.ti. Este programa pertenece al tipo de programas CAQDAS (Friese, 2012), el acrónimo de Computer Assisted Qualitative Data Analysis Software (Hwang, 2008), o como lo traduce Urraco (2007: 116), "software desarrollado para el análisis de material de naturaleza cualitativa mediante el empleo de un ordenador".

La codificación y recuperación de datos fue el primer proceso realizado en la fase de análisis (Tesch, 1990; Coffey y Atkinson, 2003) con objeto de poder separar, reducir, clasificar y sintetizar todos los datos (Charmaz, 2006) y poderlos manejar más fácilmente (Jones, 2007). Trabajando sobre los archivos de texto se detectaron los fenómenos relevantes asignándoles códigos (Coffey y Atkinson, 2003) que fueron sugeridos por los propios datos durante el proceso de análisis (Caro y Díez, 2005).

En la elaboración de los artículos se utilizó la codificación abierta (a modo de ejemplo se incluye la figura 2), que permitió la denominación y categorización de conceptos y descripciones a través de un examen cuidadoso de los datos (Blismas y Dainty, 2003; Flick, 2007). Las partes discretas en las que se fragmentaron los datos (Phelps y Horman, 2008) fueron comparadas y cuestionadas durante la codificación y los incidentes similares se agruparon juntos bajo el mismo código (Smit, 2002). En todo momento se intentó que los datos incluidos en los segmentos textuales

fueran significativos, pertinentes e informativos (Bryant y Charmaz, 2007), que tuvieran valor conceptual o descriptivo (Blismas y Dainty, 2003) y que añadieran valor al tema que se estaba estudiando (Jones, 2007).

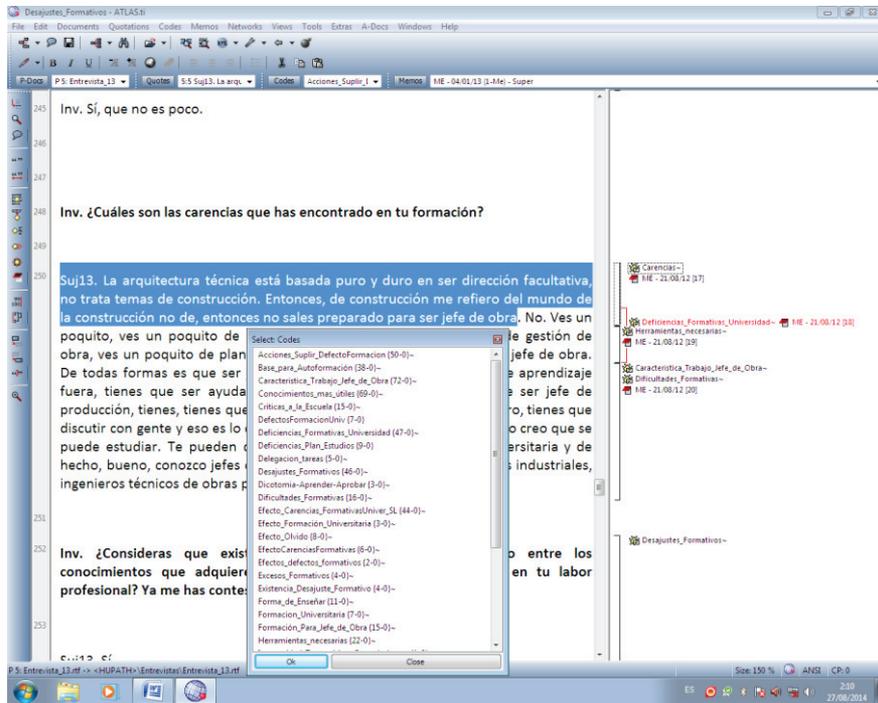


Figura 2. Fase de codificación del texto en la que aparece parte de la lista con los códigos creados. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los datos cualitativos está formado por un proceso cíclico que intenta explicar o generar sentido a lo que se investiga sin usar como evidencia frecuencias o cantidad de veces que ocurre algo, se busca el significado en los datos de una manera rigurosa y sistemática (DeCuir et al., 2010; Smit, 2010). La información fragmentada en bloques de datos, durante el análisis se une en colecciones de categorías que están relacionadas conceptual y teóricamente, creando suposiciones sobre el fenómeno que se está estudiando (Jones, 2007).

Resumen de los resultados

Dado el objetivo de esta publicación, en este apartado solo se incluirá un resumen de los principales resultados encontrados en la investigación realizada.

Las transcripciones de los participantes se incluirán en cursiva y se identifican con un número entre paréntesis.

Formación

Los resultados que se incluyen a continuación se extraen del artículo titulado *La formación de ingenieros de edificación en empresas constructoras en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. Su influencia en la satisfacción laboral* (Fuentes y Navarro, 2013b).

La formación en la empresa

Se lista a continuación el tipo de actividades de formación realizadas por las empresas:

- Ausencia total de formación;
- Organización y realización de cursos de carácter técnico dentro y fuera de la empresa;
- Abonar la matrícula de los cursos a los que asistían los ingenieros de edificación; y
- Aprovechar los cursos organizados por entidades u organismos relacionados con el sector de la construcción.

Entre las entidades mencionadas por los entrevistados destacan los colegios profesionales de arquitectos técnicos, la Fundación Laboral de la Construcción, las mutuas de accidentes de trabajo o servicios de prevención de riesgos laborales, los sindicatos y la Fundación Tripartita.

Aproximadamente la tercera parte de los entrevistados informan de que su empresa no desarrollaba ningún tipo de formación. Cuantitativamente, tres son microempresas, cuatro pequeñas empresas y tres medianas.

Excepto en una empresa de gran tamaño, de las respuestas se deduce que la formación proporcionada por las empresas constructoras no está planificada, no se ajusta a un programa específico y, generalmente, no cubre las capacidades o competencias que se puedan necesitar en un

futuro para mejorar la productividad de los empleados. Persiste la situación que ya se ha encontrado en otros estudios sobre formación en el sector de la construcción (Fundación Laboral de la Construcción, 2005). Esta realidad contrasta con los resultados de investigaciones en los que se subraya la importancia de implicar a los empleados en la planificación de la formación (Rubio et al., 2011) y de la identificación de necesidades de cara a aumentar la eficiencia de la formación (Rubio et al., 2011; Santos y Stuart, 2003).

En algunas empresas medianas (entre 10 y 250 empleados) se proporciona una formación inicial en los sistemas de gestión de la empresa, fundamentalmente si la compañía dispone de algún tipo de software específico, enseñando el manejo del mismo, así como algún curso obligatorio de prevención de riesgos laborales, al igual que ocurre en otros países (Loosemore et al., 2003). Raidén y Dainty (2006) describen acciones similares, denominándolos programas de iniciación cuya misión es apoyar y familiarizar a los nuevos empleados con las prácticas y políticas de la empresa.

"Siempre cuando entras a una empresa, cada empresa tiene unos sistemas de gestión y entonces, en un primer momento, sí, tienes un nivel de formación y, pero a partir, desde ese punto, ya no hemos tenido más"
(Nº 12)

En cuanto a la cantidad de acciones formativas desarrolladas, las palabras que más se recogen son *"escasa, poca, puntual, de vez en cuando o alguna"*, como afirma el participante Nº 2 *"Hay muy poquita, sobre todo yo que siempre he estado en empresas medianas"*. Por el contrario, en pocas ocasiones y siempre en el caso de participantes que trabajan en grandes empresas, se señala la existencia de *"bastante formación"*. En consecuencia, se deduce que en las pymes constructoras la cantidad de acciones formativas existentes para este tipo de técnicos es baja. Aunque dos terceras partes de entrevistados informan de haber recibido formación en la empresa, un grupo reducido afirman que solo recibieron la formación inicial en prevención de riesgos laborales y en los sistemas de gestión de la empresa, sin haber hecho posteriormente formación adicional.

Aunque se podría pensar que la cantidad de formación desarrollada por las empresas de la construcción españolas es reducida, en otros países los valores parecen similares. Lim y Ling (2012), en su investigación sobre empresas constructoras en Singapur, encontraron que el 44% de las empresas encuestadas realizaban acciones de formación y desarrollo una vez cada seis meses y el 34% una vez al año.

También se han encontrado respuestas relacionadas con la formación en obra ("on-the-job training"). Se trata de una mezcla de prácticas formales e informales, algunas producto del aprendizaje adquirido realizando el trabajo propio sin una formación directa ("learning-by-doing") o a través del asesoramiento y/o consulta a jefes o compañeros de mayor experiencia (Fraziz y Loewenstein, 2006).

Algunos participantes han incluido bajo el término formación a todo lo que se aprende en la fase de documentación de las unidades de obra que tienen que construir.

"Lo que tiene la obra, es que la obra es una formación continua también, en la obra aprendes mucho también porque es lo que te digo, tú tienes que hacer una cimentación de pilotes, no has hecho nunca pilotes, vas a formarte mucho porque tú vas, o en mi caso, ... , pues me cojo mis apuntes, me estudio otra vez lo de los pilotes a ver cómo tal y luego con la subcontrata le digo, le cojo al tío: "oye ven aquí, venga ¿cómo vas a hacer esto?, explícame cómo funciona." (Nº 2)

En general, la estrategia de formación de los participantes se basa en una mezcla de varios métodos de documentación: el estudio del proyecto, el estudio del material didáctico utilizado durante los años de universidad, el asesoramiento de la subcontrata o de la dirección facultativa y la búsqueda de información a través de internet en páginas web de fabricantes o foros técnicos. De esta manera consiguen desarrollar una compleja estrategia de aprendizaje experimental (Loosemore et al., 2003).

"Es que hoy en día me encuentro materiales nuevos a diario. A diario. Además, estos materiales ya no es un nombre químico. No es un polivinilo de cloruro, es que es un nombre, es una marca comercial, y claro, te tienes que informar sobre ello, es la autoformación, para luego abrir la boca y no hacer el ridículo. Porque el arquitecto que lo ha metido en el proyecto ..., y la persona de turno que le ha pedido al arquitecto que lo meta en el proyecto lo conocen al dedillo. Pero si no tienes vergüenza, preguntas, llamas a otro compañero, llamas a quién sea, buscas en internet, lo que sea... Lo primero es internet" (Nº 13)

Los cursos o jornadas presenciales suelen ser la modalidad de impartición predominante en la empresa. Priman los cursos específicos e intensivos frente a los generalistas. Predomina la formación presencial frente a la formación a distancia, la mixta o la teleformación.

Algunos participantes informan de cursos impartidos por personal de la propia empresa o por personal de otras empresas dedicadas a

proporcionar una formación específica. Seis participantes pertenecientes a empresas con más de 10 empleados describen una actividad formativa consistente en jornadas, mesas redondas o seminarios donde los técnicos se reunían y algún participante relataba una experiencia adquirida con un tipo determinado de instalación, estructura, cerramiento, etc. El objeto de la acción era transmitir la experiencia y conocimiento adquirido al resto de compañeros para facilitar una base práctica y/o pautas de actuación frente a unidades de obra similares. Todos los participantes que la describen valoran positivamente este tipo de formación. Raidén y Dainty (2006, p. 71) definen esta actividad como "compartiendo buenas prácticas" (sharing of good practice).

La formación por cuenta del ingeniero de edificación

Respecto a la formación que los investigados realizan por su cuenta, una cuarta parte no participa en ningún tipo de formación, mientras que el resto sí. Además, los participantes se pueden dividir en dos grandes grupos, los que han hecho poca formación y los que han realizado mucha: "*Pues la verdad es que desde que salí (de la universidad) no he parado*" (Nº 28). Este último grupo reconoce que la formación es un valor añadido, mostrando cierto orgullo por haber estado formándose, así como por el esfuerzo y por el gasto que les ha supuesto: "*He hecho muchas cosas, pero porque me los he buscado yo, pero no porque me los haya dado la empresa*" (Nº 2).

Las razones que les motivan para hacer la formación por cuenta propia son: actualizar conocimientos, aumentar el abanico de competencias o mejorar las posibilidades de encontrar trabajo en caso de quedarse en paro, todas relacionadas con aumentar la empleabilidad (Navarro-Astor y Fuentes-del-Burgo, 2011). Los participantes muestran un gran interés y una necesidad de tener actualizados los conocimientos relacionados con su profesión, tanto a nivel técnico, como de seguridad, legislativos o de programas informáticos.

Pocos participantes, el 9% aproximadamente, señalan que la formación era una posibilidad para mejorar laboralmente y para poder cambiar de puesto de trabajo, ya que no estaban a gusto trabajando como jefes de obra, como refleja la afirmación del participante Nº 10: "*para intentar ascender, salir del pozo de jefe de obra, pues tienes que tener algo más que tener el título*".

Las preferencias en cuanto a la modalidad de la formación cubren todo el abanico existente: presencial, semi-presencial, on-line, a distancia o una mezcla de ellas.

Barreras para la realización de la formación

En las respuestas de los participantes se han encontrado una serie de factores que actúan como barreras a la formación. Estos factores se han clasificado en cuatro categorías y se listan en la tabla 2: relativos a las condiciones de trabajo, a la empresa, el ingeniero de edificación y otros. No son excluyentes entre sí ya que pueden presentarse simultáneamente y estar relacionados entre ellos.

Tabla 2. Factores que actúan como barreras a la formación (Fuentes y Navarro, 2013b). Fuente: Elaboración propia.

Categoría	Factor
Condiciones de trabajo	- Sobrecarga de trabajo.
	- Puesto de trabajo fuera de la localidad de residencia.
	- Localidad en la que se realiza la edificación diferente y distante a la localidad donde se encuentra la sede de la empresa.
Empresa	- Tamaño.
	- Mentalidad del empresario.
	- Poca o nula inversión en formación.
	- Inexistencia de acciones formativas.
Ingeniero de edificación	- Criterios para proporcionar la formación.
	- Conciliación de trabajo-familia-formación.
Otros	- Personalidad
	- Escasez de oferta formativa en la localidad de trabajo y/o residencia.
	- Situación económica del Sector de la Construcción.

Al analizar la categoría de condiciones del trabajo, el factor con mayor incidencia como barrera a la formación es la falta de tiempo debido a la sobrecarga de trabajo. Esta elevada carga de trabajo no deja opción a los

jefes de obra para realizar las actividades formativas. Hay que considerar que los participantes afirman trabajar una media semanal superior a las 50 horas. Goldenhar et al., (2001) encontraron que algunos participantes de su investigación también identificaron esta barrera para la realización de formación en seguridad y salud en empresas de la construcción. En España, a nivel general del sector de la construcción, este factor ya ha sido reflejado en estudios de la Fundación Laboral de la Construcción (2006).

De los factores asociados a la empresa, tanto la poca inversión en formación como la inexistencia de acciones formativas de la empresa, parece que están relacionados con el poco valor que el empresario da a que sus empleados se formen. El resultado produce un choque de ideas entre el empleado, que considera que necesita formarse, con el empresario, cuya mentalidad es que el profesional no necesita formación y que el tiempo dedicado a la formación es tiempo improductivo.

"Si yo estuviese haciendo cursos del Colegio pues a mí me habrían echado directamente porque lo que interesa es que esté constantemente trabajando, no formándote" (Nº 17)

Esta mentalidad empresarial puede sustentarse en la idea de que las políticas de desarrollo de los recursos humanos son costes, tanto directos (el coste de la formación), como indirectos (pérdida de tiempo productivo dedicado a la formación), de los que difícilmente puede evaluarse su retorno (Kumpikaité, 2007). El caso de las pymes constructoras es un ejemplo de la baja aceptación de la teoría de que las políticas de desarrollo de los recursos humanos son una inversión que beneficiará a la empresa en el futuro.

Otro factor a considerar en estas pymes es la falta de una política de gestión de recursos humanos debido, probablemente, a la inexistencia de un departamento de recursos humanos o a la carencia de formación del empresario sobre estos temas. Una situación parecida se ha encontrado con empresas de similar tamaño en el sector industrial español (Barba et al., 2000).

Relacionado con la mentalidad del empresario se ha encontrado el caso de una empresa de 12 trabajadores, que no proporcionaba formación para evitar que el empleado cambiase de empresa, situación que ya se ha documentado en otros trabajos (Goldenhar et al., 2001; Loosemore et al., 2003).

"La política de mi empresa digamos que es: no te voy a formar porque si te formo te vas a ir" (Nº 14)

En algunos casos, fundamentalmente en pequeñas empresas cuyos propietarios no tienen formación técnica, aparece una situación conflictiva en la cual exigen al empleado que sepa de todo, ya que son ingenieros de edificación o arquitectos técnicos, y por otro no facilitan la formación por parte de la empresa, ni en tiempo ni en apoyo económico. Estas políticas generan un gran malestar y un sentimiento de impotencia en el empleado.

"Entonces llega un punto en el que poco menos que si no lo sabes, ¡jelines!. Y ya cada vez, vamos a ver, si yo no lo sé porque no lo he estudiado en mi carrera y tú no me pagas cursos ni me facilitas un horario para hacer un curso, ¿cómo tengo que saberlo?" (Nº 14)

Algunos ingenieros de edificación que realizan formación por su cuenta indican que la sobrecarga de trabajo se superpone con la conciliación trabajo-familia-formación. Para poder formarse han de sacrificar tiempo del que dedican a su familia o a sí mismos. Esta situación está muy relacionada con la concepción de que el trabajo de jefe de obra es una labor vampirizante del tiempo, de la energía y dedicación del ingeniero de edificación.

Para poder explicar la situación anterior se han desarrollado dos modelos gráficos. Por un lado el Modelo del Triángulo Conflicto Trabajo-Familia con un triángulo equilátero formado por dos triángulos rectángulos, cuyas áreas corresponderían al tiempo que el ingeniero de edificación dedica al trabajo y a la familia o vida personal (Figura 3.a). Esta distribución de áreas equivaldría a una situación de equilibrio en la que no habría conflicto dado que ambos factores, trabajo y familia, dispondrían de su área o tiempo necesario.

El conflicto se presentaría cuando una de las áreas, es decir el tiempo dedicado a uno de los factores, aumente a costa de reducir el área del otro factor. Aparecen entonces los conflictos debido a dicho desequilibrio (Figura 3.b y Figura 3.c).

Utilizando el modelo anterior, se puede desarrollar el modelo del Triángulo Conflicto Trabajo-Familia-Formación (Figura 4). En este modelo aparece un nuevo área que corresponde al tiempo dedicado a la formación, que se ha de incluir dentro del triángulo inicial de la Figura 3.a).

Los dos modelos presentados, a pesar de su simpleza conceptual, permiten explicar por qué el factor sobrecarga de trabajo está relacionado con el factor conciliación trabajo-familia-formación, sobre todo cuando el ingeniero de edificación realiza formación por cuenta propia y, además, tiene sobrecarga de trabajo (triángulo sombreado de la Figura 5).

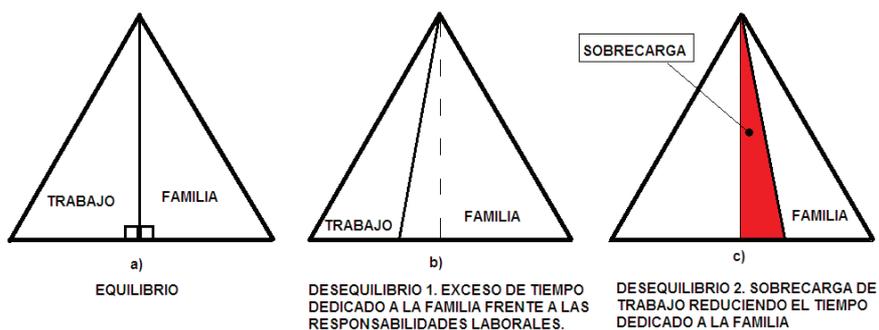


Figura 3. Modelo del Triángulo del Conflicto Trabajo-Familia (Fuentes y Navarro, 2013b). Fuente: Elaboración propia.

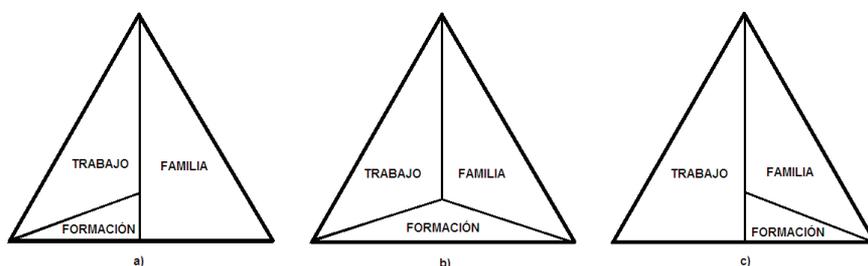


Figura 4. Modelo del Triángulo del Conflicto Trabajo-Familia-Formación (Fuentes y Navarro, 2013b). Fuente: Elaboración propia.

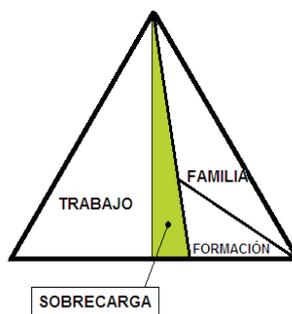


Figura 5. Situación de sobrecarga de trabajo y realización de formación por cuenta propia (Fuentes y Navarro, 2013b). Fuente: Elaboración propia.

Cuando se unen los elementos: sobrecarga de trabajo y vida personal/familiar, el primero condiciona la elección de formación online o

a distancia como solución parcial al problema de la falta de formación, sabiendo que esta decisión afectará a la conciliación familia-trabajo.

“Esos online te llaman: “oye cuando tienes alguna duda”, “pues bueno, pues de momento no”. Y al final ¿qué haces?, el test final, lees el libro porque estás estudiándote el libro pero es que, es lo que te quiero decir, que no tengo tiempo si es que el tiempo que le pueda quitar es el tiempo que le quito a mi familia y los veo a cuentagotas” (Nº 8)

Promoción

Los resultados que se incluyen a continuación se extraen del artículo titulado *Sistemas de promoción utilizados por pymes constructoras en Castilla-La Mancha (España). ¿Afectan a la satisfacción laboral del ingeniero de edificación?* (Fuentes-del-Burgo y Navarro-Astor, 2013).

En sus respuestas se encuentra un claro ejemplo del escaso nivel de desarrollo de esta práctica de gestión de recursos humanos: tres entrevistados desconocen la existencia de algún tipo de promoción en su empresa, trece plantean que no existe promoción y poco más de la mitad dan una respuesta afirmativa.

El tamaño empresarial podría ser una variable que justifique la ausencia de promoción, puesto que los 13 participantes que responden en este sentido trabajan para 3 microempresas (< 10 empleados), 8 pequeñas empresas (< 50 empleados) y 2 empresas medianas (< 250 empleados), según la denominación establecida por la Comisión Europea (Commission of the European Communities, 2003).

Los entrevistados justifican la falta de promoción debido al tamaño de la empresa como sigue: *“Ya tengo el techo. El que está por encima de mí es el jefe (sonríe). O sea, el puesto al jefe no se lo puedo quitar” (Nº 15)*; o a que el ingeniero de edificación entra a trabajar directamente con su máximo rango y no hay posibilidades de ascenso.

La idea que los participantes tienen de la promoción no es compartida por todos ni es única. Así, relacionan la promoción con los incentivos económicos (primas y/o subidas de sueldo); con el “empowerment”; con la asignación de mayor responsabilidad en las obras; con dirigir obras de mayor presupuesto, tamaño o singularidad; con el reconocimiento de la labor realizada o con el cambio a puestos de mayor categoría y responsabilidad dentro de la empresa. Coincidiendo con Pergamit y Veum

(1999), nuestros entrevistados entienden por promoción acciones que no tienen nada que ver con un cambio de puesto o de labor en la empresa.

Para los jefes de obra que trabajan en pymes sin posibilidad de ascenso o de cambio de puesto, la subida de sueldo es considerada como una medida de promoción. Por otra parte, el empresario podría utilizar esta práctica para suplir la imposibilidad de ascenso en el puesto de trabajo.

"En la segunda empresa que estuve, a medida que yo iba desarrollando mi trabajo, salió del propio jefe, del gerente de la empresa la iniciativa de incrementarme el sueldo, fue idea suya, no subí de rango porque al final era jefe de obra y poco más" (Nº 32).

Algunos ingenieros de edificación que trabajan en pymes también perciben el "empowerment" como un tipo de promoción. Según Porret (2007, p. 102), con el "empowerment": "los empleados tienen poder para tomar decisiones sin tener que requerir la autorización de sus superiores". En este caso, consideran promoción el hecho de poder tomar decisiones directamente sobre materiales, soluciones constructivas o poder elegir subcontratas sin necesidad de tener que consultar con su superior, que suele ser el propietario de la empresa constructora.

"Que te dejan un poco más de mano ancha, a que cada vez se tiene más en cuenta tu opinión, ya no te miran tanto el número pequeño, ya te miran solo el número grande. Si se puede llamar promoción, pues algo he promocionado ¿no?" (Nº 14).

El aumento de la responsabilidad en la obra o la asignación de obras de mayor tamaño, presupuesto o singularidad es otra idea fuertemente asociada al concepto de promoción. Puede ser un ejemplo de desarrollo profesional de los ingenieros recién graduados y con poca experiencia, a los que se les va formando como jefes de obra en actuaciones pequeñas (en tamaño y/o presupuesto), sin supervisión directa, y en función del resultado obtenido se les van proporcionando obras de mayor entidad.

"Empiezas a hacer obritas de poco presupuesto, después vas haciendo obritas más complicadas y de mayor presupuesto, primero confían en ti para hacer una obra, después pues te dan ya un grupo de obras y que poco a poco claro que te agrada que vayas promocionando y que vayan contando contigo" (Nº 23).

En este fragmento aparece el concepto de reconocimiento asociado a que la empresa asigne obras de mayor entidad. Se ha documentado que el reconocimiento afecta positivamente a la satisfacción laboral y al

compromiso con la organización (Hemanta, 2007; Fernández y Paravic, 2003).

Se han identificado seis criterios de promoción: ligados a los resultados obtenidos en las obras; por la antigüedad y la experiencia en la empresa; por el número de obras desarrolladas por la empresa; relacionados con el ascenso del superior o por abandono de compañeros.

La crisis económica ha influido en el criterio de promoción utilizado por las empresas constructoras. Durante los años del "boom" inmobiliario, cuando el número de obras era elevado, la promoción interna estaba ligada a la antigüedad o a la experiencia del ingeniero de edificación en la empresa. Pero en la actualidad, en plena crisis económica y con un escaso número de obras en construcción, las posibilidades de promoción o incluso de permanencia en la empresa están relacionadas directamente con los resultados obtenidos por el ingeniero.

"La antigüedad no. Eh, la experiencia tampoco, los resultados y el día a día. Antes con más experiencia o con más tiempo en la empresa..., ahora si no lo están haciendo bien o su superior no considera que lo estén haciendo bien o simplemente otros aspectos, pues o lo despiden o lo mandan a, en fin,...., Porque hoy le pasa a un compañero, mañana me puede pasar a mí, pero que se ve, ya no solo en esta empresa, lo digo porque tengo otros muchos compañeros en otras empresas" (Nº 25).

A tenor de los participantes, la sucesión de puestos que el ingeniero de edificación ocupa a lo largo de su desarrollo profesional, de menor a mayor categoría, es: encargado de obra, jefe de producción, jefe de obra, jefe de grupo, director técnico y director de zona. Casi todos los investigados han comenzado su carrera profesional como jefe de producción o como jefe de obra. El tiempo en el que se estaba de jefe de producción va de un mínimo de varios meses hasta dos o tres años. Además, mientras que los tres primeros puestos están muy relacionados con la construcción, con la ejecución de la obra, mientras que a partir de la categoría de jefe de grupo, las funciones a desempeñar están más relacionadas con la gestión de empresas.

Todos los entrevistados tienen claro que debido a su titulación académica tienen un techo máximo en el desarrollo profesional en la empresa: aspiran como máximo a ser jefe de grupo.

El ajuste persona-trabajo ha sido identificado como freno a los deseos de promocionar en la empresa. El 11% de los entrevistados afirma no querer ascender o cambiar de nivel pues se encuentran muy satisfechos siendo jefe de obra. De hecho, asocian el cambio de puesto a una pérdida

de calidad de vida, mientras que otros, por falta de experiencia laboral, sienten no estar preparados para desarrollar una labor de mayor responsabilidad.

"Tampoco estaría yo cómodo en ese puesto de trabajo..., tu gestión económica se multiplica por 10, tu salario, sí, se incrementa también pero aquí en Castilla-La Mancha es muy chungo, porque las distancias de las obras, están muy repartidas geográficamente. El jefe de obra está en su obra durante un cierto tiempo, ocho meses o un año, un año y medio en los buenos casos, y suele estar en su obra, pero los jefes de departamento están todos los días con el coche para arriba y para abajo y entonces eso para mí es perder calidad de vida... En este sector de la construcción cuanto más jefe eres pues más carga de trabajo tienes yo creo y eso va en contra de tu calidad de vida" (Nº 29).

Planes de carrera

Esta práctica de la gestión de los recursos humanos es completamente desconocida por todos los participantes excepto por aquellos que trabajaban en grandes empresas constructoras.

Efectos sobre la satisfacción laboral

Formación

Ante la pregunta del efecto de la formación sobre la satisfacción laboral, no ha habido una respuesta uniforme. El 18% de los participantes reconocían mejorar su satisfacción laboral con la formación que realizaban por cuenta propia, el 26% indicaba que la formación que les proporcionaba la empresa afectaba positivamente a su satisfacción laboral y, finalmente, el 6% afirmaban que solo sentían satisfacción personal por los conocimientos adquiridos con la formación.

El efecto positivo de la formación sobre la satisfacción laboral se suele generar cuando se produce un aumento del nivel de conocimientos. En consecuencia, si con la formación no hubiera aprendizaje, el efecto sería probablemente contrario.

"Sí, la formación aumenta mi satisfacción laboral, claro, cuantas más cosas sabes, mejor" (Nº 12).

En algunos casos de ingenieros que han participado tanto en formación por su cuenta como a través de la empresa, se deduce que dicha formación no les afecta a su satisfacción laboral, o que el efecto es contradictorio, ya que por un lado se valora positivamente la existencia de formación pero por otro se afirma que no afecta a la satisfacción laboral.

"Sí que te gusta que te formen sobre aspectos que te exigen desarrollar luego en tu trabajo...¿Si me afecta a mi satisfacción laboral? No, no, eh, todo lo que aprenda para mí es bueno." (Nº 24)

Cuando al participante Nº 4 se le preguntó si la formación afectaba a su satisfacción laboral, respondió que: *"Ni fu ni fa porque siempre que me apunto a un curso voy muy ilusionado, muy ilusionado por, bueno, pues al final por aprender, pero luego te quedas un poco que ni frío ni calor"*. Es otro ejemplo que refuerza la idea de que el efecto sobre la satisfacción laboral depende de la calidad del curso realizado y del aprendizaje logrado por el participante. El 24% de los participantes reconoce que su satisfacción laboral mejora porque pueden aplicar la formación recibida a su trabajo, tanto para resolver problemas como para comunicarse de manera eficiente con otros profesionales participantes en la ejecución de edificios:

"Pues sí porque, hombre, te da satisfacción llegar a los sitios y que te pregunten de algo y por lo menos no hacer así (levanta los hombros y pone cara de no tener ni idea)" (Nº 19)

Este resultado también ha sido confirmado por otros investigadores (Osman et al., 2011; Rowden, 2002). Además, si la formación proporciona una base de conocimientos que permita a los trabajadores mejorar la comprensión de la naturaleza de las actividades que deben ejecutar, tienen una plataforma desde la cual pueden desarrollar destrezas más complejas (Hannon, 2010). Este resultado coincide con las afirmaciones de ciertos participantes de que la formación no les afecta cuando no aprenden nada.

Promoción

En el caso del efecto de las posibilidades de promoción sobre la satisfacción laboral, no se ha encontrado una respuesta concluyente ya que solo dos terceras partes informan de algún tipo de efecto.

Cuando la empresa no dispone de sistemas de promoción interna, el efecto puede ser: negativo, nulo o tener un efecto contradictorio sobre la satisfacción laboral. Cuando existe promoción o posibilidades de promoción, el efecto sobre la satisfacción laboral puede ser positivo, negativo o nulo. En total, solo un tercio de los participantes indican que la promoción afecta positivamente a su satisfacción laboral, repartiéndose el tercio restante entre efecto nulo, negativo o contradictorio.

Cuando existe ajuste entre persona-trabajo, una promoción afectaría negativamente a la satisfacción laboral: *"si te gusta lo que haces no, yo no aspiro a tener otro puesto por encima de este porque no me daría satisfacción ninguna"* (Nº 25).

En la categoría de efecto nulo se han incluido aquellas respuestas en las que la ausencia de promoción carece de influencia sobre la satisfacción laboral. Las razones son la resignación o la aceptación de la realidad ante la imposibilidad de ascender, debido a la situación económica o al tamaño empresarial: *"Bueno ya sabes el rol que desempeñas dentro de la empresa,..., lo tienes asumido, pues no, no afecta, no, no afecta"* (Nº 10). Otros participantes, no habiendo ascendido nunca, desconocen el sentido del efecto.

Cuando el criterio de promoción está basado en los resultados obtenidos en obra, si al ingeniero de edificación le asignan obras con grandes pérdidas económicas iniciales, prácticamente imposibles de recuperar durante la ejecución, la existencia de posibilidades de promoción influye negativamente en su satisfacción laboral. El ingeniero siente que no está en igualdad de condiciones para promocionar que otros compañeros, detectando favoritismos (Berger et al., 2011) y afectándole negativamente la falta de justicia percibida en el procedimiento (Tzafir y Hareli, 2012; Malik et al., 2012; Parker et al., 2011).

"Pues sí, la verdad es que al final afectaban porque, bueno, tú sabías que tenías un escalón, tenías que subir más escalones que otro para llegar al mismo sitio" (Nº 20).

Con los resultados obtenidos se elaboró el modelo teórico que aparece en la figura 6, donde se incluyen las barreras a la promoción, los criterios empleados para aplicarla y los tipos de promoción que los participantes consideran como tal.

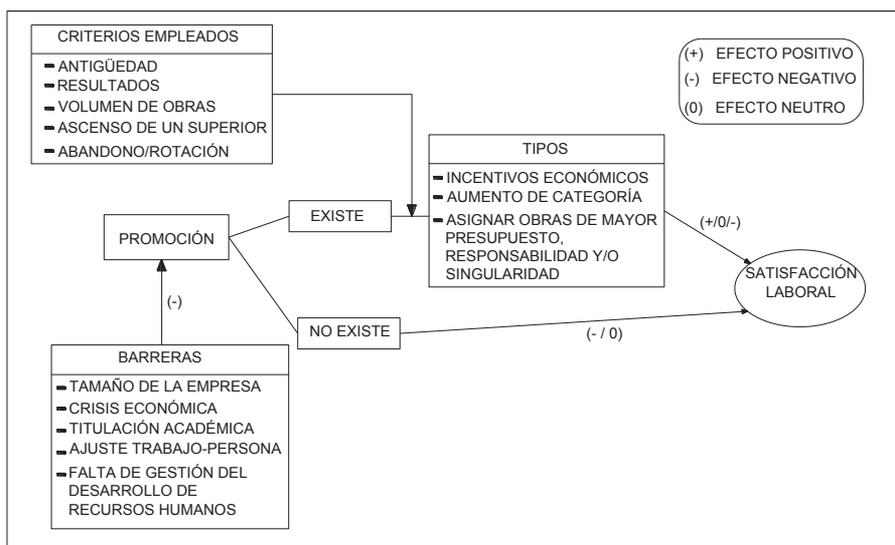


Figura 6. Modelo teórico del efecto de la promoción sobre la satisfacción laboral (Fuentes-del-Burgo y Navarro-Astor, 2013). Fuente: Elaboración propia.

El efecto positivo sobre la satisfacción laboral puede relacionarse con algunos de los siguientes tipos de promoción: un incentivo económico; un aumento de categoría o la asignación de obras de mayor presupuesto, responsabilidad o singularidad.

"Sí, siempre y cuando la iniciativa que se tome sea para mejorar tu situación dentro de la empresa, ya sea con una subida de rango o de sueldo, pues sí que es un reconocimiento y entonces afecta a tu satisfacción, claro, que te reconozcan el trabajo que haces y más incluso sin tener que pedirlo eso afecta muy positivamente" (Nº 32).

Conclusiones

La primera conclusión que se ha alcanzado en la elaboración de este trabajo es el poco volumen de investigación sobre la satisfacción laboral en el sector de la construcción español, independientemente de que se hable de obreros, operarios cualificados o de profesionales técnicos, en cualquiera de sus ramas o especialidades. A falta de poder profundizar sobre las causas, se intuyen dos posibles factores. Por un lado, la división del sistema universitario español en carreras técnicas de ciclo corto y

carreras de ciclo largo hasta la entrada en vigor del Espacio Europeo de Educación Superior. Esto hacía que todos los titulados en arquitectura técnica no tuvieran oportunidad de realizar investigación salvo que continuaran estudiando una licenciatura, ingeniería o arquitectura para continuar posteriormente con los estudios de doctorado.

El otro factor puede ser la falta de formación, en este tipo de estudios universitarios, sobre los aspectos relacionados con la gestión y dirección de recursos humanos. Al ser carreras con una formación marcadamente técnica, hace que se olvide que estos profesionales han de trabajar con otras personas, no dándole ninguna importancia a incluir en los planes de estudio unos conocimientos mínimos sobre éste área de conocimientos. Se podría aplicar la frase del artista y diseñador gráfico Bruno Munari: "Cada uno ve aquello que sabe".

Centrándonos en las prácticas de desarrollo profesional de las pymes constructoras, un resultado relevante ha sido encontrar que no existe una planificación de la formación. Tampoco se puede afirmar que las acciones de formación que se hacen tengan como fin cubrir adecuadamente las necesidades que tienen los jefes de obra para el desempeño de sus funciones. Dada esta situación, es muy difícil que la formación de estos técnicos pueda convertirse en una herramienta para mejorar la ventaja competitiva de las empresas.

A nivel particular, los ingenieros de edificación y arquitectos técnicos realizan formación por cuenta propia con diversos objetivos, desde actualizar conocimientos y destrezas a mejorar las posibilidades de ascender o cambiar de puesto de trabajo. En algunos casos, la formación realizada intenta reducir los desajustes educativos percibidos y especializarse a nivel profesional, sobre todo en el campo de la seguridad y prevención de riesgos laborales.

En cuanto a la relación de la formación con la satisfacción laboral, más de la mitad de los participantes afirman que la relación es positiva, sobre todo cuando la formación cubre adecuadamente las necesidades que el arquitecto técnico detecta para desarrollar su labor diaria.

Un resultado que puede ser de utilidad en el análisis del conflicto trabajo-familia ha sido el desarrollo de los modelos Triángulo del Conflicto Trabajo-Familia y el Triángulo del Conflicto Trabajo-Familia-Formación. Con el empleo de dichos modelos se podría representar y cuantificar de una forma relativamente sencilla el grado del conflicto existente dibujando las áreas de cada factor en función de las horas diarias, semanales o mensuales dedicadas a cada elemento del triángulo.

Los resultados encontrados de la relación de la promoción con la satisfacción laboral no han sido concluyentes por cuanto a que, cuando existe algún sistema de promoción en la empresa, el efecto sobre la satisfacción laboral puede ser positivo, neutro o negativo. En este aspecto, resalta el hecho de que tenga más influencia sobre la satisfacción laboral el ajuste persona-trabajo que la promoción, dado que hay individuos que el promocionar a puestos de jerarquía superior al de jefe de obra, les supondría una causa de insatisfacción laboral.

También cabe la posibilidad de que el efecto de la promoción sobre la satisfacción laboral fuera tan bajo debido a la grave situación económica que se estaba perfilando en la economía española mientras se estaban realizando las entrevistas. Los participantes estaban viendo el descenso en el número de obras y como compañeros suyos se estaban quedando en el paro. Ante esa situación, puede que el hecho de no promocionar no tuviera ningún efecto o importancia frente a la posibilidad de mantener el empleo.

En el caso de los participantes que trabajaban en pymes en las que no había posibilidad alguna de promocionar, se ha detectado una aceptación de la situación, desapareciendo la posibilidad de ascender como un factor que pueda influir sobre la satisfacción laboral. En esas situaciones, parece que son los incentivos económicos los que ejercen un efecto positivo importante sobre la satisfacción laboral. Una situación parecida se daba en los que estaban trabajando en grandes empresas pues tenían asumido que tenían techo. Tenían claro que a lo más que podían aspirar era a ser jefe de grupo. Para puestos de mayor categoría veían que estaban todos desempeñados por ingenieros de caminos salvo algún caso extraordinario que era ocupado por algún arquitecto técnico, reconociendo que eran personas de cualidades excepcionales.

Probablemente la mayor limitación que ha tenido la elaboración de la presente investigación ha sido la falta de tiempo y recursos para poder haber realizado más entrevistas.

Otra limitación importante en los resultados obtenidos ha sido el hecho de no haber cubierto otros puestos de trabajo desempeñados por profesionales con la misma titulación, relacionados directamente con la construcción de edificios. Así se podría haber conseguido una visión más general de cómo afecta la formación y la promoción a la satisfacción laboral de los arquitectos técnicos.

También hubiera sido útil conocer la opinión de los empresarios sobre las prácticas y políticas de desarrollo profesional para con los jefes de obra y el resto de profesionales técnicos de sus organizaciones. Se podrían

conocer las prácticas empleadas, los beneficios para la empresa y las barreras para su implantación.

Bibliografía

Abdullah, M. A., Khalid, H. N., Shuib, M., Nor, N. M., Muhammad, Z., y Jauhar, J. (2007). Job satisfaction amongst employees in Small and Medium Industries (SMIs) in the manufacturing sector: A Malaysian case. *Journal of Asia-Pacific Business*, 8(4), 39-66.

Ajuntament de Barcelona (2013). Informe sectorial de la Construcción 2013. Barcelona Treball. Consultado el 2-04-2015 en http://w27.bcn.cat/porta22/images/es/Barcelona_treball_Infome_Sectorial_construccion_2013_cast_tcm24-11324.pdf.

Aragón-Sánchez, A. y Esteban-Lloret, N.N. (2000). La formación en la empresa española: ¿sólo se busca mejorar los resultados organizacionales? *Universia Business Review*, (26), 36-58.

Armstrong, M. (2006). *A handbook of human resource management practice*, 10 Ed. London: Kogan-Page.

Barba Aragón, M.I., Aragón Sánchez, A. y Sanz Valle, R. (2000). Condicionantes de la formación en las PYMES industriales. *Economía Industrial*, (334): 35-44.

Berger, J., Herbertz, C., y Sliwka, D. (2011). Managerial incentives and favoritism in promotion decision: Theory and field evidence. *IZA Discussion Paper*, 1-27.

Blismas, N.G. y Dainty, A.R.J. (2003). Computer-aided qualitative data analysis: Panacea or paradox? *Building Research & Information*, 31(6), 455-463.

Bowen, G.A. (2005). Preparing a qualitative research-based dissertation: Lessons learned. *The Qualitative Report*, 10(2), 208-222.

Bravo, M.J.; Peiró, J.M. y Rodríguez, I. (2007). Satisfacción laboral. *Tratado de psicología del trabajo*. Volumen I: La actividad laboral en su contexto. Madrid: Editorial Síntesis.

Bryant, A. y Charmaz, K. (2007). *The SAGE Handbook of Grounded Theory*. London: SAGE Publications Ltd.

Cantonnet, M.L.; Iradi, J.; Larrea, A. y Aldasoro, J.C. (2011). Análisis de la satisfacción laboral de los arquitectos técnicos en el sector de la construcción de la Comunidad Autónoma del País Vasco. *Revista de la Construcción*, 10(2), 16-25.

Cárcel Carrasco, F.J. y Roldán Porta, C. (2013). Principios básicos de la gestión del conocimiento y su aplicación a la empresa industrial en sus actividades tácticas de mantenimiento y explotación operativa: Un estudio cualitativo. *Intangible Capital*, 9(1), 91-125.

Caro González, F.J. y Díez de Castro, E.P. (2005). Investigación cualitativa asistida por ordenador en economía de la empresa. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 11(2), 45-58.

Caven, V. (2012). Agony aunt, hostage, intruder or friend? The multiple personas of the interviewer during fieldwork. *Intangible Capital*, 8(3), 548-563.

Charmaz, K. (2006). *Constructing Grounded Theory. A practical guide through qualitative analysis*. London: SAGE Publications.

Coffey, A. y Atkinson, P. (2003). *Encontrar el sentido a los datos cualitativos. Estrategias complementarias de investigación*. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Commission of the European Communities (2003). *Commission Recommendation of 6 May 2003 concerning the definition of micro, small and medium enterprises*. *Official Journal of the European Union*, 36-41.

DeCuir-Gunby, J.T, Marshall, P.L. y McCulloch, A.W. (2010). Developing and using codebook for the analysis of interview data: An example from a professional development research Project. *Field Methods*, 23(2), 136-155.

Fernández Larraguibel, B. y Paravic Klijn, T. (2003). Nivel de satisfacción laboral en enfermeras de hospitales públicos y privados de la Provincia de Concepción, Chile. *Ciencia y Enfermería*, IX, 57-66.

Fey, C.F., Morgulis-Yakushev, S., Park, H.J. y Björkman, I. (2009). Opening the black box of the relationship between HRM practices and firm performance: A comparison of MNE subsidiaries in the USA, Finland, and Russia. *Journal of International Business Studies*, 40, 690-712.

Flick, U. (2007). *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid: Ediciones Morata.

Frazis, H. y Loewenstein, M.A. (2006). *On-the-job training*. Hannover: Now Publishers Inc.

Friese, S. (2012). *Qualitative data analysis with ATLAS.ti*. London: SAGE Publications Ltd.

Fuentes del Burgo, J. y Navarro Astor, E. (2010). La satisfacción laboral de los profesionales técnicos de la industria de la Construcción. Revisión de los factores determinantes en función de las características del trabajo. En: Carbonel Lado, N. et al. (Eds) *Libro de Actas del I Congreso Nacional de Investigación Aplicada a la Gestión de la Edificación COIGE'10*, 29 a 30 de Junio de 2010, Alicante, España.

Fuentes-del-Burgo J. y Navarro-Astor E. (2012a). How is job satisfaction in Spanish building engineers influenced by training? In: Smith, S.D (Ed) Procs 28th Annual ARCOM Conference, 3-5 September 2012, Edinburgh, UK, Association of Researchers in Construction Management, 601-610.

Fuentes-del-Burgo, J. y Navarro-Astor, E. (2012b). Building engineers' promotion and its effect on job satisfaction. A qualitative study of site managers in Castilla-La Mancha. En 2nd International Conference on Construction and Building Research (COINVEDI), 14-16 November 2012, Valencia, Spain.

Fuentes del Burgo, J. y Navarro Astor, E. (2013a). Barreras a la formación: El caso de los ingenieros de edificación jefe de obra en PYMES constructoras. En XVII International Congress on Project Management and Engineering, 17-19th July 2013, Logroño, Spain.

Fuentes del Burgo, J. y Navarro Astor, E. (2013b). La formación de ingenieros de edificación en empresas constructoras en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. Su influencia en la satisfacción laboral. *Intangible Capital*, 9(3), 590-643.

Fuentes-del-Burgo, J. y Navarro-Astor, E. (2013). Sistemas de promoción utilizados por pymes constructoras en Castilla-La Mancha (España). ¿Afectan a la satisfacción laboral del ingeniero de edificación? *Revista de la Construcción*, 12(1), 109-118.

Fundación Laboral de la Construcción (2005). La formación continua en el sector de la construcción. Fundación Laboral de la Construcción, disponible online en: <http://www.fundacionlaboral.org/formacion/nacional/estudios/proyecto/estudio-formacion-continua>

Fundación Laboral de la Construcción (2006). Generalización de la teleformación en las PYMES de la construcción. Documento de síntesis. Fundación Laboral de la Construcción.

Gibbs, G. (2012). El análisis de datos cualitativos en investigación cualitativa. Madrid: Ediciones Morata.

Glaser, B.G. y Holton, J. (2004). Remodeling Grounded Theory. *Forum: Qualitative Social Research*, 5(2), Art. 4.

Goldenhar, L.M., Moran, S.K. y Colligan, M. (2001). Health and safety training in a sample of open-shop construction companies. *Journal of Safety Research*, 32: 237-252.

Gómez-Mejía, L.R., Balkin, D.B. y Cardy, R.L. (2001). Dirección y gestión de recursos humanos. Madrid: Pearson Prentice Hall.

González Menéndez, M., Gutiérrez Palacios, R. y Martínez Lucio, M. (2011). *Gestión de recursos humanos: Contexto y políticas*. Navarra: Civitas-Thomson Reuters.

González Menéndez, M. (2011). *Gestión de los RRHH como función y como campo científico*. *Gestión de recursos humanos: Contexto y políticas*. Navarra: Civitas-Thomson Reuters.

Hannon, E. (2010). Employee-focused research in HRM: the case of dairy processing. *The International Journal of Human Resource Management*, 21(6), 818-835.

Hemanta, D. (2007). Twinning motivation, productivity and management strategy in constructions projects. *Engineering Management Journal*, 19(3), 87-102.

Henne, D. y Locke, E. A. (1985). Job dissatisfaction: What are the consequences? *International Journal of Psychology*, 20(2), 221-220.

Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2007). *Fundamentos de metodología de la investigación*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.

Hwang, S. (2008). Utilizing qualitative data analysis software: A review of Atlas.ti. *Social Science Computer Review*, 26(4), 519-527.

Jones, M.L. (2007). Using software to analyse qualitative data. *Malaysian Journal of Qualitative Research*, 1(1), 64-76.

Kazaz, A. y Ulubeyli, S. (2007). Drivers of productivity among construction workers: A study in a developing country. *Building and Environment*, 42(5), 2132-2140.

Kosteas, V.D. (2011). Job satisfaction and promotions. *Industrial Relations: Journal of Economy and Society*, 50, 174-194.

Kumpikaité, V. (2007). Human Resource Training Evaluation. *Engineering economics*, 5(55), 29-36.

Kvale, S. (2011). *Las entrevistas en investigación cualitativa*. Madrid: Ediciones Morata.

Lim, L.J.W. y Ling, F.Y.Y. (2012). Human resource practices of constructors that lead to job satisfaction of professional staf. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(1), 101-118.

Loosemore, M., Dainty, A. y Lingard, H. (2003). *Human resource management in construction projects. Strategic and operational approaches*. London: Spon Press.

Malik, M. E., Danish, R. Q., y Munir, Y. (2012). The impact of pay and promotion on job satisfaction: Evidence from higher education institutes of Pakistan. *American Journal of Economics*, 2(4), 6-9.

Marín-Díaz, M.L., Llinas-Audet, X. y Chiaramonte-Cipolla, L. (2011). Training as a factor of business excellence. *Intangible Capital*, 7(2), 280-305.

Martín-Crespo Blanco, M.C. y Salamanca Castro, A.B. (2007). El muestreo en la investigación cualitativa. *Nure Investigación*, (27).

Martínez, M. (2006). La investigación cualitativa (síntesis conceptual). *Revista de Investigación en Psicología*, 9(1), 123-146.

McCue, K. (1996). Promotions and wage growth. *Journal of Labor Economics*, 14(2), 175-205.

Muñoz Castellanos, R.M. y Salinero Martín, Y. (2011). Training as a source of competitive advantage: Performance impact and the role of firm strategy, the Spanish case. *The International Journal of Human Resource Management*, 22(3), 574-594.

Navarro Astor, E. (2008). Tesis Doctoral. Aportación al estudio de la satisfacción laboral de los profesionales técnicos del sector de la construcción: Una aplicación cualitativa en la Comunidad Valenciana. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Organización de Empresas, Economía Financiera y Contabilidad.

Navarro-Astor, E., Llinares, C. y Montañana, A. (2010). Factores de satisfacción laboral evocados por los profesionales de la construcción en la Comunidad Valenciana (España). *Revista de la Construcción*, 9(1), 4-16.

Navarro-Astor, E. y Fuentes-del-Burgo, J. (2011). Exploring the impacts of the spanish economic downturn on building engineers' job satisfaction and their employability strategies. Procs 27th Annual ARCOM Conference, Bristol, UK, 5-7 September. Association of Researchers in Construction Management.

Núñez-Cacho, P., Grande-Torrales, F. y Pedrosa-Ortega, C. (2012). Nuevos retos en el desarrollo de carrera profesional: el modelo boundaryless career. *Universia Business Review*, 14-35.

Osman, I., Ho, T. y Galang, M.C. (2011). Are human resource departments really important? An empirical study on Malaysian Small and Medium Enterprises (SMEs) in the Service Sector. *International Journal of Business and Management*, 6(2), 179-192.

Owoyemi, O.A., Oyelere, M. y Elegbede, T. (2011). Enhancing employees' commitment to organization through training. *International Journal of Business and Management*, 6(7), 280-286.

Ozols, R. y Fortune, C. (2012). Towards the identification of factors affecting the development of small sized construction contacting organizations In: Smith, S.D. (Ed) Procs. 28th Annual ARCOM Conference,

3-5 September 2012, Edinburgh, UK, Association of Researchers in Construction Management, 841-850.

Parker, R. J., Nouri, H., y Hayes, A. F. (2011). Distributive justice, promotion, instrumentality, and turnover intentions in public accounting firms. *Behavioral Research in Accounting*, 23(2), 169-186

Pergamit, M.R. y Veum, J.R. (1999). What is a promotion? *Industrial and Labor Relations Review*, 52(4), 581-601.

Phelps, A.F. y Horman, M.J. (2010). Ethnographic theory-building research in construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(1), 58-65.

Porret Gelabert, M. (2008). Recursos humanos. Dirigir y gestionar personas en las organizaciones, 3ª Ed. Madrid: ESIC Editorial.

Pratt, M.G. (2009). For the lack of a boilerplate: Tips on writing up (and reviewing) qualitative research. *Academy of Management Journal*, 52(5), 856-862.

Purohit, P. (2004). Job satisfaction and work motivation. Delhi: Sharada Publishing House.

Raidén, A. y Dainty, A.R.J. (2006). Human resource development in construction organisations. An example of a "chaordic" learning organisation? *The Learning Organization*, 13(1): 63-79.

Rigby, M. y Ponce, Y. (2011). Formación. Gestión de recursos humanos: Contexto y políticas. Navarra: Civitas-Thomson Reuters.

Rodríguez Gómez, G., Gil Flores, J. y García Jiménez, E. (1999). Metodología de investigación cualitativa 2ª Ed. Archidona (Málaga): Ediciones Aljibe.

Rowden, R.W. (2002). The relationship between workplace learning and job satisfaction in U.S. Small to Midsize Businesses. *Human Resource Development Quarterly*, 13(4), 407-425.

Rubio Hurtado, M.J., Millán Guasch, M.D., Cabrera Rodríguez, F., Navío Gámez, A. y Pineda Herrero, P. (2011). Training in Spanish organizations: Trends and future perspectives. *Intangible Capital*, 7(2): 236-260.

Salgado, J.F., Remeseiro, C. e Iglesias, M. (1996). Clima organizacional y satisfacción laboral en una PYME. *Psicothema*, 8(2), 329-335.

Santos, A. y Stuart, M. (2003). Employee perceptions and their influence on training effectiveness. *Human Resource Management Journal*, 13(1): 27-45.

Schmidt, S.W. (2007). The relationship between satisfaction with workplace training and overall job satisfaction. *Human Resource Development International*, 18(4), 481-498.

Silverman, D. (2010). Doing qualitative research 3ª Ed. London: Sage.

Smit, B. (2002). Atlas.ti for qualitative data analysis. *Perspectives in Education*, 20(3), 65-76.

Spector, P. (1997). *Job satisfaction, application, assessment, causes and consequences*. Thousand Oaks, California: SAGE Publications, Inc.

Taylor, S.J. y Bogdan, R. (1992). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona: Paidós.

Tesch, R. (1990). *Qualitative research. Analysis types & software tools*. London: RoutledgeFalmer.

Tzafir, S. S. y Hareli, S. (2012). Employees' emotional reactions to promotion decisions: The role of causal attributions and perceptions of justice. *Career Development International*, 14(4), 351-371.

Urraco Solanilla, M (2007). La metodología cualitativa para la investigación en Ciencias Sociales. Una aproximación "mediográfica". *Intersticios. Revista Sociológica de Pensamiento Crítico*, 1(1), 99-126.

Valderrama, J.O. (2010). Preparación de un artículo para ser publicado en la *Revista Internacional Formación Universitaria*. *Formación Universitaria*, 3(1), 31-38.

El estudio del entorno urbano: de la alta velocidad ferroviaria a la patología en los “barrios de oro”.

Carmen Mota*

Resumen En mayo de 2005, ve la luz la publicación del vol. Nº 44 de los cuadernos de Investigación Urbanística, dedicado al estudio de las implicaciones de la alta velocidad ferroviaria y en el cual un grupo de docentes de urbanismo de la Universidad de Castilla-La Mancha alcanza un gran protagonismo. La Escuela Politécnica de Cuenca, a través de Carmen Mota, entrará en contacto con los mismos, iniciando entonces una investigación conjunta que durante los primeros años se mantuvo específicamente en el campo de la vertebración territorial pero que, más adelante, alcanzaría diversos campos relacionados con la ciudad construida, mostrando interés por lo que desde diferentes titulaciones de la UCLM pudiesen aportar- Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Arquitectura e Ingeniería de Edificación - a la par que promoviendo la investigación transversal mediante la coordinación de docentes y alumnos. En la actualidad el grupo de investigación ubicado en las tres titulaciones trabaja activamente en tres líneas de investigación: “Ciudad Consolidada y Proyecto Urbano”, “Rehabilitación y Gestión del Patrimonio Histórico” y “Alta Velocidad Ferroviaria”. A lo largo de las mismas, y gracias al trabajo de sus integrantes, la publicación de artículos en publicaciones científicas con posiciones privilegiadas en la clasificación JCR; comunicaciones en congresos internacionales y elaboración de proyectos de investigación se ha convertido en una constante.

*Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, carmen.mota@uclm.es

Introducción

En mayo de 2005 se cumplían 13 años desde la instauración de la alta velocidad ferroviaria (AVF) en España (PEIT, 2004), a lo largo de los cuales se había comprobado que los efectos positivos esperados del modo no siempre llegaban a materializarse, sino que dependían de la toma en consideración de medidas tan necesarias como adaptadas al marco específico de cada caso. El fenómeno, fruto de una elevada inversión a nivel europeo, atrajo durante muchos años la atención de profesionales del urbanismo (Hernández, 2012).

Diez años de investigación en el marco del urbanismo en colaboración con docentes e investigadores del Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación

A finales del año 2005 la línea de investigación sobre la Alta Velocidad Ferroviaria emprendida por la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real de la mano de profesionales como José María Coronado, José María Ureña, Cecilia Ribalaygua o Maddi Garmendia comienzan a constituirse como un referente internacional a través de las publicaciones y jornadas que empiezan su andadura en esos años. En marzo de 2007 con la concesión del proyecto de investigación titulado "Actividades en el entorno de las estaciones de alta velocidad. Análisis de su planificación y evaluación de las actividades asentadas", se conforma un grupo de investigadores participantes que se amplía a docentes como Carmen Mota, desde la Escuela Politécnica de Cuenca, colaboración la cual se ha mantenido y enriquecido hasta la fecha, abordando la vertebración territorial y la regeneración urbana a través del transporte de manera protagonista en un inicio, pero también diversificando su marco de estudio en una trayectoria tan vasta como ininterrumpida.

Alta velocidad ferroviaria: presente, pasado y futuro

A lo largo de las tres décadas de desarrollo del tren rápido, iniciadas con su instauración en la línea París- Lyon, han sido cada vez más numerosos los ejemplos europeos de ciudades con barrios recuperados mediante los proyectos de adecuación de sus estaciones, encontrando dentro de la casuística continental situaciones que abarcan desde las recuperaciones de antiguas estaciones decimonónicas hasta aquellas que pretenden convertirse en eje de crecimiento de una nueva zona de la ciudad con la creación de barrios nuevos. No obstante, y como se ha ido constatando, la creación de una nueva infraestructura y su proyecto de reordenación de los espacios vinculados a ella no es suficiente como para interferir en la dinámica de la ciudad, sino que es necesaria la gestión de un tipo de servicios ferroviarios adecuados y la irrigación en el área inmediata de llegada (Plassard, 1992).

En el caso español, la modificación necesaria de los anchos de vía llevó a la justificación de la creación de nuevas líneas que, de una manera muy exclusiva, se distinguiesen del resto de la red nacional de ferrocarriles. No sólo por este motivo, pero apoyado en esta exclusividad del sistema, las nuevas estaciones localizadas en barrios urbanos se convierten en oportunidades urbanas para la configuración de una nueva imagen de ciudad, con espacios en su entorno ordenados con la vocación de conectarse a los distintos modos de transporte.

La investigación de cómo llevar a cabo las medidas necesarias para la optimización de los efectos potencialmente positivos y las soluciones abordadas por el grupo de investigadores ha dado lugar a la generación de otros proyectos de investigación, entre los que podríamos citar:

- **“Patrones de transformación urbana y estrategias asociadas a la alta velocidad ferroviaria en España”**, en el cual, y en colaboración con distintas universidades españolas, desde la Escuela Politécnica de Cuenca las profesoras Carmen Vázquez y Carmen Mota contribuyen a este proyecto de la convocatoria nacional del año 2012 mediante la aportación de trabajos de campo llevados a cabo en distintas localidades las cuales han acogido la presencia de una nueva estación de AVF.
- **“La modélisation de l’implantation des gares des Trains à Grande Vitesse”**, en el que se aúna el trabajo de La Société

Nationale des Chemins de Fer, las universidades de Franche- Comté, Lille, Montpellier, Bourgogne, Lérida y Castilla-La Mancha (esta última con la incorporación de la profesora Carmen Mota), consistente en la creación del "Laboratoire theoriser et Modéliser pour Aménager territoires et paysages".

- **"Estudios para la integración del ferrocarril en Logroño en relación con la llegada de la alta velocidad ferroviaria"**, convenio suscrito entre la sociedad "Logroño integración del ferrocarril ", la Universidad de Cantabria a través de la profesora Cecilia Ribalaygua Batalla y la de Castilla-La Mancha a través de la profesora Carmen Mota.

Es destacable el interés suscitado por las relatadas labores de investigación, que tuvo como consecuencia la contratación por parte de la United States of America High Speed Rail Association de los servicios de los investigadores Cecilia Ribalaygua y Carmen Mota para las labores de asesoría en un workout de expertos formados por profesionales como Andy Kun, Daniel Krause o Joseph Shelhorse a lo largo del verano 2010 en Madrid. En el mismo año, el equipo integrado por miembros de la Universidad de Cantabria y la de Castilla-La Mancha consigue el tercer premio internacional para la planificación del entorno de la estación de alta velocidad de Tampa, Florida. Tres años después, la profesora Carmen Mota presentaba la tesis titulada "La planificación de la implantación de la alta velocidad ferroviaria. Un estudio comparativo de la política de ordenación desde el análisis de las implicaciones territoriales", desarrollada dentro del programa de doctorado "Territorio, Infraestructuras y Medio Ambiente" de la Universidad de Castilla-La Mancha con la calificación de cum laude- mención internacional, recogiendo el material objeto de estudio que durante años anteriores había sido expuesto en Congresos de Suecia, China o Estados Unidos por Ribalaygua y Mota.

La extensión de la investigación urbana y su confluencia con otras disciplinas

A partir del año 2011 la investigación en el campo del urbanismo decide extrapolarse a otras áreas para su enriquecimiento y mejor aprovechamiento del trabajo junto a otros docentes y alumnos.

De este modo, Carmen Mota lleva a cabo una estancia de 14 semanas en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Basilicata, en Italia, bajo la tutela de Antonio Conte, arquitecto, catedrático y experto en patrimonio histórico. Otras experiencias, como las acontecidas en base a la colaboración con el premio nacional de arquitectura Francisco Pol Méndez, que han permitido ser adjudicatarios de más de una decena de concursos públicos relacionados con intervenciones en el Patrimonio posibilitaron la enriquecedora colaboración con José María Ureña, José María Coronado, Eloy Solís (UCLM) o Miguel Ángel Troitiño (UCM) que se materializó en el Seminario "Intervenciones en ciudades con conjuntos histórico en áreas de influencia metropolitana". El mismo, llevado a cabo en Toledo, Cuenca y Segovia y cuyas labores de coordinación se compartieron con la Escuela Politécnica de Cuenca, la Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real y la Escuela de Arquitectura de Toledo a lo largo del curso 2013-2014, consiguió la exposición posterior del material elaborado en congresos internacionales en Cantabria y San Sebastián.

En otra línea, y de cara a dotar a la investigación de la cualidad urbana de herramientas capaces de concluir en resultados tan objetivos como extrapolables, se inicia la colaboración con Miguel Ángel López y Raquel Martínez para, quienes desde la matemática aplicada, colaboran, con la imprescindible ayuda del doctor Arturo Martínez Rodrigo, en la elaboración de aplicaciones matemáticas las cuales, a través de un modelizado de la realidad ofrecen resultados cuantificables (Vickerman, 1974). Dicha colaboración ha suscitado el interés de publicaciones internacionales (López, Mota y Martínez, 2015) de máximo prestigio y sus conclusiones han sido expuestas en congresos internacionales enfocados al análisis urbano y la innovación docente (Mota y López, 2014).

Conclusiones: Presente y futuro de la investigación transdisciplinar

Con el interés de retroalimentar la participación de estudiantes y docentes con sólo de la propia Escuela Politécnica de Cuenca sino de establecer un marco de colaboración constante entre alumnos y profesores de las Escuelas de Caminos, Arquitectura y Edificación, en la actualidad se trabaja en estas tres líneas de investigación:

- **Estudio de la calidad construida de los barrios.** A través del programa Barrio Meets Barrio durante el curso 2014-2015 por primera vez los alumnos de las tres titulaciones estudiaron las deficiencias urbanas y constructivas de los espacios públicos así como la patología entorno a seis barrios escogidos, todos ellos con una antigüedad cercana a los 50 años. El resultado del mismo, así como las posibles estrategias a seguir se presenta a dos premios a la innovación educativa en la actualidad, y ya se trabaja en una publicación, para lo cual serán ofertadas 6 becas a estudiantes.

En el marco específico de la Escuela Politécnica de Cuenca el Observatorio Urbano de Cuenca, desarrolla esta misma actividad, abarcando todos los barrios de la localidad y, gracias a un convenio suscrito con el Ayuntamiento de Cuenca, ha posibilitado la oferta de un contrato y una beca, habiendo expuesto ya resultados de sus investigaciones en varios congresos. La misma también participa en un segundo convenio firmado en la actualidad con el Ayuntamiento de Cuenca y diversas facultades del campus en la evaluación de la accesibilidad en el entorno local y la toma en consideración de posibles mejoras. Que lleva por título "Investigación y estudio de la discapacidad en la ciudad de Cuenca, en el marco del Consejo Municipal de Integración".

- **Preservación del patrimonio urbano y paisajístico en entornos patrimoniales** como las ciudades de Cuenca y Toledo o las instalaciones del Parque Minero de Almadén. Trabajando en la actualidad y con la colaboración de la Fundación General de la Universidad de Castilla- La Mancha en el I Postgrado Iberoamericano en Gestión y Revitalización de la Ciudad, el Paisaje y el Territorio, a celebrarse en julio de 2015.

- **Fluctuaciones del valor de suelos afectados por cambios de uso en sus inmediaciones** (Graham, 2006), codirigiendo en la actualidad Carmen Mota y José María Ureña una tesis doctoral que evalúa este fenómeno mediante evaluación de localizaciones reales en el mismo marco de la crisis.

Bibliografía

Graham, D.J. (2006). Investigating the link Between Productivity and Agglomeration for UK Industries. Report prepared for UK Department for Transport.

Hernández, A. (2012). Los efectos territoriales de las infraestructuras: La inversión en redes de Alta Velocidad Ferroviaria. FEDEA, Colección Estudios Económicos, pp. 05–11.

López, M.A., Mota, C. y Martínez, R. (2015). Analysis of transport networks in the urban environment in order to plan the integration of high-speed rail. *Applied Mathematics & Information Sciences*. En prensa.

Mota, C. y López, M.A. (2014). La investigación de la planificación urbana: aproximación a un estudio multidimensional. *Líneas emergentes en la investigación de vanguardia*. McGraw Hill, Madrid.

PEIT (2004). Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte. Ministerio de Fomento, Gobierno de España.

Plassard, F. (1992). 'L'impact territorial des transports a grande vitesse' in Derycke, P-H (ed) *Espace et dynamiques territoriales* Economía, Paris, 243-261.

Vickerman, R.W. (1974). 'Accessibility, attraction and potential: a review of some concepts and their use in determining mobility' *Environment and Planning* 6, 675-691.

La gestión de la producción en la edificación.

Juan Pedro Ruiz*

Resumen Las aportaciones de investigación más importantes realizadas por el que suscribe se centran en torno a la gestión de la producción en la edificación y se resumen cronológicamente en los tres apartados que se describen a continuación:

En el primer apartado se resumen algunas de las comunicaciones y ponencias, sobre la economía y la gestión de la edificación, presentadas en diferentes congresos y eventos relacionados con la construcción.

El segundo apartado se refiere al trabajo fin de master del “Máster en Edificación” de la Universidad Politécnica de Valencia.

El tercer apartado se refiere a la tesis doctoral, actualmente en fase de evaluación externa, que versa sobre predimensionado de los flujos de caja en la edificación.

*Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, juanpedro.ruiz@uclm.es

Comunicaciones y ponencias

La ponencia titulada "Introducción a la Contratación y Adjudicación de Obras" fue presentada en el III IPMA-ICEC Seminario Internacional de Expertos, celebrado en Bilbao en 2004. La ponencia realiza un análisis no exhaustivo del desarrollo temporal del contrato de obras desde su fase de planificación o preparación a la fase de adjudicación, así como el estudio de sus principales características. Todo ello desde dos perspectivas distintas: la del promotor público y la del promotor privado. De tal manera analizamos la legislación estatal aplicable, los requisitos esenciales del contrato de obras, los tipos de expedientes de contratación, los procedimientos y formas de adjudicación y las garantías. Dedicamos una buena parte de la ponencia a definir con puntualidad el nuevo sistema de apreciación de ofertas desproporcionadas o temerarias en las subastas, para obras de promoción pública (Ruiz, 2004).

La comunicación titulada "Presupuesto o Estimación de Costes" fue presentada en el XVI Congreso Nacional de Profesores de Mediciones, Presupuestos y Valoraciones, celebrado en Valencia, en la Escuela Técnica Superior de Gestión en la Edificación de la Universidad Politécnica de Valencia, en 2006. Con la disyuntiva que anuncia el título pusimos de manifiesto distintas concepciones para la confección del presupuesto y reflexionamos sobre las divergencias existentes entre las asignaturas Mediciones, Presupuestos y Valoraciones, y Organización, Programación y Control; dos asignaturas que son parte de una troncalidad común. Como antecedentes, indicamos algunos de los trabajos más relevantes sobre este tema y los últimos acercamientos que se estaban produciendo en diferentes ámbitos. Posteriormente analizamos brevemente los programas y las diferencias conceptuales entre sus unidades básicas de trabajo, la "Actividad" y la "Unidad de Obra". Por último expusimos dos modelos de confección de presupuestos y señalamos algunas propuestas de actuación (Ruiz y Valverde, 2006a).

La comunicación titulada "La Mano de Obra en la Construcción: Algunos Datos Estadísticos" fue presentada en la IV Convención Técnica y Tecnológica de la Arquitectura Técnica, celebrada el 7, 8 y 9 de junio de 2006 en Valladolid (Contart 2006). En ella nos preguntábamos si realmente es diferente el sector de la construcción respecto del resto de sectores en lo que a mano de obra se refiere. De forma directa buscamos y

encontramos la respuesta a esa pregunta a través de la estadística, estableciendo el "perfil medio" del trabajador de la construcción. Apoyados en las encuestas públicas del INE y del INEM, de los datos generales fuimos recogiendo los que afectan a la construcción para contrastarlos con la totalidad. Este análisis comparativo nos permitió detectar las diferencias que, aunque tópicos, fueron muchas y de gran magnitud (Ruiz y Valverde, 2006b).

La ponencia titulada "La Revisión de Precios en los Contratos de Obras" fue presentada al XX Congreso de Profesores de Mediciones, Presupuestos y Valoraciones, celebrada en Murcia los días 27, 28 y 29 de mayo de 2010. En ella reflexionamos sobre los principios en los que se asienta el derecho de revisión de precios en España para, posteriormente realizar un detallado análisis de la nueva normativa y su aplicación práctica (Amselem, Ruiz y Valverde, 2010).

La comunicación titulada "Optimización Económica de una Unidad de Ejecución" fue presentada en el II Congreso Nacional sobre la Enseñanza de las Matemáticas en Ingeniería de Edificación, celebrado en Valencia, los días 18 y 19 de julio de 2013. En ella se plantea un problema de optimización del beneficio esperado, en el desarrollo de una unidad de ejecución urbanística, a través de la metodología matemática de la programación lineal (López, Ruiz y Valverde, 2013).

Trabajo fin de máster

El análisis del valor acumulado es una técnica de control de proyectos que mide el progreso del proyecto y las desviaciones económicas que se producen durante la realización del mismo. La gestión del valor acumulado, implantada en la empresa constructora y aplicada a las obras de edificación, puede ser mucho más que una simple herramienta para el control económico y de producción. Se trata de un sistema de gestión integrado que alcanza la planificación, la organización, la ejecución de obras y el control.

Las ideas básicas para el funcionamiento del valor acumulado son muy sencillas. Compara la cantidad de obra ejecutada en un momento dado con la estimación realizada antes del comienzo, durante la planificación de la obra. De este modo, se obtiene una medida de cuánto trabajo se ha realizado, cuánto queda para finalizar y extrapolando, a partir del esfuerzo invertido y del tiempo transcurrido se puede estimar la fecha de

finalización de la obra. Todo ello respecto del control temporal y de la producción. Por otro lado, comparando la obra realmente ejecutada a fecha de control valorada a precios planificados y los costes que realmente se han producido, obtendremos medidas de eficiencia sobre los costes e inferencia del coste final de las obras.

La estructura del trabajo fin de máster fue la siguiente: En primer lugar se realizó una breve reseña histórica sobre el valor acumulado a modo de investigación cronológica del estado del arte; posteriormente se definieron los conceptos, la terminología y los cálculos del valor acumulado; seguidamente se realizó un análisis de los fundamentos de la gestión de proyectos de obras de edificación a través del valor acumulado; luego se describen las funciones de la dirección de producción en obras de construcción y se realiza un examen de la gestión de costos en la empresa constructora; por último se propone un modelo para la gestión de proyectos de obras de edificación a través del valor acumulado y se concluye (Ruiz, 2009).

Tesis doctoral

El análisis de la distribución en el tiempo de los costos de construcción a través de datos históricos es un tema inédito en España; sin embargo, en otros países se lleva investigando desde los años setenta del pasado siglo.

El objetivo principal de la tesis es dotar a promotores y constructores de una herramienta fiable para la previsión temprana de los flujos de caja originados en el proceso de materialización del proyecto de construcción. El promotor quiere conocer el importe que deberá abonar al constructor al término de cada etapa o plazo acordado, pues esta previsión condiciona el estudio de viabilidad financiera de la promoción y el beneficio esperado. La previsión de ingresos le permite conocer al constructor los periodos de superávit y de déficit de tesorería, determinando las necesidades de financiación del circulante; también podrá controlar el progreso del proyecto en cuanto a la producción y a los costes a través de la gestión del valor ganado.

Como punto de partida se realiza un acercamiento general a las investigaciones habidas sobre flujos de caja en nuestro país y fuera del mismo. Dicho acercamiento ha resultado muy revelador, existiendo gran cantidad de producción científica en el mundo anglosajón. La visión

general del estado del arte ha servido para definir el marco teórico, la reformulación de los objetivos específicos y el diseño de la investigación.

En el trabajo se analizan los flujos de caja de 161 promociones públicas de VPO ejecutadas dentro del ámbito territorial de Castilla-La Mancha, proporcionadas por empresas públicas y basada en las certificaciones mensuales abonadas por el promotor al constructor. El estudio se centra en dos tipologías muy concretas: edificios de viviendas en bloque y edificios de viviendas unifamiliares adosadas. Se propone un análisis estadístico, desactivando buena parte de los factores que influyen sensiblemente en la producción que proporcionará curvas de previsión fiables.

Como resultado de esta investigación se identifican cuatro curvas estándar desestacionalizadas, utilizando la regresión polinómica de cuarto grado, dos para cada tipología y según el tamaño de la promoción. Se evalúa el grado de ajuste de los flujos de caja de las promociones estudiadas a las curvas estándar propuestas a través del cálculo de la desviación estándar (SDY). Los resultados son muy satisfactorios ofreciendo errores medios de pronóstico bajos.

Se han medido las diferencias de producción ocasionadas por los efectos estacionales, para ello contamos con el importe absoluto de 3.072 certificaciones de obra. Las diferencias de producción media entre los distintos meses del año han resultado muy significativas.

La investigación proporciona dos herramientas para la previsión temprana de los flujos de caja: proporciona curvas de producción estándar atemporales y producciones medias mensuales que computan el efecto de los factores estacionales, de tal manera que se pueden obtener pronósticos de flujos de caja mensuales concretos para fechas concretas de inicio de obra.

Bibliografía

Amselem, R., Ruiz, J.P. y Valverde, N. (2010). Revisión de Precios en los Contratos de Obras. *XX Congreso Nacional de Profesores de Mediciones, Presupuestos y Valoraciones*. Murcia.

López, M.A., Ruiz, J.P. y Valverde, N. (2013). Optimización Económica de una Unidad de Ejecución. *II Congreso Nacional sobre la Enseñanza de las Matemáticas en Ingeniería de Edificación*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Ruiz, J.P. (2004). Introducción a la Contratación y Adjudicación de Obras. *III IPMA-ICEC Seminario Internacional de Expertos*. Bilbao.

Ruiz, J.P. y Valverde, N. (2006a). Presupuesto o Estimación de Costes. *XVI Congreso Nacional de Profesores de Mediciones, Presupuestos y Valoraciones*. Escuela Técnica Superior de Gestión en la Edificación, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

Ruiz, J.P. y Valverde, N. (2006b). La Mano de Obra en la Construcción: Algunos Datos Estadísticos. *IV Convención Técnica y Tecnológica de la Arquitectura Técnica (Contart, 2006)*. Valladolid.

Ruiz, J.P. (2009). El Valor Acumulado en Obras de Edificación. Trabajo final de máster. Escuela Técnica Superior de Gestión en la Edificación, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

Integración de la prevención de riesgos laborales en las pymes del sector de la construcción.

María Segarra*, Ángel Rodríguez** y Jesús Esteban***

Resumen La integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de gestión de la empresa es un factor estratégico para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, siendo muchas las dificultades que surgen en el proceso de integración de la prevención en la estructura de gestión de la empresa, por lo que es determinante conocer las causas que lo impiden, especialmente en aquellos sectores con mayor siniestralidad, y poder introducir así los ajustes necesarios para conseguir sistemas preventivos eficaces. El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo determinar las causas específicas que dificultan la integración de la prevención en el sector de la construcción, que por sus singulares características se posiciona como uno de los sectores con mayor siniestralidad laboral y con importantes carencias desde el punto de vista preventivo.

*Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, María.Segarra@uclm.es

**Departamento de Construcciones Arquitectónicas e Ingeniería de la Construcción y del Terreno. Escuela Politécnica Superior, C/Villadiego s/n, 09001 Burgos, Spain, arsaizmc@ubu.es

***Departamento de Gestión y Tecnología de la Edificación. Universidad Europea de Madrid, Calle Tajo s/n, 28670 Villaviciosa de Odón, Madrid, Spain, Jesus.Esteban@uem.es

Importancia del sector de la construcción en la economía nacional y características de interés

El papel desempeñado por el sector de la construcción ha sido determinante en el crecimiento económico de España a lo largo de más de una década y pese a la regresión producida a partir del 2009 el papel que desempeña el sector sigue siendo de vital importancia, situándose entre los principales sectores productivos del país.

Durante los años de expansión la construcción de edificios y el acabado de los mismos, destacaron sobre el resto actividades del sector, siendo las que más contribuyeron al crecimiento de la producción pero también fueron la más afectada por la recesión, en cinco años el número de empresas se vio reducido en el ámbito nacional en más de un 30%. Otro dato importante y muy significativo de lo sucedido, nos lo aporta la evolución seguida por las empresas en relación al estrato de asalariados, donde destaca la mayor permanencia de las pymes frente a las grandes empresas, llegando a alcanzar en el 2012 las empresas de menos de 10 trabajadores, micropymes, el 95,87% a nivel nacional. Estos datos nos posicionan ante una situación que podemos considerar preocupante si lo que hablamos es de prevención, pues en un sector considerado de riesgo especial más del 95% de las empresas, al no contar con más de 50 trabajadores en plantilla, no tiene obligación de constituir Comités de Seguridad y Salud, es decir, no cuentan con este órgano de consulta y participación de los trabajadores en materia preventiva.

Nos encontramos por tanto ante un sector donde son las pequeñas empresas las que tienen que desarrollar una actividad, cuyas características propias de su organización productiva tales como, la elevada intensidad del factor trabajo, la individualidad de la producción, la inmovilidad y durabilidad, el alto periodo de maduración, la subcontratación y las difíciles condiciones de trabajo les hace mucho más vulnerables a los riesgos, lo que sin lugar a dudas se ve reflejado en los altos índices de siniestralidad

Índices que sitúan al sector de la construcción por encima de la media nacional, con valores que llegan a duplicar a otros sectores tanto en el número relativo de accidentes como en la gravedad de los mismos.

En relación a las causas de accidentes mortales en el sector destacar que todos los estudios realizados sitúan a la gestión de la prevención como el

ámbito donde se encuentran las principales causas que motivan estos accidentes.

Siendo las causas que con más frecuencia se relacionan:

- Procedimientos inexistentes, insuficientes o deficientes para la coordinación de actividades realizadas por varias empresas.
- No identificación del/los riesgos que han materializado el accidente.
- Medidas preventivas propuestas en la planificación derivada de la evaluación de riesgos insuficientes o inadecuados, incluidas las referidas al Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo en Obras de Construcción.
- No ejecución de medidas preventivas propuestas en la planificación derivada de la evaluación de riesgos.
- Formación/información inadecuada, inexistente sobre riesgos o medidas preventivas.

Todos estos datos nos permiten visualizar una realidad, y es que la actividad preventiva y la gestión de la misma se están realizando de forma inadecuada o insuficiente o simplemente no se realiza, lo que nos hace cuestionarnos la efectividad de las exigencias preventivas que giran en torno a las obras de construcción y que dificultan la integración de la prevención.

Determinación de las causas que dificultan la integración

Con objeto de poder determinar el grado de cumplimiento de la integración de la prevención, como paso previo al conocimiento de las causas que dificultan la integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de gestión de la empresa, en la investigación se han usado dos herramientas analíticas, una de orden cuantitativo que se ha llevado a cabo a través de las encuestas realizadas a pymes del sector y otra de índole cualitativo a través de la técnica del Focus Group, en la que han participado expertos profesionales y empresarios de las pymes sector de la construcción.

La encuesta nos ha permitido conocer una realidad específica sobre la materia objeto de estudio y tomando como referencia la información recogida el estudio analiza desde distintos puntos de vista el deber empresarial de incorporar las obligaciones preventivas a su sistema general

de gestión, haciendo especial mención a las establecidas en la normativa general y específica.

En primer lugar, se parte de la información general que las empresas deben facilitar para establecer su marco de actuación en el sector, para después abordar los aspectos más significativos de la organización preventiva, tales como la formación, la vigilancia de la salud y la estadística de accidentes de trabajo.

A continuación se desarrollan todas aquellas circunstancias que de forma específica inciden en la gestión, momento a partir del cual se particulariza en las actuaciones concretas de las contratadas y subcontratadas. En el último apartado se analizan las sanciones, los aspectos en materia preventiva que priorizan las empresas, las consideraciones sobre el marco normativo y propuestas de mejora.

Se trata por tanto de intentar llegar a conocer la situación sobre el grado de cumplimiento de todos los requisitos normativos establecidos en la Ley 31/95, y Reales Decreto de desarrollo, y en especial el Real Decreto 1627/97 de aplicación al sector de la construcción, y conseguir obtener propuestas de mejora que ayuden a realizar dicha labor integradora. Para ello, el método de captación de información elegido ha sido la encuesta, por considerarla como la técnica prospectiva más ajustada a las peculiaridades y necesidades planteadas en la investigación.

Sin embargo, esta información por sí sola no da respuesta al "porqué" de dicha situación, circunstancia que es fundamental para el proceso de investigación, motivo por el cual se ha recurrido también a la técnica del "focus group" como metodología que persigue satisfacer el "porqué" de los hechos estudiados.

Esta técnica nos permitirá conocer la opinión de un grupo de expertos profesionales y de empresarios de pymes del sector sobre los aspectos que inciden en la falta de integración de la prevención intentando identificar los motivos que dificultan dicha integración y en la medida de lo posible realizar propuesta de mejora.

Los grupos creados han sido dos tomando como referencia el marco de actuación que los representa.

Un primer grupo conformado por expertos profesionales en distintas áreas lo que garantiza un análisis desde distintas perspectivas que sin lugar a dudas enriquecen el intercambio y retroalimentan la participación.

Y un segundo grupo de empresarios de pymes de la construcción, con una representatividad significativa de las empresas que actualmente operan en el mismo, aportando su profesionalidad y experiencias en

primera persona, lo que permite conocer una información específica a la vez que colectiva.

Los miembros del primer focus group formaban parte de distintos organismos, entidades y empresas con responsabilidad en la materia, participando en los mismos:

- La Administración General del Estado a través de la ITSS.
- Los empresarios a través de la CEOE CEPYME.
- El propio sector de forma paritaria mediante la patronal y sindicatos a través de la FLC.
- Los servicios de prevención ajenos (SPA).
- Los colegios profesionales que tienen atribuciones en la materia, a través del asesor jurídico del COAATIE.
- Las grandes empresas que subcontratan a las pymes para la realización de actividades especializadas.

El segundo focus group se conformó con distintas pymes en su condición de empresas contratistas o subcontratistas dentro del proceso.

Resultados obtenidos

Los estudios realizados y la investigación llevada a cabo ponen de manifiesto la hipótesis de partida, *“la verdadera dificultad con la que las pymes del sector de la Construcción se encuentran para integrar la prevención de riesgos laborales en el sistema de gestión de la empresa”*, a través de la determinación de las principales causas que la motivan unificadas en cuatro ámbitos:

1. Características específicas del sector de la construcción que dificultan la integración.
 - La gran complejidad del sector, con unos riesgos inherentes a su actividad productiva que le hacen diferente y peligroso, pero que sin embargo permite el acceso a empresarios sin unos mínimos conocimientos que les permita gestionar su actividad con ciertas garantías de cara a la seguridad de sus trabajadores.
 - La participación de una gran cantidad de agentes en el proceso, hace que se diluyan las responsabilidades en materia preventiva y se confundan las actuaciones que cada uno tiene que realizar.

- Promotores desconocedores que pueden contratar sin límite, lo que dificulta la coordinación y la aplicación de los procedimientos preventivos.
 - Permanente evolución y los constantes cambios en el centro de trabajo que dificultan la aplicación práctica de los documentos preventivos.
2. Marco normativo que opera en el sector de la construcción.
- La normativa que regula el sector de la construcción es muy extensa y de difícil comprensión, lo que unido al desconocimiento por la falta de formación dificulta su interpretación y aplicación.
 - La normativa se está cumpliendo por miedo a la sanción, no porque se esté convencido de su efectividad, sólo se gestiona aquello que se relaciona con requerimientos de la inspección.
 - La Administración centra sus esfuerzos en intentar garantizar las condiciones técnico-materiales y tener toda la documentación en regla, sin incidir en cómo conseguirlo mediante una gestión adecuada.
 - Los empresarios que trasladan la responsabilidad sobre los incumplimientos a los trabajadores no aplican procedimientos sancionadores sobre los mismos, por los perjuicios que esto les pueda suponer.
3. Modalidades de organización de la actividad preventiva como binomio servicio de prevención-empresa.
- Falta de participación activa de los servicios de prevención ajenos en la aplicación e implantación de los PPRL durante la ejecución de la obra.
 - Documentos preventivos meramente formales, que adolecen de una falta de eficacia "ad origen" y sin la validez preventiva necesaria que requiere el sector, resultando su actuación ineficaz.
4. Consulta y participación.
- El modelo de representación no es aplicable a los centros de trabajo temporales, con condiciones de trabajo en constante cambio, lo que impide la participación real del trabajador.
 - Sin la necesaria consulta y participación se pierde toda posibilidad de que los trabajadores comprendan los motivos por los que se

adoptan las medidas, ayuden a encontrar soluciones prácticas y asuman los resultados finales.

Llegados a este punto, todas y cada una de estas conclusiones nos hacen ver la necesidad de realizar propuestas de mejoras pero también nos trasladan la necesidad de que dichas propuestas tengan presente que *"No podemos seguir centrándonos en hacer recomendaciones preventivas de lo que documentalmente se tiene que tener para cumplir la norma, sino de lo que tenemos que gestionar para conseguir integrar la prevención y con ello garantizar la seguridad de los trabajadores"*.

En base a este principio y a todo lo ya expuesto se realizan las siguientes propuestas de mejora:

1. Los SPA tienen que pasar a ocupar un papel primordial en la gestión de la prevención de las pymes, son contratados como expertos y como tales deben realizar su trabajo, mediante actuaciones específicas a las características propias de las empresas que les contraten.
2. Los SPA deben convertirse en uno de los protagonistas del proceso de ejecución de la obra, desde su inicio hasta su finalización, asesorando al empresario y participando de forma activa en todas las actividades preventivas.
3. El empresario debe conocer el proceso a seguir y la forma de actuar en cada momento, lo que requiere tener una formación específica en materia de prevención centrada en las características propias de la empresa que gestiona, lo cual debe realizarse a través de un estudio previo de las necesidades preventivas de la empresa por parte de los SPA.
4. Las empresas deben contar con trabajadores formados capaces de gestionar las actividades preventivas, y el empresario tendrá que designar a quienes, por sus conocimientos en materia preventiva y constructiva, puedan asumir la responsabilidad de integrar la prevención en su ámbito competencial, dotándoles de los medios y del tiempo necesario para su ejercicio.
5. El resto de técnicos responsables del proceso de ejecución deberán disponer tanto de conocimientos constructivos como preventivos para hacer efectiva la seguridad en la fase de proyecto y de ejecución, por lo que se hace necesario exigir a todos ellos una formación reglada específica en materia de seguridad y salud en obras de construcción.

6. Participación de la Administración, centrando el asesoramiento y los requerimientos en la gestión de la actividad preventiva, mediante una actuación real y efectiva sobre las empresas incumplidoras.

Facilitar el proceso mediante el establecimiento de pautas concretas y de aplicación directa, que lejos de ser una carga burocrática innecesaria constituyan una ayuda eficaz a las empresas. Con objeto de hacer efectiva esta última propuesta en la investigación se ha incluido un recurso que busca ser de utilidad, se trata de un guía de actuaciones denominada "DOCUMENTO DE GESTIÓN PREVENTIVA DE LA EMPRESA" que incluye todas y cada una de las actuaciones que las empresas tienen que llevar a cabo para garantizar la integración.

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

La recuperación de la tierra como material de construcción: tradición e innovación.

Francisco Javier Castilla*

Resumen La tierra como material de construcción está presente en la arquitectura tradicional y monumental de gran parte de la Península Ibérica y en especial en Castilla-La Mancha. Además de ser un recurso disponible casi en todas partes, su utilización en distintos elementos constructivos ofrece muchas ventajas desde el punto de vista medioambiental. Sin embargo, las técnicas de construcción con tierra tradicional, como el adobe o el tapial, más próxima a los oficios artesanales, han desaparecido en la actualidad, lo que dificulta su utilización de forma habitual. Por ello, durante todos estos años, una de mis principales líneas de trabajo como investigador ha sido la participación en distintos proyectos e iniciativas con esta doble finalidad. Por un lado la recuperación de las técnicas tradicionales mencionadas y su oficio, así como la del Patrimonio arquitectónico construido con dichas técnicas, y por otro la caracterización y asesoramiento para el desarrollo de nuevas formas de utilización de la tierra como material de construcción, como bloques de tierra comprimida, tierra apisonada in situ o revocos de barro. En este artículo se presentan los principales trabajos en los que he participado y que demuestran el potencial de esta alternativa a la construcción convencional y la necesidad de seguir apoyando desde la universidad cualquier iniciativa en esta línea de trabajo.

*Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, FcoJavier.Castilla@uclm.es

Introducción

La construcción con tierra se asocia en la mayoría de los casos a edificios en ruina o a edificaciones de poca calidad, y su abandono con la introducción de materiales más duraderos y asequibles ha relegado al olvido a sus técnicas de construcción y sus oficios. No obstante, el incesante interés por la construcción con adobe, tapia o los enlucidos de barro de algunos particulares, entusiastas de la autoconstrucción o de los materiales sanos y de bajo impacto ambiental, así como la creación de foros académicos y profesionales especializados en la materia, ha permitido resurgir con cierta esperanza algunas de estas técnicas.

Queda aún mucho camino para poder incorporar con naturalidad este material al elenco de soluciones constructivas contemporáneas y conseguir adecuarlo a las exigencias normativas actuales

Estudio y recuperación de la tapia de tierra como sistema constructivo y del patrimonio construido con tapia.

Son varios los estudios centrados tanto en la construcción tradicional en la arquitectura popular y en la arquitectura monumental, que se han realizado durante estos años. Hoy en día las "paredes de tierra" siguen siendo características de buena parte del paisaje rural y urbano en varias regiones españolas, entre ellas Castilla-La Mancha, y en particular en la provincia de Albacete, donde en algunas zonas, hasta mediados del siglo XX la mayor parte de las obras se ejecutaban con esta técnica. Por lo que se ha podido documentar las últimas se realizaron entre 40 y 50 años atrás, aunque se hayan encontrado casos muy singulares y aislados más recientes.

La tapia consiste en la compactación de la tierra u otro material dentro de un molde (el tapial¹⁰) mediante impactos sucesivos con un "pisón". La tierra se extiende en el fondo del molde en capas sucesivas de espesor

¹⁰ La palabra "tapial" se refiere al encofrado utilizado en este tipo de construcción y por extensión a la técnica constructiva, e incluso coloquialmente al elemento constructivo resultante o "tapia", confundiéndose ambos. ("pisé" en francés, "rammed earth" en inglés o "taipa" en portugués).

más o menos homogéneo y se apisona. Esta operación se repite hasta que se llena la altura del molde. Una vez lleno, se puede desmontar y reutilizar inmediatamente (Figura 1).



Figura 1. Construcción con muros de tapia de tierra en Montalvos (Albacete).

Desgraciadamente cada vez son menos los ejemplos de edificaciones que nos permiten contemplar y disfrutar de las bondades de estos sistemas constructivos tradicionales. Cuando se recorren los pueblos de la región se observa cómo queda un porcentaje cada vez más reducido de arquitectura tradicional enteramente conservada y que, gran parte de ella se encuentra abocada a un inminente proceso de ruina.

Por ello, una de los principales factores para la adecuada conservación del patrimonio arquitectónico, es la recuperación de la tradición y el "saber hacer" de estos procedimientos de carácter casi "artesanal", y para ello se realizó en 2003¹¹, un estudio para recuperación de la técnica del tapial en la construcción tradicional en la provincia de Albacete, (Castilla, 2005, 2006) llevando a cabo, entre otros trabajos, una extensa recopilación de testimonios orales. La mayoría de las personas entrevistadas son albañiles (o lo fueron en algún momento) y personas que sin dedicarse expresamente a ello han participado en la construcción de su propia vivienda. La mayoría tan sólo han trabajado como peones en su juventud y han tenido un breve contacto con el tapial. La forma de localizarlos casi siempre ha sido a través de instituciones o terceras personas de la propia localidad que nos han orientado hacia los posibles informadores del lugar. Mención especial merece la labor de documentación de la herramienta de

¹¹ Trabajo subvencionado por el Programa de Ayudas para la Investigación y Difusión del Patrimonio Etnológico de Castilla-La Mancha (año 2003) de la Consejería de Cultura.

trabajo tradicional que algunas de estas personas conservan, que ha sido fundamental para matizar muchas de sus explicaciones y que ha permitido realizar una descripción pormenorizada del tapial utilizado tradicionalmente antes de su desaparición, siendo esta una de las principales aportaciones del trabajo (figura 2a), lo que demuestra la importancia de la transmisión oral de esta técnica, difícil en muchos casos de ilustrar en textos y manuales. Como complemento, el estudio del patrimonio construido permitió ilustrar con ejemplos representativos las principales variantes de las técnicas y los tipos arquitectónicos habituales en los que se ha utilizado (Figura 2b).

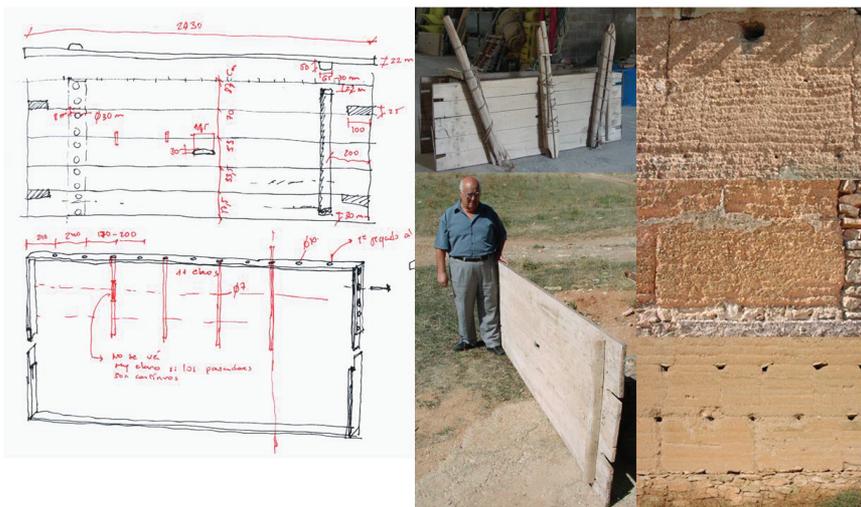


Figura 2. Croquis de las medidas de uno de los tapiales localizados, imagen de dicho tapial con sus elementos auxiliares e imágenes de muros de tapia en distintas localidades.

Con los conocimientos acumulados en la primera fase se levantó una pequeña construcción, con fines demostrativos, que permitiese poner en práctica el saber tradicional, valorar técnica y económicamente los aspectos directamente relacionados con el proceso de ejecución y que sirviese como base para la elaboración de material audiovisual divulgativo¹² (Figura 3).

¹² Se puede visualizar en: <https://www.youtube.com/watch?v=tVAsrsTbrnU> (el video consta de cuatro partes #1,#2,#3,#4).



Figura 3. Construcción de tapial y muro de tapia en la Escuela Taller de Almansa (Albacete). Octubre 2003.

Un segundo trabajo, más reciente fruto de la participación en el proyecto nacional RESTAPIA¹³ se dedicó al estudio de la arquitectura monumental construida con tapia de tierra y su restauración y rehabilitación.

Como resultado de este proyecto nacional se han documentado un buen número de actuaciones realizadas en los últimos treinta años en la península y generado una publicación en la que se ha participado en la redacción del capítulo correspondiente a Castilla-La Mancha (Castilla, 2014). Los resultados de este trabajo se pueden consultar en www.restapia.es, donde se puede consultar una amplia base de datos con ejemplos documentados.

Nuevas aplicaciones de la tierra como material de construcción:

Se trata de elementos para construcción compuestos de tierra en estado natural cribada y aditivados en algunos casos (con paja, cemento o cal principalmente, en porcentajes aproximado entre el 5-10%), que pueden estar prensados o extruidos mecánicamente, compactados, o conformando mezclas preparadas para su utilización in situ. Con objeto de poner en práctica la utilización de estos elementos constructivos, durante estos años se ha participado en el asesoramiento en varios proyectos singulares, que se mencionan a continuación:

¹³ “La restauración de la arquitectura de tapia: Criterios, técnicas, resultados y perspectivas” (Ref.: BIA 2010-18921). (Dirigido por Camila Mileto, Universidad Politécnica de Valencia).

Caracterización de los revocos de barro par el pabellón de iniciativas ciudadanas de la exposición internacional de Zaragoza 2008¹⁴

El pabellón de iniciativas ciudadanas fue un edificio destinado a albergar las ONGs representadas en dicha exposición internacional y su concepción se basaba en el empleo de materiales con muy bajo consumo energético en su fabricación, como la paja, la madera, el bambú y el barro. El edificio debía ser desmontable y reciclable en el propio entorno natural. Su construcción supuso la realización de la cúpula más grande de la historia fabricada con materiales de este tipo (Figura 4a).

El barro se emplea para proteger los muros de bala de paja de la humedad y el fuego, proporcionando mayor inercia térmica al cerramiento. Esto se realizaría sobre las balas de paja revestidas con malla de alambre de gallinero mediante gunitado (proyectado), una técnica que permite revestir los muros de forma rápida y que se usa normalmente para revestir de cemento taludes o paredes. Tras los primeros ensayos realizados el recubrimiento se realizaría en dos capas de barro con paja y arcilla, gunitado en seco, con un tratamiento final de fratasado y Silicato Potásico. La primera capa de 2-3 cm de espesor, está compuesta por 50% de paja triturada de 3cm, 50% de barro (mezcla de 2 partes de arena con tamaño máximo de 4mm y 1 parte de arcilla) y la segunda capa, de 1-2 cm de espesor, por 25% de paja del mismo tipo y 75% de barro (con la misma mezcla pero tamaño máximo de 2mm) (Castilla, 2008).



Figura 4. Imágenes del pabellón de iniciativas ciudadanas durante la expo 2008 y en proceso de construcción.

¹⁴ Proyecto desarrollado por el arquitecto Ricardo Higuera y un amplio equipo de colaboradores.

Durante la obra se redefinió la estructura y la secuencia de montaje, de modo que el cerramiento se ejecutó con bastidores de tablero contralaminado de madera, bambú y paja prefabricados y gunitados en taller y montados sobre una estructura de madera laminada encolada, a excepción de las partes de geometría más compleja que se ejecutaron in situ (Figuras 4b y 4c).

Asesoramiento para la fabricación de varios muros de bloques de tierra comprimida y muro de tierra compactada en el aula de educación medioambiental en Pozuelo de Alarcón, Madrid (2008-2010)¹⁵

El proyecto considera como la mejor opción el soterramiento parcial del edificio por su cara norte, surgiendo así un considerable volumen de excavación y por tanto la necesidad de mover grandes volúmenes de tierra. La utilización del material de excavación en la propia obra, reduce muy considerablemente los costes ambientales derivados del hecho de construir. La tierra no se traslada, por lo que ni consume energía ni contamina en su transporte, y tampoco contribuye a colmatar los vertederos.

Los muros planteados en este proyecto realizan una doble función: de contención de tierras y de cerramiento (contra el terreno en la parte inferior y de separación con el exterior en la parte superior) (Figura 5). La estructura de soportes de madera, sobre los que descansan las vigas de cubierta se ejecuta con anterioridad y queda embutida en dichos muros, que no tienen función portante (Baño et al., 2011a, 2011b, 2013).

¹⁵ Proyecto a cargo de Antonio Baño Nieva y Alberto Vigil Escalera.

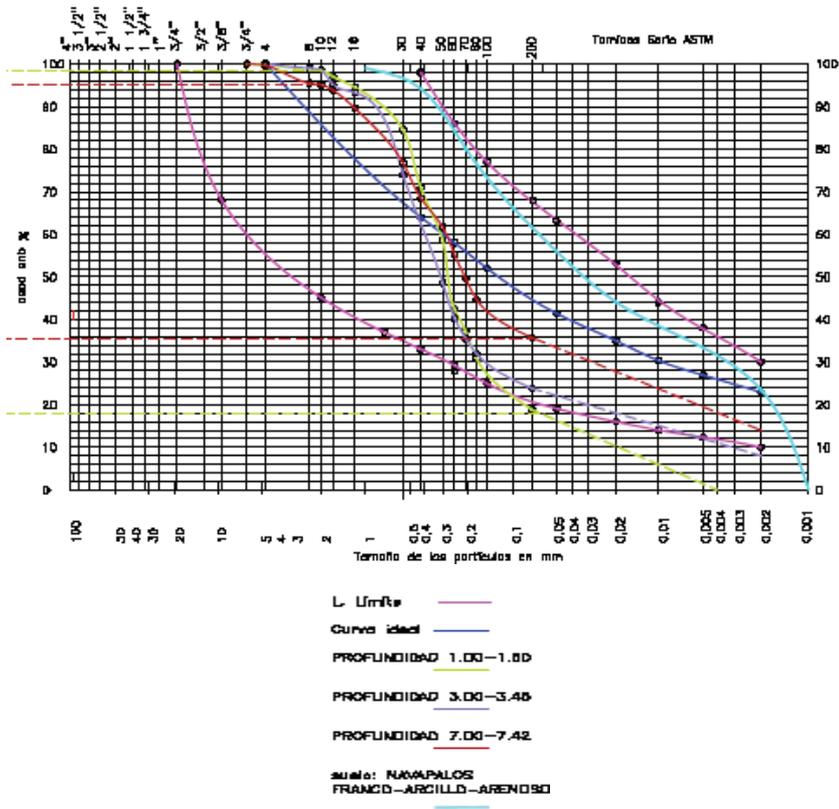


Figura 5. Imagen exterior de los distintos módulos que componen el edificio y muro de la biblioteca con tapia de tierra.

LOS MATERIALES:

La tierra es la base para la construcción de este tipo de muros y puede ser utilizada in situ o elaborada a partir de la mezcla de material de distinta procedencia. En este caso la utilización del material extraído de la propia excavación era un de las premisas para conseguir un alto grado de compromiso con la eficiencia en la gestión de los residuos, evitando costes energéticos de transporte. No obstante, la idoneidad del material debe contrastarse mediante ensayos que permitan evaluar sus características y la necesidad o no de combinarlo con otros materiales (Tabla 1).

Tabla 1. Curvas granulométricas de la tierra procedente de la excavación



La necesidad de cumplir con los requisitos derivados de las diferentes exigencias pueden conllevar a la estabilización de la tierra con productos de distinta naturaleza, cuyas proporciones, si bien no se encuentran limitadas normativamente, deben responder a unos criterios de economía y funcionalidad tendentes a minimizar su uso.

Par ello se realizaron pruebas de distinta índole in situ y en laboratorio, obteniéndose finalmente la siguiente composición de la mezcla: por cada m³ de tierra se añaden 15 kg de cemento y 15 kg de cal (lo que supone un 8% del peso)

LOS ENCOFRADOS:

Si tradicionalmente el muro de tierra compactada, estaba conformado por un molde (tapial) simple que se va desplazando para construir cada "cajón" de tapia, la tecnología actual, permite encofrar secciones

completas de muro en toda su altura o longitud (Figura 6a). Las operaciones de montaje y desmontaje del tapial son las que más tiempo llevaban en el proceso constructivo (en comparación con el proceso de preparación del material) por lo que, la eficiencia de este proceso es la clave para poder construir con calidad y competitividad.

Los muros del proyecto (de unos 2,60 m de altura) se conforman en dos secciones de distinto espesor, de 80 cm hasta la cota 1,30 y de 60 cm hasta la cota 2,60, por lo que se plantea la construcción de cada tramo de muro con encofrado continuo en toda su longitud hasta completar la primera sección en altura, procediéndose posteriormente al montaje del encofrado de la sección superior una vez rellena la inferior

PREPARACIÓN DE LA TIERRA Y COMPACTACIÓN:

Resulta difícil comprobar el grado de humedad ideal del material para su puesta en obra, por lo que la experiencia juega un papel importante en esta fase. Por lo general debe procurarse mantenerse el grado de humedad de la tierra en estado natural, por lo que conviene protegerla cuando está almacenada, frente al soleamiento excesivo o las lluvias, debiendo comprobarse el mismo (mediante ensayos de campo al menos) en el momento previo a su utilización, pudiendo añadirse una pequeña cantidad de agua (si fuera necesario) preferentemente pulverizada.

La tierra así preparada se mezcla con la cal y el cemento en los momentos previos a su utilización mediante una pequeña pala cargadora, hasta conseguir suficiente homogeneidad en la mezcla (Figura 6b). Es por ello que esta operación debe ser controlada siempre por el mismo operario. La mezcla se transporta al muro mediante grúa con cubeta, de modo que el proceso de suministro del material se realice de modo continuo, para permitir la compactación ininterrumpida de cada tongada del muro (Figura 6c). Finalmente, la compactación se realiza mediante un pisón neumático de aire comprimido, modelo y marca (Figura 6d).



Figura 6. Distintas fases de la ejecución de los muros de tapia (Izq. a drcha. a,b,c,d).

Diseño de paramentos interiores de paneles de barro prefabricado con material de cambio de fase para el proyecto "Symbcity" (solardecathlon 2014)

Se trata de un prototipo de vivienda de alta eficiencia energética, por lo que se pretendía estudiar soluciones constructivas que redujesen el consumo energético tanto de climatización como de la propia construcción, por lo que de nuevo el uso de la tierra en los revestimientos interiores de la vivienda resulta una estrategia muy adecuada. Teniendo en cuenta que la vivienda debe ser además fácilmente montable y desmontable, se proponen unos paneles de tablero de madera con un marco perimetral y una trama interior formando unos cajones que se rellenan de dos capas; una de caña (4 mm) grapada al panel para aportar adherencia a la posterior capa de barro (20 mm) que quedará enrasada con la trama interior. El factor principal que se tiene en cuenta para el dimensionado de los paneles, además del mencionado anteriormente, es que su peso no supere el máximo admisible que puede manejar una persona, 35 kg.

El almacenamiento energético en sistemas reversibles nos permite generar y consumir energía de manera "diferida". Si hablamos de energía térmica, esto quiere decir que la capacidad de almacenar energía en forma de calor para aprovecharla cuando se necesite supone una gran ventaja. Los materiales más adecuados para cumplir con esta función son los denominados "materiales de cambio de fase"¹⁶, denominados así por realizar el cambio de sólido a líquido a temperaturas próximas a las de ambiente (23-25°C), permitiendo así el aprovechamiento del calor latente como mecanismo de regulación del intercambio térmico¹⁷.

De la incorporación de materiales de cambio de fase se espera que produzcan una reducción en el gasto de energía, que en algunos casos puede llegar al 20%. Dado que tienden a estabilizar los picos de temperatura, producirán una reducción de las demandas para las instalaciones de climatización. Es cierto que para que esto ocurra necesitarán un mayor aporte energético, aporte que se puede satisfacer aprovechando las ganancias por radiación exterior.

¹⁶ La abreviatura que se utiliza para estos materiales, PCM, proviene de sus siglas en inglés. Phase Change Materials).

¹⁷ Proyecto Fin de Grado, "Estudio, propuesta y aplicación de estrategias pasivas para el proyecto symbcity" (Ángel Sanchez Inocencio).

Para la comprobación del comportamiento térmico del material, se realizan simulaciones comparativas entre el comportamiento de la vivienda con y sin estrategias pasivas (Figura 7). Estas simulaciones se realizan mediante el programa Design Builder (EnergyPlus) llevadas a cabo por los integrantes del equipo de simulación de Plateau Team.

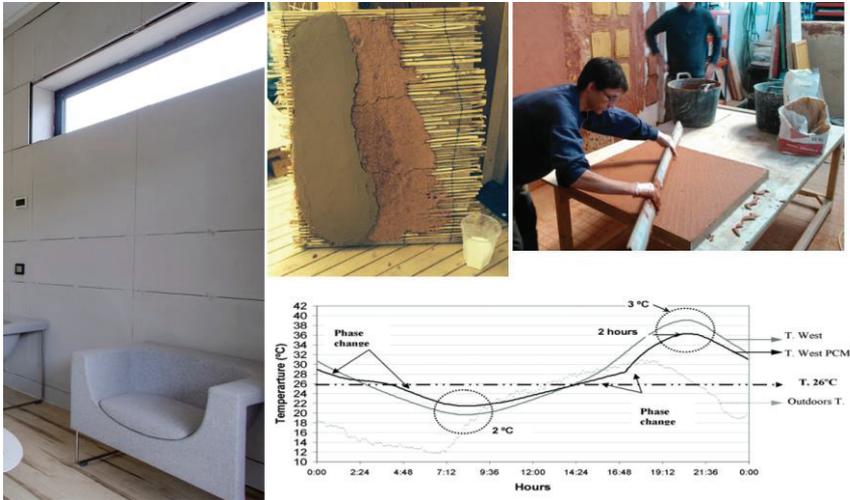


Figura 7. Imágenes de la fabricación de los paneles y su colocación en el interior del edificio terminado. Gráfica que muestra el amortiguamiento de la onda térmica producido en el interior de la vivienda.

Además se realizaron ensayos en una caja térmica. Dándose diferentes condiciones previas de los distintos materiales, se llega en la mayoría de los ensayos a las mismas conclusiones. El barro con un 20% de PCMs consigue atenuar la temperatura de la cámara en 2°C, teniendo una relación de superficie menor al 12%. Con lo cual, con una relación de superficie semejante en el prototipo y una concentración similar de PCMs en el barro, podemos esperar desfases de temperatura ambiente de 2°C.

Los paneles finales tienen unas dimensiones de 800x800 mm, para su montaje, primero se fabrica el bastidor con panel de madera y un marco perimetral que albergará el revoco en su interior. Posteriormente se coloca la capa de caña grapada al panel y finalmente se revocan los paneles y se dejan secar durante una semana y se pintan con pintura de base arcillosa de color blanco.

Conclusiones

La caracterización y documentación de los sistemas constructivos tradicionales, además del interés etnográfico e histórico expuesto, puede servir para recuperar la utilización de la tierra en distintos elementos constructivos, que combinada con nuevos materiales y la tecnología disponible en la actualidad ofrece como principales ventajas:

Su bajo coste energético de fabricación comparado con los elementos cerámicos sometidos a cocción.

Puede ser sometida a reciclaje total o parcial en función del grado de "estabilización" (aditivos)

Poseen buenas características como elementos de acumulación térmica para ser utilizados en proyectos con sistemas de aprovechamiento solar pasivo.

La tecnología puede amoldarse con facilidad según las necesidades de producción industrializada o individualizada en casos de autoconstrucción.

La incorporación de conocimientos y técnicas nuevas intentando conciliarlas con la experiencia de la construcción tradicional permite obtener muros con las prestaciones necesarias para responder a las exigencias requeridas en los edificios de hoy en día. Estas técnicas son aplicables en la construcción de cerramientos o muros de carga en edificios de una o dos plantas, aunque los elementos más adecuados para su incorporación serían tabiquerías y hojas interiores de muros (con gran capacidad de almacenamiento de calor) o muros portantes con o sin trasdosado, así como revestimiento de los mismos.

En la actualidad se sigue trabajando en esta línea en las enseñanzas de grado de la Escuela Politécnica, incorporado dichas investigaciones a trabajos de fin de grado en los que se estudia el comportamiento de la tierra mezclado con otros materiales como corcho o cáscara de almendra.

Bibliografía

Castilla, F. J; Nuñez, P. (2005) *Recuperación de la técnica del tapial en la construcción tradicional de la provincia de Albacete*. Actas 4º Congreso Nacional de Historia de la Construcción. (Cádiz. 27-29 de enero de 2005). Sociedad española de Historia de la construcción, Instituto Juan de Herrera y Colegio Oficial de arquitectos de Cádiz. Vol I. Pags 259-276. I.S.B.N. 84-9728-147-0. Cadiz. España.

Castilla, F. J. (2006). *La técnica del tapial en la construcción tradicional de la provincia de Albacete* (monografía, revista zahora nº45). I.S.S.N.:1132-7030.. Pags. 112. Diputación provincial de Albacete.

Castilla, F. J. (2008) *Earth and straw bale construction for "El faro" pavilion at Expo 2008 in Zaragoza*. LEHM 2008.(Koblenz. 9-11 de oct de 2008). Organizado por Dachverband Lehm e.V. Lehm 2008. 5th International Conference on Building with Earth. Dachverband Lehm e.V.Pags 125-131. I.S.B.N. 978-3-00-025956-2. Koblenz. Alemania.

Vigil-Escalera, A; Castilla, F. J; Baño, A. (2011a). *Construir con tierra hoy. El aula de educación ambiental de Pozuelo de Alarcón*. Hispania Nostra I.S.S.N.:1578-4908. nº3. Pags. 50-53. Asociación Hispania Nostra. Madrid. España.

Baño, A.; Castilla, F. J; Vigil-escalera, A. (2011b) *Construcción con tierra en el aula de educación ambiental de Pozuelo de Alarcón*. Actas VIII Congreso Internacional De Arquitectura De Tierra (Tradición e Innovación) (23, 24 y 25 de septiembre de 2011). Organizado por el GrupoTierra de la Universidad de Valladolid. Cátedra Juan de Villanueva. E.T.S. de arquitectura de Valladolid. Pags 241-254. I.S.B.N. 978-84-694-8107-3. CUENCA DE CAMPOS. España.

Baño, A; Vigil-Escalera, A; Castilla, F. J. (2013). *CREAS. Construcción Sostenible. Aula de Educación Ambiental*. Cap 5-La construcción. 6-Los materiales. 7-La tierra. I.S.B.N.:978-84-441-0303-7. Pags. 51-86. Everest. Leon. España.

Castilla, F. J. (2014). *La Restauración De La Tapia En La Península Ibérica. Castilla-La Mancha. La Restauración De La Tapia En La Península Ibérica*. I.S.B.N.:978-84-942233-3-4. Pags. 98-103. Tc Cuadernos. General De Ediciones De Arquitectura S.L. / Argumentum Edições. Valencia /Lisboa. España / Portugal.

Diseño y caracterización de absorbedores acústicos, a la carta, en geometrías realizadas en materiales de construcción.

Pedro Huertas Gallardo*

Resumen Uno de los problemas de la sociedad moderna es el ruido. Existen varios métodos de actuación para reducir su efecto nocivo. El primero de ellos, intentar reducir su generación, el segundo, aislarnos del mismo, y por último, intentar atraparlo o absorberlo. De una primera ojeada a los materiales que se utilizan en la construcción, vemos que se comportan como espejos casi perfectos para el sonido. Esto quiere decir, que el sonido rebota en las paredes y suelo, produciendo amplificaciones del ruido, debido a las múltiples reflexiones que se producen. Por otro lado, la mayoría de los materiales absorbedores del sonido producen gases tóxicos, que en caso de incendio, podrían ser especialmente peligrosos en túneles o naves industriales. El objetivo de esta línea de investigación, ha sido transformar los materiales, que se utilizan en la construcción, para conseguir que se comporten como absorbedores activos para el ruido. La construcción de estructuras geométricas, nos permite el diseño de trampas acústicas a la carta, que reducen el ruido de forma activa en las frecuencias deseadas. A continuación, se presenta un resumen del trabajo que hemos realizado hasta el momento actual.

*Departamento de Física Aplicada. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, Pedro.Huertas@uclm.es

Introducción

La Escuela Politécnica de Cuenca, EPC, nace en 1994 como Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica en un campus en el que no existía ninguna carrera de ciencias o ingeniería. Unos años después, año 1998, se amplía la oferta con la titulación de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, especialidad sonido e imagen. Desde el departamento de física aplicada, hemos intentado contribuir, con la modestia de nuestra representación, a poner en marcha los laboratorios de investigación científica, LACAE y LAMARE, que vieron la luz durante los años 2003-2004, además de la docencia en ambas titulaciones. Por criterios posibilistas, reorientamos la experiencia investigadora en microelectrónica y materiales semiconductores, a la línea que se describe en este trabajo, al valorar que podría encuadrar mejor en las dos enseñanzas puestas en marcha y, por otro lado, que ayudaran a fijar equipos de investigación en el propio campus de Cuenca, y particularmente, en la EPC.

El primer trabajo, con carácter oficial, en el que participamos fue el estudio de hormigones para radioterapia (Huertas y Quintana, 2005). La ejecución de este proyecto puso de manifiesto dos resultados importantes. En primer lugar, constatamos las limitaciones de la eficacia del tubo de impedancias en la medida de la absorción acústica del hormigón. También, pudimos comprobar que este comportamiento era extensible al resto de materiales de construcción: yeso, madera, etc., con absorción acústica casi nula, como se muestra en la figura 1, en el que se comparan los espectros de absorción de algunos de estos materiales con un material absorbente tradicional.

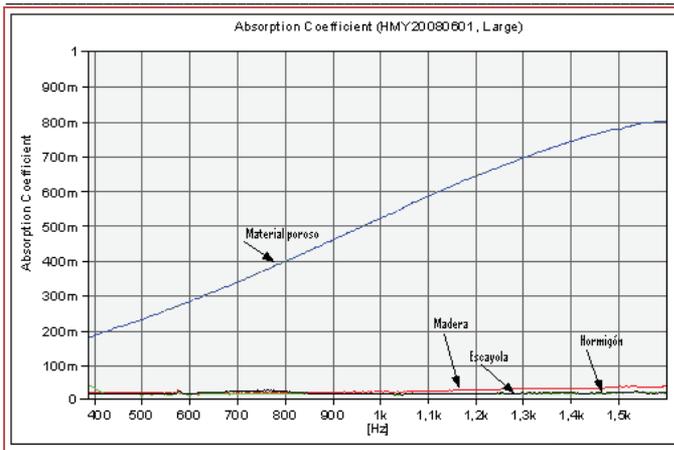


Figura 1. Absorción acústica de diferentes materiales en volumen.

En segundo lugar, no fue sencillo obtener una buena medida representativa en estos materiales. La preparación de las muestras debe ser cuidadosa para evitar las posibles fugas acústicas, debido al comportamiento del sonido, similar al agua, filtrándose por las posibles grietas o porosidades. Este hecho, al contrario de ser un problema, es lo que motivó a indagar en esta línea de investigación. Si el sonido tiende a introducirse en las grietas y cavidades, ¿por qué no construir cavidades para seleccionar el sonido que queremos atrapar? En paralelo al trabajo experimental hemos desarrollado un modelo teórico de simulación, utilizando el método matricial, que nos ha permitido comprender las medidas experimentales, de las cuales, a continuación resumimos.

Modelo teórico. Método matricial

La propagación acústica a lo largo de conductos se puede aproximar mediante ondas planas, cuando la sección de los tubos es suficientemente pequeña (Huertas y otros, 2007). Cada sección del tubo supondremos que es un medio distinto, con una impedancia acústica inversamente proporcional a la sección del mismo. En general, podemos suponer una configuración como la mostrada en la figura 2, compuesta por n secciones diferenciadas.

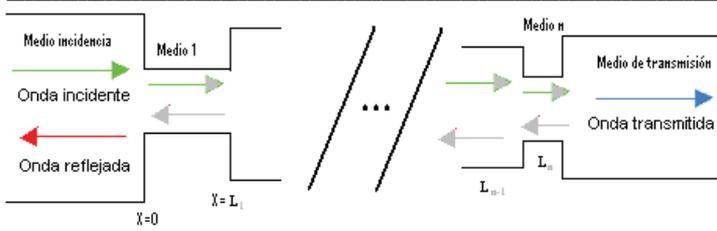


Figura 2. Esquema de la propagación acústica en las distintas secciones.

En cada sección del tubo tendremos una onda plana que viaja hacia la derecha y otra que viaja hacia la izquierda. En el medio de incidencia, o medio 0, la onda acústica está compuesta por la onda incidente y la onda reflejada, cuya presión acústica podemos escribir como se indica en la ecuación (1), donde hemos supuesto propagación en la dirección x , ω es la frecuencia angular de la onda, k_0 es el número de onda en este medio y P_i y P_r son la amplitud de la onda incidente y reflejada respectivamente:

$$p_0 = P_i e^{i(\omega t - k_0 x)} + P_r e^{i(\omega t + k_0 x)} \quad (1)$$

Para cualquier tramo intermedio, denominado j , la onda acústica se puede expresar como se indicaba en la ecuación (2), donde $k_j = \omega/c_j$ representa el número de ondas en este medio, y P_j y P_{-j} las amplitudes de la onda que viajan a la derecha e izquierda respectivamente:

$$p_j = P_j e^{i(\omega t - k_j x)} + P_{-j} e^{i(\omega t + k_j x)} \quad (2)$$

Por otro lado, en el último medio, la onda transmitida sólo tiene una componente de la forma indicada en la ecuación (3), que representa la onda transmitida después de atravesar toda la estructura.

$$p_t = P_t e^{i(\omega t - k_t x)} \quad (3)$$

En todas las intercaras imponemos las siguientes condiciones de frontera:

- i) La presión acústica a ambos lados de la intercara debe ser la misma.
- ii) El caudal de fluido, $Q = S.u$ debe ser el mismo. Donde S es la sección del tubo y u es la velocidad del fluido en este tramo.

En la primera intercara, $x = 0$, obtenemos la relación matricial (4), donde $Z_1 = \rho_0.c_1/S_1$ es la impedancia acústica del tramo con sección S_1

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{Z_0} & -\frac{1}{Z_0} \\ \frac{1}{Z_0} & -\frac{1}{Z_0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_i \\ P_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{Z_1} & -\frac{1}{Z_1} \\ \frac{1}{Z_1} & -\frac{1}{Z_1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_1 \\ P_{-1} \end{pmatrix} \quad (4)$$

En cualquier intercara intermedia, j , en la posición $x_j = L_1 + L_2 + \dots + L_j$, obtenemos la relación (5)

$$\begin{pmatrix} \frac{e^{-ik_j x_j}}{Z_j} & -\frac{e^{ik_j x_j}}{Z_j} \\ \frac{e^{-ik_j x_j}}{Z_j} & -\frac{e^{ik_j x_j}}{Z_j} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_j \\ P_{-j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{e^{-ik_{j+1} x_j}}{Z_{j+1}} & -\frac{e^{ik_{j+1} x_j}}{Z_{j+1}} \\ \frac{e^{-ik_{j+1} x_j}}{Z_{j+1}} & -\frac{e^{ik_{j+1} x_j}}{Z_{j+1}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{j+1} \\ P_{-(j+1)} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Mientras que en la última intercara, en la posición $x_n = L_1 + L_2 + \dots + L_i + \dots + L_n$ nos queda la ecuación (6)

$$\begin{pmatrix} \frac{e^{-ik_n x_n}}{Z_n} & -\frac{e^{ik_n x_n}}{Z_n} \\ \frac{e^{-ik_n x_n}}{Z_n} & -\frac{e^{ik_n x_n}}{Z_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_n \\ P_{-n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{e^{-ik_t x_n}}{Z_t} \\ \frac{e^{-ik_t x_n}}{Z_t} \end{pmatrix} P_t \quad (6)$$

Si agrupamos las ecuaciones (4), (5) y (6) para eliminar las amplitudes de las ondas correspondientes a los tramos intermedios, podemos obtener una relación matricial entre las magnitudes del medio de incidencia y de transmisión, ecuación (7):

$$\begin{pmatrix} P_i \\ P_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{Z_0} & -\frac{1}{Z_0} \\ \frac{1}{Z_0} & -\frac{1}{Z_0} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \frac{1}{Z_1} & -\frac{1}{Z_1} \\ \frac{1}{Z_1} & -\frac{1}{Z_1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{e^{-ik_1 x_1}}{Z_1} & -\frac{e^{ik_1 x_1}}{Z_1} \\ \frac{e^{-ik_1 x_1}}{Z_1} & -\frac{e^{ik_1 x_1}}{Z_1} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \\ \cdot \begin{pmatrix} \frac{e^{-ik_2 x_1}}{Z_2} & -\frac{e^{ik_2 x_1}}{Z_2} \\ \frac{e^{-ik_2 x_1}}{Z_2} & -\frac{e^{ik_2 x_1}}{Z_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{e^{-ik_2 x_2}}{Z_2} & -\frac{e^{ik_2 x_2}}{Z_2} \\ \frac{e^{-ik_2 x_2}}{Z_2} & -\frac{e^{ik_2 x_2}}{Z_2} \end{pmatrix}^{-1} \dots \dots \\ \dots \begin{pmatrix} \frac{e^{-ik_n x_{n-1}}}{Z_n} & -\frac{e^{ik_n x_{n-1}}}{Z_n} \\ \frac{e^{-ik_n x_{n-1}}}{Z_n} & -\frac{e^{ik_n x_{n-1}}}{Z_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{e^{-ik_n x_n}}{Z_n} & -\frac{e^{ik_n x_n}}{Z_n} \\ \frac{e^{-ik_n x_n}}{Z_n} & -\frac{e^{ik_n x_n}}{Z_n} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \frac{e^{-ik_t x_n}}{Z_t} \\ \frac{e^{-ik_t x_n}}{Z_t} \end{pmatrix} P_t \quad (7)$$

Las matrices con exponenciales, se pueden combinar dos a dos, para dar lugar a la relación matricial (8), cuya dependencia explícita se escribe en forma de funciones trigonométricas.

$$\begin{pmatrix} P_i \\ P_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{Z_0}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{Z_0}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos k_1 L_1 & iZ_1 \operatorname{sen} k_1 L_1 \\ \frac{i \operatorname{sen} k_1 L_1}{Z_1} & \cos k_1 L_1 \end{pmatrix} \dots \dots \dots \begin{pmatrix} \cos k_n L_n & iZ_n \operatorname{sen} k_n L_n \\ \frac{i \operatorname{sen} k_n L_n}{Z_n} & \cos k_n L_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-ik_n x_n} \\ e^{-ik_n x_n} \end{pmatrix} P_t \quad (8)$$

Observamos que cada medio viene definido por una matriz característica, donde aparece la impedancia acústica, Z_j , propia de cada tramo. Cada matriz característica nos relaciona las amplitudes de la onda acústica de un medio con las del medio contiguo. De esta forma, nos quedan relacionadas las amplitudes del medio de incidencia, con las amplitudes del medio de transmisión, por una simple relación matricial. Podemos obtener, de forma inmediata, el coeficiente de reflexión y transmisión de amplitud definidos como $R=P_r/P_i$ y $T=P_t/P_i$ respectivamente. El coeficiente de absorción, α , definido como el cociente de la energía no reflejada por la energía incidente, se puede calcular a partir del coeficiente de reflexión mediante la ecuación (9), donde r_r y r_i son la parte real e imaginaria del coeficiente de reflexión de amplitud.

$$\alpha = 1 - |R|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2 \quad (9)$$

Dispositivo experimental

La medición del coeficiente de absorción se ha realizado utilizando un tubo de medida de impedancias tipo 4206 de Brüel & Kjaer, con dos micrófonos 2670 B&K para dos tamaños de muestras de dimensiones máximas 100 x 200 mm y 29 x 200 mm, que cubren los rangos de frecuencia de 50 Hz a 1.6 kHz y de 500 Hz a 6.4 kHz respectivamente, figura 3, en la que también se aparecen algunas muestras utilizadas en la medida.



Figura 3. Dispositivo experimental. Consta de tubo de impedancias y sistema PULSE.

En la adquisición y tratamiento de la señal se ha utilizado el sistema PULSE con un amplificador tipo 2716 B&K para la determinación del coeficiente de reflexión a incidencia normal, cuya expresión es:

$$r = |r|e^{j\phi_r} = r_r + jr_i = \frac{H_{121} - H_I}{H_R - H_{12}} e^{2jk_0x_1} \quad (10)$$

Donde:

r_r la componente real del coeficiente de reflexión

r_i la componente imaginaria del coeficiente de reflexión

x_1 la distancia entre la muestra y la posición última del micrófono

ϕ_r el ángulo de fase del coeficiente de reflexión a incidencia normal

H_I y H_R son la función de transferencia para la onda incidente sola o reflejada, que vienen dadas por las expresiones:

$$H_I = \frac{p_{2I}}{p_{1I}} = e^{-jk_0(x_1-x_2)} = e^{-jk_0s} \quad H_R = \frac{p_{2R}}{p_{1R}} = e^{jk_0(x_1-x_2)} = e^{jk_0s} \quad (11)$$

Por otro lado, la determinación del coeficiente de absorción se realiza sustituyendo (11) en (10) para obtener un valor experimental de la ecuación (9).

Absorción y transmisión acústica.

En la tarea de reducir el ruido, nos encontramos un doble problema. Tan importante es absorber el ruido allá donde se produce, como evitar la

transmisión del mismo. Por otro lado, en el diseño de una vivienda bioclimática juega un papel importante la creación de corrientes de aire que comunican los distintos compartimentos entre sí, y con las distintas orientaciones de la fachada exterior (Martin y otros, 2010). Estas aberturas, en general, son excelentes vías de propagación del ruido que deterioran los parámetros de aislamiento acústico preestablecido en los cerramientos. Es por ello que, tanto en la generación, como en la propagación, es necesario diseñar trampas acústicas para la absorción activa del ruido. En la figura 4 mostramos dos ejemplos de cavidades que actúan como trampas en reflexión y en transmisión.

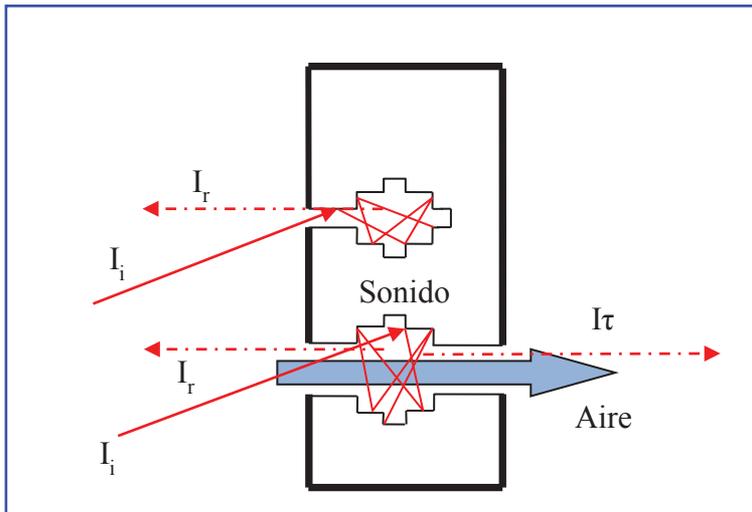


Figura 4. Esquema de funcionamiento de absorbentes basados en trampas acústicas por reflexión y transmisión.

En la figura 5a, se muestra los espectros de transmisión experimentales, en función de la frecuencia, para distintas cavidades. En la figura 5b, mostramos la simulación teórica para valores de la velocidad real e imaginaria del sonido utilizados en el ajuste del espectro al valor experimental obtenido.

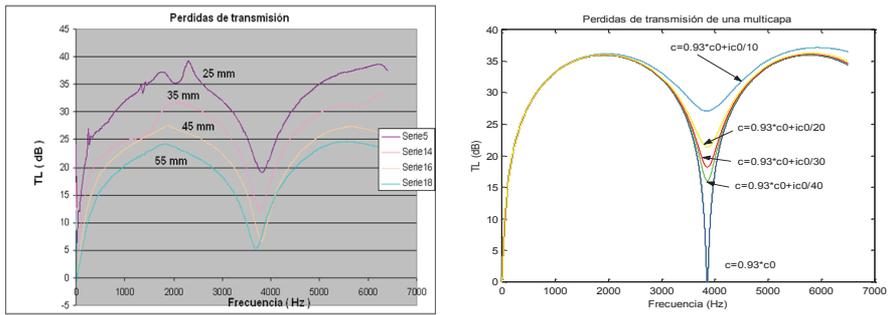


Figura 5. a) Pérdidas de transmisión obtenidas para distintos diámetros de la cavidad, a longitud constante de 41 mm. b) Pérdidas en transmisión simuladas.

Se puede observar la eliminación, casi al 100%, la transmisión del ruido en una banda centrada en una frecuencia previamente diseñada. En este caso, alrededor de los 4000 Hz.

De forma similar, en la figura 6, se muestra el resultado experimental y simulado en la absorción por reflexión, en una cavidad cilíndrica, para incidencia normal. La absorción se encuentra en una banda centrada alrededor de 1100 Hz.

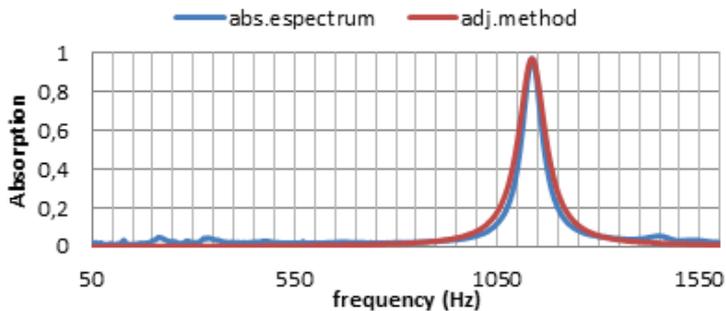


Figura 6. Espectro de absorción experimental y simulado de una cavidad cilíndrica.

Los espectros de absorción obtenidos, indican la eliminación de una banda centrada en la frecuencia determinada. El trabajo realizado en la EPC se concentra en estudiar el comportamiento de las distintas cavidades simples realizadas en yeso, (Huertas y otros, 2007), en madera de pino de Cuenca (Huertas y otros, 2008) o en estructuras complejas (Huertas y otros, 2008b) y (Escobar y otros, 2009).

A continuación, resumimos los resultados obtenidos para algunas estructuras básicas, en las que hemos tomado como parámetro de estudio la variación del diámetro y la profundidad de la cavidad:

Estructuras tipo 1. En primer lugar, estudiamos la influencia del número de agujeros perforados en el coeficiente de absorción acústica. En la figura 7a se muestra los espectros de absorción realizados en un cilindro de yeso de 65 mm de longitud y 27 mm de diámetro, en la que hemos realizado 8 perforaciones de 2 mm de diámetro y aproximadamente 19 mm de profundidad. En la figura 7b, se muestra la simulación para este tipo de estructuras.

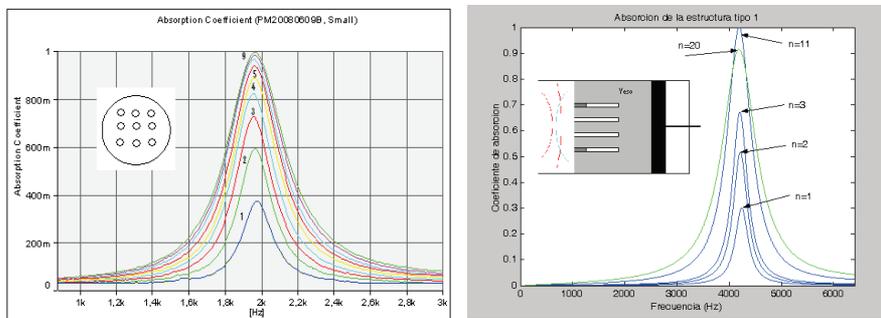


Figura 7. a) Espectro de absorción acústica, obtenido en la estructura tipo 1. b) Espectro simulado en una muestra similar.

La principal conclusión es que el valor de la absorción, a una frecuencia determinada, aumenta proporcionalmente al número de agujeros practicados, apareciendo una saturación en la absorción, a partir de este valor no se consigue aumentar la misma incrementando el número de trampas acústicas.

Estructuras tipo 2. En segundo lugar, obtenemos el espectro de absorción para estructuras, en las que las cavidades son de profundidad diferente, manteniendo el diámetro constante. En la figura 8 mostramos, como ejemplo, la posición de los picos de absorción para una estructura con cuatro cavidades perforadas del mismo diámetro y distinta profundidad.

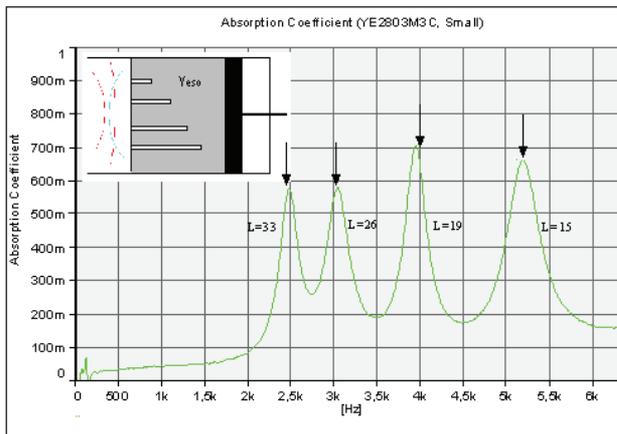


Figura 8. Coeficiente de absorción acústica para una estructura tipo 2.

Se pueden observar cuatro picos de absorción acústica independientes y bien diferenciados, que corresponden a cada una de las perforaciones realizadas. En la gráfica hemos mostrado la profundidad de las cavidades. También se indica, mediante flechas, la posición de la frecuencia central obtenida teóricamente, mediante la simulación por el método matricial, con los valores nominales.

Estructuras tipo 3. En este caso, hemos estudiado la dependencia de la absorción cambiando el diámetro de la cavidad, y manteniendo la profundidad constante. En la figura 9 se muestra el espectro de absorción obtenido en una muestra con cinco cavidades de diferente diámetro.

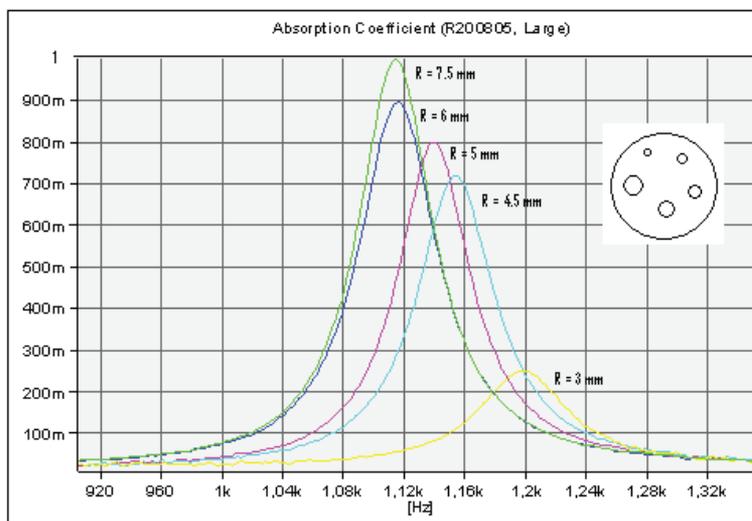


Figura 9. Espectros de absorción acústica para perforaciones cilíndricas con distinto diámetro

En el estudio de este tipo de muestras, llegamos a dos conclusiones importantes. La primera es que obtenemos un incremento en la intensidad acústica absorbida al aumentar el diámetro de los agujeros, obteniendo la saturación en la absorción para un diámetro determinado, en un comportamiento similar a las muestras de tipo 1. Como segunda conclusión, podemos apreciar un desplazamiento en frecuencia de los picos de absorción, debido a la corrección de la longitud efectiva de las cavidades que depende del diámetro las mismas.

La realización sistemática de estos estudios se ha realizado, en gran medida, durante el desarrollo del proyecto "Diseño y caracterización de absorbentes acústicos basados en estructuras geométricas" financiado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y realizado en madera de pino de Cuenca en el periodo comprendido entre los años 2009 y 2011.

Estructuras tipo 4. Para conseguir obtener absorción acústica a bajas frecuencias, mediante la perforación de cavidades simples, tenemos que trabajar con valores para la longitud demasiado grandes, que en la práctica resultan poco viables, por lo tanto, ha sido necesario realizar el estudio de otro tipo de cavidades más complejas, fruto de la asociación en serie y paralelo de las cavidades simples, estudiadas con anterioridad. En la figura 10, se resume la posición de los picos de absorción obtenidos para diferentes configuraciones y se incluye un esquema de las estructuras estudiadas, junto a los resultados obtenidos de la simulación teórica mediante dos métodos alternativos: el método matricial, descrito con anterioridad, y un segundo método de asociación serie/paralelo de osciladores mecánicos.

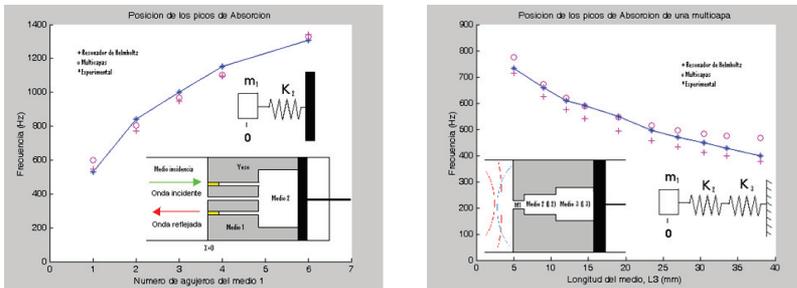


Figura 10. Posición de los picos de absorción experimentales y simulados por los modelos matricial y resonador para cavidades a) paralelo y b) en serie.

Estructuras tipo 5. Además de las cavidades con simetría cilíndrica, hemos practicado cavidades con forma paralelepédica. En los espectros mostrados en la figura 11a se muestra el comportamiento de la absorción para una muestra con diferentes áreas practicadas, para una misma profundidad. Por otro lado, en la figura 11b, se muestran los espectros de absorción obtenidos en diferentes cavidades, de la misma área rectangular y profundidad, con diferente grado de anisotropía de la superficie de la ranura.

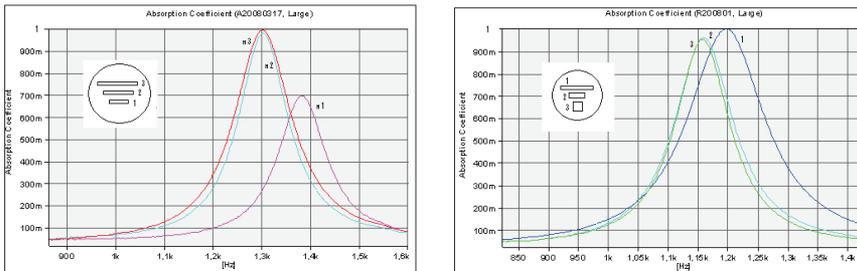


Figura 11. Coeficiente de absorción acústica obtenido para perforaciones paralelepédicas de igual profundidad a) diferente área b) idéntica área.

En el primer caso predomina el efecto de la superficie y longitud efectiva de la cavidad, en la posición e intensidad de los picos de absorción, mientras que en el segundo caso, hemos podido discriminar la influencia de la anisotropía de las cavidades frente al resto de parámetros.

Resumen y momento actual

El trabajo realizado, hasta el momento, nos permite estar en disposición de diseñar y construir absorbentes acústicos en cualquier material de construcción con el simple uso de cavidades geométricas. En la figura 12 se presentan algunos ejemplos de absorbentes para diferentes rangos de frecuencia con diversas geometrías. Como puede observarse, en baja frecuencia, no es suficiente con cavidades simples, y tenemos que recurrir a cavidades del tipo 4, como se ha indicado previamente.

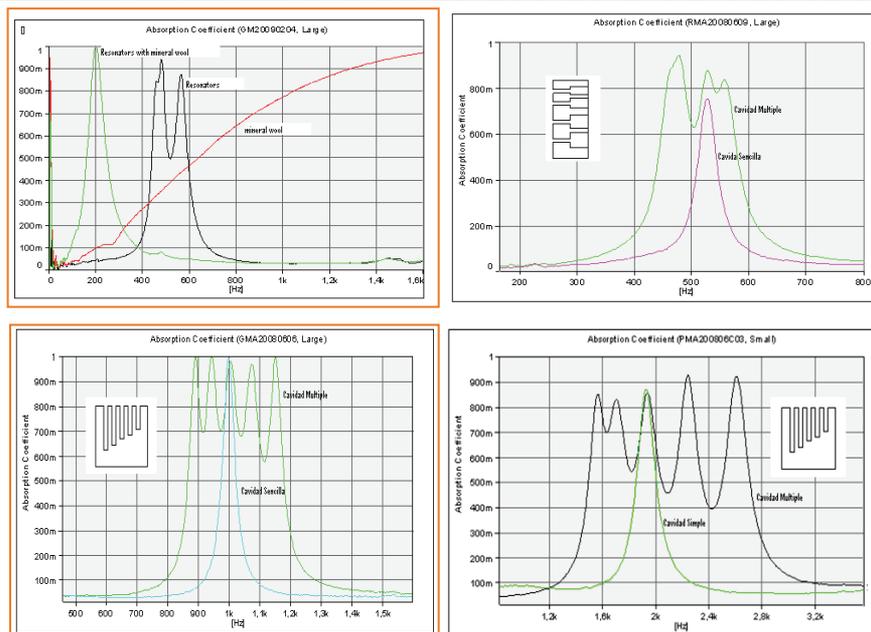


Figura 12. Espectros de absorción de absorbentes diseñados en diferentes rangos de frecuencia.

Por otro lado, estamos profundizando el estudio de los mecanismos de absorción en estas geometrías, variando la rugosidad superficial en el interior de las cavidades (Martin y otros, 2013) dentro del desarrollo del proyecto de investigación, financiado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, que lleva por título: "Optimización del diseño y caracterización de la absorción acústica basada en estructuras geométricas", con financiación en el periodo comprendido entre los años 2014 a 2016.

Agradecimientos

Junto a los profesores del departamento de Física Aplicada, la realización de este trabajo no hubiera sido posible sin la contribución de los profesores adcritos a otros departamentos de la Escuela Politecnica de Cuenca: Samuel Quintana, Isabel González, Miguel Ángel Ruiz y Juan Vicente Visier.

Por último, la puesta en marcha y realización de esta línea de investigación ha sido posible gracias a la financiación de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y la aportación de fondos de desarrollo regional, FEDER, de la Unión Europea.

Bibliografía

Huertas, P. y Quintana, S. (2005) Informe técnico del proyecto 'Caracterización acústica de hormigones para radioterapia mediante el tubo de impedancias'. Referencia UCTR050207. UCLM.

Huertas, P. y otros. (2007) 'Simulación y medida del coeficiente de absorción acústica para incidencia normal en estructuras de yeso perforado'. I jornada nacional de investigación en la edificación. ISBN: 978-84-690-5660-8. Mayo 2007, Madrid.

Huertas, P. y otros. (2008) 'Diseño y caracterización de absorbedores acústicos en geometrías realizadas en madera de pino de Cuenca. Libro de actas II jornada nacional de investigación en la edificación. Madrid. Julio 2008.

Huertas, P. y otros. (2008b) 'Diseño y medida del coeficiente de absorción acústica en estructuras complejas realizadas en materiales de construcción. II jornada de investigación en la construcción. ISBN: 978-84-7292-367-6. Mayo 2008, Madrid.

Escobar, I. y otros (2009) 'Increase the acoustic absorption coefficient in building materials with complex geometric structures'. I congreso internacional de investigación en la edificación. Junio 2009, Madrid.

Martin, J. y otros (2010) 'Diseño y caracterización de filtros acústicos para viviendas bioclimáticas'. II congreso nacional de investigación en la edificación. Diciembre 2010, Madrid.

Martin, J. y otros (2013) 'Study of sound absorption in cavities with different surface roughness practiced in building materials'. Septiembre 2013, Innsbruck. Austria.

Nuevos materiales para la construcción de fachadas de GRC fotocatalíticas, autolimpiables y de máxima sostenibilidad ambiental.

Jose M. Pastor*, Jesús Blanco* y Juan Peña* **

Resumen: Este artículo presenta uno de los temas en los que se ha trabajado dentro de la colaboración establecida entre el grupo Dragados y profesores de la EPC. Esta cooperación, financiada gracias a varios proyectos, se ha centrado en la mejora de las prestaciones de paneles fabricados con hormigones reforzados con fibra de vidrio (en inglés GRC). Nuestra colaboración ha cubierto diferentes aspectos: mejora de los procesos de curado y optimización de los procesos de producción mediante la introducción de aditivos poliméricos, inclusión de productos de reciclaje que, además, aporten nuevas propiedades y, por último, la inclusión de óxido de titanio (TiO_2), véase (Maury, 2010), con el fin de convertir estos paneles en superficies autolimpiables y fotocatalíticas. Este GRC "verde", en el que, dado su reducido espesor, gran parte de su masa está expuesta superficialmente, resulta un excelente candidato para recubrir fachadas de edificios de los que se pretende una menor huella ecológica y una interacción activa y beneficiosa con el medioambiente, tal como se describe en (Rodrigues, 2011). Los resultados muestran una excelente capacidad para degradar productos orgánicos y catalizar óxidos de nitrógeno sin menoscabar en exceso sus propiedades mecánicas; además, se ha demostrado la durabilidad de estas prestaciones a lo largo del tiempo. En este trabajo se ha propuesto y llevado a cabo en fábrica un sistema de doble proyección que permitiría concentrar el óxido de titanio en la cara vista del panel, lo que abarataría notablemente el coste de este nuevo material; lo cual supone un excelente ejemplo de una transferencia de tecnología inmediatamente asumible por la industria del sector.

*Departamento de Sistemas Informáticos. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain. Josemanuel.pastor@uclm.es

**Departamento Química Inorgánica y Bioinorgánica, Facultad de Farmacia. Ciudad Universitaria s/n, UCM, 28040-Madrid juanpena@ucm.es

Introducción

La fibra de vidrio reforzada de hormigón (GRC) es un material, descrito en detalle en (Kim, 2008), que hoy está haciendo una contribución significativa a la economía, a la tecnología y la estética de la industria de la construcción en todo el mundo, como se explica en (Gartshore, 1991). Este compuesto, que puede calificarse como respetuoso con el medio ambiente por su bajo consumo de energía y materias primas naturales, se está utilizando en una gran variedad de productos y ha ganado grandes amigos entre los diseñadores, arquitectos, ingenieros y usuarios finales por su capacidad flexible para satisfacer el rendimiento, la apariencia y el parámetro coste.

GRC es uno de los materiales prefabricados más utilizados para el revestimiento arquitectónico creativo. La capacidad del GRC de ser moldeado en paneles finos, ligeros con una gran variedad de contornos, formas y acabados de superficie ha sido apreciada por un público cada vez mayor de arquitectos e ingenieros en todo el mundo. GRC se utiliza para producir bellas molduras arquitectónicas. Aunque a menudo fundido con espesores superiores a 25 mm, estos productos siguen siendo fáciles de manejar y enderezar, y dotan al arquitecto o ingeniero de una libertad sin precedentes para el diseño creativo. GRC no sufre por la corrosión de la armadura. A diferencia del hormigón tradicional, GRC no requiere un mínimo de recubrimiento de la armadura.

La colaboración con la empresa SEIS, grupo Dragados, uno de los principales fabricantes de este material se concreta en tres objetivos fundamentales:

- Investigación de la inclusión simultánea de otras sustancias que mantengan o mejoren sus prestaciones mecánicas, capacidad fotocatalítica, propiedades de autolimpieza y minimice la aparición de eflorescencias.
- Investigación de la inclusión de materiales reciclados de la construcción o de otras industrias en formulaciones del GRC. Entre los productos susceptibles de ser estudiados podemos señalar áridos reciclados, subproductos vegetales procedentes de diferentes explotaciones agrícolas y restos de neumáticos reciclados.

- Investigación de la adición de diferentes porcentajes de dióxido de titanio en formulaciones de GRC con el fin de dotar a los paneles resultantes de actividad fotocatalítica que permitan mantener sus características organolépticas a largo plazo y facilite la transformación y/o degradación de sustancias contaminantes.

A modo de resumen de esta colaboración, a continuación nos centraremos en describir los resultados más significativos encontrados al desarrollar el tercero de esos objetivos, esto es, introducir dióxido de titanio en paneles de GRC con el fin de crear superficies autolimpiables y fotocatalíticas.

La actividad fotocatalítica, véase (Ballari, 2010) y (Bengtsson, 2010), producida por los materiales a base de cemento que contienen TiO_2 ha permitido incorporar recientemente en estos materiales propiedades de auto-limpieza y purificación del aire. Las nanopartículas de dióxido de titanio en la forma cristalina de anatasa, en combinación con la luz solar o inducida por lámparas UV y el oxígeno presente en atmósfera, desencadenan en la superficie de contacto reacciones químicas de fuerte oxidación que provocan la descomposición de las sustancias orgánicas contaminantes como: etanol, monóxido de carbono, benceno, etilbenceno, tolueno, metanol, dióxido y trióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, acetaldehído, xileno... además de tener una acción germicida sobre microbios y bacterias.

El aprovechamiento de las propiedades fotocatalíticas del TiO_2 (dióxido de titanio) en los materiales a base de cemento ha permitido la degradación de un determinado rango de compuestos orgánicos (COVs) e inorgánicos (NO_x y SO_2) los cuales son al mismo tiempo agresivos tanto para las propiedades del material como para el medio ambiente. Las sustancias contaminantes y tóxicas se transforman, mediante el proceso de fotocatalisis, en cal, nitratos de sodio, carbonatos de sodio, sales absolutamente inocuas y eliminables fácilmente, gracias a la gran hidrofilia de la superficie, es decir, a la formación de una capa uniforme de agua. Este mayor grado de hidrofilia, que permite que las paredes fotocatalíticas estén perfectamente revestidas por un estrato nanométrico invisible, no permitirá que la suciedad se adhiera a las paredes. Por tanto, se podrá eliminar cualquier tipología de suciedad con la lluvia que sucesivamente se secará sin dejar ni gotas ni halos.

Discusión y Resultados

En esta sección se discuten los resultados obtenidos más significativos; con el fin de facilitar la exposición y comprensión de estos resultados, se subdivide los siguientes apartados: preparación, propiedades mecánicas, capacidad fotocatalítica y durabilidad.

Fabricación de las muestras

En una primera etapa las muestras fueron fabricadas siguiendo la sistemática habitualmente empleada en la fabricación de los paneles comerciales de GRC. Este proceso se llevó a cabo en la factoría que el grupo Dragados tiene en la localidad de Chiloeches. Como se muestra en la figura 1, se mezclan 50 kg de árido, 50 kg de cemento y unos 16-17 l de agua, a las que se añadieron diferentes cantidades de óxido de titanio en fase anatasa (1, 2 kg y 5 kg). Este tipo de dosificación por adición directa a la masa presenta la ventaja de su simplicidad y no alteración del proceso normal de fabricación en fábrica. Sin embargo, y teniendo en cuenta su potencial aplicación comercial y el precio del óxido de titanio, se abordó otra estrategia que permitiese concentrar el óxido de titanio en la superficie del panel, donde resulta más efectivo. Con este fin se abordó la estrategia de realizar una doble proyección, en primer lugar se preparaba una "miniamasada" (figura 1), muy rica en TiO_2 , que bien se proyectaba con el sistema de proyección de fábrica o bien con una pistola de proyección de morteros, para luego completar con una masa de las habitualmente empleadas en fábrica. De esta manera se conseguían mayores concentraciones de TiO_2 : 10%, 33% y 66% en la superficie del panel; nomenclatura que ha sido utilizada para describir estas muestras. Estos porcentajes se corresponden con un 5, 15 y 20% de TiO_2 en la masa total de la amasada. Una vez preparadas las muestras se sometieron al proceso de curado habitualmente utilizado en factoría.

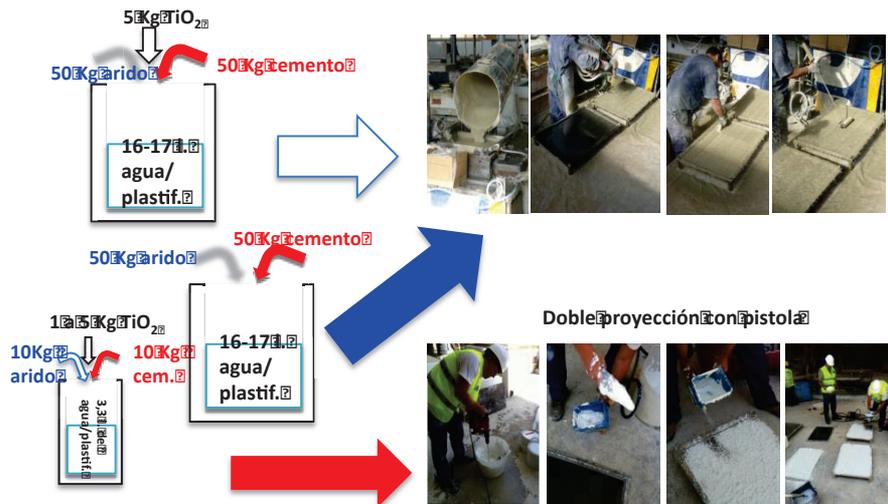


Figura 1: Preparación de los paneles por adición masiva (arriba) o por doble proyección (abajo).

Caracterización de las propiedades mecánicas

Para porcentajes por debajo del 33% se ha comprobado que la adición de dióxido de titanio apenas influye en las propiedades mecánicas por lo que solo se muestran a continuación los resultados para los porcentajes más elevados con los que se ha trabajado, el 33% y el 62,5%. Estos porcentajes tan altos de aditivos se refieren a su presencia en la primera capa proyectada siendo mucho menores cuando se considera las cantidades totales de cemento empleadas en completar el espesor total del panel.

En la figura 2 se muestra la comparativa para la pistola experimental con los porcentajes de 33% y 62,5% de TiO_2 . Se puede observar ligeras pérdidas de resistencia en ambos casos respecto a las probetas de control (en negro). Estas pérdidas son algo superiores para el porcentaje más elevado donde se hace más crítico el control de propiedades mecánicas al estar en media ligeramente por debajo del límite de los 15 N/mm^2 marcado por el Documento de Idoneidad Técnica, DIT. Además, se ha incluido en todas estas gráficas el valor propuesto por la GRCA que eleva este umbral hasta los 18 N/mm^2 y que es posible que se convierta en el valor mínimo marcado por el DIT en un futuro inmediato.



Probetas AA = 33,33% TiO₂ adicción en 1ª capa Probetas AA = 62,50% TiO₂ adicción en 1ª capa
 Probetas AI = 33,33% TiO₂ adicción en 1ª capa Probetas AH = 62,50% TiO₂ adicción en 1ª capa

Figura 2. Comparativa entre probetas con adicción de TiO₂ en 1ª capa, entre probetas proyectadas con pistola experimental.

En la figura 3 se muestra la comparativa para la pistola habitualmente utilizada en factoría con los porcentajes de 33% y 62,5% de TiO₂. Se puede confirmar la tendencia de ligeras pérdidas de resistencia en ambos casos respecto a las probetas de control en negro, con pérdidas algo superiores para el porcentaje más elevado.



Probetas AB = 33,33% TiO₂ adicción en 1ª capa Probetas AB = 62,50% TiO₂ adicción en 1ª capa
 Probetas AC = 33,33% TiO₂ adicción en 1ª capa Probetas AC = 62,50% TiO₂ adicción en 1ª capa
 Probetas AE = 33,33% TiO₂ adicción en 1ª capa Probetas AD = 62,50% TiO₂ adicción en 1ª capa

Figura 3. Comparativa entre probetas con adicción de TiO₂ en 1ª capa, entre probetas proyectadas con pistola de factoría.

Respecto a la comparativa entre pistolas se observa que las propiedades mecánicas con la pistola de factoría son ligeramente superiores a las de la proyección con la pistola experimental. Esto ha permitido pensar en modificar los procesos de fabricación del GRC con los diferentes aditivos utilizando la misma pistola de factoría.

Respecto a la adición de TiO_2 podemos concluir que para el porcentaje máximo que hemos estimado posible añadir a la primera capa de proyección (62,5%) sería también necesaria la adición de nanosílice para mantener las propiedades mecánicas lo que encarece el producto.

Caracterización de la capacidad fotocatalítica y de autolimpieza

Ensayo de degradación de un colorante (rodamina)

Durante esta actividad se realizaron un conjunto de ensayos de autolimpieza en interior, basados en los realizados en (Chen, 2011) y (Folli, 2012), con irradiación de $300 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ recogidos en la norma italiana UNI 11259 (Figura 4), además y con el mismo procedimiento se han recogido datos, realizando un estudio paralelo, bajo la luz solar. Así mismo, se completó este estudio con una caracterización del grado de hidrofiliabilidad de la superficie de los paneles.



Figura 4. Disposición según normativa de los ensayos en cuarto oscuro.

En la figura 5 se puede observar el proceso de cuantificación mediante un colorímetro para mediar el grado de degradación del colorante orgánico, rodamina.



Figura 5. Medición de la fotodegradación utilizando un colorímetro.

Durante este proceso y cumpliendo con las condiciones marcadas por la norma **UNI 11259:2008** las condiciones de medida en las que se ha desarrollado el experimento son: Temperatura 23°C, irradiación (con lámpara Osram Vitalux) de 300 μ Watos/cm².

Las medidas que se tomaban durante el proceso son:

- a(0): medida del color de referencia al comenzar el ensayo
- a(4): medida del color a las 4 horas
- a(26): medida del color a las 26 horas

El cálculo del factor de reducción de color a las 26 horas, como ejemplo, es el siguiente:

$$R_{26} = \frac{a^*(0) - a^*(26)}{a^*(0)} \times 100$$

La condición que deben cumplir los factores de reducción del color a las 4 horas y a las 26 horas para que el material sea catalogado como fotocatalítico es la siguiente:

$$R_4 > 20\% \text{ y } R_{26} > 50\%$$

En la figura 6 se trata de mostrar de forma visual los resultados que posteriormente se cuantificarán, comparando la degradación de color para diferentes porcentajes de adición de dióxido de titanio conjuntamente con la comparación entre pistolas utilizadas para las condiciones de exposición estándar del ensayo normalizado. Se puede observar a simple vista que no hay mucha diferencia entre pistolas, pero si se puede apreciar la

degradación del color entre el control y los distintos porcentajes de adición de TiO_2 .



Figura 6. Fotografía comparativa de muestra de la degradación de color entre pistolas para diferentes porcentajes de adición de TiO_2 .

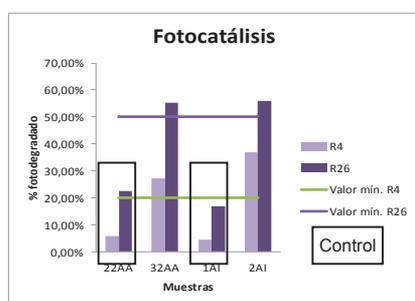
En la figura 7 se trata de mostrar también de forma visual los resultados, comparando la degradación de color para diferentes porcentajes de adición de dióxido de titanio conjuntamente con la comparación entre las condiciones de exposición estándar del ensayo normalizado y en oscuridad. Se puede observar a simple vista que en las probetas donde el ensayo se ha producido en la oscuridad la degradación del color no es muy considerable, pero sí se puede apreciar, como en el caso anterior, una muy diferente degradación del color entre el control y los distintos porcentajes de adición de TiO_2 .



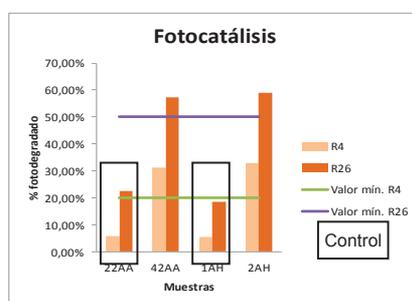
Figura 7. Fotografía comparativa de muestra de la degradación de color entre condiciones de oscuridad y de exposición estándar para diferentes porcentajes de adición de TiO_2 .

En las siguientes figuras, 8 y 9, se recogen los resultados de forma cuantitativa. En este informe se recogen sólo los porcentajes ensayados que se han considerado más relevantes para reflejar los resultados obtenidos, 33,3% y 62,5%. Las probetas de control que siempre se han fabricado en paralelo representan la no inclusión de aditivo.

Se puede observar que en todos los casos las probetas de control no cumplen con las condiciones de material fotocatalítico. En el caso del porcentaje más elevado de TiO_2 (62,5%) las muestras siempre cumplen con la condición de material fotocatalítico. En el caso del porcentaje intermedio de TiO_2 (33,3%) las muestras cumplen en la mayoría de los casos con la condición fotocatalítica. Se ha observado también un fenómeno de saturación del aumento de las propiedades fotocatalíticas para las concentraciones elevadas de dióxido de titanio, por encima del 35 %.



Probetas AA = 33,33% TiO_2 adicción en 1ª capa
 Probetas AI = 33,33% TiO_2 adicción en 1ª capa



Probetas AA = 62,50% TiO_2 adicción en 1ª capa
 Probetas AH = 62,50% TiO_2 adicción en 1ª capa

Figura 8. Comparativa entre probetas con adicción de TiO_2 en 1ª capa, entre probetas proyectadas con pistola experimental de la UCLM.

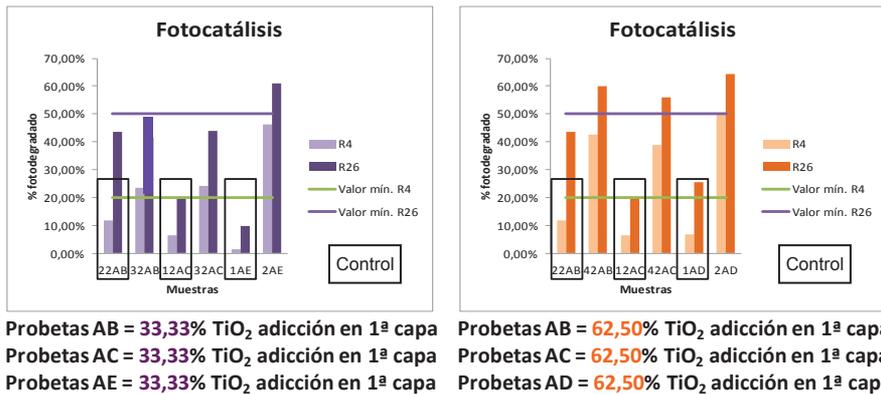
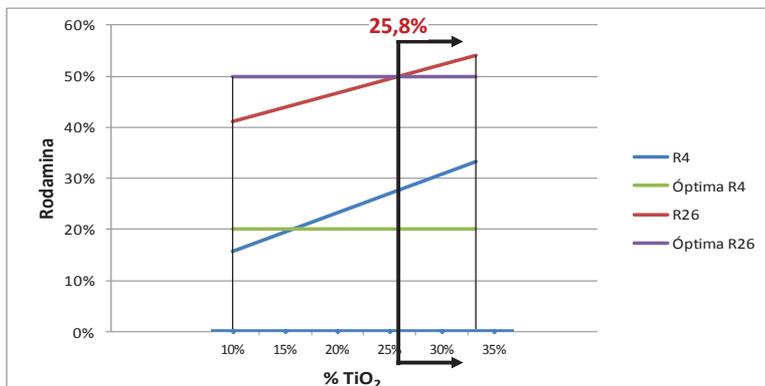


Figura 9. Comparativa entre probetas con adicción de TiO₂ en 1ª capa, entre probetas proyectadas con pistola de la factoría.

La principal conclusión extraída en este apartado de análisis de las propiedades fotocatalíticas basada en la degradación de compuestos orgánicos se resume en la figura 10. Consiste en la estimación por aproximación lineal basada en todos los ensayos realizados para obtener el porcentaje de TiO₂ que nos asegura la capacidad fotocatalítica definida por la normativa estudiada de los paneles de GRC. La propuesta final aplicando un coeficiente de seguridad en torno al 15% es la adicción de un porcentaje del 30% de TiO₂ en la primera capa de proyección.

Estimación del porcentaje de TiO₂



Porcentaje de óxido de Titanio para cumplir las especificaciones de fotocatalísis:

- Margen del 10%: 28,35%
- Margen del 15%: 29,63%

PROPUESTA: 30%

Figura 10. Cálculo del porcentaje de TiO₂ para tener un GRC fotocatalítico.

Determinación de la capacidad de degradación de óxidos de nitrógeno (NO_x) en un reactor de atmósfera controlada

Los trabajos en este apartado se han desarrollado utilizando un reactor que nos permite cuantificar la disminución de contenido en óxidos de nitrógeno (NO_x) y cuyo diseño, montaje y puesta punto se ha realizado en esta Escuela y que aparece en la figura 11. Para determinar la capacidad de absorción de la contaminación se ha optado por utilizar el reactor mezclando aire sintético con monóxido de nitrógeno para calcular la capacidad de absorción de las probetas con distintos porcentajes de TiO_2 .

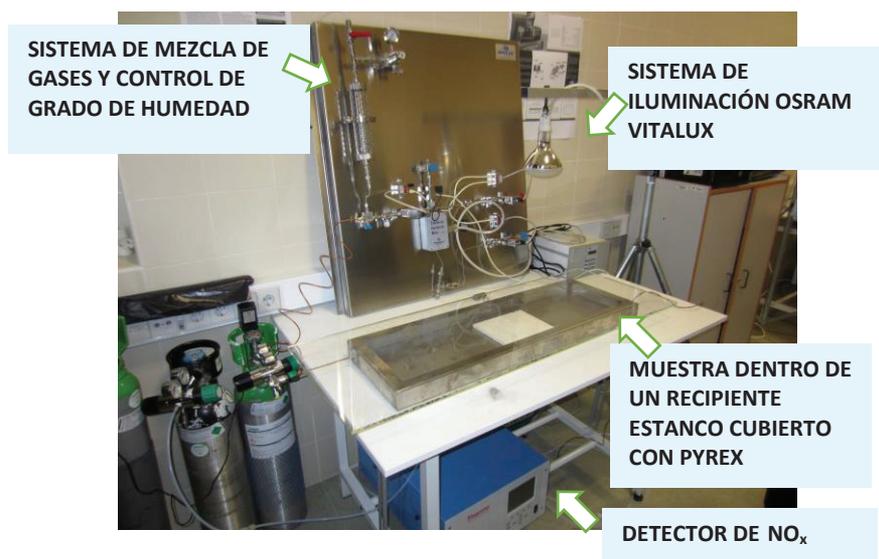


Figura 11. Reactor de atmósfera controlada para la cuantificación de la degradación de NO_x .

El ensayo se ha realizado de forma análoga al de propiedades fotocatalíticas en cámara oscura con irradiación de $300 \mu\text{Wattios}/\text{cm}^2$, como ya se mostraba en la figura 4. La principal causante de la acción bactericida es la radiación ultravioleta. Por ello el primer ensayo que se realiza siempre como referencia es la absorción de óxidos de nitrógeno para una probeta de control sometida a la radiación ultravioleta, véase la figura 12. En los ensayos se parte de una estabilización de la medida de NO de 1000 ppb (partes por billón) para mediar la caída que sería la absorción de NO por la probeta sometida a radiación ultravioleta.

Como se puede observar en la figura 12 la cantidad de NO detectada se estabiliza en torno a las 800 ppb, la absorción como diferencia de NO detectada respecto a la de referencia sería por tanto de 200 ppb, que nos servirá de referencia para comparaciones posteriores sometiendo probetas con distintos porcentajes de TiO_2 a la radiación ultravioleta. Esta bajada en la muestra control es debida a un aumento en el grado de transformación del NO en otros óxidos debido a una mayor activación en presencia de luz ultravioleta y no tiene que ver con la capacidad del material para catalizar estos óxidos.

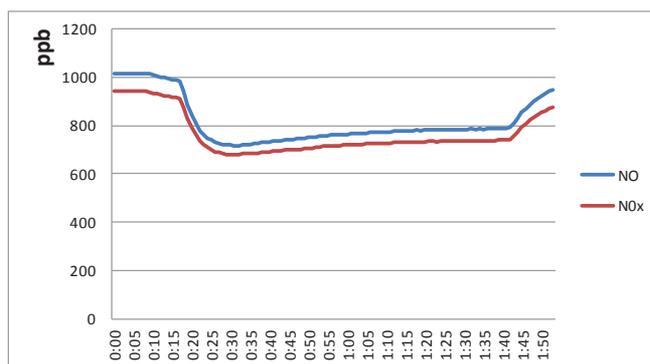


Figura12. Absorción de óxidos de nitrógeno debido a la radiación ultravioleta con probetas de control sin TiO_2 .

En la figura 13, que se corresponde a la medida del panel en el que se ha incluido un 62,5% de óxido de titanio, podemos observar la considerable disminución de la cantidad detectada de NO en torno a las 270 ppb, lo que supone que la absorción da un valor de 670 ppb superior al anterior en un 330%. Este valor garantiza la capacidad de degradación de compuestos inorgánicos y, por tanto, su capacidad de autolimpieza.

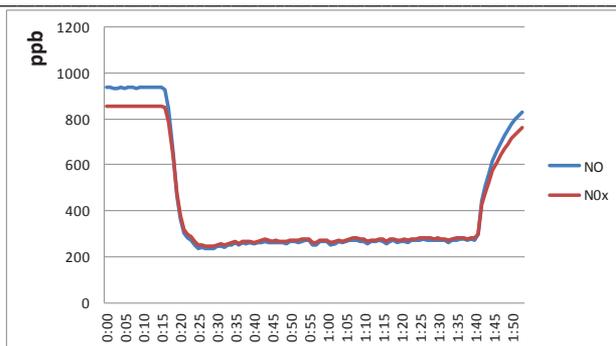


Figura 13. Absorción de óxidos de nitrógeno debido a la radiación ultravioleta con probetas con un 62,5% de TiO₂.

En la figura 14, que se corresponde a la medida del panel en el que se ha incluido un 33,3% de óxido de titanio, podemos observar que la medida de NO se ha estabilizado en torno a las 400 ppb, lo que supone un valor de absorción de 542 ppb superior al de referencia en un 270%. Además de confirmarse la degradación del NO en presencia de paneles en los que se ha incluido TiO₂, se ha observado que esta degradación depende de la cantidad introducida, siendo mayor para la muestra con mayor cantidad introducida (62,5%).

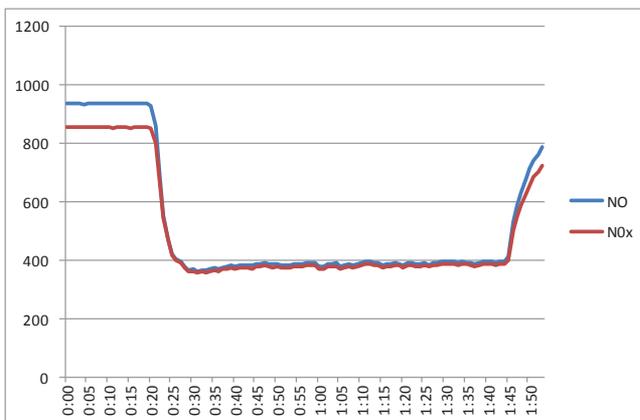


Figura 14. Absorción de óxidos de nitrógeno debido a la radiación ultravioleta con probetas con un 33,3% de TiO₂.

Estudios de envejecimiento

Un aspecto crítico de este tipo de materiales es su durabilidad a largo plazo, especialmente si su composición "normal" y ya bien ensayada y conocido su comportamiento una vez puesto en obra está siendo alterada por la inclusión de diferentes tipos de aditivos. Con el fin de simular el comportamiento a largo plazo se empleará una cámara climática y un protocolo propuesto por la Unión Europea que alterna entre ciclos a un 80% de humedad y 20°C con otros a un 60% y 70°C cuyos resultados pueden extrapolarse entre 10 y 20 años. Como primera prueba los materiales envejecidos serán sometidos al ensayo de resistencia a la flexotracción con el fin de cuantificar una posible alteración en sus prestaciones mecánicas.

En la figura 15 se puede observar la definición de los ensayos de 50 ciclos (que simulan un periodo de 20 años) que comienzan después de los 27 días a los que se realizan los ensayos normalizados de resistencia a flexotracción. La definición del ciclo que dura dos días se puede encontrar en esta figura 15, donde se definen las condiciones de temperatura y humedad a que deben estar sometidas a lo largo del ciclo.

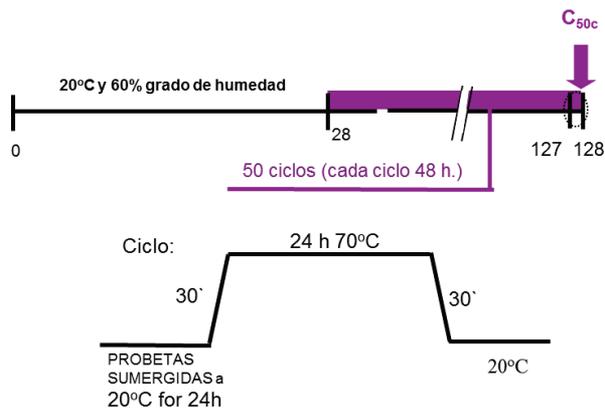


Figura 15. Definición de las características de temperatura y humedad de cada ciclo de simulación de la durabilidad.

Durante el primer periodo de 27 días para tener un curado controlado de las probetas se utiliza la cámara húmeda, véase la figura 16, con condiciones de temperatura y humedad controladas. Transcurridos los 27 días se extraen parte de las probetas para realizar sus ensayos

normalizados a flexotracción el día 28, de esta forma tenemos siempre los resultados de referencia para los ensayos de durabilidad.

En el caso de estudios de fotocatalisis se extraen también las probetas destinadas a los ensayos de capacidad fotocatalítica y autolimpiante correspondientes.



Figura 16. Cámara húmeda de curado de las probetas.

Las probetas destinadas a los ensayos de durabilidad se introducen el día 28 en la cámara climática, tal como se muestra en la figura 17, con capacidad para ejecutar los ciclos de durabilidad definidos anteriormente. Transcurridos los 50 ciclos del estudio, se extraen las probetas para realizar los ensayos de rotura a flexotracción y comparar con los valores iniciales.

En el caso de estudios de fotocatalisis se extraen también las probetas envejecidas destinadas a los ensayos de capacidad fotocatalítica y autolimpiante correspondientes.



Figura 17. Cámara climática para realización de los ciclos de durabilidad.

En la figura 18 se puede observar una disminución de la resistencia a flexotracción dentro de los márgenes habituales para el GRC sin aditivos, mayor cuanto mayores son los valores de partida.

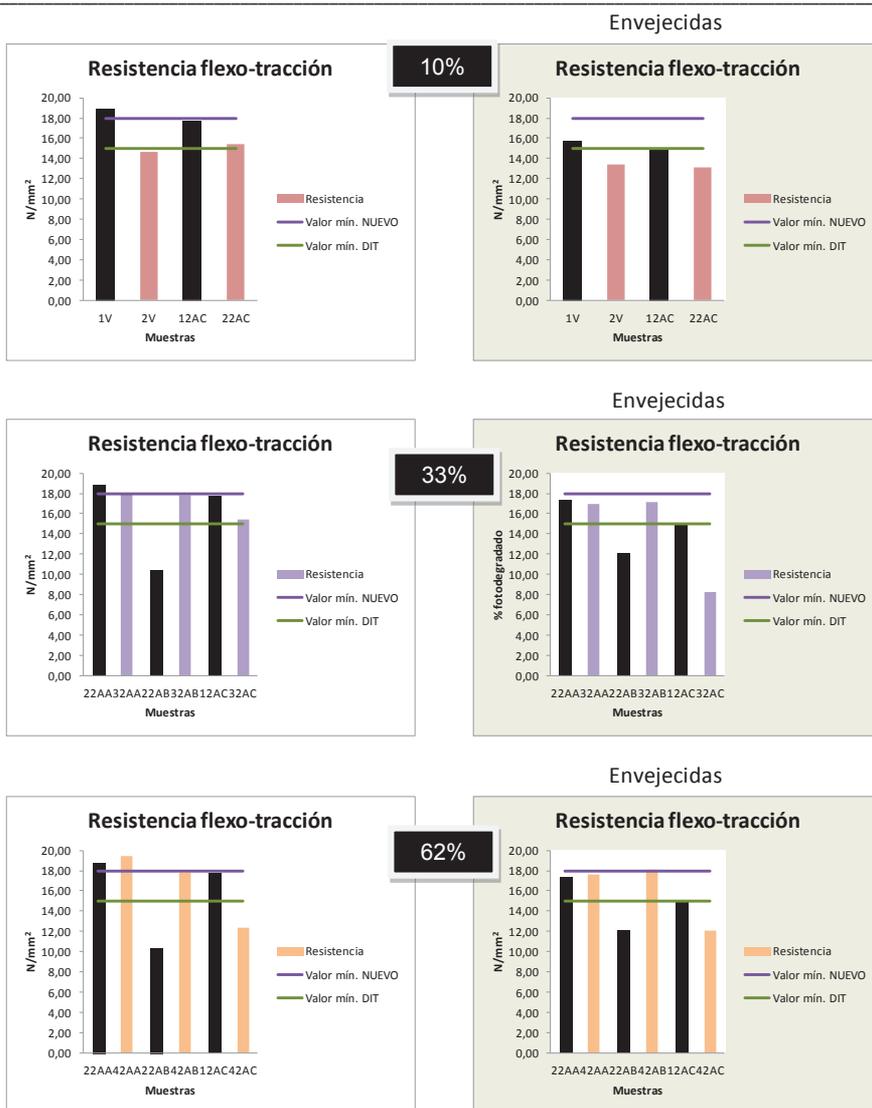


Figura 18. Comparativa de resistencia a flexotracción de muestras envejecidas para distintos porcentajes de TiO₂ añadidos en la cara vista de los paneles. Aparecen en negro las probetas de control.

Una vez comprobado que la influencia de los aditivos no varía sustancialmente el comportamiento de las propiedades mecánicas frente al comportamiento del GRC tradicional sin aditar, se va a analizar la influencia del envejecimiento en la capacidad fotocatalítica. Los resultados

aparecen recogidos en la figura 19 para los mismos porcentajes de adición de dióxido de titanio. Los resultados muestran prácticamente en todos los casos una mejora del efecto fotocatalizador con el envejecimiento.

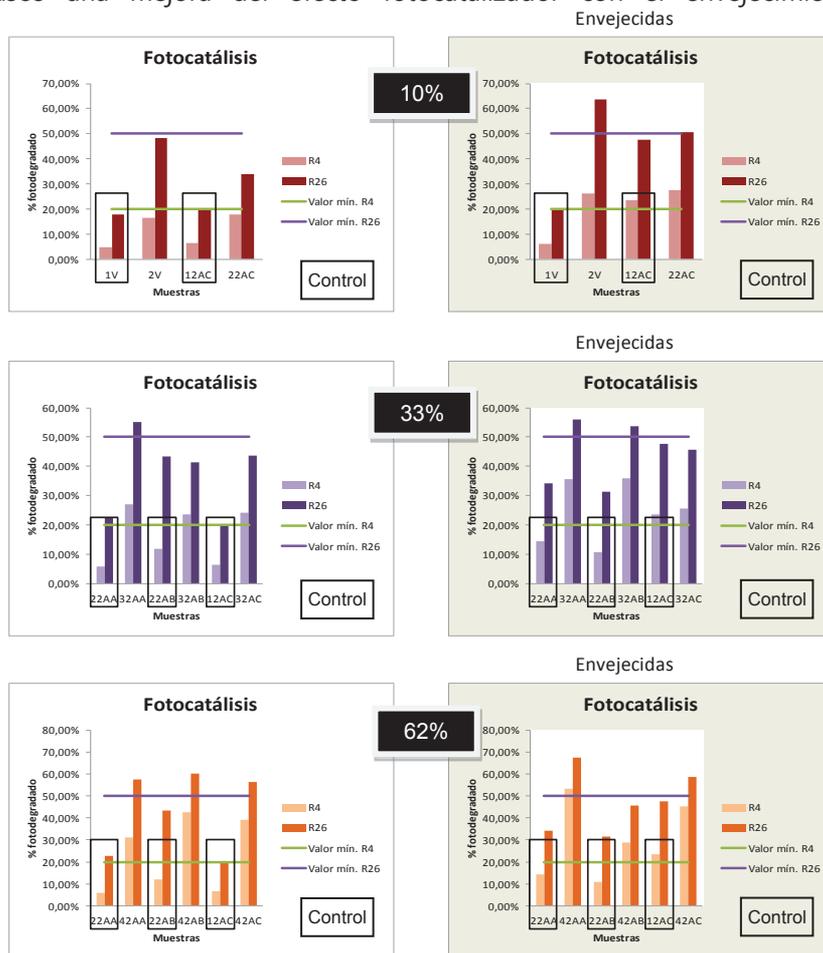


Figura 19. Comparativa de la capacidad fotocatalítica a través del porcentaje de fotodegradación de muestras envejecidas para distintos porcentajes de TiO_2 añadidos en la cara vista de los paneles.

En general el envejecimiento tiende a igualar los resultados de resistencia a flexotracción. Si partimos de valores elevados la disminución es mayor que si partimos de resistencias bajas en torno al umbral de los 15 N/mm^2 .

El porcentaje propuesto para tener un GRC que podamos denominar como fotocatalítico, que fue del 30% de adición de TiO_2 en cara vista, se ha

confirmado como apropiado al producirse con el envejecimiento una mejora de la fotodegradación y con ella de las propiedades fotocatalíticas y de autolimpieza.

Conclusiones

- El sistema de doble proyección propuesto permite ahorrar en la cantidad de óxido de titanio empleado, disminuyendo el coste del producto, y resulta fácilmente escalable a nivel industrial.
- Las propiedades mecánicas apenas se ven afectadas hasta concentraciones del 33%.
- Se consigue un acabado blanco puro.
- Los resultados de las proyecciones con pistola de factoría y con la pistola de la UCLM son similares.
- El análisis de los parámetros de capacidad de degradación de un colorante así como la medidas en el reactor de atmósfera controlada permiten concluir que para el porcentaje óptimo que se estimó que cumplía con la condición de material fotocatalítico el material tiene una elevada capacidad de absorción de óxidos de nitrógeno y por tanto de capacidad de autolimpieza y de absorción de la contaminación. Asimismo se ha observado que esta degradación es dosis dependiente, esto es, que aumenta conforme lo hace la cantidad de óxido de titanio incluida.
- Los ensayos de envejecimiento muestran la óptima durabilidad de estos productos tanto desde el punto de vista mecánico como de su capacidad fotocatalítica.

Agradecimientos

Especial agradecimiento por la colaboración en diversos proyectos durante los últimos 20 años al grupo Dragados y empresas del mismo con las que hemos venido colaborando. Agradecer también a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha por la financiación pública concedida dentro al proyecto IDREU de referencia: PPII-2014-029-P que permitirá seguir con las investigaciones relacionadas del grupo de investigación.

Bibliografía

Ballari M. M.; Hunger M.; Husken G.; et al. (2010). NO_x photocatalytic degradation employing concrete pavement containing titanium dioxide *Applied catalysis b-environmental* 95 (3-4), 245-254.

Bengtsson N.; Castellote M. (2010). Photocatalytic Activity for NO Degradation by Construction Materials: Parametric Study and Multivariable Correlations *J. Advanced oxidation technologies* 13 (3SI) 341-349.

Chen Jun; Kou Shi-cong; Poon Chi-sun (2011). Photocatalytic cement-based materials: Comparison of nitrogen oxides and toluene removal potentials and evaluation of self-cleaning performance. *Building and environment* 46 (9)1827.

Folli A.; Pade C.; Hansen T. B.; et al. (2012). TiO₂ photocatalysis in cementitious systems: Insights into self-cleaning and depollution chemistry *Cement and concrete research* 42(3) 539-548.

Gartshore, Gavin (1991). A Recent Development for GRC Composites, The Review, Design & Architecture, Stoudgate Publications, Ltd., London, 147.

Kim G.B., Pilakoutas K., Waldron P. (2008). Thin FRP/GFRC structural elements, *Cement & Concrete Composites* 30, 122–137.

Maury A.; De Belie N. (2010). State of the art of TiO₂ containing cementitious materials: self-cleaning properties. *Materiales de construcción* 60 (298) 33-50.

Rodrigues F. A., I. Joekes (2011). Cement industry: sustainability, challenges and perspectives, *Environ Chem Lett* 9: 151–166.

Normas

Specification for the manufacture, curing and Testing of GRC products, Ed 2006, International Glassfibre Reinforced Concrete Association.

R.D. 1630/1992 de transposición de la Directiva de Productos de Construcción 89/106 CEE.

R.D. 2200/1995 por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y Seguridad Industrial.

R.D. 411/1997 por el que se modifica el R.D. 2200/1995.

EN 934-1:2008. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Requisitos comunes.

EN 934-2:2009. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: Aditivos para hormigón. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.

EN 934-3:2009. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 3: Aditivos para morteros para albañilería. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.

EN 934-4:2009. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 4: Aditivos para pastas para tendones de pretensado. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.

EN 934-5:2009. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 5: Aditivos para hormigón proyectado.

UNE-EN 934-6:2002 y UNE-EN 934-6:2002/A1:2006. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 6: Toma de muestras, control y evaluación de la conformidad.

UNE-EN 1170-5. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Parte 5: Medida de la resistencia a flexión, método denominado "ensayo completo a flexión".

UNE-EN 1170-8. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Parte 8: Ensayo de tipo de envejecimiento a la intemperie cíclico.

LACAE, el Laboratorio de Calidad en la Edificación de la Escuela Politécnica de Cuenca. Investigación y Transferencia.

Miguel Ángel Ruiz*, Juan Vicente Visier* y Enrique Torrero*

Resumen En esta comunicación se relaciona la actividad investigadora y de transferencia más relevante llevada a cabo por el laboratorio de la Escuela Politécnica de Cuenca perteneciente a la Universidad de Castilla-La Mancha, desde su creación, independientemente de la actividad docente para que fue creado en un primer momento, actividad que ha desarrollado paralelamente a la investigación.

Se muestran también aquellos trabajos llevado a cabo para dotar al laboratorio de las características necesarias para llegar a ser un laboratorio fiable en cuanto a los resultados aportados, por tanto de calidad. Requisitos necesarios para poder llevar a cabo un buen servicio de transferencia a empresas y organismos e imprescindible para las tareas de investigación desarrolladas. Se describe por tanto el proceso llevado a cabo para la consecución de la garantía de máxima calidad nacional que es la Acreditación por parte de la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC). También se relaciona las actividades realizadas por el laboratorio una vez acreditado, a partir de esa garantía de calidad que conforma la base sólida de la estructura de su funcionamiento.

*Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, Miguel.Ruiz@uclm.es, JuanVicente.Visier@uclm.es y Enrique.Torrero@uclm.es

Descripción de características del laboratorio

Para garantizar la fiabilidad de los resultados de la actividad investigadora realizada en el laboratorio, un grupo de profesores puso en marcha un proyecto investigador encaminado a conseguir para el laboratorio el aval de más alto nivel en España, que es la acreditación ENAC (Entidad Nacional de Acreditación).

Con el apoyo de la UCLM y durante varios años con la concesión de ayudas a la investigación, el laboratorio de Calidad en la Edificación (LACAE) perteneciente a la Escuela Politécnica de Cuenca obtuvo el certificado de acreditación ENAC (Entidad nacional de Acreditación) como reconocimiento de la Competencia Técnica de su laboratorio al más alto nivel nacional el 27 de marzo de 2009. La figura 1 muestra el anagrama y número de certificado de acreditación en el momento de su obtención.



Figura 1. Anagrama y certificado ENAC del laboratorio.

Esto significa tener implantado un sistema de gestión de la calidad de acuerdo a la norma UNE EN ISO 17025 y cumplir los requisitos de gestión y técnicos establecidos en dicha norma, garantizando la fiabilidad de los resultados de los ensayos contemplados dentro del ámbito de su acreditación, disponiendo para ello de local, equipos y personal adecuados.

Hasta la suspensión temporal de la acreditación, ha sido el único laboratorio acreditado por ENAC en hormigones en nuestra Región de Castilla-La Mancha, lo que le convirtió en un referente de indudable calidad para las organizaciones y empresas que deseen resolver sus problemas de determinación de características de éstos materiales.

Esta acreditación, pone de manifiesto que el trabajo que se desarrolla en el laboratorio se hace cumpliendo unos estándares altos de calidad. ENAC es una organización declarada de utilidad pública, independiente y sin ánimo de lucro, auspiciada y tutelada por la Administración, que desarrolla su misión garantizando que todas sus actuaciones se basan en

principios de imparcialidad, independencia y transparencia, con un marcado carácter técnico.

Trabajos desarrollados para su consecución:

1. Formación del personal en el manejo de la norma de gestión y realización de ensayos y el desarrollo de un plan de formación.
2. Garantía del funcionamiento de los equipos mediante su calibración, verificación y mantenimiento, contemplado en un plan anual que debe llevarse a cabo y certificarse.
3. Garantía del cumplimiento de las condiciones ambientales necesarias para desarrollar los ensayos.
4. Elaboración e implantación de un sistema de gestión de calidad que cumple los requisitos de la norma UNE-EN-ISO/IEC 17025 : 2005.

El equipamiento del laboratorio se ha obtenido a través de varios proyectos de investigación nacionales (22-12-2005 a 31-12-2007) gestionados y llevados a cabo por el personal del laboratorio y de la Escuela Politécnica. La financiación ha provenido de fondos FEDER.

Cuenta el laboratorio con equipos variados para determinar características mecánicas, físicas y químicas de los materiales. Como por ejemplo: prensas de compresión y tracción de variados rangos de trabajo, equipos de cámaras climáticas programables y de hielo deshielo, de penetración al agua de hormigones, balanza termogravimétrica, porosímetro de mercurio, balanzas de precisión, horno mufla, autoclave, equipos de medida de temperaturas, humedad, pH, control de soldaduras, ultrasonidos, partículas magnéticas, péndulo Charpy, péndulo de deslizamiento, desgaste de pavimentos, granulometrías, cámara húmeda, permeabilidad de cerámicos, eflorescencias, porosidad y adherencia de morteros, etc.

Trabajos desarrollados por el laboratorio

El laboratorio se ha ocupado de diversos trabajos, entre los que cabe destacar los siguientes:

Asesoramiento prestado a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, en materia de mejora de la calidad de los laboratorios de ensayos

de materiales para la construcción de nuestra región. Colaboración en la acreditación por parte de la Junta de Comunidades de los laboratorios de ensayo de materiales de construcción. Llevado a cabo mediante un Convenio de Encomienda de Gestión entre la Consejería de Ordenación del Territorio y Vivienda de la Junta De Comunidades de Castilla-La Mancha y la Universidad de Castilla-La Mancha desde el año 2003 hasta el 2011.

El objeto del Convenio es establecer el régimen de prestación de la colaboración técnica por parte de la Universidad de Castilla-La Mancha para el ejercicio por parte de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha de las funciones de acreditación de laboratorios de ensayo para el control de la calidad de la edificación.

A través del presente instrumento, la Consejería de Ordenación del Territorio y Vivienda, encomienda dicha gestión a la Universidad de Castilla-La Mancha.

Marco legislativo y normativo en que se desarrolla: basado en el Real Decreto 1230/1989, Orden Fom. 2060/2002, ISO 17025/2005, así como en todas las normas UNE que desarrollan los procedimientos de ensayo.

El personal que compone los equipos de inspección están formados para desarrollar su labor, autorizados por el organismo acreditador y nombrados con criterios de formación técnica, imparcialidad, independencia y confidencialidad.

El Organismo Acreditador se apoya para realizar su función en la Universidad a través de dos equipos de trabajo, uno pertenecientes a la Escuela Politécnica de Cuenca y otro a la Escuela Politecnica de Ciudad Real.

El equipo de Cuenca se encarga de la realización de la inspección en las áreas de ensayos de hormigones armados y componentes, albañilería y acero estructural. El equipo de Ciudad Real se ocupa de las áreas de Geotecnia y Viales.

Desarrollo y actuaciones contempladas.

Se desarrolla a través de tres actividades principales:

- Auditorías de gestión y técnicas.
- Campañas de contraste interlaboratorios.
- Realización de cursos de formación para laborantes.

En la figura 2 podemos observar la realización de toma de muestras de hormigón fresco por parte de los laboratorio participantes en la campaña de ensayos de contraste interlaboratorios de la región, y la figura 3 muestra una imagen del curso de formación para laborantes en la presentación de dicho curso.



Figura 2. Toma de muestras de hormigón fresco de la campaña de ensayos interlaboratorios.



Figura 3. Inauguración del curso de formación para laborantes.

Metodología

El procedimiento a seguir para la realización de auditorías técnicas consiste en:

- Entrega de documentación por los interesados, remisión de la solicitud a la UCLM, estudio de documentación por la UCLM, requerimiento de subsanación de deficiencias documentales, remisión de subsanaciones, informe inicial por la UCLM, visita de inspección, informe previo de incidencias, requerimientos tras la visita de inspección y subsanación, e informe final.
- Inspección del laboratorio, que consta de:
Supervisión por parte de los inspectores de los documentos de gestión y documentación técnica. Inspección in situ de los equipos y máquinas utilizados en los laboratorios y la realización de ensayos.

Los ensayos de contraste.

Se desarrollan en la Escuela Politécnica de Cuenca en los que participan todos los laboratorios de Castilla-La Mancha mediante un procedimiento elaborado por el equipo de Cuenca.

El laboratorio LACAE, actúa como organizador y laboratorio de referencia en los protocolos seguidos y en la realización de los ensayos.

Tienen como objetivo detectar posibles errores de ejecución mediante y análisis estadístico de los resultados obtenidos por cada uno de los laboratorios en comparación con los del resto. Una vez detectados, establecer acciones correctivas y de mejora para uniformar dichos valores de resultados obtenidos por el conjunto de los laboratorios.

Los ensayos realizados en las campañas son aquellos que mayor relevancia dentro de cada área.

Los cursos de formación.

Se realizan en el laboratorio de la Escuela Politécnica de Cuenca y su contenido se establece en función de las demandas formativas apreciadas o sugeridas por los propios laboratorios. Los alumnos son trabajadores pertenecientes a todos los laboratorios de la Región.

El personal que lo imparte es el perteneciente al equipo de Cuenca y concluye mediante la expedición, a cada alumno que ha superado las pruebas tanto prácticas como teóricas, de un certificado que acredita su capacidad para la realización uno o varios ensayos. Siendo esto último un requisito fundamental de calidad que debe cumplir el personal para la realización de los ensayos por parte de los laboratorios.

Esta actividad formativa, contribuye a la mejora del funcionamiento y fiabilidad de los laboratorios de la región, en la medida en que es un instrumento de unificación de la aplicación e interpretación efectiva de la normativa, tanto la ya existente como la de reciente aparición en el campo del control de calidad en la edificación.

Otra de las actividades llevadas a cabo son las Colaboraciones con organismos públicos y empresas privadas mediante la firma de convenios de colaboración empresa-universidad se han llevado a cabo numerosos trabajos con organismos tanto públicos como privados encaminados a resolver necesidades técnicas que dichos organismos planteaban.

Así por ejemplo se han desarrollado en el laboratorio estudios encaminados a la determinación de las características técnicas de materiales de construcción con el objeto de adecuarlos a una correcta ejecución en obra, o también, sobre materiales ya colocados en obra, determinar sus patologías existentes y proporcionar información de los posibles tratamientos que den solución a los problemas estudiados.

Trabajos relativos al estudio de morteros de albañilería, sus componentes y aplicaciones. Determinación de las dosificaciones más adecuadas, estudio de comportamiento de morteros en situaciones climatológicas de nuestro entorno y verificación de características una vez

aplicado mediante técnicas de ultrasonidos, adherencia, resistencias mecánicas, etc. Como por ejemplo con el Ayuntamiento de Olmedilla, estudio de mortero aplicado en el frontón, 2014.

1. Maderas para la edificación, determinación de características técnicas de la madera empleada como elemento estructural en edificación y cumplimiento del CTE. Como por ejemplo: Ensayos de maderas para la empresa JCH SA. 2009. Con el Ayuntamiento de Cuenca Maderas S.A., Diseño de biondas fabricadas en madera, proyecto desarrollado en durante todo el año 2005.
2. Hormigones armados, estudio de componentes, dosificaciones, patologías, resistencias mecánicas mediante la extracción de probetas testigo, como por ejemplo con la empresa Construcciones Lerma, 2008.
3. Materiales cerámicos, estudio patológico y de características técnicas de fábricas cerámicas, pavimentos y cubiertas de teja cerámica. Con la empresa Aldeasa Construcciones SA 2008.
4. Piedra natural, estudio de patologías, comportamiento frente a heladas, ataque por sales permeabilidad al vapor, en definitiva, caracterización y aplicaciones adecuadas.
5. Nuevos materiales: comportamiento frente a diversas solicitudes como la resistencia al fuego. Como por ejemplo con la empresa Technokontrol S.L.
6. Comportamiento acústico de los materiales, colabora con grupos de investigación de la Escuela Politécnica para desarrollar materiales que mejoren el comportamiento acústico.

Como laboratorio perteneciente a Eurolab España, (Asociación Española de Laboratorios de Ensayo, Calibración y Análisis) y como miembro de esta Asociación ha colaborado en las actividades que esta organización desarrolla.

En cuanto a la presentación de ponencias, se ha desarrollado una intensa actividad en este campo, presentado ponencias en foros técnicos nacionales e internacionales, como por ejemplo en Contart, Convección Técnica de la Arquitectura técnica de España, en Albacete, en el año 2009. Ponencia que describe un estudio comparativo de morteros in situ y prefabricados, desarrollado en el laboratorio por D. José Antonio García Martínez; comunicación presentada en el Congreso Portugués de Argamasas de Construcción en el año 2010 en Lisboa, estudio comparativo del comportamiento de morteros mococapa, desarrollado en el laboratorio por D. Luis Daniel García Ruiz; Ponencia relativa al comportamiento

acústico de materiales, presentado en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja perteneciente al CSIC en el año 2008.

Colabora en la publicación del libro *Patología de las piezas cerámicas y nuevas tendencias en la edificación*, editado por AITEMIN (Centro Tecnológico de la Arcilla Cocida) en el año 2004. En esta publicación se analizan en distintos materiales cerámicos las lesiones que pueden producirse, el origen y causas, los síntomas y evolución con el objetivo de evitar que se produzcan fallos en los edificios. Se analiza su comportamiento una vez colocados en obra con técnicas constructivas tradicionales y novedosas. Se estudian y describen las nuevas tendencias de colocación en obra bajo el prisma del objetivo citado, evitar los fallos en la edificación. Imparte la docencia a los alumnos de la E. Politécnica de Cuenca en materias de Materiales de construcción y Control de Calidad de los materiales, realizándose en sus instalaciones proyectos fin de grado tipo monográficos relacionados con la investigación en el campo de los materiales, características y aplicaciones.

El equipo de personas que forman parte del laboratorio son:

1. Profesores responsables: Miguel Ángel Ruiz Rey, Juan Vicente Visier Massó, Enrique Torrero Fuentes.
2. Laborantes: María Jesús Alarcón Mayordomo, Pedro Palominos Quicio.
3. Administrativo: María Jesús Segovia.
4. Colaboradores: Juan Peña López, Pedro Huertas Gallardo, Miguel Ángel López Guerrero, Luis Daniel García Ruiz, José Antonio García Martínez.
5. Becarios: Alba Bellón Morales, Sandra Haro, David Palomino Obispo.

En la figura 4 se muestra de izquierda a derecha a Dña. María Jesús Alarcón, D. Pedro Palomino, D. Miguel Ángel Ruiz, D. Enrique Torrero y D. Juan Vicente Visier.



Figura 4. Miembros del equipo del laboratorio.

Caracterización de pétreos de la Catedral de Santa María de Cuenca.

Enrique Torrero*, David Sanz** y Vicente Navarro***

Resumen Este trabajo de investigación forma parte de la tesis doctoral de D. Enrique Torrero y en ella han participado de forma activa tanto estudiantes como profesores de la Escuela Politécnica. Parte del trabajo ha consistido en realizar un estudio de caracterización del material pétreo más utilizado en la Catedral de Cuenca. Se ha localizado la cantera histórica de la que se extrajo la mayor parte de la piedra usada en la construcción de la Catedral. Esta cantera está localizada en la población de Arcos de la Cantera, situada a unos 10 km de la ciudad de Cuenca. Así mismo se han conseguido muestras de pétreos de la propia Catedral con el fin de compararlas con las de la cantera. En una primera fase se hizo una investigación documental sobre los artículos y trabajos publicados de la Catedral acerca de las diferentes hipótesis sobre las fases de la construcción de la Catedral. Con posterioridad a esta investigación, se realizaron ensayos de caracterización de los pétreos para determinar sus características físicas, químicas, mecánicas y su comportamiento y degradación a partir del estudio de las muestras de la cantera y de la propia Catedral. También se han utilizado métodos no destructivos in situ, con el fin de realizar un diagnóstico de su estado de degradación y su posible evolución.

* Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, Enrique.Torrero@uclm.es

** Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, David.Sanz@uclm.es

*** Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Escuela Politécnica de Ciudad Real, Avda. Camilo José Cela, s/n, 13071 Ciudad Real, Spain, Vicente.Navarro@uclm.es

Introducción y objetivos

La Catedral de Santa María de Cuenca es el edificio más emblemático del casco histórico de la ciudad, que recordemos es Patrimonio de la Humanidad desde el año 1996. En este trabajo se pretende establecer el grado de deterioro del inmueble que va íntimamente ligado al comportamiento del pétreo empleado en su construcción.

El objetivo principal es la caracterización del pétreo para determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas para lo cual se han desarrollado una serie de ensayos en el Laboratorio de la Escuela Politécnica de Cuenca (LACAE) y ensayos en la misma catedral. Como objetivos secundarios se planteó un estudio de las patologías más frecuentes e identificar las causas de su deterioro así como su posible evolución, utilizando métodos no destructivos y centrándonos en la Capilla de los Muñoz.

Reseña histórica

Parece que la fecha más probable de inicio de la construcción de la Catedral fue a finales del s. XII, siendo Obispo de Cuenca San Julián y promovida por el Rey Alfonso VIII y su esposa la reina Dña. Leonor. Aunque los inicios se hacen de acuerdo con el estilo románico, en esos momentos empieza a destacar el gótico que al final sería el estilo dominante, siendo al final la Catedral de Cuenca el ejemplo del gótico más temprano en España (Noguera, 2012). Los investigadores Gema Palomo, Francisco Noguera, Maryan Álvarez Builla y Joaquín Ibáñez son los que más han escrito sobre la Catedral. En sus estudios establecen una serie de premisas para determinar las distintas fases en las que se han construido la Catedral, existiendo algunas discrepancias entre ellos.

A lo largo de los años han sido muchas las transformaciones que ha sufrido la Catedral destacando entre otras la ampliación de la cabecera a mediados del s. XV, la construcción de la Torre del Giraldo también en el s. XV, a finales de este siglo y principios del siguiente se construye el claustro renacentista de estilo herreriano en su situación actual, y también el Arco de Jamete, así como la mayoría de las capillas que rodean a la Catedral. Durante el s. XVII se acomete la reforma de la fachada y de la Torre de las

Campanas, en este siglo ya se habían construido la mayoría de las Capillas (véase distribución en la figura 1).

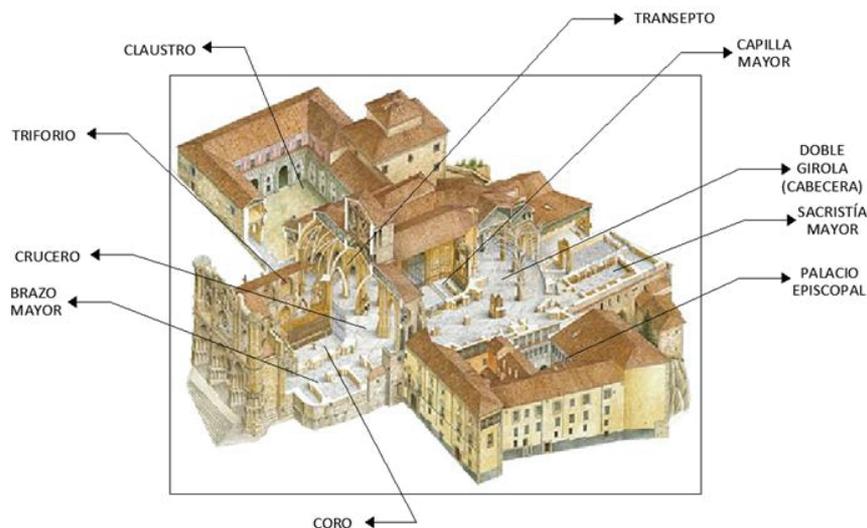


Figura 1. Partes de la Catedral de Santa María. Representación de las partes sobre el dibujo de Isidoro González-Adalid Cabezas.

Durante el s. XVIII, la obra más importante fue la construcción de la Capilla de San Julián o del Transparente, ejecutada por Ventura Rodríguez. También durante este siglo se intervino en la fachada y en la Torre de las Campanas por su mal estado. Es en el año 1902 cuando se produce el derrumbamiento de la Torre de las Campanas que afecta seriamente al Arco de Jamete. Posteriormente a este suceso, se hace un estudio del estado de la fachada y se decide derribar y construir una nueva, encargándose de los trabajos al arquitecto Vicente Lampérez. Durante el s. XX fundamentalmente se han hecho obras de restauración y consolidación de instalaciones y estructuras tendentes a evitar problemas de filtraciones de agua principalmente evitando así en gran medida el deterioro del material pétreo.

Materiales

En la tabla 1 se recoge un inventario de los distintos pétreos utilizados en la Catedral junto con su ubicación. La mayor parte del material pétreo utilizado en la construcción de la Catedral de Cuenca (>80%) procede de la cantera de la localidad de Arcos de la Cantera situada a 10 km al Noroeste de la ciudad de Cuenca (Torrero et al., 2012). Rokiski (1995) da las primeras indicaciones de la localización de la cantera principal de la que se extrajo la mayor parte de la piedra utilizada en la construcción de la Catedral y Bermejo (1977) hace varias referencias en su libro a la cantera de Arcos de la Cantera. Palomo (2002) también tiene alguna indicación en cuanto a esta cantera en su publicación. Esta cantera lleva abandonada más de 300 años y dispone de un difícil acceso. Los materiales de la cantera están compuestos por calizas blancas lacustres estratificadas en capas decimétricas que alternan con margas grises. Se han recogido muestras de la cantera y de la propia Catedral para la caracterización del mismos y se han identificado dos litotipos codificados como (D) duro y (B) blando.

NOMBRE Y PROCEDENCIA	TIPO	UBICACIÓN EN LA CATEDRAL
Carrara, Italia.	Mármol blanco	Altorrelieves. Capilla Mayor
Buenache, Cuenca.	Dolomías rojizas	Capilla del Sagrario
Granada, España	Serpentina	Altar Mayor de la Catedral
La Cierva, Cuenca	Dolomías y Jaspes	Altar Mayor y San Julián
Torrubia, Cuenca	Calizas y dolomías	Escalones de acceso a la Catedral*
Novelda, Alicante	Biocalcarenitás.	Fachada oeste de la Catedral*
Júcar y Huécar, Cuenca	Calizas, dolomías y tobas	Parte trasera de la Catedral y Palacio Episcopal.
Húecar, Cuenca	Margocalizas grises	Claustro.
Júcar y Huécar, Cuenca	Dolomías y calizas	Parte trasera de la Catedral y solado.
Arcos de la Cantera, Cuenca	Calizas lacustres	80 % Catedral. Sillares y ornamentos

Tabla 1. Inventario pétreo utilizado en la Catedral de Cuenca. Fuentes diversas de información y elaboración propia. * Reconstrucción inicios s. XX, anteriormente procedencia Arcos de la Cantera.

Metodología

Para la caracterización del material pétreo se han realizado, en el laboratorio LACAE de la Escuela Politécnica de Cuenca y en el Instituto Regional de Investigación Científica y Aplicada (IRYCA) de Ciudad Real, ensayos físicos, químicos y mecánicos.

Para determinar el comportamiento hídrico de las muestras de pétreos, se han realizado el ensayo del coeficiente de absorción de agua por capilaridad (UNE-EN 1925:1999), ensayo de absorción de agua a presión atmosférica (UNE-EN 13755:2008), ensayo de desorción según NORMA 10/99 desarrollada por la Universidad de Oviedo, determinación de la densidad real, aparente y porosidad abierta y total (UNE-EN 1936:2007) y porosimetría de inyección de mercurio. También se determinó la resistencia a la heladicidad (UNE-EN 192371:2011) y la cristalización de sales (UNE-EN 12370:1999).

Para el estudio químico, mineralógico y textural, se ha utilizado la Difracción de Rayos X, la Fluorescencia de Rayos X y la microscopía óptica con luz polarizada.

En cuanto a ensayos mecánicos, se ha realizado la determinación de la resistencia a la compresión uniaxial (UNE-EN 1926:2007)

Así mismo se han realizado ensayos in situ, concretamente en la Capilla de los Muñoz y estos han consistido en mediciones de humedad y temperatura con un higrómetro, medidas de la resistencia superficial del pétreo mediante el esclerómetro y la determinación de la velocidad de ondas ultrasónicas. Estas mediciones se han realizado sobre los sillares de la fachada Norte de la Capilla de Los Muñoz y posteriormente mediante el software informático ArcGIS® se han configurado mapas en los que de una forma visual se analiza el comportamiento del paramento objeto de estudio.

Resultados

Ensayos químicos y microscopía

La composición química de los dos litotipos estudiados, es bastante semejante como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química de las muestras (%).

Probeta	Tipo	CO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	SrO	SiO ₂
Cantera	B	43.63	0.15	0.32	0.01	0.23	0.03	55.28	0.27	0.05	-
	D	42.08	0.47	0.89	0.00	0.28	0.15	53.17	0.25	0.05	2.56
Catedral	B	44,52	0.15	0.31	0.01	0.26	0.00	54.88	0.10	0.05	-
	D	44.26	0.09	0.13	0.00	-	0.01	54.95	0.13	0.03	0.36

El estudio mediante difracción de Rayos X y microscopía óptica de luz polarizada indica que la calcita es el mineral mayoritario en ambos litotipos. En las muestras Duras aparece un pico que se corresponde con el cuarzo (Figura 2).

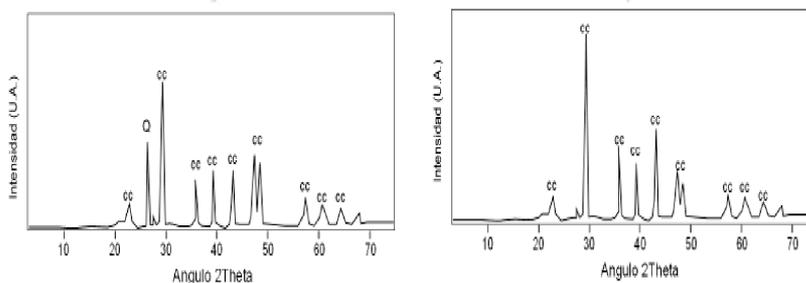


Figura 2. Difractograma de Rayos X. Izquierda Litotipo Duro. Derecha Litotipo Blando.

Mediante el estudio de microscopía se ha observado que la textura de las muestras se corresponde con una caliza micrítica. En el caso del litotipo duro aparece unos oolitos (de unos 10 μm in diámetro) que se encuentran envueltos por calcita con bajo índice de cristalinidad. En ocasiones aparecen clastos de cuarzo en el núcleo de dichos oolitos. La porosidad de cada una de las muestras ha sido obtenida mediante el tratamiento digital

de imágenes. En ambos casos, una porosidad no selectiva tipo "vug" conectada por secuencias de poros "chamber and throat" (Figura 3).

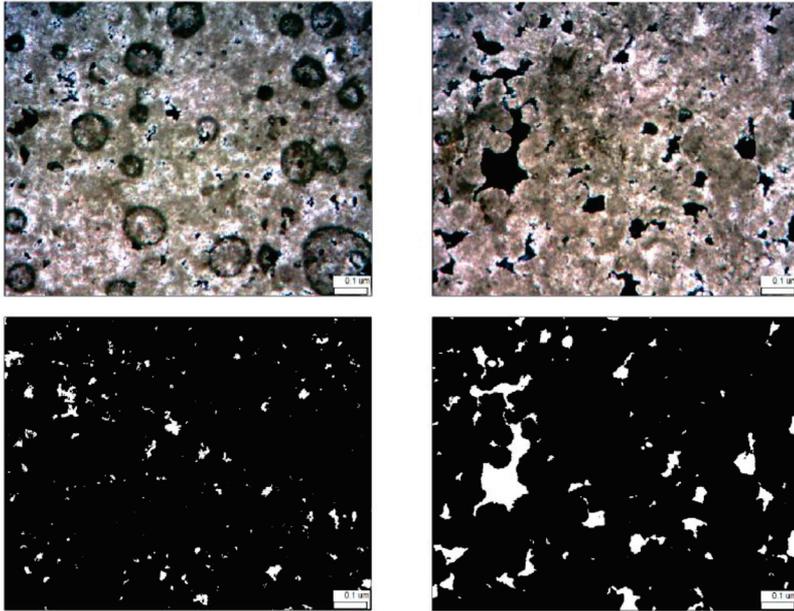


Figura 3. Sección de lámina delgada vista con microscopio óptico (arriba) y nicoles cruzados. Tratamiento digital para obtención de la porosidad en color blanco (abajo). Izquierda Litotipo Duro. Derecha Litotipo Blando.

Ensayos físicos

En la tabla 3 se puede observar las diferencias existentes entre los litotipos estudiados. Las probetas tipo B absorben mucha más agua que las del tipo D. Esto queda reflejado también en la figura 4, donde el litotipo Blando absorbe agua más rápidamente y más cantidad que el litotipo Duro y sin embargo evapora el agua más rápido.

Tabla 3. Resultados ensayos hídricos. Densidad aparente (Da), Densidad Real (Dr) Porosidad accesible (P), Absorción (Abs) Coeficiente de Absorción capilar. Porosidad abierta. Porosidad Total.

Fuente	Tipo	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	P (ml.)	Abs (%)	Coef		Porosidad Abierta (%)	Porosidad Total (%)
						Abs.Capilar. (g/cm ² s- 0.5)			
Cantera	B	1,45	2,71	46,28	23,31	0,00406		33,06	46,49
	D	2,15	2,70	20,34	5,77	0,00114		11,3	20,37
Catedral	B	1,49	2,74	51,45	19,97	0,005516		42,25	45,82
	D	1,89	2,63	27,78	13,53	0,004416		16,25	28,02

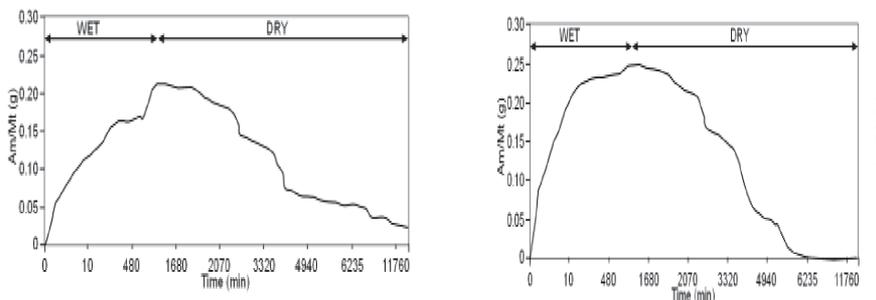


Figura 4. Gráfico de absorción-desorción de agua a presión atmosférica. Izquierda Litotipo Duro. Derecha Litotipo Blando.

En la figura 5 se puede observar los resultados obtenidos con el porosímetro de mercurio. El tamaño del poro en el caso del litotipo D está comprendido entre 0.1 y 10 μm mientras que en el litotipo B se encuentra entre 0,1 y 20 μm confirmando de esta manera los resultados obtenidos en la microscopía óptica.

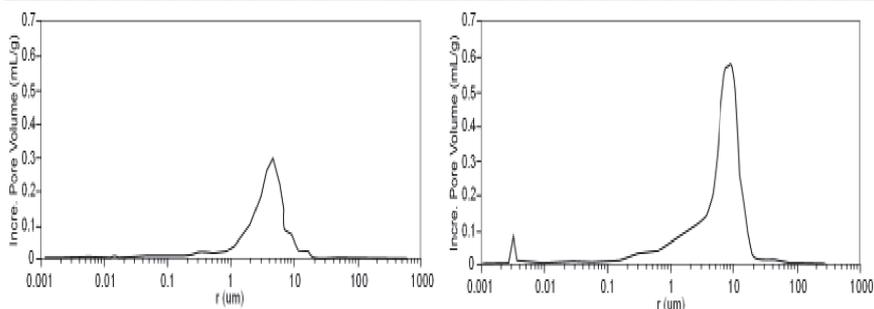


Figura 5. Distribución del tamaño del poro. Incremento del volumen del poro (Incr. Pore Vol) en mL/g. Logaritmo del radio del poro en μm . Izquierda Litotipo Duro. Derecha Litotipo Blando.

Ensayos mecánicos

En la tabla 4 podemos observar los resultados de la resistencia a compresión y su relación con el tamaño del poro y la porosidad.

Tabla 4. Tabla resistencia compresión, comparativa con tamaño del poro y porosidad.

Fuente	Tipo	Resistencia (N/mm ²)	Tamaño del poro (μm)	Porosidad Abierta (%)
Cantera	B	4,97	0,1-20	33,06
	D	45,04	0,1-10	11,3
Catedral	B	5,88	0,1-20	42,25
	D	31,22	0,1-10	16,25

Ensayos durabilidad

En cuanto a los ensayos de durabilidad de la piedra, se han realizado ciclos de simulación de la acción del hielo-deshielo y la cristalización de sales, pues puede considerarse los principales mecanismos de deterioro de un material expuesto a condiciones externas. El sistema poroso y la distribución porométrica de una roca, condiciona la accesibilidad de fluidos en su interior con el consiguiente efecto de deterioro. Los resultados nos muestran que el litotipo Blando tiene una pérdida de peso superior a la del litotipo Duro.

Los resultados obtenidos en los ensayos de cristalización de sales indican que, el litotipo B presenta un peor comportamiento con mayor pérdida de peso y en menor número de ciclos, degradándose hasta quedar sus aristas redondeadas o rompiéndose en varios fragmentos. Mientras que el litotipo D tiene un mejor comportamiento a pesar que también se encuentra afectado (Torrero et al., 2014).

Ensayos in situ

En relación a los trabajos in situ en la catedral se centraron en la Capilla de los Muñoz (Figura 6). Los resultados obtenidos se pueden observar en las figuras (6 a 9). En la figura 6 están representadas las lecturas correspondientes al índice de rebote obtenido con el esclerómetro. Los valores están comprendidos entre 8 y 53 (adimensional). Podemos observar claramente las zonas con una mayor dureza que se concretan en la zona Este y Oeste del paramento. Por el contrario en la zona centro es donde se encuentran los valores más bajos. Las zonas de valores más bajos coinciden con sillares que tienen más disgregaciones e incluso pérdida de volumen.

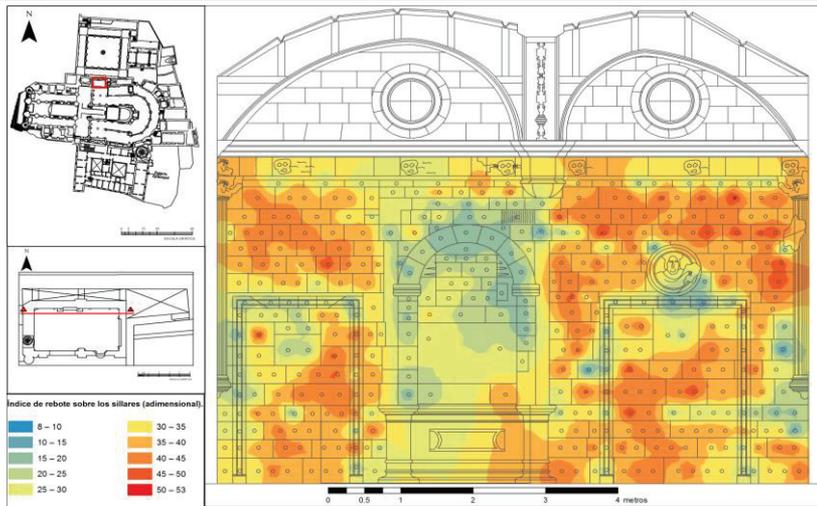


Figura 6. Mapa de índice de rebote obtenido mediante esclerómetro.

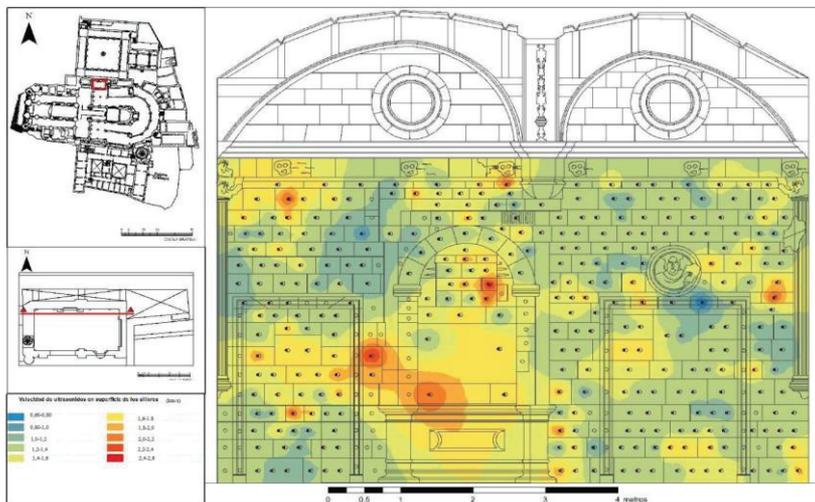


Figura 7. Mapa de velocidad de ultrasonidos.

En la figura 7, los resultados de la velocidad de ultrasonidos. Este ensayo consiste en la colocación de unos palpadores que hacen de transmisor y receptor de una señal, el aparato nos mide el tiempo que tarda en llegar esa señal de un palpador a otro. Los palpadores se colocaron a una distancia de 20 cm. De esta manera se calcula la velocidad de transmisión de esa señal, correspondiendo con un estado de deterioro mayor a menor velocidad. Las velocidades están comprendidas entre 0,6 y 2,6 km/s. Se

observa una coincidencia con los resultados obtenidos con el esclerómetro.

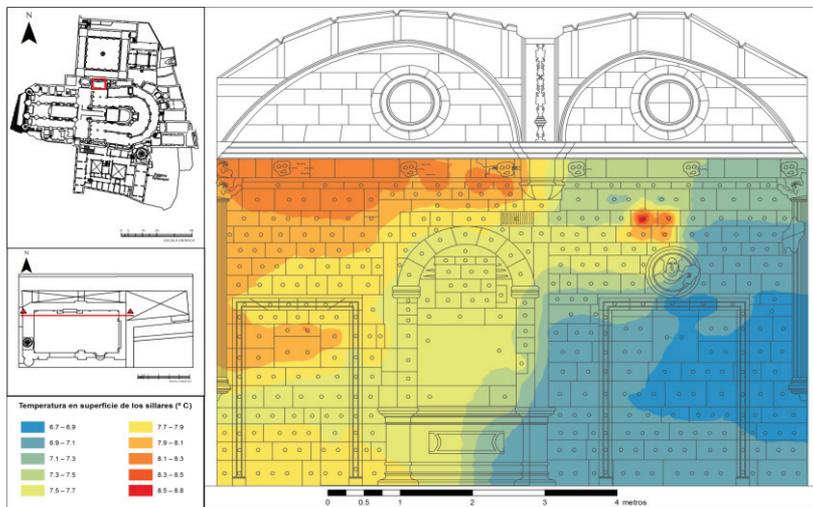


Figura 8. Mapa de temperatura superficial.

En la figura 8 está representada la temperatura superficial de los sillares. Se observa claramente una mayor temperatura en el lado izquierdo del paramento que va disminuyendo hacia la derecha y hacia abajo, producido porque en ese lado el muro está desprotegido quedando totalmente a la intemperie.

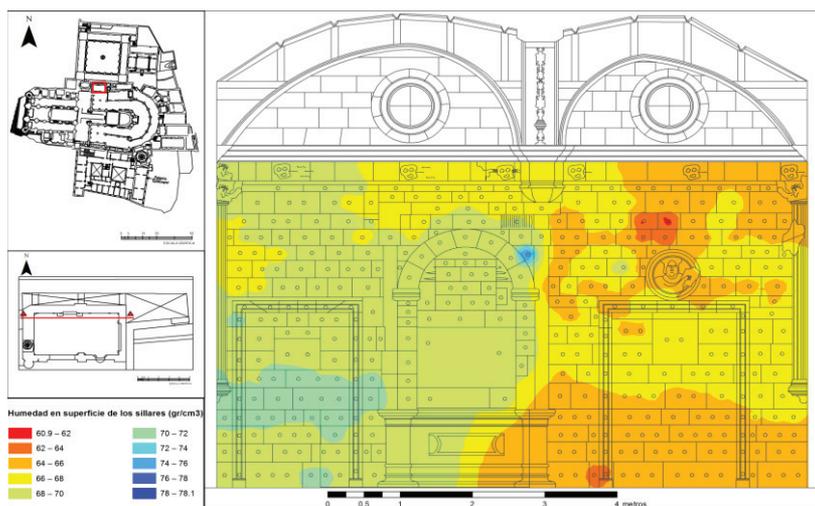


Figura 9. Mapa de humedad superficial.

En la figura 9 se representa la humedad superficial en la que se refleja claramente la humedad del muro en su parte inferior debido a que está situado a un nivel inferior con respecto al patio situado al otro lado y también la humedad de la parte superior derecha como consecuencia de la humedad procedente de la cubierta.

Conclusiones

La Catedral de Santa María de Cuenca fue construida en su mayoría con la piedra procedente de Arcos de la Cantera. Los resultados petrológicos confirman la procedencia de estos materiales y su correspondencia en las diferentes partes de la Catedral. Por lo general el litotipo B tiene una mejor trabajabilidad y es usada como material de ornamento en cornisas, figuras y relieves. El grupo D es utilizado como material resistente para sillares y como material portante.

El grupo "D", es más resistente a los procesos de degradación que el litotipo B debido a la menor porosidad y menor espectro del tamaño de poro. No obstante, debido a la estructura del sistema poroso ambas muestras son susceptibles de degradación ante los procesos de imbibición por capilaridad, cristalización de sales y heladicidad. En las muestras blandas con mayor porosidad abierta es más fácil absorber y evaporar el

agua, mientras que en las duras el proceso es más lento. El tiempo de residencia del agua en las muestras, a las mismas condiciones, será mayor en las muestras duras que en las blandas.

La patología más frecuente en la Catedral de Cuenca es la producida por filtraciones de agua agravada por la climatología de Cuenca que provocan en el material pétreo una degradación debido a la configuración de su sistema poroso.

El estado de conservación del material de Arcos de la cantera depende del tipo de roca y según la ubicación de la piedra (exterior o interior). En el exterior, independientemente del litotipo de roca, existen pátinas biológicas, negras, ensuciamiento biológico y vandalismo. Para el litotipo B una de las lesiones más característica es la alveolización en forma de pequeñas cavidades, inferior a 100 micras, causada por la disolución e hidrólisis seguida de disolución de mineral principal, la calcita. También aparecen en los muros de mampostería y/o sillería el picado, con huecos de tamaños heterogéneos pero no superiores a los 5 mm de radio.

En el interior son abundantes las eflorescencias de sales que precipitan arrastradas por diferentes tipos de humedades afectando principalmente al tipo B debido a su capacidad de absorción y porosidad. El espesor de las eflorescencias puede llegar a hasta 1 cm, teniendo esta una fácil extracción.

La disgregación y la pérdida de volumen son también lesiones frecuentes.

Los ensayos no destructivos realizados en la Capilla de los Muñoz, nos confirman las patologías más comunes que tiene el paramento analizado, es decir, eflorescencias disgregaciones y pérdidas de volumen. La humedad registrada hace que aparezcan sales y eflorescencias que van deteriorando el pétreo produciendo disgregaciones y pérdidas de materia. Las zonas que presentan estas patologías, coinciden con velocidades más lentas en el caso de los resultados de ultrasonido y valores más bajos en el caso del esclerómetro.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a las alumnas y compañeras de trabajo Mónica Canosa, Ana Coronado y Nieves Arroyo, al técnico del laboratorio LACAE Pedro Palomino, al maestro cantero Elías Alonso y al

director de la Catedral Miguel Ángel Albares por su colaboración y buena disposición en el desarrollo de estos trabajos.

Bibliografía

Bermejo Díez, Jesús (1977). La Catedral de Cuenca. Caja de Ahorros Provincial de Cuenca. ISBN 84-500-1641-X.

Noguera Campillo, F., Cassinello, M.J (2012). Las cubiertas del gótico radiante español. La búsqueda de la luz. Universidad de Castilla la Mancha. Departamento de Arte. Cuenca, España. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas. ISBN 84-7293-402-4.

Palomo Fernández, Gema. (2002). La Catedral de Cuenca en el Contexto de las Grandes Canterías Catedralicias de la Baja Edad Media. Diputación de Cuenca. ISBN 84-96025-04-7.

Rokiski Lázaro, M^a Luz. (1995). Arquitecturas de Cuenca Patrimonio histórico de Castilla-La Mancha.

Torrero E., Canosa M., Coronado A., Sanz D., Navarro V. (2014). Pathologies and physical characterization of the Stone elements of the Cathedral of Santa María of Cuenca (Spain). In Proceedings of the International Conference on preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings. Eds. Amoéda R., Lira S., Pinheiro C. Portugal, pp. 1013 -1019. Green Lines Institute for Sustainable Development. ISBN 978-989-8734-01-3.

Torrero, E., Sanz, D., Navarro, V., (2012). Porosity and pore size distribution of the dimension Stone in the historic city of Cuenca. 2nd International Conference on Construction and Building Research. Valencia. Coinvedi. Springer Dordrecht Heidelberg New York London. ISBN: 978-94-007-7789-7.

TELECOMUNICACIONES

Avances en Tecnologías de Comunicación basadas en Microondas.

Leticia Martínez*, Ángel Belenguer*, Alejandro L. Borja*, Joaquín Cascón*, Marcos D. Fernández*, José Antonio Ballesteros*, Ana M. Torres* y Jorge Mateo*

Resumen En los últimos años se han presentado una gran variedad de nuevas tecnologías y dispositivos de comunicación. Estas nuevas tecnologías y dispositivos requieren el uso de componentes con propiedades mejoradas respecto al tamaño, peso, tipo de propagación de señales, respuesta reconfigurable en tiempo real, etc. En el seno del grupo de Electromagnetismo Aplicado de la Universidad de Castilla-La Mancha se están realizando varios estudios en esta dirección. Más específicamente, se está investigando en el diseño de componentes de microondas basados en estructuras integradas en sustrato y metamateriales.

*Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, Leticia.Martinez@uclm.es, Angel.Belenguer@uclm.es, Alejandro.Lucas@uclm.es, Joaquin.Cascon@uclm.es, Marcos.Fernandez@uclm.es, JoseA.Ballesteros@uclm.es, Ana.Torres@uclm.es y Jorge.Mateo@uclm.es

Introducción

Actualmente, los sistemas de comunicaciones espaciales proporcionan diversos servicios de carácter científico, tecnológico y social, así como aplicaciones críticas de seguridad y defensa; para lo cual suelen operar en las bandas bajas de microondas (entre 1 y 18 GHz). Desde 2006, con la primera generación de satélites de banda Ka (20/30 GHz), las comunicaciones espaciales han proporcionado servicios de banda más ancha (10Gbps), TV y vídeo bajo demanda, comunicaciones de espacio profundo, y nuevas aplicaciones militares y de seguridad. Hoy en día, la segunda generación de satélites en banda Ka (Viasat-1, Ka-SAT, Hylas y Jupiter) está en fase de desarrollo. Gracias al soporte de velocidades de transmisión mayores de 100 Gbps, se ofrecerán servicios avanzados de comunicaciones móviles, sistemas de navegación y de observación de la Tierra, con enormes aplicaciones en el ámbito civil, la seguridad y la defensa.

Todas estas futuras necesidades espectrales conducen a que actualmente ya se esté operando en la banda Ka y se explore la posibilidad de usar bandas más altas como Q y V (50/60 GHz), tal y como ya se experimenta en el satélite Alphasat de la ESA. La correcta operación de estos nuevos servicios en frecuencias milimétricas (por encima de 20 GHz) implica numerosos desafíos tecnológicos en el diseño de las cargas útiles de los satélites; pues a dichas frecuencias, las pérdidas son muy elevadas. Al mismo tiempo, los futuros sistemas de comunicaciones espaciales deben tener capacidad de reconfiguración de parámetros como frecuencias portadoras, anchos de banda y cobertura (haces reconfigurables), y ofrecer controles de ganancia adaptativa a cambios en condiciones atmosféricas y ambientales.

Es en este último aspecto, el diseño de dispositivos reconfigurables para aplicaciones de telecomunicación espacial, en el que se centra la actividad del Grupo de Electromagnetismo Aplicado de la UCLM, fundado en el año 2008. En este sentido, la tecnología planar (debido a sus niveles de compactación, así como su fácil integración con otros circuitos implementados en tecnología de estado sólido, como mezcladores y amplificadores, es un firme candidato para desarrollar prototipos reconfigurables para comunicaciones espaciales realizables en la práctica. A día de hoy, la tecnología planar se emplea en el diseño de componentes

pasivos ubicados en la etapa de entrada de los satélites de comunicaciones (habitualmente filtros para eliminar señales espurias indeseadas que se generen tras las operaciones de mezclado o de amplificación con SSPAs, estado sólido). Sin embargo, un aspecto sumamente relevante a considerar en el diseño de soluciones planares para espacio a tan altas frecuencias (bandas Ku, Ka y Q/V) son las pérdidas asociadas a dicha tecnología, que resultan muy elevadas debido a las contribuciones tanto de los conductores (más relevantes a frecuencias más elevadas) como de los sustratos dieléctricos empleados. Con el fin de superar el importante problema que suponen las pérdidas, se explotan dos tecnologías planares novedosas: la síntesis de medios zurdos mediante metamateriales y las guías integradas en sustratos planares (SIW). Ambas tecnologías presentan propiedades muy interesantes desde el punto de vista de las pérdidas y, al ser ambas soluciones planares, también permitirán incorporar soluciones de reconfiguración complejas capaces de cumplir los estrictos requisitos de los dispositivos empleados en comunicaciones espaciales.

En resumen, el Grupo de Electromagnetismo Aplicado de la UCLM está centrado en el estudio de dos vías alternativas para el desarrollo de dispositivos pasivos reconfigurables para comunicaciones espaciales, ambas basadas en tecnologías planares novedosas, con bajas pérdidas y con grandes posibilidades de aplicación.

Diseño de componentes basados en metamateriales

En la primera vía se estudia la posibilidad de aplicar el concepto de "medio zurdo metamaterial" al diseño e implementación de dispositivos reconfigurables para comunicaciones vía satélite.

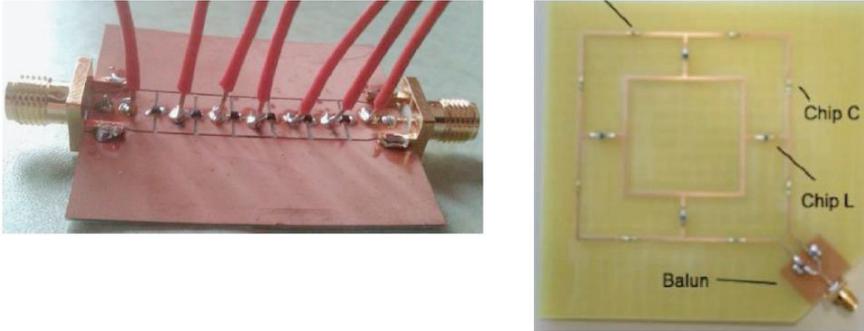


Figura 1. Izquierda: filtro reconfigurable (varactores) en tecnología coplanar basado en metamateriales. Derecha: loop reconfigurable basado en metamateriales.

La experiencia en el desarrollo de dispositivos reconfigurables basados en medios zurdos en el Grupo de Electromagnetismo Aplicado es bastante amplia. Durante los últimos 4 años se han desarrollado diversos dispositivos reconfigurables basados en esta tecnología. Así, durante el año 2011, se propuso un filtro en línea coplanar con respuesta sintonizable en ancho de banda (Borja, Carbonel, Martínez, Boria y Lippens, 2011) (Figura 1 izquierda). Siguiendo esta misma línea y en colaboración con un investigador de la Anglia Ruskin University (UK), se han estudiado diversas alternativas para el diseño de filtros reconfigurables compactos en tecnología coplanar, lo que ha permitido preparar un capítulo de libro (Borja, Kelly, Belenguer, Cascón y Boria, 2012). También se ha trabajado activamente en el diseño de antenas reconfigurables basadas en medios zurdos, como la antena reconfigurable en forma de espira cuadrada con mayor capacidad de lectura de etiquetas RFID en campo próximo (Figura 1 derecha), que se ha dado a conocer a través de la publicación de un artículo en revista internacional de prestigio (Borja, Belenguer, Cascón y Kelly, 2012), un póster en un congreso internacional (Serrano, Díaz, Belenguer, Cascón, Esteban y Borja, 2012) y un póster en un congreso nacional (Martínez, Borja, Belenguer y Cascón, 2012).

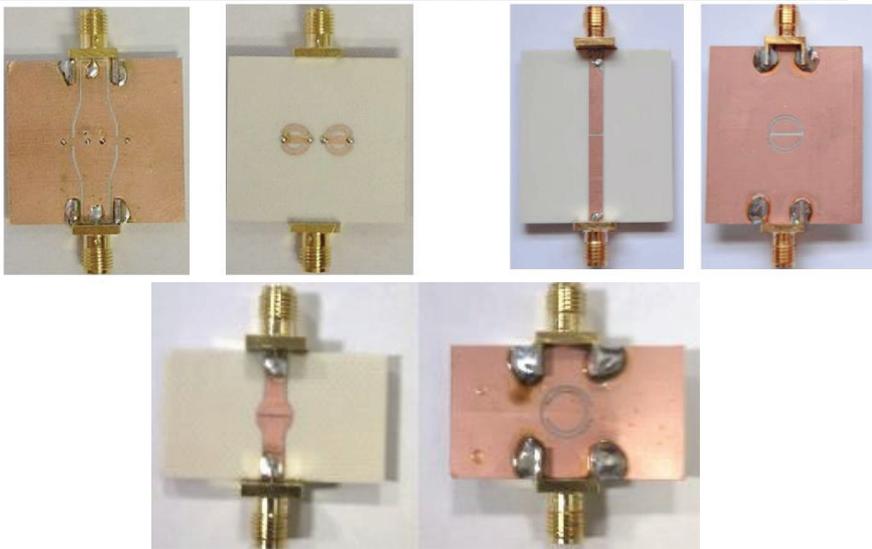


Figura 2. Línea de Transmisión compuesta diestra-zurda dual basada en una nueva configuración de resonador en tecnología coplanar (izquierda). Línea de transmisión microstrip cargada con anillos resonantes tipo CSRR modificados (derecha). Línea de transmisión microstrip con acopló eléctrico aumentado y CSRR (abajo).

Paralelamente, se han propuesto diversas celdas unitarias que permiten sintetizar líneas de transmisión zurdas con respuestas mejoradas. Inicialmente, se propuso una nueva topología de línea de transmisión en tecnología coplanar basada en medios diestro-zurdos, la cual presenta un excelente comportamiento en un gran ancho de banda tras compensar en frecuencia las bandas de paso asociadas a la propagación zurda y diestra (Borja, Belenguer, Esteban, Cascón y Boria, 2011), (Sanz, Borja, Cascón y Belenguer, 2012). Dicha compensación se consigue cargando la línea de transmisión con distintos elementos (bobinas y condensadores), pero el diseño conseguido, aunque presenta una buena respuesta, no es demasiado compacto. Con el fin de buscar nuevas alternativas más compactas, y dentro del marco de trabajo del grupo, se propuso un nuevo modelo circuital equivalente para líneas coplanares cargadas con anillos resonantes tipo SRR, que permite modelar los comportamientos zurdo y diestro de dichas estructuras en anchos de banda amplios (Sanz, Belenguer, Borja, Cascón, Esteban y Boria, 2012). Aprovechando la información obtenida con este nuevo modelo circuital, sobretodo del anillo SRR, se han propuesto diferentes configuraciones en línea coplanar que permiten obtener líneas zurdas con comportamientos especiales

(balanceadas y balanceadas duales), cargando el anillo con distintos elementos reactivos (Belenguer, Cascón, Borja, Esteban y Boria, 2012), (Sanz, Belenguer, Martínez, Borja, Cascón y Boria, 2014) (Figura 2 izquierda). También se ha propuesto un modelo circuital mejorado para el anillo SRR complementario (CSRR), lo que ha permitido trasladar este tipo de soluciones a tecnología microstrip (Belenguer, Borja y Boria, 2013) (Figura 2 derecha). Todas estas nuevas topologías desarrolladas en el seno del grupo de investigación, se basan en la propuesta novedosa (original de este grupo de investigación) de modificar el elemento resonante en lugar de la línea de transmisión para conseguir propiedades especiales en las líneas zurdas resultantes, y no habrían sido posibles si no se hubiera desarrollado previamente un modelo circuital apropiado para caracterizarlas (Sanz, Belenguer, Borja, Cascón, Esteban y Boria, 2012). Además, también se han estudiado topologías en las que se modifica la línea de transmisión como la reciente publicación (Martinez, Belenguer, Cascon y Borja, 2014) donde a una línea microstrip se modifica para incrementar el acoplo eléctrico con el resonador CSRR que se encuentran en el lado opuesto a la línea, para obtener un comportamiento paso alto.

Métodos numéricos, SIW y ESIW

Por lo que respecta a la segunda vía, el Grupo de Electromagnetismo aplicado también tiene una amplia experiencia en el análisis y diseño de dispositivos basados en guías integradas en sustratos (SIW), para explorar distintas alternativas para desarrollar dispositivos reconfigurables aplicables en comunicaciones espaciales.

Por ejemplo, se han propuesto dos métodos híbridos para el análisis preciso y eficiente de dispositivos con un número arbitrario de accesos. El primer método híbrido (Belenguer, Esteban, Díaz, Bachiller, Cascón y Boria, 2011) implementa un esquema de barrido rápido que permite obtener tiempos de análisis muy reducidos en estructuras complejas. El segundo método (Díaz, Esteban, Belenguer y Boria, 2012), no permite un barrido rápido en frecuencia, pero es más rápido cuando el barrido frecuencial es discreto, por lo que resulta muy atractivo para aplicaciones en las que se requieren análisis muy precisos. Estas herramientas de análisis, junto a estrategias avanzadas de diseño, se han aplicado con éxito al desarrollo de filtros en esta tecnología, con diferentes configuraciones (Díaz, Esteban,

Belenguer y Boria, 2012), (Díaz, Esteban, Belenguer, Boria, Morro y Cascón, 2011), (Díaz, Esteban, Belenguer y Boria, 2011), (Figura 3 arriba).

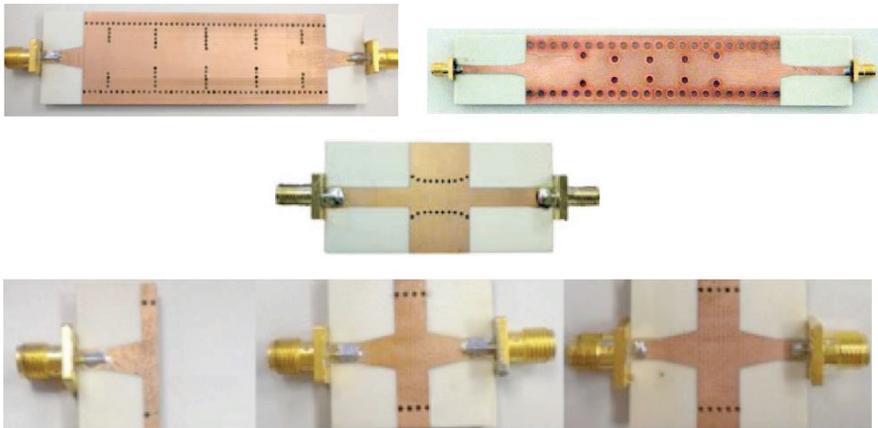


Figura 3. Filtro de cavidades acopladas en tecnología SIW basados en cavidades acoladas por ventanas inductivas (arriba izquierda) y con postes metálicos dobles (arriba derecha), y elementos de un nuevo procedimiento de medida de dispositivos en tecnología SIW (abajo).

También se ha estudiado el diseño de transiciones de SIW a línea microstrip. Concretamente, se han estudiado tapers microstrip-SIW con diversas geometrías (Díaz, Morro, Belenguer, Esteban y Boria, 2012), se han mejorado las ecuaciones de diseño para estos tapers (Miralles, Esteban, Bachiller, Belenguer y Boria, 2011) y, finalmente, se ha propuesto una nueva topología de taper para el caso en que la SIW tenga una impedancia superior a la de la microstrip (Miralles, Esteban, Bachiller, Belenguer y Boria, 2011) (Figura 3 centro) ya que, en este caso, el taper tradicional no proporciona buenos resultados.

Paralelamente, y con el fin de caracterizar adecuadamente los diseños realizados en SIW, se ha propuesto un procedimiento de medida especialmente adaptado a esta tecnología, que se ha dado a conocer con una publicación en una revista internacional de prestigio (Díaz, Belenguer, Esteban, Monerris-Belda y Boria, 2013) (Figura 3 abajo).

Finalmente, aprovechando la experiencia acumulada en el análisis y diseño de dispositivos SIW, así como la información recogida a partir de los resultados experimentales obtenidos gracias al procedimiento de medida desarrollado, se ha propuesto, desde el grupo (en colaboración con el Grupo de Aplicaciones de las Microondas de la UPV), una novedosa topología de guía integrada en sustrato (ESIW), que permite diseñar

dispositivos pasivos con altas prestaciones integrados en sustrato dieléctrico.

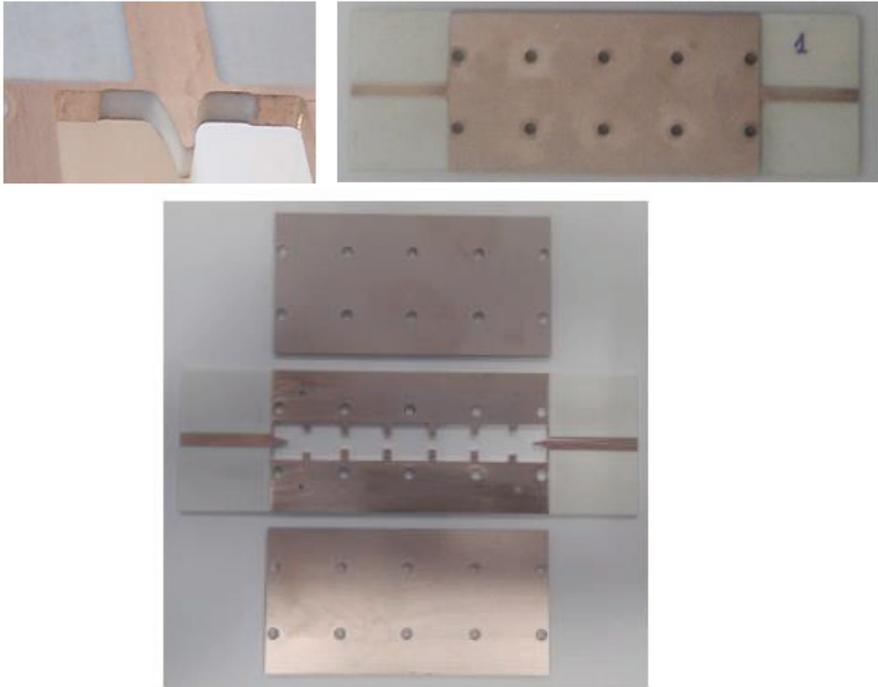


Figura 4. Detalle de un prototipo de filtro a 19.5 GHz fabricado usando la nueva topología de guía integrada en sustrato (ESIW). Detalle de la transición microstrip a esta nueva topología (izquierda). Filtro ensamblado (derecha). Despiece del filtro (abajo).

Esto implica que utilizando esta nueva guía integrada en sustrato, se podrían mejorar los dispositivos pasivos de las etapas de entrada de los satélites de comunicaciones, implementados mediante tecnologías planares clásicas o SIW tradicionales. Las altas prestaciones que se pueden conseguir con esta nueva topología se han corroborado experimentalmente con un estudio realizado en banda X y K (11 y 19.5 GHz) publicado en la prestigiosa revista internacional IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Belenguer, Esteban y Boria, 2014) (Figura 4).

Conclusiones

En el Grupo de Electromagnetismo Aplicado de la Universidad de Castilla-La Mancha realizamos una actividad bastante intensa desarrollada en la Escuela Politécnica de Cuenca. Seguimos trabajando para avanzar más en el diseño de dispositivos microondas, SIW y ESIW; combinando las avanzadas capacidades de reconfiguración que permiten los circuitos planares, como las respuestas de alta calidad que se pueden obtener con la última línea de estudio en la que estamos trabajando, soluciones guiadas sin dieléctrico (ESIW).

Bibliografía

Belenguer, A., Borja, A. L., Boria, V. E. (2013). *Balanced Dual Composite Right/Left-Handed Microstrip Line With Modified Complementary Split-Ring Resonators*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters vol. 12, pp. 880-883, Sep. 2013.

Belenguer, A., Cascón, J., Borja, A. L., Esteban, H., Boria, V. E. (2012). *Dual Composite Right-/Left-Handed Coplanar Waveguide Transmission Line Using Inductively Connected Split-Ring Resonators*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 60, nº10, pp. 3035-3042, 2012.

Belenguer, A., Esteban, H., Boria, V. E. (2014). *Novel empty substrate integrated waveguide for high performance microwave integrated circuits*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 62, nº4, pp. 832-839, Abril 2014.

Belenguer, A., Esteban, H., Diaz, E., Bachiller, C., Cascon, J., Boria, V. E. (2011). *Hybrid Technique Plus Fast Frequency Sweep for the Efficient and Accurate Analysis of Substrate Integrated Waveguide Devices*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 59, pp. 552-560, Mar. 2011.

Borja, A. L., Belenguer, A., Cascon, J., Kelly, J. (2012). *A Reconfigurable Passive UHF Reader Loop Antenna for Near-Field and Far-Field RFID Applications*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 11, pp. 580-583, 2012.

Borja, A. L., Belenguer, A., Esteban, H., Cascon, J., Esteban, H., Boria, V. E. (2011). *Wideband Pass-Band Transmission Line based on Metamaterial-Inspired CPW Balanced Cells*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 10, pp. 1421-1424, Dic. 2011.

Borja, A. L., Carbonell, J., Martínez, J. D., Boria, V. E., Lippens, D. (2011). *A controllable bandwidth filter using varactor-loaded metamaterial-inspired transmission lines*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 10, pp. 1575-1578, 2011.

Borja, A. L., Kelly, J., Belenguer, A., Cascon, J, Boria, V. E. (2012). Editor: Dr. Xun-ya Jiang. *Compact Coplanar Waveguide Metamaterial-Inspired Lines and its Use in Highly Selective and Tunable Bandpass Filters* (Capítulo 31). Capítulo de libro incluido en "*Metamaterial*", Intech Open Access Publisher, Austria, 2012. ISBN: 979-953-307-563-0.

Díaz, E., Belenguer, A., Esteban, H., Boria, V. E. (2013). *Thru-reflect-line calibration for substrate integrated waveguide devices with tapered microstrip transitions*. Electronics Letters, vol. 49, pp. 132-133, 2013.

Díaz, E., Belenguer, A., Esteban, H., Monerris-Belda, O., Boria, V. E. (2013). *A Novel Transition from Microstrip to a Substrate Integrated Waveguide with Higher Characteristic Impedance*. International Microwave Symposium (IMS2013), Junio 2013.

Díaz, E., Esteban, H., Belenguer, A., Boria, V. E. (2011). *Método híbrido para el diseño eficiente de filtros en guía de ondas integrada en sustrato*. XXVI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio, Actas del Congreso 4 pág., Leganés (Spain), Sept. 2011.

Díaz, E., Esteban, H., Belenguer, A., Boria, V. E. (2012). *Efficient Analysis of Substrate Integrated Waveguide Devices Using Hybrid Mode Matching Between Cylindrical and Guided Modes*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 60, pp. 232-243, Ene. 2012.

Díaz, E., Esteban, H., Belenguer, A., Boria, V. E., Morro, J. V., Cascón, J. (2011). *Efficient design of substrate integrated waveguide filters using a hybrid MoM/MM analysis method and efficient rectangular waveguide design tools*. Proceedings of the International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA'11), pp. 456-459, Torino (Italy), Sept. 2011.

Díaz, E., Morro, J. V., Belenguer, A., Esteban, H., Boria, V. (2012). *Diseño de filtros en guía integrada en sustrato con simuladores basados en expansiones modales en espacio abierto*. XXVII Simposium nacional de la Unión de Radio Científica Internacional (URSI 2012), Elche (España), Septiembre 2012.

Martinez, L., Belenguer, A., Cascon, J, Borja, A. L. (2014). *Wideband High Pass Complementary Split Ring Resonator based Microstrip Transmission Line with Augmented Electric Coupling*. International Journal of Sensors, Woreless Communications and Control, nº4, pp. 32-34, 2014.

Martinez, J. A., Borja, A. L., Belenguer, A., Cascon, J. (2012). *Aplicaciones de lectura RFID de campo cercano y lejano*. I Congreso Nacional de Investigación en Grado, Albacete (ESPAÑA), Mayo 2012.

Miralles, E., Esteban, H., Bachiller, C., Belenguer, A., Boria, V. E. (2011). *Diseño de transiciones de línea microstrip a guía integrada en sustrato dieléctrico con diferentes geometrías*. URSI'11, XXVI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio, Actas del Congreso 4 pág., Leganés (Spain), Sept. 2011.

Miralles, E., Esteban, H., Bachiller, C., Belenguer, A., Boria, V. E. (2011). *Improvement for the design equations for tapered microstrip-to-substrate integrated waveguide transitions*. Proceedings of the International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA'11), pp. 456-459, Torino (Italy), Sept. 2011.

Sanz, V., Belenguer, A., Borja, A. L., Cascon, J., Esteban, H., Boria, V. E. (2012). *Broadband Equivalent Circuit Model for a Coplanar Waveguide Line Loaded with Split Ring Resonators*. International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2012, pp. 613518-1-613518-6, 2012.

Sanz, V., Belenguer, A., Martínez, L., Borja, A. L., Cascón, J., Boria, V. E. (2014). *Balanced Right/Left-Handed Coplanar Waveguide With Stub-Loaded Split-Ring Resonators*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters vol. 13, pp. 193-196, Ene. 2014.

Sanz, V., Borja, A. L., Cascón, J., Belenguer, A. (2012). *Balanced composite right/left-handed metamaterial CPW transmission line with improved bandwidth*. Metamaterials 2012, San Petersburgo (Rusia), Septiembre 2012.

Serrano, E., Diaz, E., Belenguer, A., Cascon, J., Esteban, H., Borja, A. L. (2012). *Reconfigurable Omnidirectional Loop Antenna with Left-handed Loading for RFID Applications*. PIER Symposium, Kuala Lumpur (Malaysia), Marzo 2012.

La identificación por radiofrecuencia (RFID) y sus aplicaciones.

José Iván San José*, Jesús Blanco*, Juan José de Dios**, Roberto Zangróniz** y José Manuel Pastor***

Resumen La identificación por radiofrecuencia (RFID, Radio Frequency Identification) es un conjunto de tecnologías que pretende sustituir a todos los sistemas de identificación de objetos, personas o mercancías que están actualmente en uso, desde documentos en papel hasta códigos de barras, con dispositivos de radiofrecuencia de alcance limitado. Los procedimientos que utiliza RFID están basados en la ingeniería del radar. Con el uso de esta tecnología, también se pueden realizar tareas de trazabilidad de productos, importantes en empresas dedicadas al transporte de mercancías perecederas o especiales. En este artículo, vamos a realizar una descripción de los diferentes proyectos que se han realizado en la Escuela Politécnica de Cuenca, utilizando la tecnología RFID, por un grupo de investigación del Departamento de Sistemas Informáticos. En dicho grupo, se han realizado, tanto desarrollos software, como hardware, utilizando dicha tecnología para el seguimiento y la trazabilidad de cualquier tipo de materia prima o producto.

* Personal I+D. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain JoseIvan.SanJose@uclm.es y Jesus.Blanco@uclm.es

**Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, JuanJose.deDios@uclm.es y Roberto.Zangroniz@uclm.es

***Director del Instituto de Tecnologías Audiovisuales. Departamento de Sistemas Informáticos. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, JoseManuel.Pastor@uclm.es

Introducción

En este artículo, vamos a describir los proyectos que un grupo de profesores y personal investigador, pertenecientes a los departamentos de Sistemas Informáticos y de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y Comunicaciones de la Escuela Politécnica de Cuenca, han realizado utilizando la tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID), junto con otras tecnologías como Redes de Sensores Inalámbricos (WSN).

La estructura de este artículo es la siguiente: el apartado de introducción; el segundo apartado en el que se describe en profundidad la tecnología RFID utilizada para los proyectos; el tercer apartado en el que se describen los distintos proyectos realizados con dicha tecnología; el cuarto apartado en el que se mencionan las 2^{as} Jornadas Científicas sobre RFID celebradas en la Escuela Politécnica de Cuenca en el año 2008; un quinto apartado de conclusiones y un último apartado, que corresponde con la bibliografía utilizada.

Identificación por Radiofrecuencia (RFID)

RFID es un conjunto de tecnologías que pretende sustituir a todos los sistemas de identificación de objetos, personas o mercancías que están actualmente en uso, desde documentos en papel hasta códigos de barras, con dispositivos de radiofrecuencia de alcance limitado (Finkenzeller, 2003) (Pastor, García y San José, 2011). Los procedimientos que utiliza RFID están basados en la ingeniería del radar.

Un sistema RFID está formado por:

- Un lector, cuya sección de radiofrecuencia genera un campo electromagnético más o menos intenso.
- Etiquetas o tags RFID, que se fijan en el objeto y que están dotadas de una antena sintonizada a la frecuencia del lector y un circuito electrónico en el que se han memorizado los datos.

Cuando una etiqueta entra en el campo electromagnético generado por un lector, por estímulo de ese campo restituye su código identificativo y cualquier otra información característica que pueda contener. En la figura 1 mostramos un esquema típico de un sistema RFID.

En la actualidad existe una gran diversidad de sistemas RFID, funcionando a diferentes frecuencias y con distintas modalidades. Todas las etiquetas RFID existentes, tienen en común la facultad de funcionar sin supervisión durante largos periodos de tiempo y la capacidad de transmitir por radio su código identificativo, contenido en su memoria, cuando reciben de un lector la orden oportuna. Este código numérico es característico del producto. En otras palabras, con la tecnología RFID se hace posible "interrogar" un objeto y obtener una respuesta, todo ello en formato digital.

Entre las ventajas de este sistema de identificación presenta respecto de los actualmente en uso, como el código de barras, destaca la no necesidad de establecer contacto óptico ni físico entre la etiqueta y el lector, y que las etiquetas pueden alojarse, incluso, en el interior del envase del producto o dentro del propio producto.

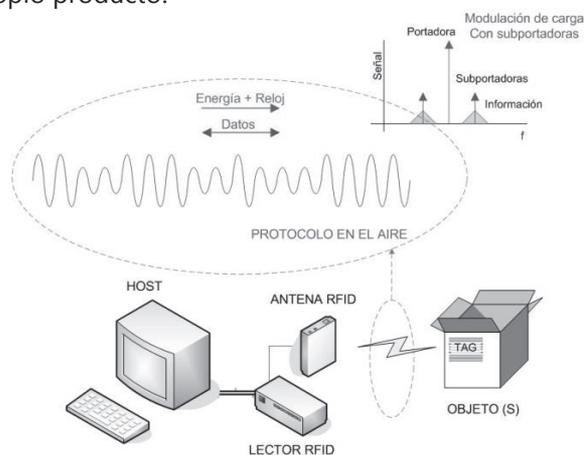


Figura 1. Esquema típico de un sistema RFID.

Un poco de historia

Los orígenes de RFID no están del todo claros. Su primera aparición fue en la II Guerra Mundial, en los combates aéreos. Pilotos británicos se dieron cuenta que, a veces y de forma inexplicable, los pilotos alemanes movían sus aviones al unísono. Posteriormente, la inteligencia británica aprendió que los pilotos alemanes estaban usando una clase de RFID manual para ayudar a identificar sus aviones en el sistema de radar alemán, recientemente inventado. Más tarde, los aliados crearon el sistema

“Identification, Friend or Foe” (IFF), es decir, sistema de identificación amigo o enemigo, el cual utilizaban para identificarse (Bhatt y Glover, 2006).

La primera aplicación no militar de la tecnología RFID, fue patentada en Estados Unidos, en el año 1969, por Mario Cardillo. Esta aplicación estaba centrada en la identificación de vehículos, pacientes y tarjetas de crédito. En esos años, el uso de esta tecnología en la industria estaba poco extendido, debido a su alto coste.

La tecnología RFID llegó a Europa en los años 80 como método de identificación de ganado en el sector privado. El método consistía en insertar bajo la piel del animal, una etiqueta RFID pasiva y con ello se conseguía distinguir los animales que habían sido vacunados de los que no lo habían sido.

Durante los años 90 es cuando la tecnología RFID toma más relevancia, debido al bajo coste de fabricación y a que IBM consiguió integrar todo el circuito en un solo chip.

En 1999 se fundó el Auto-ID Center como una sociedad de casi 100 compañías internacionales y dos universidades: el Massachusetts Institute of Technology (MIT) de Estados Unidos y la University of Cambridge (UCAM) del Reino Unido. Posteriormente, se han unido otras grandes universidades de todo el mundo, como la University of Adelaida de Australia, la Keio University de Japón y la University of St. Gallen de Suiza.

Pero no fue hasta el año 2003 cuando la tecnología RFID comenzó a extenderse por la industria propiciado, sobre todo, por los avances tecnológicos, el abaratamiento de los costes y los esfuerzos del Departamento de Defensa de Estados Unidos.

Durante el año 2005 los principales proveedores de la empresa Wal-Mart, una cadena minorista de autoservicio, comenzaron a utilizar RFID como sistema de identificación de productos en los pedidos.

En la actualidad, RFID no sólo se sigue utilizando en temas relacionados con la identificación de productos, sino que han surgido nuevas vertientes dentro de la cadena de distribución, tales como el seguimiento (tracking) de un producto a lo largo de la cadena de suministro y la trazabilidad de un producto desde su fabricación hasta el final de su vida (Holmström, Framling y Ala-Risku, 2010).

Elementos de un sistema RFID

Los elementos que forman un sistema RFID, como podemos ver en la figura 2, son el lector o reader, las etiquetas, tags o transponders y el software de gestión de la información.

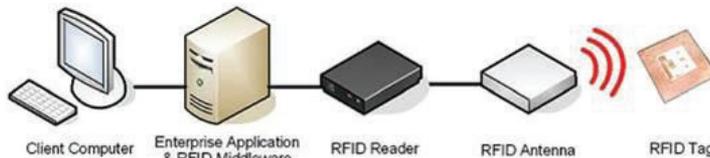


Figura 2. Elementos de un Sistema RFID.

A continuación describimos cada uno de los elementos de forma detallada.

- **Lector:** Un lector RFID se encarga de generar un campo electromagnético, a una frecuencia preestablecida, y de modular la trama codificada de información en forma de bits sobre la onda portadora, con el fin de transmitirla. Al mismo tiempo, también tiene la misión de recibir las señales procedentes de las etiquetas, para leer la información que estos transmiten.

Para transmitir y recibir información, los lectores están provistos de antenas. Éstas pueden estar integradas en el mismo encapsulado o ser exteriores al lector. Según el tipo del que sea el lector, puede tener una o varias antenas, con lo que aumentan las posibilidades de lectura. Normalmente, un lector es el dispositivo más grande, más potente y más caro de los sistemas RFID.

El hecho de que los sistemas RFID generen y radien ondas electromagnéticas, implica que éstos sean clasificados como sistemas de radio. La necesidad de acomodar otros servicios de radio, disminuye significativamente la variedad de frecuencias disponibles en las que se puede trabajar con un sistema RFID. Por este motivo, sólo es posible utilizar rangos de frecuencia que han sido reservados específicamente para aplicaciones industriales, científicas o médicas. Estas frecuencias, clasificadas mundialmente como rangos ISM (Industrial-Scientific-Medical) o SRD, pueden ser utilizadas también por aplicaciones de identificación por radiofrecuencia. En la figura 3 podemos ver las bandas de frecuencia que se utilizan en RFID.

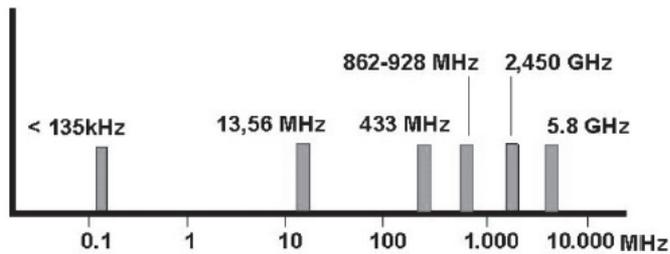


Figura 3. Bandas de frecuencia que se utilizan en RFID.

Las señales son moduladas y modificadas antes de ser transmitidas. La modulación en el dominio del tiempo, supone una combinación de dos señales: una señal contiene la información que se desea transmitir (señal moduladora) y la otra señal es auxiliar, que hace las veces de vehículo transmisor (señal portadora) y que suele ser de mayor frecuencia. Una modulación en el dominio de la frecuencia, implica trasladar la información a una banda de frecuencias más alta (Stallings, 2004).

El espectro electromagnético provee un medio (canal) no guiado para las transmisiones de radio punto-a-punto y/o broadcast. La transmisión de radio, normalmente, se diseña con un límite de ancho de banda. El ancho de banda analógico del canal, determina cuánta información (analógica o digital) puede ser transmitida por dicho canal. Un canal de transmisión en general y en los canales basados en radio en particular, nunca es perfecto, debido a que está expuesto a fuentes de ruido externas e incluso, internas. El ruido tiene una tendencia a degradar, romper o afectar a la calidad de una señal inteligente (Sohraby, Minoli y Znati, 2007).

Generalmente se asume que, a mayor frecuencia, la transmisión de datos es mayor y se obtienen mayores distancias de lectura y un mayor alcance (De las Morenas y García, 2007). A cada frecuencia se le asocian unas ventajas y desventajas relacionadas con sus capacidades. Las ondas de baja frecuencia, tienen un radio de lectura y transmisión de datos menor, pero tiene un mayor poder de penetración en metales y líquidos.

Los mecanismos físicos que afectan a la propagación de radio son la reflexión, la difracción y el scattering o dispersión, produciendo distorsiones y debilitaciones de la onda (Sohraby, Minoli y Znati, 2007). El objetivo para los ingenieros es optimizar el ratio señal/ruido. Muchos factores de diseño están relacionados

paramétricamente con la banda de frecuencia que se use. En particular, el problema de la direccionalidad aparece en rangos de frecuencia mayores.

- **Etiquetas:** Las etiquetas o tags RFID, son unos pequeños dispositivos que pueden ser adheridos o incorporados a un producto o ser vivo. Estos dispositivos, consisten en un pequeño microchip, algún tipo de almacenamiento de datos, lógica funcional limitada y una antena. La antena permite que el chip responda a la señal que emite el lector RFID. Dicho chip posee una memoria interna, que se utiliza para almacenar la información. Podemos clasificar las etiquetas RFID según su fuente de energía en (Falomir, 2006) (Tapia, Cueli, García, Corchado, Bajo y Saavedra, 2007):

- **Etiquetas activas:** poseen su propia fuente de energía, normalmente batería de litio o tipo AA, y pueden transmitir la información activamente al lector. Al poseer fuente de alimentación, permiten amplios rangos de lectura, son muy fiables, pueden tener memorias de hasta 128 Kbytes y su distancia de lectura puede alcanzar los 100 metros.

Debido a la autonomía de este tipo de etiquetas, es posible integrar sensores y sistemas de almacenamiento con mayores capacidades y funcionalidades, con el inconveniente del incremento de tamaño.

El costo y tamaño de las etiquetas activas es mayor que el de las etiquetas pasivas, por lo que es necesario estudiar detenidamente el ámbito de aplicación para elegir la mejor opción a ser implementada.

- **Etiquetas pasivas:** no disponen de fuente de energía, por lo que la absorben del campo electromagnético generado por los lectores RFID. Suelen ser etiquetas de solo lectura, más pequeñas, ligeras y baratas que las etiquetas activas y con un tiempo de vida ilimitado.

Este tipo de etiquetas tienen un corto alcance de lectura, que va desde centímetros hasta pocos metros, dependiendo de las frecuencias de transmisión y del diseño de las antenas. Son más económicas que las etiquetas activas y suelen tener un tamaño menor.

- **Etiquetas semi-pasivas:** poseen una fuente de alimentación para hacer funcionar la circuitería del chip de

la etiqueta, pero utilizan la energía del lector para poder comunicarse con él.

- **Middleware:** Una vez recogida la información, ésta se puede mostrar y recopilar mediante una aplicación empresarial: el middleware. El middleware es un software de conectividad que ofrece un conjunto de servicios que hacen posible el funcionamiento de aplicaciones distribuidas sobre plataformas heterogéneas.

Funciona como una capa de abstracción de software distribuida, que se sitúa entre las capas de aplicación y las capas inferiores. El middleware nos abstrae de la complejidad y heterogeneidad de las redes de comunicaciones subyacentes, así como de los sistemas operativos y lenguajes de programación, proporcionando una API para la fácil programación y manejo de aplicaciones distribuidas. Dependiendo del problema a resolver y de las funciones necesarias, serán útiles diferentes tipos de servicios middleware (Bhatt y Glover, 2006).

El software del middleware se encarga de gestionar los lectores y la información que llega desde las etiquetas, almacenándola en la base de datos del sistema. También realiza funciones básicas de filtrado e integración y control de los lectores.

La base de datos del sistema, puede estar basada en estándares como SQL, MySQL, Oracle, Postgres o similares (Thornton, Haines, Das, Bhargava, Campbell y Kleinschmidt, 2006). La base de datos puede encontrarse en cualquier ordenador o en múltiples redes mainframes, unidas a través del sistema de comunicación global Internet.

Los objetivos que debe cumplir el middleware RFID son:

- Proporcionar un interfaz para que los lectores de distintos fabricantes puedan entender la información, utilizando un único producto.
- Seleccionar la información más relevante captada por los lectores. Con esto conseguimos un menor tiempo de procesamiento de datos, ya que sólo se procesan los más interesantes en cada momento.
- Proporcionar un interfaz de servicios básicos, permitiendo la estandarización del flujo de información que generan las etiquetas RFID, administrar.
- Apoyar las lecturas de los lectores, almacenamiento, monitorización y gestión de información. Recuperar la

- información almacenada, traducirla, agregarla, filtrarla y utilizar mecanismos para agruparla.
- Integrar tecnologías software y hardware, creando soluciones que respondan a problemas específicos y mejorar así los procesos internos de las empresas.

Tecnología RFID-IS

Dentro de la cadena de suministro, el middleware también cubre la necesidad de identificación global de productos. Si a cada producto se le asocia una etiqueta RFID, los participantes en la cadena de suministro pueden llevar a cabo el seguimiento (tracking) de sus artículos y recopilar la información de las etiquetas. Una forma genérica de llamar a esta tecnología es "Servicios de la Información mejorados con Identificación por Radio Frecuencia" (RFID-IS). Es necesario definir una serie de estándares para, a partir de ellos, poder usar una red global basada en Internet.

La primera iniciativa para llevar a cabo dicha estandarización, surge con el EPC. El EPC (Código Electrónico de Producto o Electronic Product Code), nace de las manos de EPCGlobal, un consorcio formado por EAN International (European Article Numbering), el cual tiene 101 miembros representadas en 103 países, y UCC (Uniform Code Council) propietario del UPC, presente en 140 países y que en la actualidad se conoce como GS1 US.

EPC es el número individual y único asignado a cada objeto con tecnología RFID. Más concretamente, es el protocolo de carácter universal desarrollado por el Auto-ID Center en el año 2000. Actualmente y gracias a Auto-ID Center, se puede pensar en un RFID a escala mundial, donde cada elemento que posea una etiqueta, tendrá un número de identificación propio y único. En la figura 4, podemos ver un ejemplo de un código EPC de 96 bits.

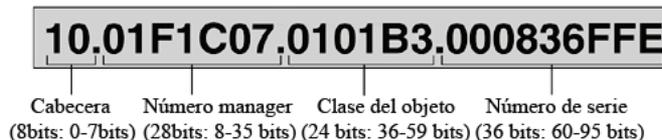


Figura 4. Ejemplo de un código EPC de 96 bits.

Las especificaciones del EPC se pueden dividir en:

- Especificaciones para las etiquetas. Referentes a los datos almacenados en ellas, protocolos de comunicación con el lector y la parte de RF que permite la comunicación.
- Especificaciones para los lectores. Protocolo para el interfaz aire y comunicaciones lógicas con las etiquetas.

EPCGlobal, tiene como misión el desarrollo de los estándares y la infraestructura necesarios para la implantación de un sistema que permita la identificación de productos y el acceso eficaz a la información, a lo largo de la cadena de suministros. De esta forma, podemos incrementar la eficiencia, precisión y visibilidad en el seguimiento de productos entre los distintos socios comerciales. Los middlewares también son una parte importante para implementar la red global anteriormente mencionada. En la figura 5, se muestra la red de identificación global EPCGlobal Network.

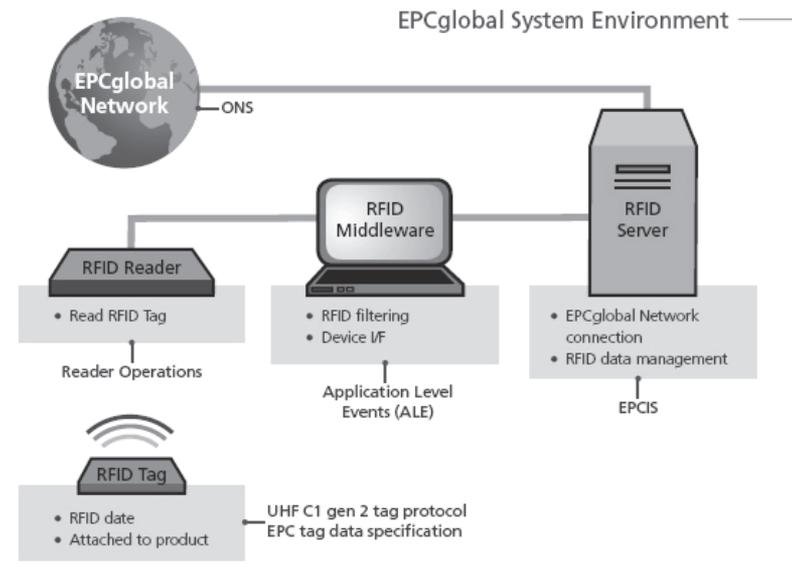


Figura 5. Red de Identificación global EPCGlobal Network.

Los elementos que intervienen a lo largo del flujo de información, son los que mencionamos a continuación:

- Etiqueta – Lector: RFID.
- Lector – Ordenador: Middleware.
- Ordenador – Base de datos remota: Aplicación de alto nivel basada en Internet.

Proyectos

En este tercer apartado del artículo, vamos a describir los proyectos realizados y en los que ha colaborado, el grupo de investigación de la Escuela Politécnica de Cuenca, utilizando la tecnología RFID junto con otras tecnologías. En este apartado, incluimos la descripción original de cada uno de los proyectos mencionados.

AeroLog

AeroLog: Análisis de asignación de recursos a vuelos entrantes y seguimiento RFID de equipajes para el Aeropuerto D. Quijote de Ciudad Real. Proyecto realizado entre los años 2006 y 2008.

Colaboración entre el Aeropuerto Don Quijote de Ciudad Real, la Universidad de Castilla-La Mancha y la Universidad Coreana de la Aviación (única universidad del mundo dedicada exclusivamente a la logística aeroportuaria). La línea de colaboración entre estas tres entidades, tendrá su punto de partida en este proyecto, por el cual se realizará un análisis mediante simulaciones que permita mejorar la asignación de recursos, principalmente para el caso de los vuelos que llegan al aeropuerto.

Como podemos ver en la figura 6, a cada avión que aterriza se le ha de asignar un equipo de guiado, una zona de parada, un equipo de descarga de equipajes, otro de limpieza, inspección, mantenimiento, etc. (García, García y Pastor, 2008). Así mismo es necesario atender en la terminal a los pasajeros, que llegan todos a la vez, y permitirles acceder a sus equipajes y a las diferentes zonas de tránsito, aparcamientos, estación de tren, autobuses y demás servicios. (Otamendi, García, Poyatos, Pastor y García, 2008).

Este proyecto se encargará, además, de realizar estudios tendentes a facilitar la implantación de los nuevos sistemas de seguimiento de equipajes por RFID. Estos sistemas se están ya implantando en diferentes aeropuertos a niveles mundiales y dados sus especiales prestaciones y por razones de seguridad, es de prever que países como los Estados Unidos impongan su uso para vuelos con destino a su territorio en los próximos años.

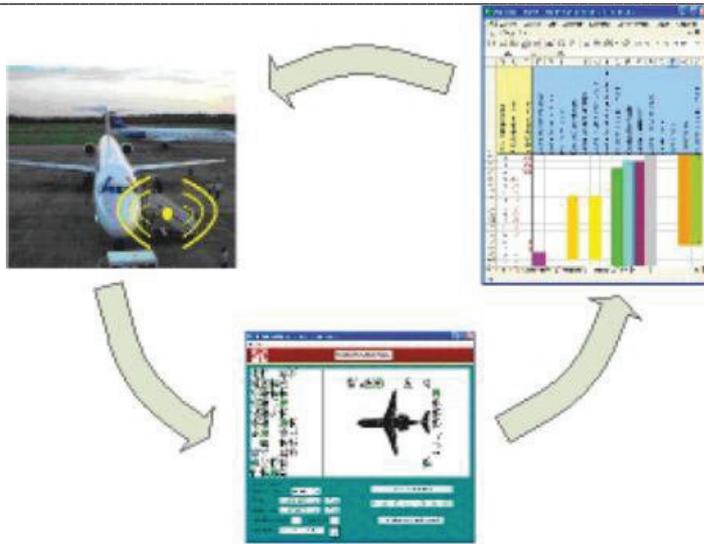


Figura 6. Asignación de recursos a vuelos.

AgenLog

AgenLog: Aplicación de la Computación Ubicua Al Control Basado en Agentes Mejorados con RFID. Proyecto realizado entre los años 2006 y 2007.

En el entorno de los sistemas de producción, los nuevos métodos de control altamente distribuido para sistemas complejos han generado una serie de nuevas filosofías basadas en la negociación entre sistemas que suponen un punto de encuentro entre el ingeniero de proceso y el informático. Con el objeto de desarrollar este concepto, han aparecido nuevas filosofías de computación ubicua orientadas a objetos y/o a agentes.

Estos "agentes" implican que, para cada elemento relacionado con la fabricación y/o distribución, se dispone de un pequeño programa independiente que gestiona los recursos y las operaciones a realizar, interaccionando con los demás "agentes" para proporcionar un entorno paradigma del control distribuido. La reciente aparición de nuevas técnicas de identificación y seguimiento de productos mediante etiquetas de radio frecuencia (RFID), hacen que este tipo de identificación esté llamado a convertirse en la herramienta decisiva que permita paliar los tradicionales problemas de integración de sistemas altamente distribuidos. Cabe esperar

que esta tecnología tenga una especial incidencia en la fabricación, almacenaje y distribución, como se espera demostrar mediante el análisis económico-financiero de las posibilidades de aplicación.

El presente proyecto se encargará, principalmente, del desarrollo e implementación de los sistemas de control y gestión basados en agentes mejorados con seguimiento por radio frecuencia (RFID). De este modo, el sistema de control podrá adquirir la forma de un sistema negociado típica de los sistemas basados en agentes, sin la tradicional desventaja de ser un sistema viciado por las disparidades entre las informaciones de que disponen los diferentes agentes.

Este proyecto pretende desarrollar nuevas metodologías para la aplicación de las tecnologías mencionadas a casos concretos para los entornos reales de plantas con altos niveles de producción, junto con grandes centros de distribución. Se comenzará por la aplicación de estas nuevas técnicas a una célula de pruebas. Seguidamente se procederá a la automatización de diversas actividades de producción hasta llegar al análisis del caso más complejo del picking para la elaboración de palets con mezcla de productos de distinto tipo.

El desarrollo y prueba de estas técnicas en entornos reales posibilitará una mejor comprensión de los problemas y la elaboración de unos sistemas de mayor aplicabilidad, lo que permitirá avanzar algunos pasos más en el desarrollo e incluir sistemas de mantenimiento novedosos que sean de aplicación en los nuevos sistemas altamente distribuidos propuestos.

Paralelamente se realizará un análisis económico-financiero que permita establecer la viabilidad de la aplicación práctica, corrigiendo sobre la marcha si fuera necesario, aquellas metodologías que no satisfagan estas condiciones. Para el desarrollo de este sistema se cuenta con la experiencia en montajes de sistemas RFID del equipo investigador y de la empresa Lipsoft Electronics.

En la figura 7, podemos ver el banco de pruebas para las diferentes soluciones. Se cuenta con una célula de fabricación flexible en la ESTSII-CR, que se coordinará con la instalación de un sistema distribuido de control. Los resultados obtenidos podrán ser implementados sobre un sistema real en las instalaciones que la empresa J. García Carrión posee en Daimiel y de las diferentes plantas asociadas a Asintec.

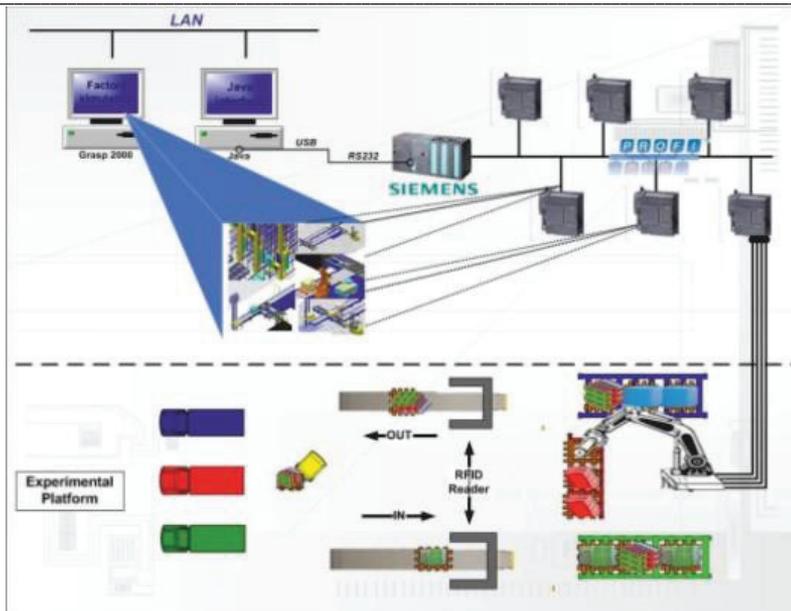


Figura 7. Diagrama de célula de experimentación flexible.

Trazabilidad de Hemoderivados

Dentro de este proyecto, existen dos subproyectos, Escubi y Termoquirón, que describimos a continuación.

Termoquirón

Termoquirón: Sistema de supervisión de temperatura en hemoderivados con seguimiento por radio frecuencia. Proyecto realizado entre los años 2005 y 2007.

El presente proyecto pretende analizar el funcionamiento de las nuevas tecnologías relacionadas y elaborar el equipamiento, programas y procedimientos necesarios para el seguimiento de la temperatura de los productos sanguíneos en un Banco de Sangre; desde que se extrae la sangre al donante, hasta que se transfunde el producto al paciente o se alcanza su caducidad. Más concretamente, y en un primer paso, se pretende investigar el perfil de temperaturas que mantienen las plaquetas desde que se extrae la sangre al donante hasta que caducan o se transfunden. Se pretende elaborar, a partir de este estudio, una

metodología de seguimiento que permita garantizar la idoneidad de las condiciones en las que el producto llega al paciente.

Como antecedentes del proyecto, cabe resaltar que las exigencias de las nuevas normativas europeas en el campo del control y seguimiento de productos alimenticios han propiciado el desarrollo de nuevas tecnologías con aplicación directa en el control de temperaturas de productos perecederos.

Por otro lado, es especial relevancia la aparición de nuevas técnicas de identificación de productos en general; entre las que destaca el proyecto Auto-ID, ahora EPC Global, que pretende la adopción a nivel global de un nuevo estándar de identificación por radio frecuencia (RFID) en sustitución de los veteranos códigos de barras.

Este proyecto pretende unir los desarrollos generados en estos campos para crear el equipamiento y la metodología de uso de un sistema de etiquetas activas con sensor de temperatura y memoria incorporados, capaces de registrar la temperatura del producto a lo largo del tiempo y descargarla por medio de radio frecuencia en un lector acoplado a una base de datos.

Este sistema aplicado a productos sanguíneos permitirá comprobar la idoneidad seguida en los procesos de extracción, manipulación, almacenamiento y transporte de estos productos en el instante de proceder a su transfusión al paciente; eliminando de esta forma cualquier riesgo derivado de una deficiente conservación y proporcionando al médico una garantía adicional, lo cual se estima esencial en situaciones especialmente críticas cuando no hay tiempo de realizar las comprobaciones necesarias de forma manual.

Escubi

Escubi: Control de calidad en hemoderivados mediante seguimiento de temperatura por radiofrecuencia. Proyecto realizado entre los años 2006 y 2007.

El presente proyecto pretende analizar el funcionamiento de las nuevas tecnologías relacionadas y elaborar programas y procedimientos necesarios para el seguimiento de la temperatura de los productos sanguíneos en un Banco de Sangre; desde que se extrae la sangre al donante, hasta que se transfunde el producto al paciente o se alcanza su caducidad.

En anteriores trabajos se construyeron los prototipos de lector y etiquetas capaces de obtener la información que permitirá ahora investigar

el perfil de temperaturas que mantienen las bolsas de plaquetas desde que se extrae la sangre al donante hasta que caducan o se transfunden de forma individualizada (por bolsa). De esta forma se obtienen datos tales como, oscilaciones de temperatura (aunque sean dentro de rango) o pendientes de calentamiento y enfriamiento, tanto en las oscilaciones como entre las diferentes fases.

Ahora se pretende añadir a esta información aquella generada por diferentes controles de calidad en los productos y por el seguimiento de los pacientes transfundidos para elaborar, a partir de esos datos, una metodología de seguimiento que permita garantizar la idoneidad de las condiciones en las que el producto llega al paciente.

Este proyecto pretende unir los desarrollos generados en estos campos para sacar partido del equipamiento y definir la metodología de uso de un sistema de etiquetas activas con sensor de temperatura y memoria incorporados, capaces de registrar la temperatura del producto a lo largo del tiempo y descargarla por medio de radio frecuencia en un lector acoplado a una base de datos.

Este sistema aplicado a productos sanguíneos permitirá comprobar la idoneidad seguida en los procesos de extracción, manipulación, almacenamiento y transporte de estos productos en el instante de proceder a su transfusión al paciente; eliminando de esta forma cualquier riesgo derivado de una deficiente conservación y proporcionando al médico una garantía adicional. Lo cual se estima esencial en situaciones especialmente críticas cuando no hay tiempo de realizar las comprobaciones necesarias de forma manual.

Trazabilidad de Hormigón

Sistema de trazabilidad combinado del ciclo de vida de los paneles de hormigón arquitectónico. Proyecto realizado entre los años 2007 y 2008.

El presente proyecto tiene como objetivo principal desarrollar un sistema de trazabilidad para paneles de hormigón arquitectónico, como podemos ver en la figura 8. El sistema debe permitir la trazabilidad, tanto aguas arriba, permitiendo conocer la procedencia de los paneles y que procesos ha seguido cualquier panel instalado en un edificio, como aguas abajo, de forma que nos permita analizar en detalle los procesos que debe seguir el panel hasta instalarlo en obra de tal forma que se pueda realizar

una planificación, optimizando los procesos y los recursos, y una adecuada imputación de tiempos, costes, etc.

Para hacer el seguimiento, se emplearán técnicas de identificación por radio frecuencia (RFID), donde habrá que conseguir desarrollar un sistema adaptado al producto de tal forma que las tarjetas puedan ir embutidas en el hormigón (de Dios, Poyatos, Zangróniz y Pastor, 2011). Un segundo objetivo es que este sistema permita además analizar la posible integración de una serie de sensores para conocer los datos fundamentales que influyen en las características principales del hormigón, como su resistencia. Se ensayarán principalmente sensores de temperatura y humedad, que nos permitan conocer la evolución que han seguido durante el curado del panel.

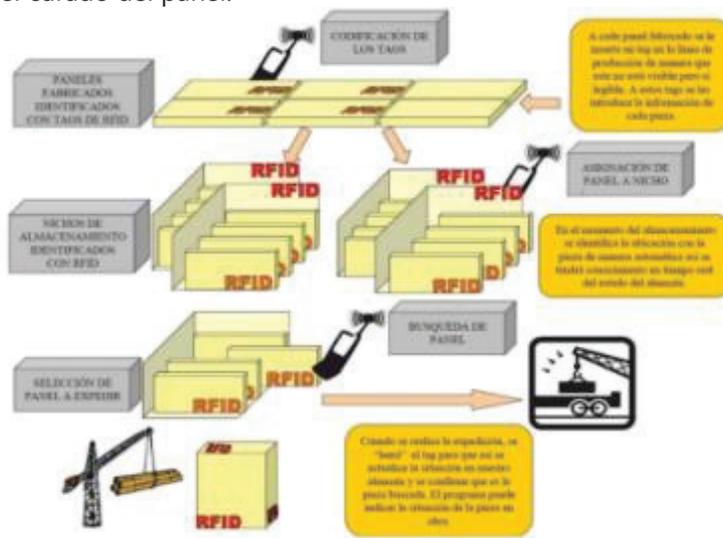


Figura 8. Trazabilidad de paneles de hormigón arquitectónico.

Almacenes automáticos

Aplicación de arquitecturas de sistemas multi-agente complementados con RFID a entornos industriales dinámicos no deterministas. Entorno interactivo para el control y simulación de almacenes automáticos. Proyecto realizado entre los años 2007 y 2012.

El proyecto tiene como objetivo generar un Entorno Software Interactivo, basado en metodología WEB, que sirva de interfaz de comunicación, monitorización, supervisión y control de almacenes

automáticos AS/RS, fácilmente integrable con las tecnologías de automatización y comunicaciones utilizadas más habitualmente en este tipo de almacenes.

Uno de los objetivos principales, es el de lograr la interacción de la herramienta software, además de con el sistema físico, con los principales paquetes de simulación que existen en el mercado: Grasp, Arena, AutoMod, Quest, Witness, ProModel, Simul8, etc. Los paquetes de simulación comerciales simularán el comportamiento de los almacenes automatizados, de tal forma que la herramienta pueda probar el control de los almacenes con diferentes técnicas y algoritmos: control basado en agentes, algoritmos genéticos, etc., sin la necesidad de trabajar directamente con un almacén físico.

El correcto funcionamiento se probará sobre una maqueta física a escala de un almacén automatizado modular y configurable de forma que en futuros trabajos se pueda incorporar el estudio de otros temas como montaje y ensamblado.

Ariadna

Ariadna: Monitorización telemática de personas en situaciones de riesgo. Proyecto realizado entre los años 2009 y 2011.

La identificación por radio frecuencia (RFID) viene siendo utilizada para diferentes aplicaciones. Entre ellas cabe destacar su uso para el control de accesos y seguimiento de personas y/o productos. Esta tecnología se puede aplicar a pacientes en hospitales, desde enfermos de Alzheimer hasta paraplégicos o pacientes en cirugía ambulatoria.

El presente proyecto incluye el seguimiento mediante RFID así como el uso de redes ZigBee y GPRS, al igual que el desarrollo y uso de diferentes equipos con sensores. Con este proyecto se pretende continuar con esta línea de trabajo hasta el desarrollo de sistemas con aplicación en diversas situaciones de riesgo para las personas. En la figura 9, podemos ver algunos de los elementos que se utilizan para el seguimiento de personas.



Figura 9. Elementos utilizados para el seguimiento de personas.

Idreu

Idreu: Integración Dinámica de RFID en Entornos Urbanos Interactivos. Proyecto en curso.

El objetivo principal del proyecto es el desarrollo de sistemas integrables en la infraestructura de los entornos urbanos que incluyan elementos de monitorización junto con redes ubicuas de sensores, con la intención de analizar la fiabilidad de este tipo de sistemas de comunicación por radio en condiciones meteorológicas hostiles. Infraestructura sobre la que se podrán desarrollar numerosos servicios, como pueden ser: sistemas de información turísticos, entornos móviles, redes medioambientales, sistemas de seguridad, sistemas de emergencias, etc.

Los trabajos se estructurarán en una primera etapa donde se diseñará un sistema embebido que integre sensores y elementos de comunicación y que posea alta autonomía, robustez y dimensiones reducidas. En una segunda etapa y teniendo en cuenta los requisitos del diseño anterior se realizará un estudio y diseño del sistema de alimentación autónoma para proceder posteriormente a la fabricación de un prototipo sobre el que se realizarán las pruebas. En paralelo a todos estos trabajos se desarrollará el firmware del prototipo que permita verificar el funcionamiento del sistema.

El desarrollo y prueba de estos sistemas en entornos urbanos reales posibilitará una mejor comprensión de los problemas y la elaboración de unos sistemas de mayor aplicabilidad. Paralelamente se realizará un análisis económico-financiero que permita establecer la viabilidad de su aplicación práctica.

2^{as} Jornadas Científicas sobre RFID

Las segundas Jornadas Científicas sobre RFID en España permitieron convocar a un amplio grupo de investigadores y empresas interesados en la tecnología de Identificación por Radio Frecuencia desde diferentes áreas del conocimiento, tras la buena acogida de las primeras jornadas celebradas el año anterior en Ciudad Real. En la figura 10, podemos ver el poster de las jornadas celebradas en Cuenca.

La tecnología de identificación por código de barras tiene más de 30 años. A nivel mundial se está apostando por RFID (Identificación de productos por Radio-Frecuencia) como base de un nuevo estándar alternativo que está llamado a sustituirla. Esta nueva tecnología podrá interaccionar con otras en diferentes campos, creándose un enorme abanico de posibilidades.

La Comunidad Europea se está sumando a esta idea con una apuesta enérgica. Dentro del Séptimo Programa Marco (FP7) en el tema de "Information Society" se ha realizado una ronda de consultas que ha dado salida a la creación de nuevos consorcios para petición de financiación sobre temas como trazabilidad y RFID (<http://www.rfidconsultation.eu/>). Esto ha creado una gran demanda hacia el establecimiento de grupos de acción a nivel nacional. De esta forma están comenzando a proliferar los foros sobre trazabilidad y RFID a nivel industrial. Sin embargo, por tratarse de una línea claramente multidisciplinar, las instituciones españolas están teniendo dificultades en asumir su implantación.

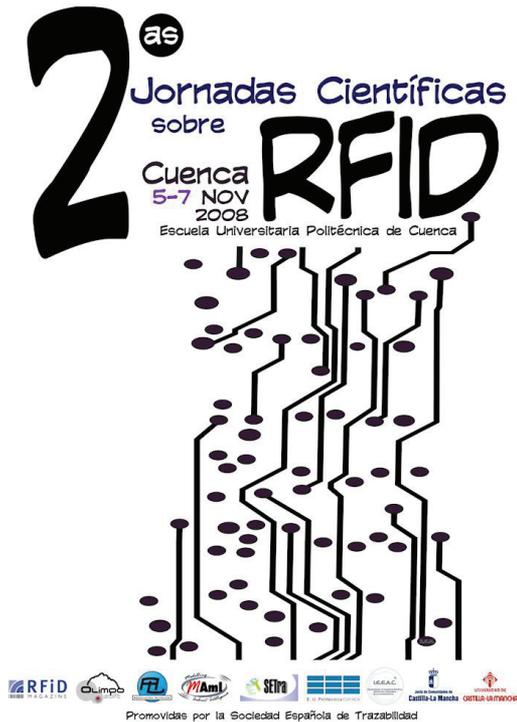


Figura 10. Poster 2^{as} Jornadas Científicas sobre RFID celebradas en Cuenca.

La Sociedad Española de Trazabilidad (SETRA, <http://www.rfidspain.org>), nacida de las primeras jornadas sobre RFID, se ha formado para afrontar esta situación, cuenta ya con miembros en toda España y esperamos que estas Jornadas supongan un decidido empuje a sus actividades.

Áreas temáticas

- Tecnologías Electrónica y de Comunicaciones en RFID: Hardware RFID - Estándares: Comunicación - Almacenamiento y acceso a la información.
- RFID en Organización y Gestión de la Producción: Trazabilidad en producción y logística - Ciclo de vida - RFID y Mantenimiento
- Software RFID: Data Mining - Bases de datos y RFID - Acceso a la información.
- Desarrollo de software/computación ubicua: Middleware RFID – ERP - Sistemas Multi-Agente de gestión de la información.

- Automatización de la producción y la logística: Manipulación de materiales y RFID - Control distribuido basado en Agentes.
- Near-Field Communication.
- Aplicaciones Médicas y Farmacéuticas de RFID.

Lugar y fecha de celebración

Escuela Politécnica de Cuenca, UCLM. Del 5 al 7 de Noviembre de 2008.

Comité Organizador

José M. Pastor García (Director UCLM).
Andrés García Higuera, (Director UCLM).
José Bravo, (Director UCLM).

Comité Local

Roberto Zangróniz (UCLM).
Juan J. de Dios (UCLM).
Miguel Poyatos (UCLM).
Rafael Otal (UCLM).
José I. San José (UCLM).

Conclusiones

En este artículo, hemos descrito los distintos proyectos realizados utilizando tecnología RFID, junto con otras tecnologías. Dentro de estos proyectos, existen tanto desarrollos hardware, como implementaciones software, realizadas por el grupo de investigación de la Escuela Politécnica de Cuenca.

En la actualidad y dentro del grupo de investigación, se están realizando dos Tesis Doctorales utilizando la tecnología RFID: La primera de ellas está centrada en las capas más bajas (hardware) de RFID y la segunda, utilizando la información proporcionada por dichas capas, está centrada en las capas superiores (software) de RFID, utilizando la información proporcionada por las etiquetas para la identificación y localización de productos.

Bibliografía

Bhatt, H y Glover, B. (2006). RFID Essentials. Ed. O'Reilly. ISBN: 978-0-59-600944-1.

De las Morenas, J. y García, A. Frecuencias y middlewares en RFID. Ed. 1as Jornadas Científicas sobre RFID, Ciudad Real.

De Dios, J. J., Poyatos, M., Zangróniz, R. y Pastor, J. M. (2011). Three-level RFID system for architectural concrete panels tracking. The 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2011. Seoul, South Korea, June 29- 2 July, 2011

Sensores de Identificación por Radio-Frecuencia (RFID). Ed. Universitat Jaume I.

Finkenzeller, K. (2003). RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification (2nd Edition). Ed. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-47-084402-1.

García, P., García, A. y Pastor, J. M. (2008). RFID in Physical Platforms of Agents: Application in Airport Management. In 8th International FLINS Conference on Computational Intelligence in Decision and Control (FLINS 2008), Madrid (Spain).

Holmström, J., Framling, K. y Ala-Risku, T. (2010). The uses of tracking in operations management: Synthesis of a research program. International Journal of Production Economics, 126(2), pp. 267-275.

Otamendi, J. García, P., Poyatos, M., Pastor, J. M. y García, A. (2008). Managing Resources at an International Airport. Proceedings of 22nd European Conference on Modelling and Simulation, pp.37-42.

Pastor, J.M., García, A. y San José, J.I. (2011). El Futuro de la Identificación de Objetos: RFID. Revista Universitaria Bartolomé Cossío nº13. pp. 4-11. D.L. CU - 136 - 1996.

Stallings, W. (2004). Comunicaciones y redes de computadores (7^a edición). Ed. Prentice Hall. ISBN: 84-205-4110-9.

Sohraby, K., Minoli, D. y Znati, T. (2007). Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols and Applications. Ed. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: ISBN 978-0-471-74300-2.

Tapia, D. Cueli, J. R., García, O., Corchado, J. M., Bajo, J. y Saavedra, A. (2007). Identificación por Radiofrecuencia: Fundamentos y Aplicaciones. Ed. 1as Jornadas Científicas sobre RFID, Ciudad Real.

Thornton, F., Haines, B., Das, A. M., Bhargava, H., Campbell, A. y Kleinschmidt, J. (2006). RFID Security. Ed. Syngress Publishing, Inc. ISBN: 1-59749-047-4.

Certificados, acreditaciones y titulaciones en electromedicina sanitaria e ingeniería clínica.

César Sánchez* y Raúl Alcaraz*

Resumen En los últimos años, se vienen produciendo diferentes acciones e iniciativas que pretenden regularizar y normalizar, en toda su extensión, un sector tan complejo y cambiante con el de la Tecnología Sanitaria. En este ámbito, la Escuela Politécnica de Cuenca a través de la Sociedad Española de Electromedicina e Ingeniería Clínica ha venido colaborando con diferentes administraciones públicas e instituciones privadas para intentar sentar las bases de un sistema formativo y de acreditación profesional integral que permita dotar de recursos humanos con las competencias y cualificaciones profesionales suficientes y adecuadas a las empresas y centros sanitarios de nuestro país. El presente trabajo analiza la situación del sector e introduce las novedades normativas más recientes, además de comparar nuestra situación con modelos referencia como puede ser el norteamericano, y describe las nuevas titulaciones universitarias en este ámbito.

*Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica, Automática y Comunicaciones. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n, 16071 Cuenca, Spain, cesar.sanchez@uclm.es y Raul.Alcaraz@uclm.es

Introducción

La "electromedicina" es la especialidad de las Ciencias de la Salud que estudia y analiza el cuidado de la Salud desde el punto de vista de la Tecnología sanitaria. En otras palabras, consiste en la correcta planificación, aplicación y desarrollo de equipos y técnicas utilizadas en los exámenes y tratamientos médicos, así como el control de calidad de los equipos empleados y el control y prevención de los riesgos asociados. En los países anglosajones, esta especialidad se conoce como Ingeniería Clínica, una especialidad de la Ingeniería Biomédica (aunque las funciones y atribuciones de estos profesionales pueden variar de un país a otro).

Entre los profesionales de la Electromedicina están los Ingenieros Clínicos, Físicos y Técnicos de Electromedicina (formación profesional, en USA, Biomedical Equipment Technicians: BMET), que tienen funciones distintas y están especializados en solucionar y facilitar cualquier problema relacionado con tecnología electrónica en medicina, en todo su ciclo de vida: adquisición, instalación / validación, mantenimiento, uso y retirada al final de su vida útil.

Un **ingeniero clínico** es un profesional que apoya y promueve el cuidado del paciente mediante la aplicación de la ingeniería y los conocimientos de gestión a la tecnología sanitaria." -ACCE Definition, 1992. Es una especialidad dentro de la Ingeniería biomédica a cargo principalmente de la gestión y la aplicación de la tecnología médica para optimizar la prestación de asistencia sanitaria. Las funciones de los Ingenieros Clínicos incluyen la capacitación y la supervisión de técnicos de electromedicina, trabajar con las autoridades sanitarias y entidades de certificación en el hospital (inspecciones y auditorías), y servir como consultores tecnológicos para el personal del hospital (es decir, médicos, administradores, informáticos, etc.). Los Ingenieros Clínicos también asesoran a los fabricantes de PSANI ("Productos Sanitarios Activos No implantables") y otros productos sanitarios en cuanto a mejoras de diseño, basándose en experiencias clínicas, así como de vigilar la progresión del estado de la técnica con el fin de reorientar las modalidades de contratación y compra de Tecnologías Sanitarias del hospital.

Un **Técnico de Electromedicina** es un profesional cuya misión es planificar, gestionar y supervisar la instalación y el mantenimiento (Técnico nivel 3: Gestión y supervisión de la instalación y mantenimiento de

Sistemas de Electromedicina) o bien instalar y mantener (Técnico nivel 2: instalación y mantenimiento de Sistemas de Electromedicina) productos sanitarios activos no implantables - PSANI – en sistemas de electromedicina y sus instalaciones asociadas, bajo criterios de calidad, en condiciones de seguridad y cumpliendo la normativa vigente.

A modo de ejemplo, podríamos tomar los organigramas de dirección y administración de dos hospitales internacionales de referencia. En concreto, si observamos las distribuciones del Hospital Universitario de Karolinska en Suecia y el Hospital Universitario Shenzhen de Pekín podríamos apreciar el papel predominante de estos servicios de electromedicina en el staff general de cada centro sanitario. En concreto, en el Karolinska podemos ver que el servicio de Ingeniería Biomédica cuenta con ocho subdepartamentos de especialidades y depende directamente del Director Médico. En el caso del hospital de Pekín, el responsable de la tecnología sanitaria depende del director de gestión y tiene unos niveles competenciales paralelos al responsable de mantenimiento general.

El sector de la tecnología médica

Visión empresarial

El Sector de Tecnología Sanitaria y Equipamiento Hospitalario es el sector que agrupa a los productos sanitarios y otro equipamiento, excluidos los medicamentos. España ocupa el quinto puesto en Europa según volumen de negocio en este sector (9%, tras Alemania, Francia, Italia y Reino Unido) (Informe Eucomed 2010).

El empleo directo en las empresas, imputable al Sector de Tecnología Sanitaria y Equipamiento Hospitalario en España teniendo en cuenta a las empresas denominadas agrupadoras, es de 32.000 personas en 2009. Según indican distintos ejecutivos y expertos de esta industria, el multiplicador de puestos indirectos dependientes estaría en 2,5 y 5. Por tanto, el empleo indirecto se cifra entre 80.000 y 160.000 empleos más, que habría que añadir a los empleos directos generados.

El sector de la tecnología médica en España en cifras se puede resumir en los siguientes datos, según los últimos datos aportados por la patronal del sector y que corresponden al 2013 (Memoria FENIN 2013):

- Tras mantener un nivel de facturación en crecimiento moderado en el período 2005-2009, en los últimos años se ha visto reducida su actividad, hasta llegar al entorno de los 7.000 millones de euros, según los datos presentados en la Memoria Anual de FENIN
- Empleo directo: Más de 30.000 personas. Empleo indirecto: 80.000 personas
- N° de empresas: 1.200
- El 90% de las empresas son pymes (un 30% tiene menos de 10 empleados) y facturan el 43% del total, aportando el 50% del empleo.
- El 10% son grandes empresa y venden el 57% del total.
- El Cap. II y VI representa aproximadamente el 36% del total del presupuesto del Sistema Nacional de Salud, es decir unas cifras cercanas a los 19.000 M€. Del análisis por comunidades autónomas se observa que todas las comunidades, excepto Cantabria y La Rioja, disminuyeron sus recursos financieros en salud, con una reducción por encima de la media del 8% en las comunidades con mayor presupuesto como Andalucía (-11,6%), Comunidad Valenciana (-11%) y Madrid (-10.3%). Cataluña prorrogó sus presupuestos de 2012 y realizó ajustes finales presupuestarios que vieron reducir su presupuesto sanitario en casi un 3%.
- Gasto Sanitario per cápita en 2013, 1.113 € un 7,6% inferior que en 2012 (1.205 euros).

Las principales características de este sector son:

- Industria relativamente joven
- Gran cantidad y variedad de productos: 400.000 agrupados en 12 familias
- Heterogéneo: subsectores de actividad muy diferenciados
- Corto ciclo de vida de los productos
- Naturaleza dinámica e innovadora
- Creciente proceso de internacionalización
- Sector muy regulado
- Altos costes de distribución y mantenimiento
- Alto coste de formación de usuarios
- Profesionales de muy alta cualificación

Visión de las administraciones

El Sistema Sanitario Público español carece de la figura reconocida de un profesional capaz de resolver y aportar soluciones y respuestas a los nuevos retos de la tecnología médica de los productos sanitarios. El incremento del gasto en tecnología hace necesario su optimización y aportar medidas similares a las que se hicieron con el gasto farmacéutico, mediante la incorporación de profesionales expertos en estas materias pertenecientes al sistema público. La externalización de las unidades de tecnología médica de los hospitales y centros sanitarios (conocidas en España como Servicios de Electromedicina) no aporta soluciones a la gestión del parque tecnológico, no está controlada por indicadores ni seguida por profesionales propios, lo que dispara la inversión, la utilización no eficiente y el desgaste de la tecnología.

¿Qué obligaciones legales hay que asumir en relación a la tecnología sanitaria?

La Directiva Europea básica o de referencia, viene recogida en la Legislación Española por el REAL DECRETO 1591/2009, por el que se regulan los Productos Sanitarios. En su Artículo IV: "Garantías sanitarias de los productos" cita:

*1. Los productos sólo pueden ponerse en el mercado y/o ponerse en servicio si cumplen los requisitos establecidos en este real decreto cuando hayan sido debidamente suministrados, estén **correctamente instalados y mantenidos** y se utilicen conforme a su finalidad prevista, no comprometiendo la seguridad ni la salud de los pacientes, de los usuarios ni, en su caso, de terceros." ...*

*4. ... "Los productos deberán ser **mantenidos adecuadamente** de forma que se garantice que, durante su período de utilización, conservan la seguridad y prestaciones previstas por su fabricante".*

Por tanto, es el fabricante quién debe aportar la formación para desarrollar este mantenimiento de forma correcta y una acreditación de haberla recibido, y es el titular del Centro Sanitario el que debe asegurar un mantenimiento adecuado de los Equipos Electromédicos. Un Hospital mediano de 500 camas cuenta con unos 3000 dispositivos médicos de unos 1600 modelos distintos. Sólo un servicio permanente puede conocer

la mayoría de los equipos y estar formado en ellos, lo que no está al alcance de técnicos itinerantes. Este Real Decreto deviene de una Directiva Europea y ese es el modelo que se sigue en Europa. Además, el citado Real Decreto en su Capítulo IX, en relación a los sistemas y protocolos de vigilancia, indica lo siguiente:

Los centros sanitarios designarán un responsable de vigilancia para los procedimientos que se deriven de la aplicación de este artículo, el cual supervisará igualmente el cumplimiento de las obligaciones establecidas en el artículo 33 en relación con las tarjetas de implantación. Comunicarán sus datos a las autoridades sanitarias de la correspondiente comunidad autónoma y a la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios. Los centros sanitarios pertenecientes a la Red Sanitaria de la Defensa efectuarán dicha comunicación a través de la Inspección General de Sanidad de la Defensa, quien la trasladará a la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios y a las autoridades sanitarias de la correspondiente comunidad autónoma.

Otra regulación aplicable sería la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (LEY 31/1995, B.O.E. nº 269, de 10 de noviembre) donde en el Artículo 17: "Equipos de trabajo y medios de protección" cita:

*"...el empresario adoptará las medidas necesarias con el fin de que: ...
B. Los trabajos de reparación, transformación, mantenimiento o conservación sean realizados por los trabajadores específicamente capacitados para ello".*

Por tanto, también desde este punto de vista, está comprometida la responsabilidad del "Titular" en el sentido de que los trabajos de mantenimiento sean realizados por profesionales formados específicamente en cada equipo. En la CIRCULAR Nº 3/2012, sobre "Asistencia Técnica de Productos Sanitarios" del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad se recalca también, y de forma muy específica, la necesidad de que los Equipos Electromédicos sean mantenidos correctamente, así como las responsabilidades asociadas a su uso en un Centro Sanitario. Resulta de especial interés el punto 1 del capítulo de RECOMENDACIONES, en el que se especifica que:

1. Cualificación del personal

La instalación, utilización y mantenimiento de los productos sanitarios deben ser encargados a personas y/o entidades que posean el conocimiento necesario gracias a una formación especializada y/o a una experiencia práctica adquirida. La cualificación del personal se valorará en función de los productos y debe quedar demostrada para cada uno de los equipos sobre los que va a actuar.

1.1. Cualificación profesional

La entidad responsable de proporcionar el mantenimiento (el fabricante, su representante, el Centro Sanitario o el SAT) encargará dichas tareas a personal que haya sido previamente cualificado. La cualificación del personal se adquiere a través de una titulación académica o formación reglada específicas (por ejemplo, Técnico de Electromedicina, Ingeniero Clínico, Master en Ingeniería Biomédica), una acreditación profesional específica emitida por la administración competente o experiencia profesional práctica documentada en el mantenimiento del tipo de productos de que se trate.

...

Otra reglamentación a tener en cuenta es la NORMA UNE 209001:2002 IN (BOE núm. 175, 23 julio) "Guía para la gestión y el mantenimiento de productos sanitarios activos no implantables" que recoge en el apartado de Responsabilidades y obligaciones:

"El Titular (de la instalación) deberá: Designar un responsable de Electromedicina para la gestión y el mantenimiento de los PSANI's adscritos a su Centro/Área de salud", y añade: "El responsable de Electromedicina será una persona física específica, con la Cualificación técnica adecuada, para todos aquellos Centros Sanitarios o Áreas de salud con más de 250 camas..."

¿Qué profesionales se necesitarían?

El tamaño idóneo de la Unidad dependerá del Centro Sanitario y de la capacidad de incorporar profesionales a la plantilla. En centros con menos de 250 camas debería ser al menos uno, que permita supervisar los procedimientos de gestión y mantenimiento de los Productos Sanitarios (PSANI's).

En caso de querer asumir competencias técnicas plenas y dependiendo del tamaño y del tipo de Centro, aumentará el número de técnicos y de

Titulados Superiores y de Grado Medio responsables de la Unidad o Servicio. La dimensión óptima de una Unidad de Electromedicina para un Hospital de unas 800 camas, con gestión interna y mantenimiento propio de todo el parque electromédico del Centro, estaría constituido por:

- 1 Ingeniero Biomédico de especialidad Ingeniería Clínica (título de Máster o Ingeniero Superior con Postgrado)
- 2 Titulados de Grado (Ingeniero Biomédico, Telecomunicaciones o Electrónico)
- 2 Técnicos Superiores en Electromedicina Clínica, 6 Técnicos de grado medio nivel 2 (Certificados Profesionales regulados por la Administración Laboral Competente).

Está demostrado que este modelo disminuye notablemente los costes en mantenimiento del Equipamiento Electromédico y optimiza las inversiones [Mantenimiento Equipos Médicos: documentos técnicos OMS].

Marco formativo

Aunque el inicio de las actividades formativas en el área de la Tecnología Médica se puede fechar en torno a los años 60 tanto en Europa como en EEUU, en este último país se han definido unas líneas maestras claras y aceptadas por todos los ámbitos de la administración, lo que les convierte en referencia mundial. En concreto, se pueden destacar los aspectos que se comentan a continuación.

Modelo americano:

Existen dos profesiones definidas y reguladas [AAMI]:

- Ingeniero Biomédico [EEUU Department of Labor. Biomedical Engineering]
 - Crecimiento esperado en puestos de trabajo del 27% en la próxima década.
 - El 38% del empleo se concentrará en empresas de fabricación de equipos biomédicos
 - Potencialidades: aumento edad población y aumento inversiones en tecnología de la salud

- Numerosos programas formativos (Bachelor específico de 4 años). El grado de ingeniero clínico requiere de normalmente de especialización posterior.
- Salario Medio: 89.960 \$ /año
- Técnico Equipamiento Biomédico (BMET) [EEUU Department of Labor. Medical Equipment Reparments]
 - Crecimiento esperado en puestos de trabajo del 30% en la próxima década.
 - El 38% del empleo se concentrará en empresas de fabricación de equipos biomédicos
 - Potencialidades: aumento edad población y aumento inversiones en tecnología de la salud
 - Numerosos programas formativos (Associate of Science de 2 años)
 - Salario medio: 44.570 \$ /año

Modelo europeo:

El proyecto de investigación BIOMEDEA surgió hace unos años para intentar definir unas líneas maestras que definieran un modelo formativo en este campo, a imagen y semejanza del modelo americano. Los principales problemas encontrados son los siguientes [Biomedical Engineering Education in Europe-Status Report]:

- No todos los países tienen reguladas las profesiones indicadas anteriormente, lo que dificulta la movilidad laboral y la creación de programas formativos.
- Enorme diversidad y diferencias entre los sistemas educativos universitarios de los distintos países. En teoría, el proceso del EEES (Espacio Europeo de Educación Superior) debería haber homogeneizado este aspecto. En general, se pueden encontrar dos modelos para la enseñanza de la ingeniería biomédica y/o clínica:
 - El más común: Bachelor (3 años, ingeniería) + Master (2 años, específico)

- El mejor considerado: Bachelor (3 años, ingeniería biomédica) más algún máster de especialización en un ámbito concreto. Según Ralph Jox, Europa está tomando el relevo de EEUU en este ámbito gracias a la proliferación de programas formativos continuos y específicos como el de este modelo (desde el bachillerato hasta doctorados) (Jox, 2003). Merece la pena destacar el modelo de la Universidad de Trieste, en el que se establece un itinerario completo de 8 años con diferentes niveles competenciales asociados a perfiles académicos (Vatta y Inching, 2007).
- En España, aun siguiendo las directrices comunes del marco del EEES, los nuevos títulos de Grado -incluido los Grados en Ingeniería Biomédica- se han planteado con una duración de 4 años (240 ECTS) + Master (1 a 2 años).

Regulación formativa de los técnicos en electromedicina en España

Desde el 2008, la situación, en lo que se refiere a la regulación formativa de este sector, se ha modificado sustancialmente con la publicación de los siguientes Reales Decretos (relacionados con la cualificación profesional de los técnicos en electromedicina), acción coordinada por la Sociedad Española de Electromedicina e Ingeniería Clínica (SEEIC) en la que la Escuela Politécnica de Cuenca ha tenido un papel importante al haber incluido entre los correspondientes paneles de expertos nombrados por el sector a los profesores autores de este artículo:

1. Inclusión en el Catálogo Nacional de Cualificaciones Profesionales del Instituto Nacional de las Cualificaciones (INCUAL), perteneciente al Ministerio de Educación, de dos nuevas Cualificaciones en Electromedicina, en marzo del año pasado, según el Real Decreto 328/2008.
2. Certificado de Profesionalidad en Instalación y Mantenimiento de Sistemas de Electromedicina de Nivel 2, según el Real Decreto 1224/2009.
3. Certificado de Profesionalidad en Gestión y Supervisión de Sistemas de Electromedicina de Nivel 3, según el Real Decreto 683/2011.

4. Real Decreto 1591/2010, de 26 de noviembre, por el que se aprueba la Clasificación Nacional de Ocupaciones 2011. Se incluye en la clasificación las figuras profesionales de Instalador y Reparador en Electromedicina, y la de Técnico en Electrónica, especialidad 'Electromedicina'.
5. Orden ESS/1897/2013, de 10 de octubre, por la que se desarrolla el Real Decreto 34/2008, de 18 de enero, por el que se regulan los certificados de profesionalidad y los reales decretos por los que se establecen certificados de profesionalidad dictados en su aplicación.
6. Real Decreto de definición de currículo del título de "Técnico Superior en Electromedicina Clínica". Pendiente de publicación en BOE en mayo de 2015.

Estas cualificaciones, certificados de profesionalidad y el inminente título de formación profesional de grado superior son el primer paso para lograr una estructura formativa completa, del mismo modo que en el modelo americano. Sigue existiendo una notable confusión entre los profesionales del sector al respecto de los conceptos e implicaciones de estas recientes normativas. A continuación se resumen e intentan aclarar los mismos, estableciendo la relación con el área de la tecnología médica.

La cualificación profesional es el "conjunto de competencias profesionales con significación en el empleo que pueden ser adquiridas mediante formación modular u otros tipos de formación, así como a través de la experiencia laboral" (Ley 5/2002 de las Cualificaciones y de la Formación Profesional). Un certificado profesional es un documento público en el que se reconoce a su titular la competencia profesional para ejercer una determinada profesión, es decir, acredita la profesionalidad. Esta profesionalidad puede adquirirse por vía formativa, por vía de la experiencia profesional, o bien, por una combinación de ambas.

Una de las diferencias más destacadas entre un certificado y un título profesional es la autoridad competente para expedirlos. El título profesional lo expide el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte y el certificado profesional, el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Tanto uno como otro tiene validez permanente (no necesitan ser renovados) y para toda España.

Respecto a los certificados es necesario saber lo siguiente. La normativa general de los certificados de profesionalidad, en su artículo 8 (Vías para la obtención de los certificados de profesionalidad) establece que:

1. El certificado de profesionalidad se puede obtener a través de la superación de todos los módulos formativos correspondientes al certificado de profesionalidad, o mediante los procedimientos para la evaluación y acreditación de las competencias profesionales adquiridas a través de la experiencia laboral o de vías no formales de formación que se establezca en el desarrollo normativo del artículo 8.4 de la Ley Orgánica 5/2002, de 19 de junio, de las Cualificaciones y de la Formación Profesional.
2. También se podrán obtener mediante la acumulación de acreditaciones parciales de las unidades de competencia que comprenda el certificado de profesionalidad.

Por otro lado, en su artículo 15 (Experiencia laboral y vías no formales de formación), se concreta lo siguiente:

1. Cuando las competencias profesionales se hayan adquirido a través de la experiencia laboral o de vías no formales de formación, el acceso al procedimiento para la obtención del certificado de profesionalidad o de una acreditación parcial acumulable, se realizará según los requisitos y procedimientos que se establezcan en desarrollo normativo del artículo 8 de la Ley Orgánica 5/2002, de 19 de junio, de las Cualificaciones y de la Formación Profesional.
2. La Administraciones públicas competentes en materia laboral garantizarán a la población activa la posibilidad de acceder por la vía de la experiencia laboral y por vías no formales de formación a la evaluación y reconocimiento de sus competencias profesionales.
3. Quienes acrediten una experiencia laboral que se corresponda con el entorno profesional del certificado de profesionalidad podrán quedar exentos total o parcialmente del módulo de formación práctica en centros de trabajo.
4. En cualquier caso, los reales decretos que establezcan los certificados de profesionalidad determinarán las condiciones de dicha exención.

A partir de la publicación del Real Decreto 1224/2009, de 17 de julio, de reconocimiento de las competencias profesionales adquiridas por experiencia laboral, la situación queda de la siguiente manera. La gestión del sistema se descentraliza en las Comunidades Autónomas, a las que corresponderá la convocatoria y gestión de los procesos de evaluación y

acreditación de competencias. Sólo en algunos casos concretos se coordinará por parte del estado. Las dos primeras convocatorias de ámbito nacional han ido destinadas a los perfiles profesionales relacionados con la educación infantil y la Ley de Dependencia. Actualmente está en marcha la primera convocatoria correspondiente a electromedicina, en concreto, la reciente convocatoria (abril 2015) realizada por la Comunidad de Aragón. El funcionamiento de este tipo de reconocimientos se realiza según sigue:

1. Proceso de evaluación y acreditación. En primer lugar, los ciudadanos que decidan obtener un reconocimiento oficial de su experiencia laboral o de la formación no reglada, deberán inscribirse en la convocatoria que realizarán conjuntamente las administraciones educativa y laboral.
2. Posteriormente, participarán en un completo proceso que se divide en tres fases: Asesoramiento, Evaluación y Acreditación y registro de la competencia profesional. Así, para acreditar la experiencia laboral deberán justificarse al menos 3 años, con un mínimo de 2.000 horas trabajadas en total en los últimos 10 años transcurridos antes de realizarse la convocatoria. En el caso de la formación no reglada, habrá que justificar al menos 300 horas de cursos sin reconocimiento oficial, en los últimos 10 años transcurridos antes de realizarse la convocatoria. Para las unidades de competencia de nivel 1, se requerirán 2 años de experiencia laboral con un mínimo de 1.200 horas trabajadas en total.
3. Primera fase. Asesoramiento. El asesoramiento, que podrá realizarse de forma presencial o a través de medios telemáticos, será obligatorio y tiene como objetivo ayudar al candidato a autoevaluar su competencia, completar su historial personal y formativo o a presentar evidencias que lo justifiquen. El asesor, atendiendo a la documentación aportada por el candidato, realizará un informe orientativo sobre la conveniencia de que el candidato acceda a la fase de evaluación y sobre las competencias profesionales que considera suficientemente justificadas. Si el informe es negativo, el asesor indicará al candidato la formación complementaria que debería realizar y los centros donde podría recibirla.
4. Segunda fase. Proceso de evaluación. La evaluación, que tendrá en cuenta el informe del asesor y la documentación aportada por el candidato, tendrá por objeto comprobar además si demuestra la

- competencia profesional en una situación de trabajo, real o simulada, fijada a partir del contexto profesional.
5. Tercera fase. Acreditación de la competencia profesional. A los candidatos que superen el proceso de evaluación, según el procedimiento previsto en este Real Decreto, se les expedirá una acreditación de cada una de las unidades de competencia en las que hayan demostrado su competencia profesional.
 6. Al concluir todo el procedimiento de evaluación y acreditación de las competencias profesionales adquiridas a través de la experiencia laboral o de vías no formales de formación, los candidatos recibirán además la orientación necesaria sobre las posibilidades para completar la formación que les lleve a obtener un título de FP o un certificado de profesionalidad relacionado con esas competencias.

Actualmente, la SEEIC colabora con diversas comunidades autónomas para el desarrollo de la formación asociada a los certificados de profesionalidad en esta área. Como ejemplo, Castilla-La Mancha, y en concreto Cuenca a través de su Escuela Politécnica y el Instituto de Tecnologías Audiovisuales, es una de las regiones y provincias pioneras que han impartido el certificado en su totalidad. En esta localidad, el curso se realizó gracias a un convenio de colaboración multi-administración realizado entre las Consejerías de Trabajo (a través de su Servicio de Empleo Público), la Consejería de Educación (a través del IES San José), la Consejería de Salud (a través del Servicio de Electromedicina del Hospital Virgen de la Luz), la Universidad de Castilla-La Mancha (a través del Grupo de Innovación en Bioingeniería del Campus de Cuenca) y la Sociedad Española de Electromedicina e Ingeniería Clínica (SEEIC).

Portugalete, Huesca, Lucena, Navarra, etc. son algunas de las localidades con iniciativas similares. Merece especial atención el Proyecto de Innovación Educativa *"INNOVACIÓN Y COORDINACIÓN EN LA FORMACIÓN EN ELECTROMEDICINA Y TECNOLOGÍA CLÍNICA A TRAVÉS DE LAS TICS"*, subvencionado por parte del Ministerio de Educación en la convocatoria de 2011, para el desarrollo de la formación en el área de Formación Profesional en electromedicina. En la elaboración de este proyecto han participado, además de los Institutos de Enseñanza Secundaria IES San José de Cuenca, CPIFP Repelega de Portugalete y CPIFP Pirámide de Huesca, la SEEIC y la Universidad de Castilla-La Mancha a través nuevamente de la Politécnica de Cuenca. La creación de un portal web de referencia formativa en este sector y la elaboración de materiales

docentes para estos certificados son algunos de los principales objetivos de este proyecto.

Formación en grado y master en ingeniería biomédica en España

La formación universitaria en esta área también ha sufrido notables cambios y novedades en los últimos años, con la puesta en marcha de diversos estudios oficiales de Grado y Master en Ingeniería Biomédica desde 2006 [SEIB]. A este respecto, y con datos referentes al curso académico 2014-15, actualmente en España existen las siguientes titulaciones oficiales:

- Grado en Ingeniería Biomédica, ofertado en 10 universidades (Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad de Navarra, Universidad de Barcelona, Universidad Carlos III de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Pompeu Fabra y Universidad Politécnica de Valencia, Universidad Europea, Universidad de Mondragón, Universidad de Vic-Universidad Centrañ de Cataluña).
- Máster en Ingeniería Biomédica ofertado en 9 universidades, algunos de ellos como título interuniversitario (Universidad de Barcelona, Universidad de Navarra, Universidad de Zaragoza, Universidad Rey Juan Carlos, Universidad Católica San Antonio, Universidad de Extremadura, Universidad del País Vasco, Universidad de Valencia-Universidad Politécnica de Valencia).

Las titulaciones de Grado en Ingeniería Biomédica tienen, en general, una orientación interdisciplinar que combina una sólida base en ingeniería clásica con estudios de biología y fisiología, instrumentación y equipos médicos, señales e imágenes biomédicas y sistemas de información y comunicaciones. En algunos de los Grados se incluye algunas asignaturas específicas de Ingeniería Clínica y Seguridad Hospitalaria.

En las titulaciones de Master en Ingeniería Biomédica se ofrecen diversas especialidades. En todos los títulos se incluye la investigación, pero en algunos de ellos se oferta como especialidad la Tecnología Médica o la Ingeniería Clínica, como es el caso del Master de la Universidad de Barcelona.

Un Master en Ingeniería Biomédica con especialización en Ingeniería Clínica (también con competencias en Comercio Exterior, Ventas, amplio dominio de idiomas, gestión, contabilidad, etc.) permitiría especializar a los graduados en Ingeniería Biomédica y formar a un tipo de profesionales necesarios en nuestro país y ampliamente demandados por la industria. Sería recomendable, no caer en una proliferación de propuestas de máster y postgrados en este campo orientadas únicamente a la investigación básica, tal y como está ocurriendo en muchos países de Europa y en el país referencia EEUU, proceso que están advirtiendo personalidades internacionales reconocidas en el ámbito de la formación en Ingeniería Biomédica y Clínica, pues no es el perfil más demandado actualmente por la patronal del sector (Jox, 2003) y (Gassert et al., 2006).

Conclusiones

La Sociedad Española de Electromedicina e Ingeniería Clínica (SEEIC), con varios convenios y actividades realizadas en colaboración con universidades como las de Castilla-La Mancha, Zaragoza, Cantabria y País Vasco, ha expresado en numerosas ocasiones la conveniencia de este tipo de titulaciones y su apoyo expreso a quienes estén interesados en liderar un proyecto formativo global con posibilidades de promoción y continuidad (Formación Profesional, Grado, Postgrado), que se convertiría en un referente nacional y europeo. La estructura formativa que propondría la SEEIC, y en la que se lleva trabajando varios años, establecería un plan formativo integral con distintos niveles competenciales claramente identificados (tomando con ejemplo las experiencias de Trieste), exigiendo la formación transversal necesaria para que se pudiera producir un tránsito lógico entre los distintos niveles académicos, así como la coordinación entre las diferentes administraciones e instituciones educativas que evitara descuidar competencias.

Desde la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica (SEIB) se ha impulsado y coordinado diversas iniciativas para los nuevos títulos de Grado y Master en Ingeniería Biomédica, que ya se han implantado en diversas universidades españolas. Estos estudios, que están diseñados de acuerdo con las directrices europeas de BIOMEDEA, plantean la formación de Grado de un modo más generalista y dejan para el Master en Ingeniería Biomédica la especialidad de Ingeniería Clínica.

En los últimos años se mantiene una constante colaboración en los temas de formación, entre la SEEIC y la SEIB, que ha dado lugar a la participación conjunta en los anteriores congresos de ambas sociedades.

La propuesta de las diversas etapas formativas queda claramente reflejada en la figura 1:

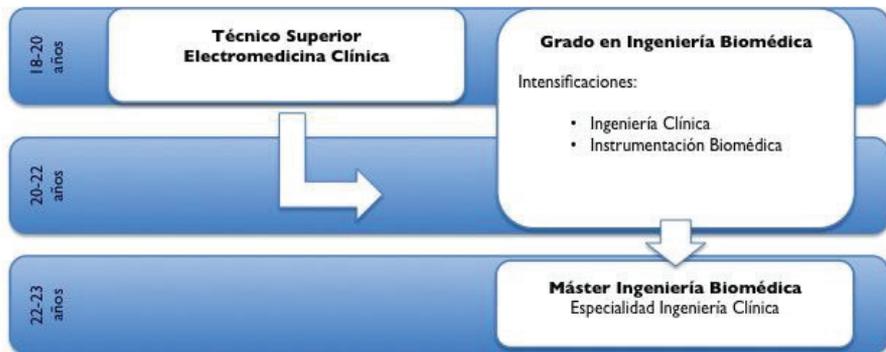


Figura 1. Propuesta de formación integral en electromedicina e ingeniería clínica.

Bibliografía

AAMI: Association for the Advancement of Medical Instrumentation: <http://www.aami.org> [última visita abril 2015]

Biomedical Engineering Education in Europe-Status Report: BIOMEDEA Documents. <http://www.biomedea.org/documents.htm> [última visita abril 2015]

EEUU Department of Labor: Occupational Outlook Handbook. Bioemdicla Engineering. <http://www.bls.gov/ooh/architecture-and-engineering/biomedical-engineers.htm> [última visita abril 2015]

EEUU Department of Labor: Occupational Outlook Handbook. Medical Equipment Repairers. <http://www.bls.gov/ooh/installation-maintenance-and-repair/medical-equipment-repairers.htm> [última visita abril 2015]

Federación Española de Empresas de Tecnología Médica. Memoria anual 2013. http://panelfenin.es/uploads/fenin/publicaciones_textos/pdf-publicacion_texto_14.pdf [última visita abril 2015]

Gassert, J. D., Enderle J. D., Lerner A., Richerson S. J. and Katona P. G. (2006). Design versus research: ABET requirements for design and why

research cannot substitute for design. Proc. 2006 American Society Engineering Education Annu. Conf. and Exposition, Chicago, IL, Session 1139

Informe: Medical Technology- – key facts and figures Eucomed 2010: <http://www.eucomed.org/medical-technology/facts-figures> [última visita abril 2015]

Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos. Serie de documentos técnicos de la OMS sobre dispositivos médicos. ISBN-10 9243501534.

Jox. R. (2003). Europe chips on training. *Nature* 425, 326.

SEIB: Sociedad Española de Ingeniería Biomédica: <http://www.seib.org.es>

Vatta, F., Inchingo, P. (2007). BME Education at the University of Trieste: the Higher Education in Clinical Engineering. IFMBE Proceedings, Volume 16, Part 29, 1077-1080.

Estudio y análisis de medidas de posicionamiento GPS a partir de la Estación de Referencia ubicada en la Escuela Politécnica de Cuenca.

Ana M. Torres* y Joaquín Cascón*

Resumen Este artículo tiene como objetivo dar a conocer el trabajo de investigación que se realizó durante 3 años en la Escuela Politécnica de Cuenca y cuyo objetivo principal se centró en la mejora de precisión de los datos que se obtenían mediante sistemas de posicionamiento GPS. Para esta mejora se utilizaron datos tomados de un GPS monofrecuencia y su análisis se realizó gracias a las correcciones obtenidas de una estación de referencia permanente instalada en el propio Campus de Cuenca.

*Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Automática y de Comunicaciones. Escuela Politécnica de Cuenca, Camino de Vera s/n, 46022 Cuenca, Spain, Ana.Torres@uclm.es y Joaquin.Cascon@uclm.es

Comienzos del proyecto

A mediados de agosto del 2007 comenzó una primera fase del proyecto nacional IBEREF para la mejora en la precisión del sistema GPS. El equipo de profesores de la Escuela Politécnica de Cuenca, el catedrático Joaquín Cascón y la Dra. Ana María Torres, participaron en el mismo para la mejora en la precisión del sistema GPS. Ambos investigadores, a partir del proyecto regional "Estación de Referencia GPS", trabajaron hasta finales del 2008 en la implantación de la Estación de Referencia GPS ubicada hasta hace poco en el tejado del Instituto de Tecnologías Audiovisuales (ITAV) de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) y actualmente en el laboratorio del Grupo GEA (Grupo de Electromagnetismo Aplicado) al cual pertenecen ambos profesores citados (Torres et al., 2007).

A partir de este proyecto, surgió el desarrollo inicial de la Tesis Doctoral "Nuevas técnicas de caracterización por GPS para la obtención de parámetros en la elaboración de mapas de ruido" obteniendo la profesora Dña. Ana María Torres el Diploma de estudios avanzados (DEA) desarrollado en el seno del Departamento de Mecánica y de Fabricación dentro del programa de Ingeniería Acústica de la Universidad Politécnica de Madrid (Torres et al., 2008a y 2008b).

A día de hoy, todavía se encuentra la estación operativa, lo cual permite seguir investigando en la línea que se menciona en esta comunicación y en otras relacionadas con la precisión en las medidas para sistemas de información geográfica (GIS).

Introducción

Haciendo una breve introducción al funcionamiento de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), hay que decir que a través de un único receptor GPS puede obtenerse la posición de un objeto en casi cualquier parte de la Tierra con un error variable en el tiempo. Son muy numerosas las aplicaciones para GPS y constantemente surgen nuevas. Importantes actividades profesionales lo utilizan.

No obstante, un problema reseñable en GPS es la precisión. Un receptor de GPS puede dar una posición con una precisión de aproximadamente de 10-15 metros. Aunque este error, que no es constante y se debe a la

propagación de la señal del satélite, no tiene graves consecuencias para algunas aplicaciones (como navegación), otro tipo de aplicaciones profesionales como ingeniería civil, topografía, agricultura, aeronáutica, etc. requieren un posicionamiento con mayor exactitud (Dana, 1999). De hecho, el GPS puede dar posiciones con precisión submétrica, de varios decímetros si se trabaja con una Estación de Referencia, hasta incluso 1 o 2 centímetros cuando se trabaja dentro de una Red de Estaciones GPS separadas entre sí menos de 75 Km.

Estas altas precisiones se logran usando una técnica llamada "GPS Diferencial". La técnica diferencial exige que un receptor GPS sea situado en una posición conocida (a menudo llamada Punto de Referencia o de Control) y un segundo receptor "Móvil" en posición de ser medido. La información de los dos receptores GPS (Móvil y Fijo) se combina para determinar la posición del móvil. La Estación de Referencia GPS funciona como el Punto de control, y potencialmente sirve a ilimitados usuarios y aplicaciones que se encuentren en un radio de proximidad de la estación. La precisión ofrecida por este método es aproximadamente de 1 centímetro más un milímetro por cada kilómetro que el GPS móvil se aleje del Punto de Referencia (Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, 1995). Cada aplicación precisa una determinada exactitud, pero el área de trabajo es válida en un radio de decenas de kilómetros. La Estación de Referencia GPS es el punto de anclaje para las actividades GPS en un radio de trabajo. Los usuarios de GPS pueden acceder a los datos en sus unidades móviles con la Estación de Referencia, estableciendo posiciones exactas de forma sencilla y rápida. Si el trabajo necesita una precisión inferior a 5 metros es condición imprescindible utilizar una Estación de Referencia (ver Figura 1). Ésta proporciona al usuario los datos diferenciales necesarios para obtener la precisión requerida en el equipo móvil, ya sea para corregirlos con postproceso o directamente en Tiempo Real (Lopez, 1996). Si no se cuenta con una Estación de Referencia cercana, los usuarios deben adquirir e instalar en el campo su propia Estación de Referencia GPS cada vez que necesitan realizar mediciones, pero éste es un esfuerzo innecesario y costoso que evitan las Estaciones de Referencia GPS Permanentes que ahorran tiempo y dinero al usuario (Herring, 1996).

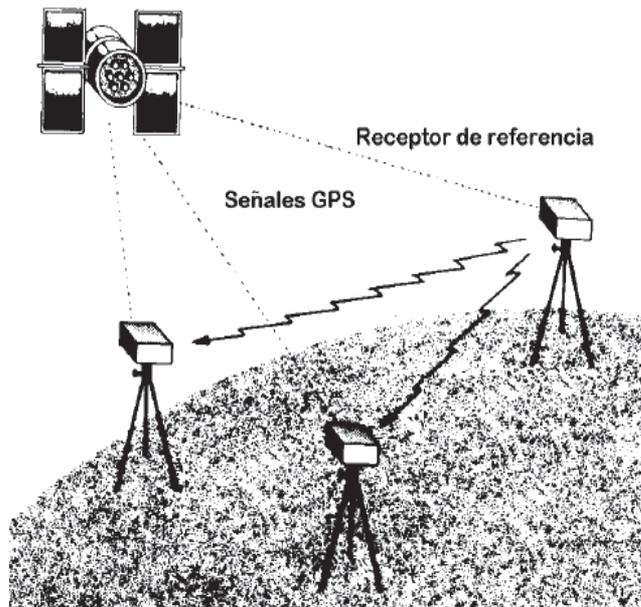


Figura 1. Esquema del funcionamiento básico de un GPS.

En la actualidad son aproximadamente un centenar el número de estaciones de referencia GPS permanentes instaladas en el territorio nacional, controladas por organismos oficiales, con acceso público vía Internet. La mayoría de estaciones forman parte de una o varias redes GPS (IGS, EUREF, ERGPS, CATNET,...).

La estación de referencia GPS del ITAV dentro del Campus de Cuenca, ha sido el primer sistema de la provincia capaz de ofrecer pública y gratuitamente corrección diferencial GPS para que cualquier usuario con receptor GPS móvil obtenga precisiones centimétricas en sus medidas. Sin este sistema, el error en la medida sería de aproximadamente 10-15 metros (Rodríguez y Catarla, 1999).

Muchos profesionales deben emplear equipos propios costosos para obtener la precisión necesaria, y dedicar tiempo diario para instalarlo. Además, este sistema permite la oferta a la comunidad GPS, de correcciones de precisión en tiempo real para todo tipo de aplicaciones, ahorrando el trabajo de postprocesado.

Para transmitir estos datos se emplearán tres diferentes sistemas de Telecomunicación: GSM/GPRS, radio, e Internet aunque en nuestro caso, esta transmisión se ha realizado vía Internet.

La estación está integrada en la primera red nacional GPS con correcciones en tiempo real IBERREF-GPS, contribuyendo a ampliar dicha red y a mejorar la precisión.

Además de lo anterior, las técnicas GPS aplicadas al estudio de dominios públicos, concretamente en el ámbito rural, vienen siendo utilizadas en los últimos años y cada vez con más intensidad. En España, recientemente, han finalizado los trabajos conducentes a la creación de la red REGENTE (Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales), habiéndose realizado este trabajo gracias al apoyo en vértices geodésicos integrados en dicha red.

Software e instrumentación utilizados

El equipo utilizado en el proyecto de investigación fue un GPS GS20 de la marca Leica compuesto por un receptor geodésico monofrecuencia GS20 PDM, una antena topográfica AT501 con plano de tierra incluido y por una Estación de Referencia Permanente GPS (ERP) como se muestra en la Figura 2.

La ERP dispone de un receptor LEICA GX1230 con 12 canales para la portadora de fase L1 y otros 12 para la portadora L2. Recibe código C/A sobre la L1 y código P sobre la L2 aun cuando éste está encriptado. No obstante, para este trabajo, hemos utilizado sólo L1, teniendo deshabilitada L2. Así mismo, está equipada con una antena geodésica AT503 tipo "choke ring".

El software empleado para la gestión de la estación de referencia fue Leica GPS Spider V 3.0 que está especialmente preparado para trabajar con equipos de la serie 20.

El receptor fue controlado mediante un PC de forma remota, no siendo necesario el uso de la unidad de control.

Con el GPS Spider se realizaron todas las operaciones de configuración, registro de datos, almacenamiento y conversión al formato RINEX. Así mismo, permitió monitorizar de forma continua el funcionamiento de la estación de referencia (Holanda et al., 1997).



Figura 2. Instrumentación utilizada en las medidas. Antena geodésica AT503, ERP System 1200 y GPS monofrecuencia.

Entorno y Metodología

Entendiendo que los receptores GPS tienen la capacidad de determinar las coordenadas del punto en el que se encuentren sobre la base del cálculo de pseudodistancias y la medida de fase como métodos más precisos, debemos resaltar que el problema del posicionamiento por satélites es siempre el mismo, esto es, calcular la posición respecto al origen o vector posición, lo cual se consigue conociendo la situación del satélite respecto al origen, en definitiva conocer un vector y medir otro (Leica Geosystems, 2003).

Por tanto, la trisección a partir de los satélites es la base trigonométrica del sistema que utiliza el tiempo de desplazamiento de un mensaje de radio en esa triangulación (Nuñez-García del Pozo et al., 1992).

En este trabajo para el posicionamiento se utilizó el Método Estático Relativo o Posicionamiento Estático Diferencial (DGPS) que es la técnica con la que se consigue máxima precisión, determinando un trío único de coordenadas de una antena mediante las observaciones realizadas durante un lapso de tiempo en el que la antena no sufre desplazamientos superiores a la precisión del sistema. Esta forma de trabajar da lugar a la

obtención de soluciones tan redundantes como se quiera, basta con prolongar la observación, que según la tipología del punto visitado dio lugar a unos tiempos diferentes en Vértices o puntos "fijos", en mojones de perímetro, en mojones y puntos de inflexión de enclavados y en puntos auxiliares. En el caso tratado se estableció dos puntos "fijos" debido a su "perfecto emplazamiento" con relación a la zona de trabajo. Los mencionados puntos "fijos" se enlazan con la Red REGENTE mediante cinco observaciones estáticas simultáneas logrando con ello una precisión suficiente para nuestro proyecto.

Las principales ventajas que aportaron los vértices REGENTE medidos fueron:

- Monumentación bien conservada en general
- Dispositivo de centrado forzado
- Coordenadas GPS precisas y oficiales que permiten la comparación con las del trabajo.

Definido así el sistema local obtenemos las coordenadas del otro que llamamos "móvil" mediante la transformación matemática del sistema GPS al local, que en el caso que nos ocupa es la UTM en ED-50. Una gran ventaja es que los errores de observación son muy parecidos en ambos puntos y de esta manera la repercusión en los incrementos de coordenadas se minimiza.

También otros errores más complicados de controlar (retardos en la ionosfera, troposfera, estado del reloj, etc.) pueden compensarse en bases cortas al emplear el método relativo.

Así mismo, la estación de referencia emite continuamente correcciones diferenciales en tiempo real, vía web, que permite trabajar en un entorno de varios kilómetros de la estación de referencia y haciendo posible una corrección en postproceso de los datos tomados en campo.

Por último y con la ayuda informática se determinaron, a partir del almanaque radiodifundido, las horas del día en que la configuración geométrica de los satélites (PDOP) era la más adecuada para la realización de las medidas.

A) Planificación

En la configuración de la toma de datos hubo que establecer un umbral mínimo de observación, en principio fue de 10º, pues por debajo los errores procedentes de la refracción atmosférica son perjudiciales, esto

no fue posible en todas las observaciones, en todo caso nunca se bajó de los 10°.

En todo momento se dispuso del correspondiente almanaque de información definiendo la ventana correspondiente a las horas y días en que se efectuaron las observaciones cumpliendo estas características que aquí describimos.

B) Ubicación

Se visitaron todos los puntos objeto del levantamiento colocando la antena centrada sobre la misma superficie prismatoidal de los mojones excepto cuando la señal no entraba, en cuyo caso se utilizó un enlace telescópico para facilitar la llegada de la señal, siempre sobre la vertical.

Para los puntos a replantear se colocaron diferentes señales temporales como estaquillas de madera o marcas de pintura que en todo caso fueron sustituidas por los mojones correspondientes.

A) Observaciones

El trabajo de campo se llevó a cabo entre los meses de Noviembre, Diciembre del 2007 y Enero del 2008, donde se creyó conveniente buscar el apoyo sobre la Red REGENTE. En función de estas informaciones del Instituto Geográfico Nacional (IGN) la red geodésica tridimensional REGENTE es la base fundamental, nueva, precisa, uniforme y homogénea que está mejorando los trabajos geodésicos, topográficos y cartográficos actuales (Lichtenegger et al., 1994).

En todos los casos se estacionó sobre los pilares de los vértices, utilizándose una basada (jalón y trípode), y ajustando la nivelación de la antena.

Como se ha dicho, el método utilizado fue el estático relativo o diferencial, siempre con un receptor fijo sobre el punto de coordenadas conocidas. Y con el móvil (GPS) se observó durante cinco segundos en cada punto del levantamiento con el objeto de conseguir la precisión submétrica solicitada y centimétrica para determinados mojones del perímetro en los que se prolongó el tiempo de observación en función de la distancia a la base utilizada.

El colector grababa además, los atributos y características propios de cada punto.

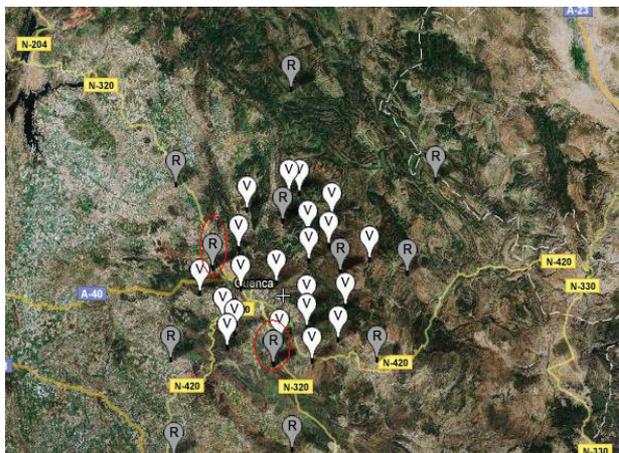


Figura 3. Situación de los vértices geodésicos utilizados.

Presentación de datos

Los vértices geodésicos regentes escogidos para la realización de medidas fueron dos (Figura 3) "El Majal", cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1 y "Cabeza Rubia" en la tabla 2.

Tabla 1. Coordenadas UTM. Huso 30 "El Majal".

Sistema Referencia	ED50	ETRS89
X UTM	578.097,640m	577.988,147m
Y UTM	4.418.552,10	4.418.343,666m

Tabla 2. Coordenadas UTM. Huso 30 "Cabeza Rubia".

Sistema Referencia	ETRS89	ED50
X UTM	564.286,079m	564.395,520m
Y UTM	4.438.641,459m	4.438.849,870m

Así mismo, los datos fueron registrados en dos formatos estándar:

-Formato de intercambio independiente del receptor (RINEX).

-Formato Leica monofrecuencia "Leica Binary" (LB1).

El intervalo de registro de datos en ambos formatos era de un segundo en la fecha en que se hicieron las observaciones. Los archivos generados fueron de una hora de observación, existiendo 24 archivos para cada día almacenados por la hora en tiempo de comienzo del archivo.

Análisis y Resultados

La diferencia entre las coordenadas de los vértices medidos y las coordenadas obtenidas tras procesar los datos, son las indicadas en las tablas 3 y 4.

Además, hemos de tener en cuenta que el tiempo de exposición no superó en ningún caso los 25 segundos. Con tan poco tiempo de observación es posible que el cálculo de postproceso no resuelva ambigüedades (Teunissen y Kleusberg, 1998). Las discrepancias observadas, entre las coordenadas REGENTE y las obtenidas desde la Estación de Referencia, parecen responder a un sistematismo, el cual quizá sea producido por el propio programa empleado y el cálculo implementado no sea capaz de resolverlo correctamente.

Tabla 3. Resultados postproceso "El Majal".

Coordenadas	P1	Variación
X UTM	577.987,674	0,473
Y UTM	4.418.343,714	0,048

Coordenadas	P2	Variación
X UTM	577.987,684	0,463
Y UTM	4.418.343,895	0,229

Coordenadas	P3	Variación
X UTM	577.987,800	0,347
Y UTM	4.418.343,962	0,296

Coordenadas	P4	Variación
X UTM	577.987,719	0,428
Y UTM	4.418.344,019	0,353

Coordenadas	P5	Variación
X UTM	577.987,987	0,160
Y UTM	4.418.344,177	0,511

Tabla 4. Resultados postproceso "Cabeza Rubia".

Coordenadas	P1	Variación
X UTM	564.286,755	0,676
Y UTM	4.438.642,312	0,853

Coordenadas	P2	Variación
X UTM	564.286,739	0,660
Y UTM	4.438.642,176	0,717

Coordenadas	P3	Variación
X UTM	564.286,742	0,663
Y UTM	4.438.642,093	0,634

Coordenadas	P4	Variación
X UTM	564.286,842	0,763
Y UTM	4.438.642,099	0,640

Coordenadas	P5	Variación
X UTM	564.286,955	0,876
Y UTM	4.438.642,477	1,018

Una vez determinadas las precisiones absolutas alcanzables, respecto a la red REGENTE, en posición planimétrica, se efectuó un estudio de las diferencias de coordenadas obtenidas en función del tiempo de medición utilizado para procesar las baselíneas (Valbuena y Velasco, 1992).

Descartada cualquier posibilidad de efecto multipath e interferencia radioeléctrica se cree que las diferencias obtenidas, en cada vértice a lo

largo del tiempo medido, están afectadas por las diferentes condiciones ionosféricas y troposféricas existentes durante ese tiempo, así como por el modelado de éstas. Así mismo, hay que tener presente que un receptor monofrecuencia depende de modelos matemáticos sobre cómo los electrones libres distorsionan una señal de satélite. Con una transmisión de frecuencia dual, se eliminaría completamente el error por distorsión ionosférica (Wolf y Ghilani, 1997).

Con los datos de nuestro trabajo sólo se pudo realizar un postproceso en código (máxima precisión en el entorno de 30-50 centímetros). Caso de haber resuelto ambigüedades en L1 si se realizaran prolongados periodos de observación, se podrían haber conseguido variaciones en torno a los 10 centímetros.

Conclusiones

La combinación de las distintas técnicas e instrumentos utilizados facilitan un diagnóstico e intervención sobre el medio rural de forma rápida, sistemática y eficaz. Trabajar en condiciones adversas climatológicamente hablando: niebla cerrada o fuertes nevadas no fueron o supuesto obstáculo, hoy como se sabe la cobertura de la señal GPS es total en el espacio y en el tiempo. Si bien es preciso señalar la demora en lograr las observaciones óptimas allí donde la pendiente del terreno era muy acentuada junto con la orientación de esos grandes desniveles, además de la incidencia que por último produce en los resultados finales, sobre todo en la tercera coordenada.

Apoyarse en la Red REGENTE facilitó las diversas comprobaciones en cuanto a cálculos y transformaciones se refiere, siendo también una opción abierta a investigar en todas sus variantes, aunque la poca densificación es una carencia hoy por hoy.

En concreto y haciendo uso de la Estación de Referencia, de un equipo GS20 y del programa LGO, se pueden desarrollar trabajos topográficos, con precisiones submétricas siempre y cuando se establezcan las siguientes condiciones:

- Que el posicionamiento sea estático
- Que haya un mínimo de 4 satélites
- Que el valor máximo del PDOP sea de 3
- Que el tiempo mínimo de observación sea de 10 segundos.

El tiempo de observación está directamente relacionado con el tipo de instrumento empleado: el GS20 es un instrumento monofrecuencia (sólo registra L1), por lo cual requiere mucho más tiempo de observación que otro que registre en L1 y L2. Además, por este mismo motivo, le afecta mucho más los cambios en la ionosfera de uno a otro sitio (no es la misma ionosfera la que está encima de la referencia que la que está encima del GS20).

Así mismo, se deduce que se habrían obtenido precisiones centimétricas, siempre y cuando se establezcan las anteriores condiciones, y el tiempo mínimo de observación fuera igual o mayor a 45 minutos (lo cual queda dentro de futuras investigaciones).

La conveniencia de que en una zona determinada se instalen varias Estaciones de Referencia GPS permanentes, haría posible la selección de la estación más adecuada en función de la distancia de ésta a la zona de trabajo, del equipo GPS utilizado... Por otra parte aumentarían las zonas en la que se puede trabajar en "tiempo real", utilizando un solo equipo GPS.

Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado en el marco de colaboración de la Universidad de Castilla La-Mancha y la Escuela Universitaria Politécnica de Cuenca. Dicho proyecto de investigación fue financiado por la Junta de Castilla-La Mancha. Los autores queremos expresar nuestra profunda gratitud y recuerdo al profesor de topografía de la misma Universidad, D. Luis Calvo fallecido en 2011 y al ingeniero agrónomo Carlos Agromayor por su colaboración, ayuda y total disposición.

Bibliografía

Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. (1995). Seminario de Técnicas de Medición GPS.

Dana, P. H. (1999). Coordinate systems overview. University of Colorado Boulder, 15.

Herring, T. (1996). El sistema global de posicionamiento. Investigación y Ciencia. pp. 12-19.

Holanda, B., Ortega, M.P. y Ortega, J.C, (1997). GPS & GLONASS: descripción y aplicaciones.

- Leica Geosystems (2003). GPS1200 Technical Reference Manual.
- Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (1994). GPS: theory and practice. 3rd edSpringer-Verlag, New York.
- Lopez, C. (1996). Topografía.
- Núñez-García del Pozo, A., Valbuena, J.L. y Velasco, J. (1992).GPS. La Nueva era de la Topografía. "Ciencias Sociales. ISBN 84-87510-31-0 Madrid.
- Rodríguez, P. y Catarla, S. (1999). Iberia 95.
- Teunissen, P, Kleusberg, A. (1998). GPS for Geodesy. Springer, Berlin, New York.
- Torres, A. M., Mateo, J. y Cascón, J. (2008a). Envío de correcciones GPS tomadas desde una Estación de Referencia mediante método diferencial, Ponencia, XXIII Simpósium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio URSI, Libro de Actas de la URSI, Madrid.
- Torres, A. M., Mateo, J. y Cascón, J. (2008b). Análisis de la precisión de posicionamiento alcanzable con un GPS monofrecuencia, Ponencia, XXIII Simpósium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio URSI, Libro de Actas de la URSI, Madrid.
- Torres, A. M., Quintana, S., Cascón, J. y Mateo, J. (2007). Modelo de simulación con el programa LIMA de un mapa de ruido aplicado a la ciudad de Cuenca, Ponencia, XXII Simpósium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio URSI, Libro de Actas de la URSI, Santa Cruz de Tenerife.
- Valbuena, D. y Velasco, P. (1992). GPS, La Nueva Era de la Topografía.
- Wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (1997). Adjustment computations: statistics and least squares in surveying and GIS. Wiley-Interscience.

ÍNDICE DE PALABRAS

- Acreditación, 251, 252, 325, 326
Acústica, 43, 44, 81, 97, 106, 119, 120, 332
Aditivos, 248, 249
Análisis de Ciclo de Vida, 25
Arcos de la cantera, 272
Arquitectura, 3, 25, 27, 110, 132, 139, 175, 179, 184, 188, 212, 214, 257
Array, 72, 76
Beamforming, 72, 75, 76, 77, 78, 79
BIM, 38, 123, 130, 131, 132
BSS., 58
CAD, 123, 124, 130, 131, 132
Calidad, 6, 110, 248, 251, 252, 258
Caracterización, 6, 50, 52, 55, 61, 89, 204, 228, 233, 235, 259
Catedral de Cuenca, 111, 259, 260, 262, 272, 273
CSRR, 281, 282
Edificación, 5, 6, 16, 17, 25, 27, 38, 95, 123, 124, 132, 135, 137, 139, 146, 169, 175, 176, 179, 183, 184, 185, 187, 188, 189, 199, 251, 252, 259
Electromedicina, 313, 314, 317, 319, 320, 322, 323, 326, 328
Ensayos, 257, 264, 265, 267, 268
ESIW, 282, 283, 284, 285
Estación de Referencia Permanente, 335
Formación, 132, 142, 145, 146, 151, 157, 158, 162, 166, 173, 174, 191, 253, 323, 324, 326, 327, 328
GPS, 7, 331, 332, 334, 335, 336, 337, 338, 342, 343
GRC, 6, 229, 230, 231, 232, 234, 239, 244, 245, 246, 248
Identificación, 5, 65, 66, 75, 290, 297, 298, 308, 311
Ingeniería, 5, 16, 17, 25, 27, 38, 43, 65, 81, 95, 123, 124, 132, 135, 139, 175, 176, 183, 185, 187, 189, 199, 214, 251, 259, 277, 289, 290, 313, 314, 315, 319, 320, 322, 326, 327, 328, 330, 331, 332
Investigación cualitativa, 6, 135, 169
Laboratorio, 6, 251, 260
Materiales de construcción, 258
Música, 111, 116, 117
Patrimonio, 175, 179, 199, 201, 260, 273
Patrimonio arquitectónico, 199
Patrón acústico, 63
Patrones acústicos, 53
Plateau Team, 25, 27, 28, 29, 30, 32, 39, 210
Promoción, 142, 146, 159, 163
RFID, 7, 280, 285, 287, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 303, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311
Ruido, 5, 81, 119
Satisfacción laboral, 141, 168

Sillar, 262	Sostenibilidad, 27
Sistemas de Posicionamiento Global, 332	Symbcity, 5, 25, 28, 29, 30, 33, 39, 209
SIW, 279, 282, 283, 284, 285	Telecomunicaciones, 4, 214, 320
Solar Decathlon, 25, 26, 28	Trazabilidad, 302, 304, 305, 309
SONAH, 78	

Investigación y transferencia en la Escuela Politécnica de Cuenca

Coordinadores:

Miguel Ángel López Guerrero,

David Sanz Martínez, Ana María Torres Aranda

La Escuela Politécnica de Cuenca (EPC) es un centro docente, científico, tecnológico y cultural de la Universidad de Castilla-La Mancha cuyo objetivo general es servir de instrumento y catalizador de todas las actividades científicas y tecnológicas en los campos de la Edificación y las Telecomunicaciones que conciernen al campus de Cuenca, a la UCLM y la Comunidad de Castilla-La Mancha. En esta Escuela se pueden cursar los estudios conducentes a los títulos universitarios de Ingeniería de Edificación e Ingeniería de Sistemas Audiovisuales de Telecomunicación.

En el curso académico 2014/2015, la Escuela Politécnica de Cuenca cumple 20 años. Desde sus orígenes esta Escuela ha tenido una marcada vocación tecnológica y multidisciplinar. Este hecho, se ha traducido en numerosas y variadas investigaciones que, aun teniendo un destacado reconocimiento científico nacional e internacional, probablemente no hayan sido suficientemente transferidas al público en general y a la sociedad conqense en particular. El presente trabajo pretende ser una breve descripción de las actividades investigadoras y de transferencia de conocimientos llevada a cabo durante estos 20 años por el personal docente e investigador de la Escuela Politécnica de Cuenca.

