

RESULTADOS EN I+D Y APLICACIONES RECIENTES DEL IA-CSIC EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS ULTRASÓNICAS

PACS: 43.10.Eg

A. Ramos¹; J.A. Gallego¹; E. Riera¹; J.L. San Emeterio¹; T. Gómez¹; I. González¹; C. Campos¹; H. Calás¹; P.T. Sanz¹; G. Rodríguez¹; L. Castellanos¹; V. Acosta¹; A. Ruiz^{1,2}; E. Pardo¹; I. Bazan^{1,3}; D. Arroyo¹

1 Grupo "Señales, Sistemas y Tecnologías Ultrasonicas" – CSIC. Serrano 144, 28006, Madrid, España

Tel: 34 915 618 806; Fax: 34 914 117 651. E-mail: aramos@ia.cetef.csic.es

2 Ahora en Dept. de Ingeniería Electrónica, Univ. Politecnica de Cataluña Campus Nord, Edf. C-4, C/ Jordi Girona 1-3, 08014, Barcelona, España.

3 Ahora en Esc. Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, IPN, México D.F.

ABSTRACT

More relevant results in research & technological development achieved in the Dpt. Ultrasonic Signals, Systems & Technologies (CSIC), during the last five years, are commented. They are centered on the Physics and Technology of the Ultrasonic Systems and their associate subject matters, including: modeling, simulation and design of aspects as transduction, generation, detection and digital signal processing.

Industrial, biomedical and environmental applications of some innovations generated in Power Ultrasonics and Ultrasonic Detection & Visualization, are also commented. The publications (articles, congresses organization, books edition, especial issues in international journals) and projects and contracts involved are also summarized.

RESUMEN

Se comentan los resultados más relevantes en investigación y desarrollo tecnológico logrados por el Dpto. de Señales, Sistemas y Tecnologías Ultrasonicas del CSIC durante el último quinquenio. Están centrados en la Física y Tecnología de Sistemas Ultrasonicos y sus temáticas asociadas, incluyendo: modelación, simulación y diseño de aspectos de transducción, generación, detección y procesamiento digital de señales.

También se comentan aplicaciones industriales, biomédicas y medioambientales de las innovaciones generadas en Ultrasonidos de Potencia y en Detección & Visualización Ultrasonicas, algunas publicaciones (artículos, organización de congresos, edición de libros y números especiales en revistas internacionales), y los proyectos y contratos involucrados.

INTRODUCCIÓN

Existe en España una larga y fructífera tradición de trabajo científico en torno a los ultrasonidos y sus tecnologías asociadas. Los proyectos y trabajos de investigación y desarrollo en este campo se consolidaron, ya con cierta continuidad, a principios de la década de los setenta a través de un grupo pionero en ello dentro de este país, en el seno del Dpto. Acústica del

Instituto de Física Aplicada L. Torres Quevedo (CSIC - Madrid), concretamente el laboratorio de Ultrasonidos.

La evolución natural de esta actividad, fortalecida posteriormente por incorporaciones (en la década de los ochenta) de otros investigadores del CSIC, provenientes de otras áreas complementarias (fundamentalmente: Tecnologías Electrónicas, de la Información y de la Producción), originó en 1996 la creación y desarrollo del Dpto. "Señales, Sistemas y Tecnologías Ultrasónicas" (SSTU) en el marco del hoy extinto Instituto de Acústica, departamento que sigue en plena actividad y producción hasta el presente, y en la misma ubicación madrileña.

En este trabajo, se resumen las principales líneas de investigación y resultados más relevantes obtenidos en investigación y desarrollo tecnológico en dicho Dpto. SSTU del CSIC durante el último quinquenio. Se centran en la Física y la Tecnología de los Sistemas Ultrasónicos y en sus temáticas asociadas, principalmente, modelación de los distintos sub-sistemas, simulación y diseño de la etapas de transducción, generación electrónica, radiación y análisis de los campos acústicos generados, detección ultrasónica y procesamiento digital de las señales en recepción.

También se comentan en detalle, en este trabajo, las principales aplicaciones de tipo industrial, biomédico y medioambiental a las que han dado lugar las investigaciones, innovaciones y patentes generadas, principalmente, en las temáticas mas abordadas por el Dpto.: Ultrasonidos de Potencia y Detección & Visualización Ultrasónicas.

Y finalmente, se mencionan muy sucintamente las actividades de difusión y las publicaciones resultantes de todo ello (artículos, organización de congresos, edición de libros y de algunos números especiales en revistas internacionales de la especialidad), así como el contenido de los proyectos y contratos involucrados en este pujante campo de investigación.

PRICIPALES GRUPOS Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Grupos

El Dpto. SSTU integra a grupos muy experimentados, entre los que destacan

- ◆ Ultrasonidos de Alta Intensidad (Grupo GUP)
- ◆ Visualización y Detección Ultrasónicas (Grupo VIDEUS)

Existe también bastante actividad en Caracterización de Materiales y Medición ultrasónica.

Líneas de Investigación:

- Métodos numéricos para diseño de sistemas ultrasónicos.
- Acústica física en rango ultrasónico. Radiación y Difracción.
- Modelado, diseño y optimización de sistemas de transducción ultrasónica
 - Transducción piezoeléctrica de banda ancha
 - Transducción piezoeléctrica para alta potencia
- Sistemas electrónicos en aplicaciones ultrasónicas:
 - Generación y excitación en baja y alta tensión
 - Detección y recepción de señales ultrasónicas
 - Control y tratamiento analógico de señales
- Propagación ultrasónica en sólidos y fluidos:
 - Materiales compuestos, nano-porosos y biomateriales.
 - Estructuras granulares, reforzadas por fibra y multi-laminares
 - Fluidos complejos: suspensiones, líquidos biológicos.
- Efectos no-lineales:
 - Fenómenos en medios multifásicos
 - Propagación ultrasónica no-lineal.
 - Cavitación ultrasónica.
 - Métodos no lineales para detección ultrasónica.

- Técnicas avanzadas de procesado digital de señales ultrasónicas
- Sistemas electrónicos de conmutación AT y focalización de arrays ultrasónicos
- Micro-fluídica y ultrasonidos
- Visualización, Detección y Medición ultrasónica de alta resolución

APLICACIONES INDUSTRIALES Y BIOMÉDICAS DE LAS INVESTIGACIONES DEL DPTO

- Control y diagnóstico de calidad industrial por ultrasonidos
- Evaluación cuantitativa de estructuras internas mediante ultrasonidos
- Detección ultrasónica de daños en estructuras civiles, industriales y aeronáuticas
- Caracterización de materiales, tejidos y fluidos por ultrasonidos
- Nuevos procedimientos para diagnóstico médico de precisión por ultrasonidos
- Evaluación por ultrasonidos de nuevos materiales estructurales
- Análisis y caracterización ultrasónica de materiales meso- y micro-porosos
- Desespumación por ultrasonidos
- Aglomeración ultrasónica de aerosoles
- Procesado ultrasónico para limpieza de textiles
- Extracción selectiva en fluidos supercríticos
- Deshidratación de alimentos
- Detección precoz y separación selectiva de microelementos en suspensiones.
- Terapia médica por ultrasonidos.
- Estimación no invasiva de flujo en fluidos por ultrasonidos (industria-medicina)
- Medición ultrasónica de propiedades físicas internas en materiales y tejidos

ASPECTOS GENERALES SOBRE LA PRODUCTIVIDAD CIENTÍFICA DEL DPTO SSTU

El Dpto. "Señales, Sistemas y Tecnologías Ultrasónicas", que como se detalló en el epígrafe anterior, focaliza su investigación sobre los Ultrasonidos y sus sistemas y tecnologías asociadas, ha acometido también numerosas aplicaciones industriales y biomédicas de sus resultados.

Y en cuanto a su productividad científico-técnica, debe destacarse que ha generado relevantes aportaciones científicas y tecnológicas desde 1970, en torno a muy distintos aspectos de los ultrasonidos y de sus aplicaciones, habiendo producido más de 1.000 publicaciones científicas y numerosas implantaciones tecnológicas en la industria, basadas en 55 patentes implementadas.

A modo indicativo, se pueden destacar como resultados recientes más tangibles los siguientes:

- 200 artículos científicos en revistas y en libros con ISBN, en los *últimos 10 años*
- 35 capítulos en libros internacionales de la especialidad (en últimos 10 años)
- 20 patentes de invención en últimos 10 años
- 60 proyectos de investigación, solo en *últimos 10 años*
- 30 contratos de I+D a nivel nacional e internacional (en últimos 10 años)
- 140 Conferencias en Congresos en últimos 10 años
- Creación de una empresa spin-off para implementación de resultados en I+D del grupo GUP

Y, sólo en los *últimos meses*, el Dpto. SSTU ha producido: 25 artículos en revistas indexadas, 5 capítulos de libros y 15 papers en libros; por otra parte, 4 de sus investigadores participaron en la organización del Congreso Internacional de Ultrasonidos ICU-09 y de sus Sesiones Científicas Especiales, así como en la edición de libros internacionales e issues especiales sobre la temática del Dpto. en las revistas de Elsevier: Ultrasonics y Physics Procedia (2010).

PROYECTOS EN EJECUCIÓN

1 - CICYT. Clave num. DPI2008-05213/DPI . Ministerio MICIIN – España

Título: *Tecnologías Ultrasónicas Avanzadas para Metrología No-Invasiva y Control No-Destructivo de Integridad en Nuevos Materiales y Estructuras Multi-laminares y Tisulares.*

- Coordinador: Antonio Ramos

- Objetivo:

La finalidad del proyecto es encontrar soluciones eficaces y viables económicamente a algunos problemas planteados en el control ultrasónico (US) de integridad de estructuras industriales basadas en materiales compuestos, y en la medición no-invasiva de parámetros internos para medicina, no abordables aún hoy día con garantía usando los equipos comerciales. Se buscan tecnologías ultrasónicas alternativas para nuevos retos en resolución planteados en algunos sectores productivos y en ámbitos clínicos, o que solucionen problemas difíciles aún pendientes en metrología no-invasiva de tejidos y vasos sanguíneos y también en análisis de integridad de nuevos elementos multilaminares y tisulares para construcción e ingeniería civil

- Organismo financiador: CICYT-Plan Nacional de Diseño y Producción Industrial

2 - CICYT. Plan Nacional de I+D+I - MICIIN

Título: *Aislamiento no invasivo de células tumorales circulantes en sangre periférica mediante ultrasonidos como marcador biológico de utilidad clínica*

- Investigador principal: Iciar González (coordinadora)

- Objetivo:

Identificar, y separar de una forma no invasiva células tumorales presentes en la circulación sanguínea periférica, usando ultrasonidos. Se trata de que ello sirva como un marcador biológico de utilidad clínica.

Se desarrollará un microdispositivo para detección precoz de metástasis en procesos iniciales mediante la separación de las células tumorales en sangre. No hay precedentes en el uso de esta tecnología para dicha aplicación.

Otros participantes: Hospital Universitario de Elche, IKERLAN Tech. Centre, Department of Microsystems, Polytechnic School, University of Mondragón, Dpt. Microfluidics, and Prof. Alfredo Carrato (Chief of the Oncology Service Unity, Hospital Ramón y Cajal, Madrid).

3 - CICYT. Proyecto de Investigación Coordinado: I+D+i. Ref.: DPI2009-14549-C04-00

Título: *Estudio de los efectos de los ultrasonidos de potencia en procesos de transferencia de masa.(Ustramas)*

- Investigador principal: Enrique F. Riera (coordinador)

- Objetivo del Subproyecto: Estudio de los efectos de los ultrasonidos de potencia en procesos de transferencia de masa Diseño, desarrollo y validación de sistemas ultrasónicos de potencia (PUSO).

- Organismo financiador: CICYT-Plan Nacional de Diseño y Producción Industrial.

4 - CYTED. Proyecto de Investig. Consorciado (PIC) en el Area TIC: *Contrato Nº P506 PIC 0295*

Título: *Development of ultrasonic & computer systems to cardiovascular diagnosis.*

- Investigador Principal en CSIC y Director Adjunto del PIC: Antonio Ramos

- Organismo Financiador: CYTED (Convocatoria PIC).

- Centros de Ejecución: 10 organismos de I+D, hospitales y empresas iberoamericanos.

- Resumen: La revascularización coronaria (puentes o implantes) es una de las principales alternativas terapéuticas para reducir la morbi-mortalidad y mejorar calidad de vida. El poder cuantificar el flujo sanguíneo en estos implantes garantiza la calidad quirúrgica, reduciendo el riesgo postoperatorio y de muerte del paciente. Y el contar además con una caracterización elástica cuantitativa del tejido vascular, mediante elastografía ultrasónica, aumenta la certeza en diagnóstico y control del flujo del sistema vascular. En este proyecto, se están diseñando y desarrollando instrumentos de medición basados en ultrasonidos de 3 tipos: Doppler, Tiempo de Tránsito y Elastográficos, que pretendemos resulten de muy bajo coste.

- Objetivo General:

Determinación y validación de medidas de flujo sanguíneo y elasticidad cardiovasculares.

- Objetivos Específicos:

1- Desarrollo de un sistema Doppler

2- Diseño y desarrollo de un sistema para medir tiempo de tránsito

3- Diseño y desarrollo de un sistema elastográfico para tejidos vascularizados

5 - CDTI-MITC. Proyecto Consorciado para investigación industrial estratégica.

- Título: *PROMETEO*

- Investigador principal: Tomas Gomez

- Organismo Financiador: CDTI (MITC) – Programa Consolider-INGENIO 2010
- Centro de Ejecución: Inst. de Acústica (CSIC) y otros 42 empresas y centros de I+D.
- Coordinador: Dpto. (I + D + I) de Acciona Infraestruc. S.A.
- *Programa de Consorcios Estratégicos Nacionales en Investigación Técnica (CENIT)*

6 - TRACE

- Título: *Desarrollo de prototipos industriales de un sistema de generación y control ultrasónico de potencia*
- Investigador principal: Juan A. Gallego
- Fuente de financiación: PLAN NACIONAL(MINICIN)

7 - ESA.

- Título: *Asesoramiento y puesta a punto de un dispositivo y preparación de ensayos para los experimentos sobre fluidos a desarrollar en la estación espacial internacional. Propuesta y desarrollo de nuevos experimentos a realizar por los astronautas.*
- Investigador principal: Iciar González (Colaboración individual)
- Otros participantes: Centro Delegado Agencia espacial Europea (ESA) en España E-USOC

ACTIVIDAD DEL DPTO. RELACIONADA CON CONTRATOS DE INVESTIGACIÓN

Para la transferencia de los resultados de I+D obtenidos en el Dpto. SSTU, se ha propiciado una intensa colaboración con la industria, y con diversos organismos, lo que ha originado la firma de 30 contratos de I+D a nivel nacional e internacional, en los últimos 10 años.

Como muestra de las contrataciones industriales mas recientes, se da a continuación un listado de temáticas y empresas con las que se ha tenido relación contractual:

Financiador: TECNATOM S.A.

"Mejora de la instrumentación y la automatización de la inspección ultrasónica de nuevos materiales y componentes de gran espesor y/o atenuación". (2008-2010)

Financ: ACCIONA INFRAESTRUC. S.A.

"Contrato para realización de trabajos de investigación en el marco de desarrollo del proyecto científico-tecnológico singular y de carácter estratégico "Prometeo" entre Acciona e Insto. Acústica-CSIC. (2007-10)

Financ: British Steel Ltd., UK.

"Application of high power ultrasonic system for defoaming in alkali tanks". 2000

Financ: ELCOGAS. Nov. 2001- Mayo 2002

"Aplicación de los ultrasonidos de potencia para la limpieza de velas en filtros cerámicos".

Financi: ETREMA, USA . Enero 2002- Abril 2002

"Feasibility study for the application of ultrasonic defoaming in a iron ore separation process".

Financ: CARGILL, USA

"Rotura y control de espumas en un tanque de fermentación de etanol de 400 l". 2002.

Financ.: Food Science Australia (AFSIC-CSIRO), e Innovative Ultrasonics PTY Ltd. "Aplicación de los ultrasonidos de potencia al control de espuma en la industria alimentaria". 2003

Fuente de financiación: Food Science (AFSIC-CSIRO), y Innovative Ultrasonics PTY Ltd, Australia
"Application of air-borne high-intensity ultrasonics in food industry". Oct. 2003- mayo 2004

Fuente de financiación: CARGILL (USA). Sept 2003 – March 2005

"Development and testing of an ultrasonic defoaming system for ethanol processing".

Fuente Financiación: CSIRO – FSA, Australia

"Design, construction of an ultrasonic prototype and investigation of its feasibility to assist in drying food products". Abril 2006 – Junio 2008

Fuente Financiación: Cargill, USA

"Adaptation of ultrasonic equipment for industrial operation". Marzo-Junio 2008

Fuente de Financiación: Pescanova-Bajamar. "Pruebas de desespumación ultrasónica en sus instalaciones de procesado de langostinos". 2008

Fuente de Financiación: Cavitus Pty Ltd, Australia. I) "Study of the feasibility of the ultrasonic defoaming prototype" PART i – III. 2008-2009. II) Study of feasibility of an ultrasonic system prototype of 40kHz for ultrasonic defoaming. Junio 2009-Febrero 2010.

Fuente de Financiación: Cavitus Pty Ltd, Australia
"Testing of the influence of the ultrasonic vibration on the behaviour on non-metallic inclusions: evaluation of two stepped plate power generators (10 and 20 kHz)"

Fuente de financiación: ARCELOR RESEARCH, Francia. "Zinc wiping by a very high air acoustic power: evaluation of one stepped plate power generator (20kHz)". 2004

Fuente de financiación: Bizz Impact, Bélgica. "The application of air-borne high-intensity ultrasound to increase heat transfer in food processing". 2005

Fuente de financiación: DMV International, Holanda. "The application of air-borne high-intensity ultrasound for defoaming of dairy products". 2005

Fuente Financiación: CSIRO – FSA, Australia. "Design, construction of an ultrasonic prototype and investigation of its feasibility to assist in drying food products". 2006-2008.

Fuente Financiación: CARGILL, USA. "Feasibility evaluation of the Ultrasonic Defoaming System in different processing installation". 2006 – 2007.

Financiador: INTA (Insto. Nac. de Técnica Aeroespacial)
"Caracterización Ultrasónica de Interfases en Estructuras Laminares Fuertemente Desacopladas". 2005-06.

Financiac: CC. EE. Cooperación ALFA Europa-América. 14 centros de I+D y universidades en Europa y America. Proy. Cooperación Alfa, nº II-0486-FC-FA-FCD-FI. "Methods of Advanced Processing and Artificial Intelligence in Sensors and Biosensors Systems. 2005-2008

Financiador: COMISIÓN EUROPEA (PROGRAMA ALFA). 10 organismos de 9 países. Proy. de Coop. ALFA, Contrato Nº AML/B7-311/97/0666 / II-0343-fa-fcd-fi. 2004-2007

Financiador: Sociedad Española de Aplicaciones Cibernéticas (SEACSA).
"Sistemas de transducción para anemometría ultrasónica". (2003-2004).

Financiador: TECAL S. A.. Contrato, asociado a proyecto Tempos.
"Sistemas MUX / DMUX de alta tensión para 16 canales.

Financiador: TECAL S.A. Contrato de transferencia de tecnología
Título: Concesión a TECAL S.A. de licencia exclusiva para la utilización y explotación de Patente Española nº 9300154 , Patente USA nº 5, 592, 031 y Patente Europea nº EP 0 651 508 B1 .

Algunas Transferencias a la industria en últimos 10 años

Desde el Dpto. Señales, Sistemas y Tecnologías Ultrasónicas del CSIC, se ha mantenido una intensa actividad de Transferencia de Tecnología a la Industria europea, americana y australiana (ver apartado anterior), que continua actualmente.

Se listan algunas actividades y resultados en transferencia durante los últimos 10 años:

Convenio para transferencia de resultados de investigación en el campo de la separación sólido-líquido en la minería: outokumpu mintec oy, Finlandia. Mayo 1999 – 2009.
Investigador principal: J. A. GALLEGO JUÁREZ.

Contrato en el marco de un proyecto "CENIT" para investigación de nuevos diseños para END de materiales compuestos de fibra de vidrio en ingeniería civil, por contacto y a través de aire.

Organismo Financiador: ACCIONA INFRAESTRUC. S.A.
Investigador Responsable: TOMAS GOMEZ . 2006-2009

Acuerdo de copropiedad entre el csic, la Universidad Politécnica de Valencia y la asociación de la industria agroalimentaria sobre los derechos de propiedad industrial derivados de la patente "Procedimiento para

procesos de separación o extracción con fluidos supercríticos asistidos por ultrasonidos de alta intensidad” (Patente E200201822). Duración: Indefinida (desde 2002)

Investigador responsable: E. RIERA FRANCO DE SARABIA Y J. A. GALLEGU JUÁREZ

Creación de una spin-off: empresa PUSONICS, impulsada por personal del Grupo de Ultrasonidos de Potencia, para la fabricación de sistemas ultrasónicos de potencia.

Desarrollo y transferencia de nuevas tecnologías sobre: “Diseño y desarrollo en el CSIC de un prototipo industrial para demultiplexado de pulsos de alta tensión en aplicaciones específicas de la empresa Tecnatom para inspecciones ultrasónicas de baja frecuencia”

Responsables: A. RAMOS, P. SANZ. 2008-2010.

Memoria descriptiva e Informes anuales sobre las actividades en el CSIC, y elaboración de los Anexos técnicos dentro del proyecto de I+D asociado al contrato de colaboración entre el CSIC y Tecnatom para: “Mejora de la instrumentación y la automatización de la inspección ultrasónica de nuevos materiales y componentes de gran espesor y/o atenuación”

Autor: A. RAMOS. 2008 - 2010

Informe final sobre las actividades realizadas en el CSIC dentro del marco del convenio de colaboración CSIC/INTA: “Caracterización ultrasónica de interfases en estructuras laminares fuertemente desacopladas”

Autores: A. RAMOS, J. L. SAN EMETERIO, P.T. SANZ, E. PARDO

Destinatario: INTA. 2006.

Diseño y desarrollo de un sistema multicanal para la excitación ultrasónica en procesos de estimación ecográfica de propiedades internas en tejidos artificiales (phantoms).

Autores: A. RAMOS, P.T. SANZ. Años: 2005-06 .

Destinatario: Dpto. de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV. México. Proyectos de hipertermia ultrasónica.

Informes técnicos sobre los resultados del contrato de investigación “Sistemas de transducción para anemometría ultrasónica”

Autores: J. L. SAN EMETERIO, A. RAMOS, P.T. SANZ

Destinatario: CEACSA..

Rediseño de procesos de emisión-recepción ultrasónica en régimen pulsado para la “optimización de procesos de inspección US automática de materiales compuestos en el sector aeronáutico”.

Autor: A. RAMOS

Destinatario: CASA - Inspección de los “flaps” en las alas de aviones boeing 777 (diseño e implantación industrial de configuraciones optimizadas).

Concepción y desarrollo de prototipos industriales de 8 y 16 canales PC-compatibles para MUX-DMUX de pulsos AF de potencia. Aplicaciones diversas en inspección ultrasónica computerizada”.

Autores: A. RAMOS Y P. T. SANZ

Destinatario: TECAL S.A.

PAPERS EN REVISTAS Y CAPITULOS EN LIBROS PUBLICADOS EN ÚLTIMOS 5 AÑOS.

1- CALAS H, RODRIGUEZ-RAMOS R, OTERO JA, LEIJA L, RAMOS A, MONSIVAIS G. JOURNAL OF APPLIED PHYSICS Volume: 107 Issue: 4 Article Number: 044511

2 - I. BAZÁN, M. VÁZQUEZ, A. RAMOS, A. VERA, L. LEIJA. ULTRASONICS, Volume 49, pp. 358-376.

3 - H. Calás, J.A. Eiras, L. Castellanos, A. Ramos, E. Moreno. Physics Procedia Volume 3, Issue 1, pp. 585-591.

4 - L. Castellanos, H. Calás, A. Ramos. ULTRASONICS, Volume 50. pp. 116-121.

5 - I GONZÁLEZ, LJ FERNÁNDEZ, T GÓMEZ ALVAREZ-ARENAS, J BERGANZO, JL SOTO, A CARRATO. SENSORS AND ACTUATORS, B 2009 doi:10.1016/j.snb.2009.10.042 (in press)

6 - M. A. Rodríguez, A. Ramos, J. L. San Emeterio. Physics Procedia, [Volume 3, Issue 1](#) pp. 559-567.

7 - T. E. GÓMEZ. Physics Procedia. [Volume 3, Issue 1](#), pp. 541-550.

8 - A. RAMOS. ULTRASONICS, Volume 50. pp. 103.

9 - L. Castellanos, H. Calás, A. Ramos. Physics Procedia, [Vol 3, 1](#), pp. 569-576

10 - T. E. GÓMEZ, D. SANCHO. EE PEGUERO PINA, E. GIL-PELEGRÍN. APPL. PHYS. LETT, 95, 193702

11 - J. BRUM, G. BALAY, D. BIA, N. BENECH, A. RAMOS, R. ARMENTANO, C. NEGREIRA. PHYSICS PROCEDIA, [Volume 3, Issue 1](#), pp. 1087-1094.

12 - T. E. GÓMEZ. ULTRASONICS, Volume 50, pp. 104-109.

13 - J. A. GALLEGU-JUÁREZ, E. RIERA, V. M. ACOSTA, G. RODRÍGUEZ, A. PINTO, A. BLANCO. Ultrasonics Sonochemistry 17, pp.234-238

- 14 - T. E. GÓMEZ ÁLVAREZ-ARENAS, S. DE LA FUENTE, I. GONZÁLEZ. Appl. Phys. Lett . Volumen: 88, Páginas, inicial: 221910-1, final: 221910-3.
- 15 - ARTURO VERA, LORENZO LEIJA, ABRAHAM TELLEZ, IVONNE BAZÁN AND ANTONIO RAMOS. Libro: Edit. Logos Verlag. Berlin. ISBN 978-3-8325-2429-6.
- 16 - T. E. GÓMEZ ÁLVAREZ-ARENAS, I. GONZÁLEZ GÓMEZ. APPL. PHYS. LETT. Volumen: 90. Páginas, inicial: 201903-1, final: 201903-3.
- 17 - J. V. GARCÍA-PÉREZ; J. A. CÁRCEL; E. RIERA; A. MULET. Drying Technology, ISSN: 0737-3937, 27:2, 281-287.
- 18 - J. A. GALLEGUO-JUÁREZ, E. RIERA, S. DE LA FUENTE-BLANCO, G. RODRIGUEZ-CORRAL, V. M. ACOSTA-APARICIO, A. BLANCO-BLANCO. Drying Technology, 25, pp. 1893-1901
- 19 - T. E. GÓMEZ ÁLVAREZ-ARENAS, P.YU. APEL, O. L. ORELOVITCH. J. Membr. Sci. Volumen: 301. Páginas, inicial: 210 final: 220 Fecha: 2007.
- 20 - A. RAMOS, J.L. SAN EMETERIO. Capítulo 6. SPRINGER-VERLAG, pp. 187 - 203. (ISBN 978-3-540-77507-2).
- 21 - A. RAMOS, J.L. SAN EMETERIO. Capítulo 16. SPRINGER-VERLAG, pp. 413 - 431. (ISBN 978-3-540-77507-2).
- 22 - J.L. SAN EMETERIO, A. RAMOS. Capítulo 4. Springer-Verlag, pp. 187-203. (ISBN 978-3-540-77507-2).
- 23 - T.E. GÓMEZ ÁLVAREZ-ARENAS, P.YU. APEL, O. L. ORELOVITCH, IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec., Freq. Contr. Vol.: Páginas, inicial: 2442 final: 2449.
- 24 - T. E. GÓMEZ ÁLVAREZ-ARENAS, I. GONZÁLEZ GÓMEZ. IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec., Freq. Contr. Vol: 56. Páginas, inicial: 772 final: 778
- 25 - T. E. GÓMEZ ÁLVAREZ-ARENAS, P.YU. APEL, O. L. ORELOVITCH, M. MUÑOZ. Radiation Measurements. Vol.:44 (9-10) Páginas, inicial: 1114 final: 111.
- 26 - D. SANCHO-KNAPIK, T. E. GÓMEZ ÁLVAREZ-ARENAS, J. J. PEGUERO-PINA, E. GIL-PELEGRÍN. J. Exper. Bot. Vol. 61 Páginas, inicial: 1385 final: 1391.
- 27 - BAZÁN, A. RAMOS, M. VAZQUEZ, A. VERA and L. LEIJA. J ACOUST SOC AM, Volume: 123, Issue: 5, p.3224. ISBN: 978-2-9521105-4-9.
- 28 - JOSE L. SAN EMETERIO, ANTONIO RAMOS, EMILIA PARDO, JULIO C. LEITE, JOSE M. ALVAREZ, CARLOS PEREZ TRIGO. "J ACOUST SOC AM, Volume: 123, Issue: 5, p.3697
- 29 - E. PARDO, J. L. SAN EMETERIO, M. A. RODRIGUEZ, A. RAMOS. ACUSTICA & ACTA ACUSTICA (Journal of the EAA), Vol. 94, No. 5, pp. 685-693.
- 30 - M. VÁZQUEZ, A. RAMOS, L. LEIJA, A. VERA. Jp. JOURNAL APPLIED PHYSICS, Octubre, pp. 7991-7998 (2006).
- 31 - L.M. DEL RIO, F. LOPEZ, et al, J.L. SAN EMETERIO, and A. RAMOS. END, Nº 38, pp. 14-20.
- 32 - M.A. RODRIGUEZ, A. RAMOS, J.L. SAN EMETERIO. ULTRASONICS, Vol. 44, Nº S1, pp. 1105-1109
- 33 - A. RAMOS, A. RUIZ, J.L. SAN EMETERIO, P.T. SANZ. ULTRASONICS, Vol. 44, Nº S1, pp. 995-1000.
- 34 - E. PARDO, J.L. SAN EMETERIO, M.A. RODRIGUEZ, A. RAMOS. ULTRASONICS, Vol. 44, Nº S1, pp. 1063-1067.
- 35 - L.M. DEL RIO et all, J.L. SAN EMETERIO, A. RAMOS. ULTRASONICS, Vol. 44, Nº S1, pp. 1057-1061.
- 36 - M.A. RODRIGUEZ, A. Ramos, J.L. SAN EMETERIO. NDT&E INTERNAT., Vol. 37, pp. 345-352.
- 37 - J.L. San Emeterio, A. Ramos. FERROELECTRICS, 320, pp. 701-707..
- 38 - J. A. GALLEGUO-JUÁREZ. PHYSICS PROCEDIA Vo 3, issue 1, pp35-47 (2010)
- 39 - C. VANHILLE AND C. CAMPOS-POZUELO, ULTRASONICS 44, Dec. 2006, e777-e78.
- 40 - D. CHACÓN, G. RODRIGUEZ-CORRAL, L. GAETE-GARRETÓN, E. RIERA-FRANCO DE SARABIA, J. A. GALLEGUO-JUÁREZ. ULTRASONICS 44, Dec. 2006, e517-e521.
- 41 - S. DE LA FUENTE-BLANCO, E. RIERA-FRANCO DE SARABIA, G. RODRÍGUEZ-CORRAL, J. A. GALLEGUO-JUÁREZ. ULTRASONICS 44, Dec. 2006, e523-e527.
- 42 - I. GONZALEZ-GOMEZ, J. RODRIGUEZ, I. GARMENDIA, J. A. GALLEGUO-JUÁREZ. ULTRASONICS 44, Dec. 2006, e529-e532.
- 43 - J.V. GARCÍA-PÉREZ, J.A. CÁRCEL, S. DE LA FUENTE-BLANCO, E. RIERA-FRANCO DE SARABIA. ULTRASONICS 44, Dec. 2006, e539-e54.
- 44 - J.A. CÁRCEL, J.V. GARCÍA-PÉREZ, A. MULET, L. RODRIGUEZ, AND E. RIERA.. PHYSICS PROCEDIA, Vo 3, issue 1, pp147-152 (2010).
- 45 - CASES, C.O, PÉREZ-MUNUERA, I., PUIG, A., RIERA, E., GARCÍA-PÉREZ, J.V. PHYSICS PROCEDIA, Vo 3, issue 1, pp153-159 (2010).
- 46 - G. RODRÍGUEZ-CORRAL, J. A. GALLEGUO-JUÁREZ, E. RIERA, V. M. ACOSTA, A. BLANCO. PHYSICS PROCEDIA, Vo 3, issue 1, pp 135-139 (2010).
- 47 - CAMPOS-POZUELO, C. VANHILLE AND J.A. GALLEGUO-JUÁREZ. Chapter 28, Ed. P.P. Delsanto, Springer, New York 2006, Nov. 2006, ISBN: 0-387-33860-8.
- 48 - C. VANHILLE AND C. CAMPOS-POZUELO, Ultrasonics Sonochemistry 16 669-685. C. VANHILLE AND C. CAMPOS-POZUELO. International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, 10, 751-757.
- 49 - PEREZ-MIRAVETE IGNACIO TINAO; CAMPOS-POZUELO CLEOFÉ; PEREA ANGEL.. Journal of the Acoustical Society of America, 125 (3): 1302-1309.
- 50 - C. VANHILLE AND C. CAMPOS-POZUELO, Ultrasound in Medicine & Biology. Vol. 34 (5), pp. 792-

808.

51 - C. VANHILLE AND C. CAMPOS-POZUELO, International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, Vol. 9 (4), pp. 367-379.

52 - C. CAMPOS POZUELO, C. VANHILLE, J.A. GALLEGU JUÁREZ. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, January 2006, vol.53, nº1, pp 175-184

53 - E. RIERA FRANCO DE SARABIA, JUAN A. GALLEGU-JUÁREZ, T. J. MASON. Ultrasonics Sonochemistry 13, pp.107-116.

54 - C. VANHILLE AND C. CAMPOS-POZUELO, ULTRASONICS 44, Dec. 2006, e777-e781

55 - A. RAMOS, P.T. SANZ, A. RUIZ. Capítulo 22: (Libro: Métodos de procesamiento avanzado e inteligencia artificial en sistemas sensores y biosensores). Edit. Reverté - CE-Alfa. México DF / Barcelona.

56 - J. L. SAN EMETERIO, A. RUIZ, A. RAMOS. Capítulo 3, en libro: "Métodos de procesamiento avanzado e inteligencia artificial en sistemas sensores y biosensores". Edit: Reverté - CE-Alfa.

57 - A. RUIZ, A. RAMOS. Capítulo 20 (en libro: "Métodos de procesamiento avanzado e inteligencia artificial en sistemas sensores y biosensores"). Edit. Reverté - CE-Alfa. México DF / Barcelona.

58 - T. E. Gómez Álvarez-Arenas, H. Calás, J. Ealo Cuello, A. Ramos Fernández and M. Muñoz. JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. Aceptado. 2010.

59 E. Riera, A. Blanco, J. García, J. Benedito, A. Mulet, J.A. Gallego-Juárez, M. Blasco Ultrasonics 50 (2010) 306-309.

60 J. A. Gallego-Juárez, E. Riera, V. M. Acosta, G. Rodríguez, A. Pinto, A. Blanco Ultrasonics Sonochemistry 17 (2010), pp.234-238.

61 J. A. Gallego-Juárez, G. Rodríguez, V. Acosta, E. Riera Ultrasonic Sonochemistry, 17, (2010) 953-964