

**AEMAC**

---

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

**ACTAS DEL IX CONGRESO NACIONAL DE  
MATERIALES COMPUESTOS**

Girona, 5, 6, 7 y 8 de julio de 2011

Editores:

Josep Costa Balanzat (Universitat de Girona)  
Alfredo Güemes Gordo (Universitat Politècnica de Madrid)  
Antonio Martínez Benasat (Universidad Politècnica de Catalunya)  
Maria Lluïsa MasPOCH Ruldua (UPC, Centre Català del Plàstic)  
Joan Andreu Mayugo Majó (Universitat de Girona)

**Junta directiva AEMAC**

*Presidente:* Alfredo Güemes Gordo (Universidad Politécnica de Madrid)

*Secretario general:* Alberto Barroso Caro (Universidad de Sevilla)

*Vocales:*

Alejandro Ureña Fernández (Universidad Rey Juan Carlos)

Federico París Carballo (Universidad de Sevilla)

Carlos Navarro Ugea (Universidad Carlos III de Madrid)

Alfonso Corz Rodríguez (Universidad de Cádiz)

José Luis Pérez Aparicio (Universidad Politécnica de Valencia)

Iñaki Mondragón Egaña (Universidad del País Vasco)

Josep Costa Balanzat (Universitat de Girona)

José M. Pastor Barajas (Universidad de Valladolid)

Miguel Ángel López Manchado (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

Jaime A. Viña Olay (Universidad de Oviedo)

Depósito legal: B. 37613-2011

ISBN: 978-84-8458-352-3

Imprime: Service Point F.M.I., S.A.



Año 2011

Esta publicación se encuentra bajo licencia *Creative Commons Attribution 3.0 Unported License*.

Para ver una copia de la licencia visitar: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/> o enviar una carta a Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA.

Ilustración de la portada: fotografía cedida per AMADE,UdG.

## PRESENTACIÓN

Los congresos de la Asociación Española de Materiales Compuestos (AEMAC) han llegado ya a su novena edición y, con ella, como ya es tradicional, se publica este libro de Actas del Congreso. Estos libros son, sin duda, el testimonio de la evolución y maduración de un colectivo de investigadores y profesionales cada vez más amplio en número y cuyos focos de interés se expanden sin interrupción, siempre en el marco de los materiales compuestos. Desde las primeras ediciones del congreso de AEMAC, más conocido como MATCOMP, éste ha ido presenciando la irrupción de nuevas temáticas como los nanocomposites, el uso de materiales compuestos en ingeniería civil o los compuestos de inspiración “bio”. AEMAC, y con ella sus congresos, ha sabido adaptarse al contexto científico cambiante y los MATCOMP siguen representando el punto de encuentro más importante para la comunidad académica científica y empresarial del campo de los materiales compuestos en España.

En un entorno social que exige eficiencia en el uso de los recursos públicos otorgados a la investigación y en un contexto de competencia empresarial global, es indispensable el establecimiento de sinergias y colaboraciones entre los distintos actores españoles involucrados en los materiales compuestos. Los congresos MATCOMP, sin duda, representan una oportunidad óptima para ello.

En esta ocasión la sede del congreso ha recaído en la ciudad de Girona, en el Campus del Barri Vell de la Universidad y su organización ha sido posible gracias al esfuerzo de los miembros de dos grupos de investigación: AMADE de la Universitat de Girona y el Centre Català del Plàstic de la Universitat Politècnica de Catalunya. No sería posible listar aquí todas las personas de estos grupos que han participado en la organización del evento, pero aun aceptando omitir alguna de ellas, cito a continuación las que han estado más directamente implicadas en alguno de sus aspectos: Dani Trias, Irene Vilanova y Natina Isart (comidas, refrigerios y eventos sociales), Albert Turon, Lorena Marín y Carlos Sarrado (diseño gráfico, difusión, edición del programa), Norbert Blanco, Jordi Renart, Eduardo Martín, Javier Bonilla, Jordi Torres (medios audiovisuales e informáticos), Cristina Barris, Cristina Miàs, Marta Baena (adecuación de espacios), Rina Weltner (soporte a los conferenciantes invitados), Teresa Reixach (secretaría del congreso), Marc Gascons (patrocinadores); Joan Andreu Mayugo y Emilio V. González han asumido la tarea de preparar la edición de este libro.

En cualquier caso, el mayor agradecimiento se dirige a los autores de las comunicaciones presentadas al congreso, este año más de 170. El tiempo es escaso, los congresos propuestos cada vez más numerosos y los fondos para asistir a congresos menguan paulatinamente en todos los ámbitos. La fidelidad a MATCOMP bien merece, pues, su reconocimiento.

Girona, 5, 6, 7 y 8 de julio de 2011



## TABLA DE CONTENIDO

### CONFERENCIAS PLENARIAS

Artful interfaces within biological materials J.W.C. Dunlop, R. Weinkamer, P. Fratzl.....	1
----------------------------------------------------------------------------------------------	---

### COMPUESTOS DE MATRIZ POLÍMERO

Influencia de la relación de mixticidad y de los procedimientos de ensayo sobre la tasa de relajación de energía en laminados carbono epoxi V. Mollón, J. Viña, A. Argüelles, J. Bonhomme, I. Viña .....	15
Evaluación de daños y defectos en materiales compuestos mediante tomografía de rayos-X F. Ivan Sket, J. Molina-Aldareguia, R. Seltzer, S. Hernández, A. Enfedaque, C.D. Gonzalez, J. Llorca .....	21
Estudio de las tensiones principales en el frente de grieta y su influencia en los mecanismos del fallo por deslaminación en materiales compuestos CFRP V. Mollón, J. Bonhomme, J. Viña, A. Argüelles .....	23
Comportamiento a fuego de laminados carbono-epoxy A. Güemes, C.E. García, F. López del Cerro.....	29
Influence of friction and cross section reduction on the stress at rupture and failure mode of split-disk ring composite specimens I.G. Alves, L.M.S.A. Borges, J.R.M. d'Almeida .....	35
Investigación del efecto compatibilizador del SEBS en mezclas de poliestireno de alto impacto (HIPS) y polipropileno (PP) F. Parres, J.E. Crespo, A. Nadal, R. Navarro .....	41
Estudio de materiales compuestos (CNF/GF/Epoxi). Propiedades mecánicas y estudios de infusividad G. Morales, M. Ruíz-Andrés, J. M. Gómez de Salazar, M. I. Barrena .....	47
Refuerzo de materiales plásticos commodity con fibras de cáñamo y kenaf L. Roca.....	53
Mechanical property and internal geometry variability evaluation in woven materials M. Olave .....	55
Analysis of damage micromechanisms in fiber-reinforced composites through in-situ SEM testing and computational micromechanics J. Llorca, L.P. Canal, C. González, J. Segurado .....	57
Concepción, caracterización y simulación de un laminado activo SMA-pCBT G. Castillo, V. Barcet, I. Flores, L. Aretxabaleta, I. Urrutibeascoa .....	59

Nanocomposites de resina epoxi y montmorillonita. Efecto del tratamiento de organofilización con un tensioactivo catiónico <b>A.Valea, F.J. Juanes, J.C. Miguez, B. González, M.L. González</b> .....	65
New materials for RFID tagging of people and metallic objects <b>C. Ortiz, M. Suárez, L. Andrés, N. Campos, S. Ver Hoeye, E. de Cos, M. Fernández, C. Vázquez, R. Cambor, G. Hotopan, R. Hadarig, F. Las Heras, J.L. Menéndez, S. García-Caso</b> .....	71
Caracterización mecánica de espumas rígidas multifuncionales de poliuretano <b>M. Antunes, A. Cano, V. Realinho, D. Arencón, J.I. Velasco</b> .....	77
Efecto del tipo de tejido de fibra de vidrio sobre el comportamiento a impacto del compuesto de pCBT fabricado mediante RTM <b>I. Ortiz de Mendibil, I. Tena, A. Agirregomezkorta, G. Aretxaga, M. Sarrionandía, J. Aurrekoetxea</b> .....	83
Monitorización de la salud estructural de materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio mediante medidas de resistencia eléctrica <b>M. Sánchez, M. Campo, A. Jiménez-Suárez, J. Rams, A. Ureña</b> .....	89
Caracterización y simulación del comportamiento a impacto de termoplásticos autoreforzados <b>J.I. Múgica, J.A. Arakama, H. Zabala, M. Mateos, L. Aretxabaleta</b> .....	95
Cálculo de tensiones en la superficie generalizada de recipientes a presión de composites: criterios de fallo <b>A. Cabezas, A. Corz, F. París</b> .....	101
Influence of clay and polymer on the morphology and properties of PVOH/clay aerogels <b>M. Sánchez-Soto, J. Rojas, S. Illescas, T. Abt, M. A. Cáceres, A. Aróstegui</b> ..	107
Degradación fotooxidativa de elastómeros NBR/SiO <sub>2</sub> <b>X. Colom, X. Cañavate, F. Carrillo, F.A. Mateu</b> .....	113
Influencia de la adición de una arcilla natural a compuestos de matriz polimérica <b>B. González, A. Valea, M.L. González</b> .....	115
Aplicación de la técnica de Flash-DSC al estudio de las fases metaestables del polipropileno isotáctico <b>Juergen E. K. Schawe, Beat Flachsmann, F. Català</b> .....	121
Evaluación de la tasa de relajación crítica de energía en probetas con grieta asimétrica en modo II <b>J. Bonhomme, V. Mollón, J. Viña, A. Argüelles</b> .....	123
Características a impacto del compuesto de poliéster reforzado con fibra de vidrio curado mediante ultravioleta <b>J.A. Arakama, A. López-Arraiza, M. Sarrionandia, J. Aurrekoetxea</b> .....	129
Microencapsulado de PCMs en poliamida por polimerización “in situ” <b>M.L González, J.C.Miguez, F.J. Juanes, B. González, A.Valea</b> .....	131

Estudio de la variación de las propiedades ante impacto en materiales compuestos de matriz poliolefínica y refuerzo de fibra de basalto en función de las variables de diseño del material	
<b>J. Poveda, F.J. Maturana, J.C. Merino, J.M. Pastor .....</b>	<b>137</b>
Estudio de la influencia de las variables de proceso en las propiedades mecánicas de materiales compuestos de matriz poliolefínica y fibra de vidrio transformados por inyección	
<b>J. Poveda, F.J. Maturana, J.C. Merino, J.M. Pastor .....</b>	<b>143</b>
Preparation of <i>Ginkgo biloba</i> extract and polymeric nanocapsules containig this extract	
<b>R. Ghilardi, T.M. Rostirolla, V.W. Angeli, K.C.B. de Souza .....</b>	<b>149</b>
Obtención y caracterización de un material compuesto plástico-madera, de productos reciclados, por medio del ensayo de tensión	
<b>J.V. González, A. Barba, E. Flores, M. Santillán, F. Sánchez .....</b>	<b>155</b>
Utilización de neumáticos fuera de uso con pretratamiento desvulcanizante como refuerzo en materiales compuestos de matriz poliolefínica	
<b>J. Canavate, P. Casas, M. Jeanbon, F. Nogues, F. Carrillo, X. Colom .....</b>	<b>157</b>
Compuestos de PLA/o-MMT: caracterización morfológica y mecánica	
<b>J.C. Velázquez-Infante, E. Franco-Urquiza, O.O. Santana, A.B. Martínez, M.Ll. MasPOCH, J. Gamez-Perez, F. Carrasco .....</b>	<b>159</b>
Efecto de la funcionalización de CNTs en la resistencia interlaminar de los materiales multiescalares de fibra de carbono fabricados por VARIM	
<b>M. Campo, A. Jiménez-Suárez, M. Sánchez, A. Ureña .....</b>	<b>165</b>
Preparación y caracterización termo-mecánica de espumas de polipropileno reciclado reforzado con fibras celulósicas	
<b>M. Antunes, M. Ardanuy, A.B. Martínez, J.I. Velasco .....</b>	<b>171</b>
Influencia de la temperatura en el proceso de deslaminación bajo modo I y sollicitación estática y dinámica de un material compuesto carbono-epoxi	
<b>A. Argüelles, P. Coronado, A.F. Canteli, J. Viña .....</b>	<b>177</b>
Cálculo simplificado de la resistencia in-situ como función de la rigidez entre las capas del laminado	
<b>T.A. Sebaey, P. Maimí, N. Blanco, C.S. Lopes, J. Costa .....</b>	<b>183</b>
Evaluación del efecto del postcurado en las propiedades de compuestos laminados por impacto de baja energía	
<b>G.Y. Ledesma, O. Jiménez Arévalo, M.A. Alcántara .....</b>	<b>185</b>
<b>COMPUESTOS DE MATRIZ METÁLICA Y CERÁMICA</b>	
Corrosión en ambientes húmedos y salinos de la aleación de magnesio AZ80 con recubrimientos Al-11Si/SiCp efectuados por proyección térmica	
<b>A. Pardo, R. Arrabal, M.C. Merino, M. Mohedano, P. Casajús, E. Matykina, S. Merino .....</b>	<b>191</b>

Corrosión en atmósferas húmedas y salinas del material compuesto AZ92/SiCp recubierto por oxidación electrolítica con plasma <b>R. Arrabal, A. Pardo, M.C. Merino, M. Mohedano, P. Casajús, E. Matykina, P. Skeldon, G.T. Thompson, S. Merino.....</b>	<b>197</b>
Procesamiento y caracterización de recubrimientos nanocomposites Ni-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mediante codeposición asistida por goteo <b>M. Díaz, E. García, J.A. Diez.....</b>	<b>203</b>
Producción y caracterización de una aleación Al-Si7Mg0.3 reforzada con partículas de TiB <sub>2</sub> fabricadas por síntesis autopropagada a alta temperatura <b>P. Egizabal, M. García de Cortázar, M. Merchán .....</b>	<b>205</b>
Estudio de la microestructura y propiedades de una aleación Al-Cu4Mg1 reforzada con 3% de partículas de carburo de titanio (TiC) <b>A. Torregaray, P. Jimbert, T. Guraya, P. Egizabal, M. Merchán .....</b>	<b>211</b>
Influencia del método de fabricación en el comportamiento a corrosión de materiales compuestos AA6061 reforzados con SiCp recubiertas por sol-gel <b>P. Rodrigo, M. Campo, B. Torres, M.D. López .....</b>	<b>213</b>
Soldabilidad láser del material compuesto AA2009/SiC/15 <b>M.D. Escalera, P. Rodrigo .....</b>	<b>219</b>
Extrusión de materiales compuestos de matriz de aluminio con matriz circular y perfiles en L, T y U <b>M. Lieblich, G. González-Doncel, J. Ibáñez, V. Vadillo, R. Fernández, P. Rey, A. Vázquez, G. Castro.....</b>	<b>225</b>
Fabricación de polvos por aleación mecánica de material compuesto de matriz de aluminio AA7075 con refuerzo de TiC nanométrico <b>P. Rey, M. Gonzalez, M. Román, M. Cabeza, G. Pena, P. Merino .....</b>	<b>231</b>
Materiales compuestos metal/diamante para aplicaciones electrónicas fabricados mediante infiltración <b>I.E Monje, J. M. Molina, E. Louis, J. Narciso .....</b>	<b>237</b>
Caracterización de la interfase en materiales compuestos metal/diamante <b>I.E Monje, J. Narciso, E. Louis, J. M. Molina .....</b>	<b>243</b>
Espumas de magnesio para materiales compuestos interpenetrados <b>J. M. Ferri, J. Narciso, E. Louis, J. M. Molina .....</b>	<b>249</b>
Fabricación y caracterización por conductividad térmica de materiales compuestos particulados Mg/Grafito y Mg/SiC <b>J. M. Molina, J. Narciso, E. Louis.....</b>	<b>255</b>
Comportamiento a fatiga de un nanocompuesto Ce-TZP/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <b>A. Mestra, F.G. Marro, Z. de Armas Sancho, M. Anglada .....</b>	<b>261</b>
Thermal conversion of phenolic resin based CFRPs to CC-Composites controlled by an in-situ Dynamic-Mechanic-Thermal Analysis (DMTA) <b>H. Mucha, B. Wielage, H. Deckmann.....</b>	<b>267</b>

- Microestructura y propiedades de nanocomposites de oxycarburo sinterizados por diferentes vías  
**M.A. Mazo, C. Palencia, A. Nistal, F. Rubio, J. Rubio, J.L. Oteo ..... 273**

## NANOCOMPOSITES

- Estudio comparativo de dos métodos de calandrado: control por tiempos y por número de etapas  
**A. Jiménez-Suárez, M. Campo, M. Sánchez, A. Ureña, I. Gaztelumendi, N.Markaide ..... 279**
- Diferentes técnicas de dispersión de nano-refuerzos de carbono en resinas termoestables  
**S.G. Prolongo, B. Gil Melitón, G. del Rosario, M.R. Gude, A. Ureña ..... 285**
- Estudio del comportamiento de nanocomposites de matriz epoxi en medios húmedos agresivos  
**M.R. Gude, S.G. Prolongo, M. Zuazo, A. Ureña ..... 291**
- Nuevos actuadores elatoméricos basados en nanocompuestos de silicona-nanopartículas de carbono  
**M.A. Lopez Manchado ..... 297**
- Epoxy nanocomposites of carbon nanotubes and graphene: cure behaviour, DMTA study and thermal conductivity  
**M. Martín Gallego, R. Verdejo, M.A. Lopez-Manchado, M. Khayet, M. Essalhi ..... 301**
- Evaluación de la técnica de espectroscopía de impedancia como método de estudio microestructural de una resina epoxi reforzada con nanofibras de carbono  
**R. Chaos-Morán, A. Ureña, J.M. Kenny ..... 307**
- Espumas de grafito isótropas como refuerzo de materiales compuestos interpenetrados para aplicaciones térmicas  
**R. Prieto, J. Narciso, E. Louis, J.M. Molina ..... 313**
- Using nanostructured epoxy matrices modified with an epoxidized styrene-b-butadiene block copolymer for better carbon nanotube dispersion  
**L.H. Espósito, J.A. Ramos, G. Kortaberria, I. Mondragon, S. Goyanes ..... 319**
- Desarrollo de nuevos nanocompuestos reforzados con sepiolita y fibra de vidrio  
**F.C. Basurto, D. García-López, N. Villarreal-Bastardo, J.C. Merino, J.M. Pastor ..... 325**
- Hacia el desarrollo de materiales ultra-tenaces a partir de poliuretanos elastoméricos y nanoestructuras de carbono  
**B. Fernández-d'Arlas, L. Rueda, I. Mondragon, M. A. Corcuera, A. Eceiza... 331**
- Influencia de la incorporación de nanopartículas en la resistencia a la compresión paralela al grano de la madera  
**F. A. de Souza Fábio ..... 337**

Caracterización mecánica multiescala de nanocomposites de polipropileno con adición de nanoarcillas modificadas <b>C. Domínguez, M. Acebes, I. Segura, J. M. Lloris, M. E. Rodríguez .....</b>	<b>339</b>
Study of the microwave radiation with the surface of a nanocomposite material used in a RAS <b>L.C. Folgueras, M.C. Rezende.....</b>	<b>345</b>
Polyelectrolytes with nanosized pores on the basis of nitrogen- and oxygen-bearing compounds and some polyamines <b>E.E. Ergozhin, T.K. Chalov, T.V. Kovrigina .....</b>	<b>351</b>
Liberación de medicamentos desde nanohíbridos LDHs soportados sobre APL <b>S. San Román, M.J. Holgado, V. Rives.....</b>	<b>355</b>

## PROPIEDADES MATERIALES COMPUESTOS

Probabilistic failure of composites considering long-term fatigue-based damage <b>M. Chiachio Ruano, J. Chiachio Ruano, G. Rus .....</b>	<b>361</b>
Nuevos métodos de ensayo a flexión para la determinación de propiedades a cortadura en el plano basados en efectos de acoplamiento elástico <b>G. Vargas, F. Mujika.....</b>	<b>363</b>
Análisis de las propiedades mecánicas interlaminares de composites de epoxi/fibra de carbono modificados con MWCNT <b>J. de Gracia, G. Vargas, J. Ibarretxe, F. Mujika.....</b>	<b>369</b>
Ultrasound inspections on glass fiber/phenolic resin and on carbon fiber/epoxy resin composites during flexural fatigue <b>V.G. García, J. Sala, L. Crispí, J.M. Cabrera, A. Istúriz, A. Sàez, M. Millán, C.Comes, D. Trias .....</b>	<b>375</b>
Nuevas aproximaciones para los ensayos de tracción y flexión de laminados multidireccionales <b>F. Mujika .....</b>	<b>381</b>
Determinación de $K_{Ic}$ en compuestos de fibra corta a 1 m/s <b>A.B. Martínez, D. Arencón, E. Franco-Urquiza, M. Antunes, V. Realinho.....</b>	<b>387</b>
Temperature Modulation in PDSC for monitoring the curing under pressure <b>C. Gracia-Fernández, J. Tarrío-Saavedra, J. López-Beceiro, S. Gómez-Barreiro, S. Naya, R. Artiaga.....</b>	<b>393</b>
Determinación del coeficiente de expansión térmica en materiales compuestos utilizando sensores de fibra óptica <b>C.E. García González, J.A. Güemes Gordo .....</b>	<b>399</b>
Resistencia a fractura y fatiga de materiales compuestos wc-co: influencia de la microestructura y sensibilidad a la presencia de entallas <b>D. Coureaux, A. Góez, A. Mestra, A. Mateo, L. Llanes .....</b>	<b>405</b>

Aplicación de un criterio acoplado de tensión y energía al inicio de una grieta transversal en laminados $[0_m, 90_n]_s$ sometidos a tensión longitudinal <b>I.G. García, V. Mantič, A. Blázquez, F. París.....</b>	<b>411</b>
Estudio del modo mixto de fractura interlaminar en composites, mediante una nueva propuesta de ensayo <b>A. I. Boyano Murillo, A. Arrese, F. Mujika .....</b>	<b>417</b>
A modified Brazilian test for the generalized-fracture-toughness determination in multimaterial corners. Numerical and experimental results <b>D. Vicentini, A. Barroso, J. Justo, V. Mantič, F. París .....</b>	<b>419</b>
Comportamiento tribológico de poli(butilen tereftalato) reforzado con fibra de carbono obtenido mediante Resin Transfer Moulding <b>C. Caro, A. Agirregomezkorta, M. Sarrionandia, W. Tato, J. Aurrekoetxea ..</b>	<b>425</b>
Utilización del Polietilén Tereftalato reciclado (PET-r) en el sector del juguete <b>R. Navarro, F. Parres, V. Domenech, I. Rico.....</b>	<b>431</b>
Curvatures in laminated composites $[90-\theta/-\theta]_T$ due to hygrothermal effects <b>M.A. Cantera, J.M. Romera , I. Adarraga , F. Mujika.....</b>	<b>435</b>
Determinación de la resistencia a compresión transversal de composites de fibra larga mediante flexión de tres puntos de laminados $[90_m/0_n]$ <b>N. Carbajal, G.A. Vargas, A. Arrese, F. Mujika .....</b>	<b>437</b>

## COMPUESTOS DE ORIGEN NATURAL

Influencia del contenido de refuerzo y del uso de un polietileno maleado sobre las propiedades de materiales compuestos obtenidos a partir de residuos plásticos de origen agrario y fibras residuales de celulosa <b>C. González-Sánchez, A. Martínez-Aguirre, B. Pérez-García, C. Fonseca-Valero, J. Martínez-Urreaga.....</b>	<b>443</b>
Desarrollo de compuestos naturales híbridos lámina de madera/yute-epoxy <b>D. Bengoechea, G. Aretxaga, J. Aurrekoetxea, M. Sarrionandia, A. López-Arraiza.....</b>	<b>449</b>
Nanobiocomposites based on renewable matrices and nanocelluloses <b>S. Fernandes, G. Mondragon, I. Algar, A. Arbelaiz, A. Retegi, C. Peña, I.Mondragon, C. Freire, S. Aucejo .....</b>	<b>455</b>
Desarrollo de un compuesto polietileno-fibra de nopal <b>O. Jiménez Arévalo, M. Trujillo Barragán, A. Escamilla Martínez .....</b>	<b>457</b>
Composites Naturales. Resistencia al fuego y al impacto de los eco-composites furánicos. <b>U. Lopez de Vergara, K. Gondra, J. Balletero, M. Sarrionandia, J.Aurrekoetxea.....</b>	<b>463</b>
Desarrollo y caracterización de nuevos biocomposites termoestables a partir de resinas de aceite de soja y tejidos de fibras naturales <b>S. Fita-Bravo, I. Roig-Asensi, N. Soriano-Casinos, C. Sanz-Box .....</b>	<b>469</b>

Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz termoplástica conteniendo residuos biodegradables de base queratínica <b>F. Carrillo, A. Rahhali, X. Colom, X. Cañavate</b> .....	<b>475</b>
Matrices de composites basadas en aceite de soja epoxidado acrilado <b>R. Balart, L. Sanchez-Nacher, O. Fenollar, T. Boronat, D. Bertomeu</b> .....	<b>481</b>
Microencapsulated acrylic composites based on collagen for tissue engineering <b>E. Franco-Marquès, J.A. Méndez, C. Martín, M.A. Pèlach, J. Gironès</b> .....	<b>487</b>
Efecto del grado de fibrilación sobre las propiedades mecánicas de morteros de cemento reforzados con fibras vegetales <b>M. Ardanuy, J. Claramunt, R. Arévalo, J.A. García-Hortal</b> .....	<b>493</b>
Aplicación de la tecnología de plasma a materiales naturales <b>C. Rodríguez-Villanueva, J. Abenojar, A. Queirós Barbosa, L. da Silva, J. C. del Real</b> .....	<b>499</b>
Extracción de nano-refuerzos de celulosa a partir de la biomasa <b>G. Mondragon, A. Arbelaiz, A. Retegi, I. Algar, C. Peña, I. Mondragon, S. Fernandes</b> .....	<b>505</b>
Biocomposites on the basis of complexes of natural and synthetic polymer hydrogels with transitional metals ions as models of biocatalysts <b>G.A. Bektenova, N.S. Chinibayeva</b> .....	<b>511</b>
Composites de refuerzo de yute con matrices de aceite de linaza epoxidado <b>R. Balart, D. Garcia-Sanoguera, O. Fenollar, T. Boronat, E. Fagues</b> .....	<b>517</b>
Nuevos materiales compuestos ecológicos basados en estructuras tipo sandwich derivadas de aceites vegetales epoxidados y núcleos de corcho <b>R. Balart, D. Garcia-Sanoguera, L. Sanchez-Nacher, D. Bertomeu, O. Fenollar</b> .....	<b>523</b>
Características de resinas epoxídicas derivadas de aceite de linaza y soja epoxidados curadas con mezclas eutécticas de anhídrido ftálico y maleico <b>M.D. Samper, L. Sanchez-Nacher, O. Fenollar, T. Boronat, M. Monzó</b> .....	<b>529</b>
Síntesis de nanorefuerzos de celulosa bacterial utilizando cultivos simples <b>I. Algar, S. Fernandes, C. Freire, G. Mondragon, A. Arbelaiz, A. Retegi, C. Peña, I. Mondragon</b> .....	<b>535</b>
Materiales compuestos con refuerzos de fibra de yute en la fabricación de ayudas técnicas para discapacitados <b>D.R. Hernández Ochoa, A.T. Pérez Rodríguez, R.F. Beltrán Reyna</b> .....	<b>539</b>
<b>SIMULACIÓN</b>	
Modelling of behaviour of carbon nanotube-reinforced composites <b>F. Otero, S. Oller, X. Martínez, O. Salomón</b> .....	<b>545</b>

Efecto del grosor de lámina en paneles de material compuesto bajo condiciones de impacto a baja velocidad <b>E.V. González, P. Maimí, P.P. Camanho</b> .....	551
Modelización numérica del impacto a baja velocidad sobre vigas sándwich con núcleo metálico de nido de abeja <b>I. Ivañez, C. Santiuste, S. Sánchez-Sáez</b> .....	557
Damage inspection in 3D orthogonal woven composites and plain weave fabrics subjected to both static and impact loads. Testing and simulation <b>R. Muñoz, R. Seltzer, F. Sket, C. González, J. Llorca</b> .....	563
Study of the heating of pre-preg layers subjected to ultrasonic vibrations <b>J. Justo, E. Graciani, F. París, F. Chinesta</b> .....	565
Estudio de los efectos de borde en ensayos de tracción de laminados antisimétricos <b>J.M. Romera, M.A. Cantera, I. Adarraga, F. Mujika</b> .....	571
Mecánica de Daño Discreto para Laminados Compuestos <b>Ever J. Barbero</b> .....	577
Numerical and experimental analysis of the effect of thermal residual stresses on matrix failure under transverse compression <b>E. Correa, F. París, V. Mantič</b> .....	579
An X-FEM implementation to analyze matrix cracking in composite materials <b>C. González, S. Sádaba, R. Muñoz, J. Llorca</b> .....	585
A post-processing methodology to assess delamination onset induced by matrix cracking <b>L. Zubillaga, A. Turon, P. Maimí, J. Costa, S. Mahdi, P. Linde</b> .....	587
Formulación mejorada de un modelo de daño cohesivo para la simulación de la deslaminación a fatiga de alto número de ciclos en compuestos laminados <b>C. Sarrado, A. Turon, J. Costa, P.P. Camanho</b> .....	589
Variable stiffness composite panels: compression and buckling response <b>O. Falcó, N. Gascons, J. Costa, C.S. Lopes</b> .....	591
Modelado de la histeréisis en composites reforzados con fibra <b>M. Mateos Heis, L. Gornet, P. Rozycki, P. Cartraud</b> .....	597
Diseño óptimo multiobjetivo para estructuras compuestas multilaminadas <b>C. Morillo, D.S. Lee, S. Oller, G. Bugada</b> .....	599
A new quadrilateral delaminated composite plate element <b>C. Fernández Casanova, J.L. Pérez Aparicio, M. Lázaro Navarro</b> .....	605
Aplicación del método de fuerzas Integrado Dual en laminados composites <b>I. Adarraga, M.A. Cantera, J. M. Romera, F. Mujika</b> .....	613
Inicio y crecimiento de grietas de interfase entre fibra y matriz en un grupo de fibras sometido a cargas transversales <b>L. Távara, V. Mantič, E. Graciani, F. París</b> .....	619

Generación de modelos de elementos finitos parametrizados de probetas con agujero descubierto

**E. Martín, P. Maimí, A. Turon, E.V. González, L. Marín..... 625**

## **AERONÁUTICA Y ESPACIO**

Detección de daño en materiales compuestos mediante fibra óptica

**J. Sierra, A. Güemes..... 631**

Multifunctional layers for safer aircraft composite structures

**A. Iriarte, M. Chapartegui, C. Elizetxea ..... 637**

A non-empirical kinetic model for the prediction of local changes in elastic modulus during PETI-330 thermal ageing

**L. Chamontin, X. Colin ..... 643**

Development of a virtual testing tool to design composite grid and lattice structures for aerospace applications

**J. Torres, N. Blanco, E. del Olmo, E. Grande..... 645**

Análisis de postpandeo de un panel rigidizado de material compuesto sometido a carga de presión

**A. Blázquez, J. Reinoso, F. París, J. Cañas ..... 651**

Estudio de la absorción de energía en elementos tubulares sometidos a impacto de baja energía

**S.K. García-Castillo, C. Santiuste, S. Sánchez-Sáez, E. Barbero..... 657**

Optimización de paneles rigidizados de materiales compuestos sometidos a cargas termomecánicas

**L. Marín, D. Trias, G. Rus, P. Badalló, E. Martín ..... 663**

Effects of atmospheric pressure plasma as surface treatment for adhesive bonding of aeronautical epoxy/carbon fibre composite laminates

**Javier Sánchez Serrano, S. Lazcano Ureña, A. Ureña Fernández ..... 669**

Comparación de algoritmos genéticos en rigidizadores de material compuesto sometidos a cargas de compresión

**P. Badalló, D. Trias, L. Marín, J.A. Mayugo ..... 675**

Numerical simulation by VCCT of a compressive stringer-stiffened curved composite panel test

**J. Torrent Collell, J. A. Mayugo, M. Crescenti, J. Torres ..... 681**

Fracture toughness and fractographic analysis of co-bonded joints for composite repairs

**J. Costa, J. Renart, J.A. Mayugo, A. Rodríguez-Bellido, S. Mahdi..... 687**

## **INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIÓN (i)**

Green Composites para la Mejora del Aislamiento Acústico

**J. Alba, R. del Rey, F. Vilaseca, P. Mutje..... 693**

Empleo de polímeros reforzados y reciclados en la fabricación de pantallas acústicas de hormigón

<b>I.A. Carrascal, J.A. Polanco, J.A. Casado, S. Diego, I. Sosa, C. Thomas.....</b>	<b>699</b>
High-performance concrete with addition of rice husk ash and rubber waste	
<b>J.L. Akasaki, A.R.B. Vasconcelos, J. Payá, M.M. Tashima, J.L.P. Melges, C.F. Fioriti.....</b>	<b>705</b>
Límites de la capacidad de refuerzo a flexión con FRP	
<b>E. Díaz Heredia.....</b>	<b>711</b>
Refuerzo de puentes con CFRP y estudio de su influencia sobre la redundancia frente a acciones horizontales	
<b>G. Anitori, S. Jurado, J.L. Chambi, J.R. Casas, M. Ghosn.....</b>	<b>717</b>
Ensayos a flexión de vigas de hormigón armado reforzadas con laminados de fibras de carbono (CFRP)	
<b>L. Gil, J.J. Cruz.....</b>	<b>723</b>
Ecuaciones de diseño a cortante para vigas de hormigón armado reforzadas externamente con láminas de FRP	
<b>A. Alzate, A. Arteaga, A. de Diego, D. Cisneros, R. Perera.....</b>	<b>729</b>
Refurbishing of a Reinforced Concrete Building ETE Beam with CFRP Materials: a case study	
<b>S. Primi, C. Paulotto, M. Areiza Hurtado, J.D. García-Espinel.....</b>	<b>735</b>
Método para el refuerzo a flexión de vigas de hormigón armado con barras de fibra de carbono en configuración NSM pretensadas	
<b>V. Alcaraz Carrillo de Albornoz, A. Luizaga Patiño, V. Alcaraz Álvarez de Perea.....</b>	<b>741</b>
Analysis of reinforced concrete elements strengthened by prestressed FRP laminates through non-linear and evolutive models	
<b>E. Oller, A.R. Marí, J.M. Bairán.....</b>	<b>747</b>
Comportamiento a tracción de elementos de hormigón armado con FRP	
<b>M. Baena, Ll. Torres, A. Turon, I. Vilanova, D. Piedrafita.....</b>	<b>753</b>
Analytical Study of Low-Grade Concrete Beams Strengthened in Flexure with Textile Reinforced Mortar	
<b>P. Larrinaga, J.T. San-José, L. Garmendia, D. García, R. San-Mateos, J. Díez.....</b>	<b>759</b>
Comportamiento a flexión de paneles sándwich conectados transversalmente por sus pieles: con y sin fibra	
<b>F. M. Castro Visos, A. J. Sánchez Rojo, J.F. Monsalve Cano, C. Paulotto.....</b>	<b>765</b>
Proyecto COMPOSPAN. Diseño de puente en materiales compuestos. Definición de prototipo a escala y su ensayo	
<b>A. Chiminelli, M.A. Jiménez, A. Escolán, J.E. Herrero, L. Martín-Tereso, J.P. Gutiérrez, M. Sastre.....</b>	<b>771</b>
Comportamiento a fatiga de hormigones reciclados de aplicación estructural	
<b>C. Thomas, J. Polanco, J. Setién, I. Carrascal.....</b>	<b>777</b>

Estudio del comportamiento de tirantes de hormigón reforzados con material polimérico sometidos a tracción mantenida <b>I. Vilanova, Ll. Torres, C. Miàs, C. Barris, D. Piedrafita.....</b>	<b>783</b>
Eficacia de la acción combinada de camisas de confinamiento de FRP y micro-hormigones expansivos de relleno en el refuerzo de pilares circulares de hormigón armado <b>J. P Gutiérrez, P. Carballosa, D. Revuelta, L. Echevarría .....</b>	<b>789</b>
Safety factors in the strengthening to flexure with CFRP of concrete bridges <b>J. R. Casas, M. Ghosn, A. Ceci.....</b>	<b>795</b>
Influencia de la relación tensión-deslizamiento en el comportamiento de la interfase FRP-Hormigón <b>J. López, J. Fernández, E. González .....</b>	<b>801</b>
Rehabilitation of masonry arches with advanced composite materials <b>L. Garmendia, J.T. San-José, P. Larrinaga, D. García, R. San-Mateos, J. Díez.....</b>	<b>807</b>
Compuestos de lana roca con textil para soluciones constructivas de mejora del ruido de impacto <b>R. del Rey, J. A. Fernández, L. Bertó Carbó, M. Blanes .....</b>	<b>813</b>

## PROCESADO Y APLICACIONES INDUSTRIALES

Metodología de selección de materiales adaptada al diseño de producto <b>I. Retolaza, I. Gaztañaga, J. Pujana, I. Llanos, X. Sagartzazu, M. Zamalloa, J.P. Uribe, G. Castillo.....</b>	<b>815</b>
Materiales híbridos estructurales fibra-metal para aerogeneradores offshore <b>X. Meng, S. de Guzmán, M.A. Herreros, I. Diez de Ulzurrun, J.C. Suárez .....</b>	<b>821</b>
Tensiones cortantes en bordes axiales de volantes de materiales compuestos <b>L. Ripoll, J. L. Pérez Aparicio, P. Maimí .....</b>	<b>827</b>
Recipientes a presión de composite, con liner metálico sometidos a presión exterior <b>J. Franco, A. Corz.....</b>	<b>833</b>
Influencia del patrón de perforado en la fabricación por transferencia de resina de FMLs <b>I. Ortiz de Mendibil, A. Agirregomezkorta, G. Aretxaga, M.A. Sarrionandia, J. Aurrekoetxea, A. Lopez .....</b>	<b>839</b>
Optimización del proceso de moldeo de poliamida in situ <b>S. García, C. Elizetxea, L. Palenzuela, U. Morales.....</b>	<b>845</b>
Mecanizado de alto rendimiento de composites reforzados con fibras naturales <b>A. López-Arraiza, I. Ferreres, M. Sarrionandia, J. Aurrekoetxea .....</b>	<b>851</b>
Estudio del curado y postcurado de una resina de bismaleimida en la obtención de materiales compuestos <b>M<sup>a</sup> A. Rodríguez González, A. García, J. Cabezas, L. Fernández, F. Rubio, J. Rubio, J. L. Oteo, A. H. Tamayo, A. Murcigo, R. Rojas .....</b>	<b>857</b>

Influence of the curing method on the failure of composite adhesive joints <b>D. Vicentini, A. Barroso, V. Mantič, F. Paris, D. Canales .....</b>	<b>861</b>
Prediction of resin flow advance using viscosity models including fibre bed effect in Liquid Composite Moulding. <b>M. Gascons, N. Blanco, K. Mathys .....</b>	<b>867</b>
Comportamiento a desgaste de recubrimientos Al/SiCp generados mediante proyección térmica de alta velocidad (HVOF) sobre aleación magnesio-zinc (ZE41A) <b>A.J. López, B. Torres, P. Rodrigo, M. Campo, C. Taltavull, J. Rams.....</b>	<b>873</b>
Infusion process monitoring by direct current (DC) sensing <b>I. Harismendy, J. Gayoso, R. Mezzacasa, I. Muñiz, N. Pantelelis .....</b>	<b>879</b>
Obtención y caracterización de materiales compuestos en base a resina de bismaleimida homide 400 y mats de fibras de vidrio <b>R. Rojas, A. Murciego, A.H. Tamayo, F. Rubio, J. Rubio, J.L. Oteo, M.A. Rodríguez, A. García, J. Cabezas, L. Fernández.....</b>	<b>885</b>
<b>INGENIERÍA CIVIL Y CONSTRUCCIÓN (ii)</b>	
Aplicación de redes neuronales para la evaluación de la capacidad de vigas de hormigón reforzadas a cortante con FRP <b>R. Perera, A. Arteaga, A. De Diego.....</b>	<b>887</b>
<b>ÍNDICE ALFABÉTICO DE AUTORES .....</b>	<b>893</b>

## **Aplicación de redes neuronales para la evaluación de la capacidad de vigas de hormigón reforzadas a cortante con FRP**

**R. Perera,**

Departamento de Mecánica Estructural y Construcciones Industriales, E.T.S.I. Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, España.

**A. Arteaga, A. De Diego**

Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España.

### **RESUMEN**

El fallo a cortante de cualquier viga de hormigón es un mecanismo complicado y, además, el fenómeno se complica más cuando a la viga se le añade un refuerzo a cortante. A causa de ello, los métodos de diseño práctico propuestos hasta la fecha difieren bastante en la evaluación de la contribución del refuerzo externo a cortante. La mayor parte de las expresiones propuestas se han desarrollado mediante un análisis de regresión de datos experimentales sobre configuraciones determinadas que hace muy difícil capturar la interrelación real entre los diferentes parámetros implicados. Para evitar estos inconvenientes se ha desarrollado una red neuronal artificial capaz de predecir la resistencia a cortante de vigas reforzadas con este método a partir de experimentos anteriores. Asimismo, a partir de la red se han llevado a cabo algunos estudios a fin de comprender mejor la influencia real de algunos parámetros de la viga y del refuerzo sobre la resistencia a cortante con el propósito de lograr diseños más seguros de este tipo de refuerzo.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Los métodos de diseño práctico propuestos hasta la fecha calculan la resistencia a cortante de una viga reforzada añadiendo a la contribución del hormigón y los cercos de acero la del refuerzo de FRP. La contribución del hormigón y de los cercos se calcula según las normativas existentes con lo que la principal diferencia entre los modelos disponibles radica en la evaluación de la contribución del FRP. Algunas expresiones propuestas son empíricas (Triantafillou and Antonopoulos 2000) mientras que otras son más de carácter teórico (Täljsten 2003, Chen et al 2001) tratando de adaptar al refuerzo de cortante los modelos de biela y tirante utilizados para el hormigón. En cualquier caso, la mayor parte de estas expresiones se han desarrollado mediante un análisis de regresión de datos experimentales. Para ello, se han supuesto expresiones con una configuración determinada y dependientes de una serie de parámetros desconocidos que se han de determinar. El principal inconveniente asociado a este método de trabajo radica en la dificultad de determinar la configuración y el número de coeficientes que mejor describirían el proceso físico. En este sentido, se podrían derivar expresiones más o menos complejas dependiendo de las hipótesis y detalles de los ensayos

experimentales empleados para su desarrollo. Además, a causa de las restricciones características aportadas por expresiones con una configuración determinada, sería muy difícil que los modelos propuestos fuesen capaces de capturar la interrelación real entre los diferentes parámetros implicados. Se hace necesario, pues, el uso de algún método capaz de determinar de forma segura la resistencia a cortante de una viga reforzada con FRP obviando todas las dificultades planteadas.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la factibilidad de usar redes neuronales como herramienta de predicción de la resistencia a cortante de vigas de hormigón armado reforzadas a cortante con FRP. Para ello, se ha desarrollado un modelo de redes neuronales a partir de una base de datos constituida por resultados de diversos ensayos experimentales sobre vigas con este tipo de refuerzo. Los resultados obtenidos con la red se han comparado con aquéllos proporcionados por las expresiones propuestas en algunas de las recomendaciones de diseño editadas hasta la fecha a fin de contribuir a la investigación, actualmente en pleno desarrollo, del comportamiento de este tipo de refuerzo mediante el uso de nuevas tecnologías.

## **2. REDES NEURONALES**

Mediante el uso de redes neuronales es posible captar las relaciones existentes entre múltiples variables sin necesidad de conocer ninguna función de dependencia entre ellas a priori. La red está constituida por una serie de nodos interconectados entre sí (neuronas), los cuales tienen capacidad para recibir y transmitir información. Estas unidades funcionales o neuronas se agrupan en forma de capas. La primera capa recibe las señales del exterior de la red y la última capa proporciona los datos de salida simulados. Las capas intermedias reciben el nombre de capas ocultas. De esta manera las neuronas de una misma capa no están conectadas entre sí y una neurona de una capa oculta está conectada a todas las neuronas de la capa anterior y a todas las neuronas de la capa siguiente. Los dos aspectos fundamentales a resolver en la aplicación de redes neuronales a un problema son la configuración de la red y el procedimiento de aprendizaje llevado a cabo. Con respecto a la primera cuestión, el número de neuronas de entrada y salida depende del problema a resolver; el número de capas ocultas y las neuronas por cada capa se puede determinar adoptando inicialmente distintas configuraciones hasta alcanzar la óptima. El proceso de aprendizaje de una red neuronal consiste en un procedimiento iterativo cuyo objetivo es determinar el valor de los pesos de las conexiones entre neuronas. Para ello, se parte de muestras de datos de entrenamiento, normalmente experimentales, cuyos valores de entrada y salida de la red son conocidos.

### **2.1 Configuración de la red**

Para el desarrollo de la red de neuronas artificiales se ha confeccionado una base de datos formada por los resultados de diferentes ensayos extraídos de diversas referencias bibliográficas (Liotta 2006, Aprile and Benedetti 2004 y Alzate *et al* 2009). Los ensayos se han realizado sobre vigas de hormigón armado reforzadas externamente a cortante. Las probetas ensayadas suman un total de 98 muestras que presentan una gran diversidad en cuanto a geometría y características mecánicas de los materiales implicados, así como en lo referente a la configuración del refuerzo empleado. La base de datos incluye vigas reforzadas a cortante en U y con refuerzo completo.

Dada la gran cantidad de parámetros que intervienen en el modo de fallo por cortante, la selección de los parámetros de entrada resulta de gran importancia de cara a conseguir el diseño óptimo de la red. Para realizar la selección de los parámetros, se ha calculado teóricamente la resistencia de las vigas ensayadas, utilizando modelos de cálculo de la contribución del FRP, contenidos en algunas de las guías de diseño publicadas hasta la fecha. Finalmente, comparando estas predicciones con los resultados experimentales, se han elegido los siguientes parámetros como neuronas de entrada de la red: ancho de la viga ( $b_w$ ; mm), canto de la viga ( $h$ ; mm), cuantía de refuerzo externo ( $\rho_f$ ), ángulo que forman el eje longitudinal de la viga con la orientación de las fibras del refuerzo ( $\beta$ ), módulo elástico del refuerzo exterior ( $E_f$ ; MPa), cuantía de armadura de flexión ( $\rho_l$ ), área de armadura a cortante por unidad de longitud ( $A_{90}$ ; mm<sup>2</sup>/mm), valor de proyecto del límite elástico de la armadura de cortante ( $f_{y90,d}$ ), resistencia característica del hormigón a compresión ( $f_{ck}$ ; MPa). La salida se refiere a la resistencia total a cortante de la viga reforzada.

Sin embargo, aunque no se haya considerado en las diferentes guías de diseño para este tipo de refuerzo, el índice entre la longitud de cortante y el canto de la viga afectará también a su modo de fallo (Perera *et al* 2009). Por este motivo, se ha incluido también como parámetro de entrada en la red neuronal.

Otro aspecto a considerar se refiere a la configuración del refuerzo, en U o completo. Aunque algunas guías de diseño tratan ambas configuraciones de forma similar, los resultados experimentales demuestran lo contrario. Con este propósito se ha decidido incluir una nueva neurona de entrada en la red para especificar el tipo de configuración. Por tanto, finalmente, el número total de neuronas de entrada es once.

## 2.2 Entrenamiento de la red

De los 98 datos experimentales, 79 muestras, escogidas aleatoriamente, se han empleado para el aprendizaje de la red mientras el resto lo ha sido para validar la red entrenada. Con el fin de evitar problemas derivados del aprendizaje de la red en zonas próximas a los valores extremos de los parámetros de entrada y salida de la red, se ha realizado una transformación, o escalado previo, de los valores de los parámetros de entrada y salida en el intervalo [-1,1].

Para la configuración y aprendizaje de la red se ha implementado un programa en MATLAB. La configuración final de la red de neuronas artificiales se ha determinado mediante un proceso de prueba y error. Dicha configuración es la siguiente: a) parámetros de entrada a la red: 11; b) parámetros de salida de la red: 1; c) número de capas ocultas: 1; d) número de neuronas de la capa oculta: 11; e) función de activación en la primera capa y en las capas ocultas: tangente hiperbólica; f) función de activación en la última capa: función identidad; g) algoritmo de aprendizaje: algoritmo de retropropagación con momento ; h) constante de momento: 0.9; i) tasa de aprendizaje: 0.1; j) número de ciclos de entrenamiento: 5000

Una vez entrenada la red, se han introducido los parámetros de entrada correspondientes al conjunto de datos de validación, con el fin de evaluar el error cometido en la simulación. La medida del error se realiza empleando el error cuadrático medio. El error cometido por la red sobre el conjunto de datos de validación toma un valor de 0.0111.

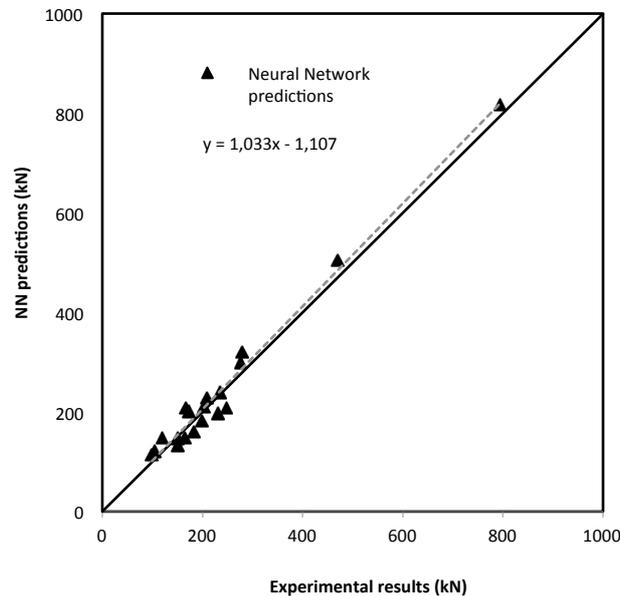
Por otro lado, si se consideran todos los patrones (entrenamiento y validación) el error cometido por la red es igual a 0.0039.

Asimismo, se ha calculado el cociente entre los valores obtenidos experimentalmente y los valores obtenidos con la red neuronal, para los patrones de validación, resultando un valor medio de 0.9605 con un coeficiente de variación de 16%. Los resultados obtenidos llevan a la conclusión de que la red ha sido correctamente entrenada

### 3. ESTUDIO COMPARATIVO

#### 3.1. Comparación con resultados experimentales

En las Figura 1 se muestran los resultados obtenidos con la red frente a los resultados obtenidos en los ensayos experimentales para los patrones de validación. Para mostrar mejor la correlación entre ambos resultados se ha representado también la línea diagonal correspondiente a la concordancia perfecta. Cuanto más cerca estén los puntos de esta línea mejores son las predicciones de la red. Como era de esperar, los mejores resultados se obtienen para los patrones de entrenamiento, aunque para los de validación la dispersión es también muy pequeña, pudiéndose considerar unos resultados excelentes. De forma más precisa, la pendiente de la recta de regresión lineal en la Figura 1, para los patrones de validación, es 1.033 y la correlación es 0.977. Esto indica, perfectamente, la buena concordancia entre las predicciones de la red y los resultados experimentales y, en definitiva, la efectividad de la red a la hora de predecir la resistencia a cortante de vigas de hormigón reforzadas externamente con FRP.



**Fig. 1. Comparación de la capacidad resistente entre los resultados experimentales y las predicciones de la red (Patrón de validación)**

### 3.2. Comparación con guías de diseño

Otra comparación interesante es la de las predicciones de la red, con los valores obtenidos, empleando las expresiones propuestas en algunas de las recomendaciones de diseño publicadas hasta ahora (FIB14 2001, TR55 2000, ACI440 2002, CNR-DT200 2004). La Tabla 1 muestra el promedio, la desviación típica (SD) y el coeficiente de variación (COV) del índice  $V_{exp}/V_{pred}$  para todas las muestras utilizadas para validación considerando, separadamente y en conjunto, las configuraciones de refuerzo completo y en U.

El error en las predicciones de la red neuronal es claramente menor que los errores cometidos al aplicar las expresiones de las recomendaciones de diseño para ambos tipos de configuración. Los valores predichos por la red, podrían utilizarse como ayuda al diseño y comprobación de estructuras reforzadas externamente con FRP, siempre y cuando se les aplicase un factor de seguridad, que garantizara un margen de fiabilidad mínimo. En la medida en que la red fuese entrenada progresivamente con más datos experimentales este factor de seguridad se ajustaría cada vez más.

Contribución FRP	fib 14		CNR-DT	TR-55	ACI 440.2R-02	NN
	EC-2	EHE			ACI 318-02	
Contribución hormigón y acero				BS 8110		
Promedio (Patrón total de validación)	1.25	1.18	1.48	1.48	1.85	0.98
SD (Patrón total de validación)	0.54	0.52	0.64	0.56	1.25	0.13
COV (Patrón total de validación)	43.23%	44.05%	43.25%	37.59%	67.47%	12.88%
Promedio (Refuerzo en U)	1.12	0.94	1.25	1.10	1.20	1.04
SD (Refuerzo en U)	0.57	0.34	0.71	0.36	0.34	0.15
COV (Refuerzo en U)	51.02%	36.32%	56.74%	32.39%	28.72%	14.37%
Promedio (Refuerzo completo)	1.37	1.39	1.69	1.82	2.43	0.93
SD (Refuerzo completo)	0.51	0.57	0.52	0.49	1.49	0.08
COV (Refuerzo completo)	37.43%	41.41%	30.89%	26.89%	61.06%	8.86%

**Tabla 1. Valor del promedio, de la desviación típica y del coeficiente de variación del error relativo cometido por los modelos empíricos y por la red de neuronas artificiales.**

## 4. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un modelo basado en redes neuronales para predecir la capacidad a cortante de vigas reforzadas con FRP utilizando una base de datos experimentales. Los resultados de la red se han comparado con las predicciones de diferentes guías de diseño, publicadas hasta la fecha. Aunque las predicciones realizadas por la red han sido muy buenas, es deseable para el futuro aumentar el número de patrones de entrenamiento, a fin de incrementar la fiabilidad de la red y representar, de forma más exacta, la relación entre todos los parámetros implicados en el problema.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto de Investigación BIA2010-20234, subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

## REFERENCIAS

- ACI 440,2R-02 (2002). *Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures*. Reported by ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA.
- APRILE, A. Y BENEDETTI, A. (2004). Coupled flexural-shear design of R/C beams strengthened with FRP. *Compos Part B-Eng*, 35, pp. 1-25.
- ALZATE, A., ARTEAGA, A., DE DIEGO, A. Y PERERA, R. (2009). Shear strengthening of reinforced concrete beams using fibre reinforced polymers (FRP). *European Journal of Environmental and Civil Engineering EJECE*, 9.
- CHEN, J.F., TENG, J.G., SMITH, S.T. Y LAM, L. (2001). FRP strengthened RC structures. John Wiley & Sons.
- CNR-DT200/2004 (2004). *Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures*. Italian National Research Council, Rome, Italy.
- CONCRETE SOCIETY TECHNICAL REPORT 55 (2000). *Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials*. The Concrete Society, Crowthorne.
- FIB BULLETIN 14 (2001). *Externally bonded FRP reinforcement for RC structures, Design and use of externally bonded fibre reinforced polymer reinforcement (FRP EBR) for reinforced concrete structures*. Task group 9.3, FRP reinforcement for concrete structures, Lausanne, Switzerland.
- LIOTTA, M.A. (2006). *FRP strengthening in shear: tests and design equations*. PhD Thesis.
- PERERA, R., VIQUE, J., ARTEAGA, A. Y DE DIEGO, A. (2009). Shear capacity of reinforced concrete members strengthened in shear with FRP by using strut-and-tie models and genetic algorithms. *Compos Part B-Eng*, 40(8), 714-726.
- TÄLJSTEN, B. (2003). Strengthening concrete beams for shear with CFRP sheets. *Construction and Building Materials*, 17, pp. 15-26.
- TRIANAFILLOU, T.C. Y ANTONOPOULOS, C.P. (2000). Design of concrete flexural members strengthened in shear with FRP. *Journal of Composites for Construction ASCE*, 4, pp. 198-205.

## ÍNDICE ALFABÉTICO DE AUTORES

### A

Abenojar, J., 499  
 Abt, T., 107  
 Acebes, M., 339  
 Adarraga, I., 435, 571, 613  
 Agirregomezkorta, A., 83, 425, 839  
 Akasaki, J.L., 705  
 Alba, J., 693  
 Alcántara, M.A., 185  
 Alcaraz Álvarez de Perea, V., 741  
 Alcaraz Carrillo de Albornoz, V., 741  
 Algar, I., 455, 505, 535  
 Alves, I.G., 35  
 Alzate, A., 729  
 Andrés, L., 71  
 Angeli, V.W., 149  
 Anglada, M., 261  
 Anitori, G., 717  
 Antunes, M., 77, 171, 387  
 Arakama, J.A., 95, 129  
 Arbelaiz, A., 455, 505, 535  
 Ardanuy, M., 171, 493  
 Arencón, D., 77, 387  
 Aretxabaleta, L., 59, 95  
 Aretxaga, G., 83, 449, 839  
 Arévalo, R., 493  
 Argüelles, A., 15, 23, 123, 177  
 Arieza Hurtado, M., 735  
 Armas Sancho, Z. de, 261  
 Aróstegui, A., 107  
 Arrabal, R., 191, 197  
 Arrese, A., 417, 437  
 Arteaga, A., 729, 887  
 Artiaga, R., 393  
 Aucejo, S., 455  
 Aurrekoetxea, J., 83, 129, 425, 449, 463, 839, 851

### B

Badalló, P., 663, 675  
 Baena, M., 753  
 Bairán, J.M., 747  
 Balart, R., 481, 517, 523  
 Ballester, J., 463  
 Barba, A., 155

Barbero, E., 657  
 Barbero, Ever J., 577  
 Barcet, V., 59  
 Barrena, M.I., 47  
 Barris, C., 783  
 Barroso, A., 419, 861  
 Basurto, F.C., 325  
 Bektenova, G.A., 511  
 Beltrán Reyna, R.F., 539  
 Bengoechea, D., 449  
 Bertó Carbó, L., 813  
 Bertomeu, D., 481, 523  
 Blanco, N., 183, 645, 867  
 Blanes, M., 813  
 Blázquez, A., 411, 651  
 Bonhomme, J., 15, 23, 123  
 Borges, L.M.S.A., 35  
 Boronat, T., 481, 517, 529  
 Boyano Murillo, A.I., 417  
 Bugada, G., 599

### C

Cabeza, M., 231  
 Cabezas, A., 101  
 Cabezas, J., 857, 885  
 Cabrera, J.M., 375  
 Cáceres, M. A., 107  
 Camanho, P.P., 551, 589  
 Cambor, R., 71  
 Campo, M., 89, 165, 213, 279, 873  
 Campos, N., 71  
 Canal, L.P., 57  
 Canales, D., 861  
 Cañas, J., 651  
 Canavate, J., 157  
 Cañavate, X., 113, 475  
 Cano, A., 77  
 Canteli, A.F., 177  
 Cantera, M.A., 435, 571, 613  
 Carbajal, N., 437  
 Carballosa, P., 789  
 Caro, C., 425  
 Carrascal, I., 777  
 Carrascal, I.A., 699  
 Carrasco, F., 159  
 Carrillo, F., 113, 157, 475

Cartraud, P., 597  
Casado, J.A., 699  
Casajús, P., 191, 197  
Casas, J.R., 717, 795  
Casas, P., 157  
Castillo, G., 59, 815  
Castro Visos, F.M., 765  
Castro, G., 225  
Català, F., 121  
Ceci, A., 795  
Chalov, T.K., 351  
Chambi, J.L., 717  
Chamontin L., 643  
Chaos-Morán, R., 307  
Chapartegui, M., 637  
Chiachio Ruano, J., 361  
Chiachio Ruano, M., 361  
Chiminelli, A., 771  
Chinesta, F., 565  
Chinibayeva, N.S., 511  
Cisneros, D., 729  
Claramunt, J., 493  
Colin X., 643  
Colom, X., 113, 157, 475  
Comes, C., 375  
Corcuera, M.A., 331  
Coronado, P., 177  
Correa, E., 579  
Corz, A., 101, 833  
Cos, E. de, 71  
Costa, J., 183, 587, 589, 591, 687  
Coureaux, D., 405  
Crescenti, M., 681  
Crespo, J.E., 41  
Crispí, L., 375  
Cruz, J.J., 723

**D**

d'Almeida, J.R.M., 35  
da Silva, L., 499  
Deckmann, H., 267  
Díaz Heredia, E., 711  
Díaz, M., 203  
Diego, A. de, 729, 887  
Diego, S., 699  
Diez de Ulzurrun, I., 821  
Díez, J., 759  
Diez, J.A., 203  
Domenech, V., 431  
Domínguez, C., 339  
Dunlop, J.W.C., 1

**E**

Eceiza, A., 331  
Echevarría, L., 789  
Egizabal, P., 205, 211  
Elizetxea, C., 637, 845  
Enfedaque, A., 21  
Ergozhin, E.E., 351  
Escalera, M.D., 219  
Escamilla Martínez, A., 457  
Escolán, A., 771  
Espósito, L.H., 319  
Essalhi, M., 301

**F**

Fagues, E., 517  
Falcó, O., 591  
Fenollar, O., 481, 517, 523, 529  
Fernandes, S., 455, 505, 535  
Fernández Casanova, C., 605  
Fernández, J., 801  
Fernández, J. A., 813  
Fernández, L., 857, 885  
Fernández, M., 71  
Fernández, R., 225  
Fernández-d'Arlas, B., 331  
Ferrerres, I., 851  
Ferri, J.M., 249  
Fioriti, C.F., 705  
Fita-Bravo, S., 469  
Flachsmann, Beat, 121  
Flores, E., 155  
Flores, I., 59  
Folgueras, L.C., 345  
Fonseca-Valero, C., 443  
Franco, J., 833  
Franco-Marquès, E., 487  
Franco-Urquiza, E., 159, 387  
Fratzel, P., 1  
Freire, C., 455, 535

**G**

Gamez-Perez, J., 159  
García de Cortázar, M., 205  
García González, C.E., 399  
García, A., 857, 885  
García, C.E., 29  
García, D., 759  
García, E., 203  
García, I.G., 411  
García, S., 845  
García, V.G., 375  
García-Caso, S., 71

García-Castillo, S.K., 657  
García-Espinel, J.D., 735  
García-Hortal, J.A., 493  
García-López, D., 325  
García-Sanoguera, D., 517, 523  
Garmendia, L., 759  
Gascons, M., 867  
Gascons, N., 591  
Gayoso, J., 879  
Gaztañaga, I., 815  
Gatzelumendi, I., 279  
Ghilardi, R., 149  
Ghosn, M., 717, 795  
Gil Melitón, B., 285  
Gil, L., 723  
Gironès, J., 487  
Góez, A., 405  
Gómez de Salazar, J.M., 47  
Gómez-Barreiro, S., 393  
Gondra, K., 463  
González, B., 65, 115, 131  
González, C., 57, 585  
González, C., 563  
Gonzalez, C.D., 21  
González, E., 801  
González, Emilio V., 551, 625  
González, J.V., 155  
Gonzalez, M., 231  
González, M.L., 65, 115, 131  
González-Doncel, G., 225  
González-Sánchez, C., 443  
Gornet, L., 597  
Goyanes, S., 319  
Gracia, J. de, 369  
Gracia-Fernández, C., 393  
Graciani, E., 565, 619  
Grande, E., 645  
Gude, M.R., 285, 291  
Güemes, A., 29, 631  
Güemes, J.A., 399  
Guraya, T., 211  
Gutiérrez, J.P., 771, 789  
Guzmán, S. de, 821

**H**

Hadarig, R., 71  
Harismendy, I., 879  
Hernández Ochoa, D.R., 539  
Hernández, S., 21  
Herrero, J.E., 771  
Herreros, M.A., 821  
Holgado, M.J., 355

Hotopan, G., 71

**I**

Ibáñez, J., 225  
Ibarretxe, J., 369  
Illescas, S., 107  
Iriarte, A., 637  
Istúriz, A., 375  
Ivan Sket, F., 21  
Ivañez, I., 557

**J**

Jeanbon, M., 157  
Jimbirt, P., 211  
Jiménez Arévalo, O., 185, 457  
Jiménez, M.A., 771  
Jiménez-Suárez, A., 89, 165, 279  
Juanes, F.J., 65, 131  
Jurado, S., 717  
Justo, J., 419, 565

**K**

Kenny, J.M., 307  
Khayet, M., 301  
Kortaberria, G., 319  
Kovrigina, T.V., 351

**L**

Larrinaga, P., 759  
Las Heras, F., 71  
Lázaro Navarro, M., 605  
Lazcano Ureña, S., 669  
Ledesma, G.Y., 185  
Lee, D.S., 599  
Lieblich, M., 225  
Linde, P., 587  
Llanes, L., 405  
Llanos, I., 815  
Llorca, J., 21, 57, 563, 585  
Lloris, J.M., 339  
Lopes, C.S., 183, 591  
López de Cerro, F., 29  
Lopez de Vergara, U., 463  
Lopez Machado, M.A., 297, 301  
Lopez, A., 839  
López, A.J., 873  
López, J., 801  
López, M.D., 213  
López-Arraiza, A., 129, 449, 851  
López-Beceiro, J., 393  
Louis, E., 237, 243, 249, 255, 313  
Luizaga Patiño, A., 741

**M**

Mahdi, S., 587, 687  
Maimí, P., 183, 551, 587, 625, 827  
Mantič, V., 411, 419, 579, 619, 861  
Marí, A.R., 747  
Marín, L., 625, 663, 675  
Markaide, N., 279  
Marro, F.G., 261  
Martin Gallego, M., 301  
Martín, C., 487  
Martin, E., 625, 663  
Martínez, A.B., 159, 171, 387  
Martínez, X., 545  
Martínez-Aguirre, A., 443  
Martínez-Urreaga, J., 443  
Martín-Tereso, L., 771  
MasPOCH, M.Ll., 159  
Mateo, A., 405  
Mateos Heis, M., 597  
Mateos, M., 95  
Mateu, F.A., 113  
Mathys, K., 867  
Maturana, F.J., 137, 143  
Matykina, E., 191, 197  
Mayugo, J.A., 675, 681, 687  
Mazo, M.A., 273  
Melges, J.L.P., 705  
Méndez, J.A., 487  
Menéndez, J.L., 71  
Meng, X., 821  
Merchán, M., 205, 211  
Merino, J.C., 137, 143, 325  
Merino, M.C., 191, 197  
Merino, P., 231  
Merion, S., 191, 197  
Mestra, A., 261, 405  
Mezzacasa, R., 879  
Miàs, C., 783  
Miguez, J.C., 65, 131  
Millán, M., 375  
Mohedano, M., 191, 197  
Molina, J.M., 237, 243, 249, 255, 313  
Molina-Aldareguia, J., 21  
Mollón, V., 15, 23, 123  
Mondragon, G., 455, 505, 535  
Mondragon, I., 319, 331, 455, 505, 535  
Monje, I.E., 237, 243  
Monsalve Cano, J.F., 765  
Monzó, M., 529  
Morales, G., 47  
Morales, U., 845  
Morillo, C., 599

Mucha, H., 267  
Múgica, J.I., 95  
Mujika, F., 363, 369, 381, 417, 435, 437, 571, 613  
Muñiz, I., 879  
Muñoz, R., 563, 585  
Murciego, A., 857, 885  
Mutje, P., 693

**N**

Nadal, A., 41  
Narciso, J., 237, 243, 249, 255, 313  
Navarro, R., 41, 431  
Naya, S., 393  
Nistal, A., 273  
Nogues, F., 157

**O**

Olave, M., 55  
Oller, E., 747  
Oller, S., 545, 599  
Olmo, E. del, 645  
Ortiz de Mendibil, I., 83, 839  
Ortiz, C., 71  
Oteo, J.L., 273, 857, 885  
Otero, F., 545

**P**

Palencia, C., 273  
Palenzuela, L., 845  
Pantelelis, N., 879  
Pardo, A., 191, 197  
París, F., 101, 411, 419, 565, 579, 619, 651, 861  
Parres, F., 41, 431  
Pastor, J.M., 137, 143, 325  
Paulotto, C., 735  
Paulotto, P., 765  
Payá, J., 705  
Pèlach, M.A., 487  
Peña, C., 455, 505, 535  
Pena, G., 231  
Perera, R., 729, 887  
Pérez Aparicio, J.L., 605, 827  
Pérez Rodríguez, A.T., 539  
Pérez-García, B., 443  
Piedrafita, D., 753, 783  
Polanco, J., 777  
Polanco, J.A., 699  
Poveda, J., 137, 143  
Prieto, R., 313  
Primi, S., 735

Prolongo, S.G., 285, 291  
Pujana, J., 815

**Q**

Queirós Barbosa, A., 499

**R**

Rahhali, A., 475  
Ramos, J.A., 319  
Rams, J., 89, 873  
Real, J.C. del, 499  
Realinho, V., 77, 387  
Reinoso, J., 651  
Renart, J., 687  
Retegi, A., 455, 505, 535  
Retolaza, I., 815  
Revuelta, D., 789  
Rey, P., 225, 231  
Rey, R. del, 693, 813  
Rezende, M.C., 345  
Rico, I., 431  
Ripoll, L., 827  
Rives, V., 355  
Roca, L., 53  
Rodrigo, P., 213, 219, 873  
Rodríguez González, M.A., 857, 885  
Rodríguez, M.E., 339  
Rodríguez-Bellido, A., 687  
Rodríguez-Villanueva, C., 499  
Roig-Asensi, I., 469  
Rojas, J., 107  
Rojas, R., 857, 885  
Román, M., 231  
Romera, J.M., 435, 571, 613  
Rosario, G. del, 285  
Rostirolla, T.M., 149  
Rozycki, P., 597  
Rubio, F., 273, 857, 885  
Rubio, J., 273, 857, 885  
Rueda, L., 331  
Ruíz-Andrés, M., 47  
Rus, G., 361, 663

**S**

Sádaba, S., 585  
Sàez, A., 375  
Sagartzazu, X., 815  
Sala, J., 375  
Salomón, O., 545  
Samper, M.D., 529  
San Román, S., 355  
Sánchez Rojo, A.J., 765

Sánchez Serrano, J., 669  
Sánchez, F., 155  
Sánchez, M., 89, 165, 279  
Sanchez-Nacher, L., 481, 523, 529  
Sánchez-Sáez, S., 557, 657  
Sánchez-Soto, M., 107  
San-José, J.T., 759  
San-Mateos, R., 759  
Santana, O.O., 159  
Santillán, M., 155  
Santiuste, C., 557, 657  
Sanz-Box, C., 469  
Sarrado, C., 589  
Sarrionandia, M., 83, 129, 425, 449, 463, 851  
Sarrionandia, M.A., 839  
Sastre, M., 771  
Schawe, Juergen E. K., 121  
Sebaey, T.A., 183  
Segura, I., 339  
Segurado, J., 57  
Seltzer, R., 21, 563  
Setién, J., 777  
Sierra, J., 631  
Skeldon, P., 197  
Sket, F., 563  
Soriano-Casinos, N., 469  
Sosa, I., 699  
Souza Fábio de, F.A., 337  
Souza, K.C.B. de, 149  
Suárez, J.C., 821  
Suárez, M., 71

**T**

Taltavull, C., 873  
Tamayo, A.H., 857, 885  
Tarrío-Saavedra, J., 393  
Tashima, M.M., 705  
Tato, W., 425  
Távora, L., 619  
Tena, I., 83  
Thomas, C., 699, 777  
Thompson, G.T., 197  
Torregaray, A., 211  
Torrent Collell, J., 681  
Torres, B., 213, 873  
Torres, J., 645, 681  
Torres, Ll., 753, 783  
Trias, D., 375, 663, 675  
Trujillo Barragán, M., 457  
Turón, A., 587, 589, 625, 753

**U**

Ureña Fernández, A., 669  
Ureña, A., 89, 165, 279, 285, 291, 307  
Uribe, J.P., 815  
Urrutibeascoa, I., 59

**V**

Vadillo, V., 225  
Valea, A., 65, 115, 131  
Vargas, G., 363, 369  
Vargas, G.A., 437  
Vasconcelos, A.R.B., 705  
Vázquez, A., 225  
Vázquez, C., 71  
Velasco, J.I., 77, 171  
Velázquez-Infante, J.C., 159  
Ver Hoeye, S., 71

Verdejo, R., 301  
Vicentini, D., 419, 861  
Vilanova, I., 753, 783  
Vilaseca, F., 693  
Villarreal-Bastardo, N., 325  
Viña, I., 15  
Viña, J., 15, 23, 123, 177

**W**

Weinkamer, R., 1  
Wielage, B., 267

**Z**

Zabala, H., 95  
Zamalloa, M., 815  
Zuazo, M., 291  
Zubillaga, L., 587