



Universidad de Navarra
Nafarroako Unibertsitatea

Escuela Superior de Ingenieros
Ingeniarien Goi Mailako Eskola



CÁTEDRA DE INGENIERÍA TÉRMICA Y DE FLUIDOS
FUNDACIÓN ANTONIO ARANZABAL-UNIVERSIDAD DE NAVARRA

INFORME
CURSO 2004-2005

tecnun

CAMPUS TECNOLÓGICO DE LA UNIVERSIDAD DE NAVARRA. NAFARROAKO UNIBERTSITATEKO CAMPUS TEKNOLOGIKOA
Paseo de Manuel Lardizábal 13. 20018 Donostia-San Sebastián. Tel.: 943 219 877 Fax: 943 311 442 www.esi.unav.es informacion@tecnun.com



INFORME. CURSO 2004-2005

A lo largo del curso 2004-2005 la Cátedra Fundación Antonio Aranzabal-Universidad de Navarra (CAA-UN) ha continuado desarrollando sus actividades en los ámbitos de la formación y la investigación.

INCORPORACIONES

En Junio de 2004 y marzo de 2005 respectivamente se han incorporado como becarios o investigadores junior a la Cátedra los Ingenieros Industriales D. Alejandro Estevez y D. Jon Gastelurrutia Roteta para participar en sendos proyectos de investigación industrial de 2 años de duración.

ADQUISICIÓN DE EQUIPAMIENTO

Durante el curso 2004-2005 la CAA-UN ha incorporado a sus laboratorios nuevos equipos tanto experimentales como computacionales.

- ❑ **Sistema de Filmación de Alta Velocidad.** Gracias a las subvenciones al proyecto UE-2004-14 “*Análisis y Optimización del Comportamiento Hidráulico de Atomizadores de Abanico*” recibidas del Gobierno Vasco y de la Universidad de Navarra a través de las convocatorias Proyectos Universidad-Empresa y PIUNA respectivamente, se ha adquirido un sistema de filmación de alta velocidad *RedLake MotionXtra LE*. Este sistema es capaz de capturar hasta un máximo de 10^5 por segundo y hasta $3 \cdot 10^3$ imágenes manteniendo la máxima resolución. El sistema está compuesto por una cámara CMOS, una Computadora y el software *Motion Central* para controlar la filmación y el tratamiento de las imágenes.
- ❑ **Programa FEMLAB.** Este código para la resolución de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales por el Método de los Elementos Finitos está siendo cada vez más utilizado en Universidades y Centros de Investigación. Posee una librería de modelos matemáticos de aplicaciones de la Ingeniería Térmica y de Fluidos listos para ser simulados y también permite crear y simular nuevos modelos.
- ❑ **Cluster.** Debido a la cantidad de simulaciones que requieren los proyectos que lleva a cabo la CAA-UN se ha adquirido un Cluster con 10 PC Dell con procesadores de 3 GHz y 1 Gb de RAM conectados mediante un Switch de 100 Mbytes.

FORMACIÓN

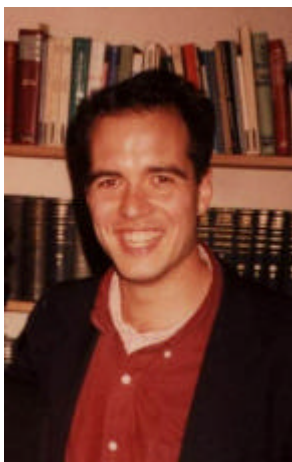
En el curso 2004-2005 se han desarrollado actividades de formación dirigidas al alumnado de la Escuela de Ingenieros de San Sebastián y al propio personal investigador de la CAA-UN.

FORMACIÓN DEL ALUMNADO

Alumnos de la Escuela de Ingenieros de San Sebastián están desarrollando sus proyectos fin de carrera o colaboran como alumnos internos, trabajando en temas relacionados con las actividades de investigación y docentes que actualmente lleva a cabo la CAA-UN o que se prevé pueden ser de interés a medio o largo plazo.

FORMACIÓN DEL PERSONAL INVESTIGADOR

- El 22 de septiembre de 2004 visitó las instalaciones de la CAA-UN en TECNUN el profesor J. W. M. Bush. El profesor Bush es un prestigioso investigador del Departamento de Matemáticas del *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* donde imparte Mecánica de Fluidos. Sus campos de investigación son *Geophysical and Environmental Fluid Dynamics, Surface Tension-Driven Phenomena, and Biological Locomotion*. En su visita impartió a los miembros de la CAA-UN un monográfico sobre *Surface Tension-Driven Phenomena*.



Un artículo del profesor Bush fue recientemente portada de la prestigiosa revista Nature.

- D. Raul Antón continua sus estudios de doctorado (5º año) en el departamento de Energía del Kungliga Tekniska Högskolan (K.T.H.) de Estocolmo bajo la supervisión del Profesor Bahram Moshfegh.
- Asistencia de los doctores Alejandro Rivas Nieto y Juan Carlos Ramos González el 18 de junio de 2004 a una Jornada Técnica sobre Ingeniería del fuego y protección contra incendios impartida en el centro tecnológico Cidemco.
- Asistencia de los doctores Alejandro Rivas Nieto y Juan Carlos Ramos González al curso impartido por el Dr. Carlos Pérez en Pamplona.



- Asistencia en Madrid de los doctores Alejandro Rivas Nieto y Juan Carlos Ramos González a un seminario sobre Anemometría Láser y PIV impartido por Alava Ingenieros el 25 de noviembre de 2004.

- Asistencia en Madrid del doctor Juan Carlos Ramos González a un seminario sobre cámaras termográficas impartido por Álava Ingenieros el 10 de marzo de 2005.

INVESTIGACIÓN

En el ámbito de la investigación la CAA-UN ha realizado durante el curso 2004-2005 diferentes proyectos y colaboraciones con empresas y otras entidades. Los resultados de las investigaciones se han recogido en artículos publicados o a la espera de su publicación en revistas internacionales de reconocido prestigio y en comunicaciones en congresos internacionales. Al final de este informe se recogen muestras de estos artículos.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LA VENTILACIÓN DE UN CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

- **Entidad Financiadora:**
- **Entidades Participantes:** CAA-UN y Ormazabal Corporate Technology.
- **Estado del proyecto:** Finalizado.
- **Resumen:** Como preámbulo a la preparación de un proyecto de investigación, un alumno de la Escuela estuvo realizando su Proyecto Final de Carrera sobre el Estudio de la Ventilación de un Centro de Transformación. En este proyecto se construyó un modelo, implementado en *Fluent*, que simulaba la ventilación mediante convección natural de un centro de transformación. El objetivo principal era comprobar que la temperatura del aceite del transformador contenido en el centro de transformación no superaba los límites establecidos por normativa. Para ello fue necesario también modelar la circulación del aceite en el interior del transformador. El modelo también sirvió para analizar y el flujo del aire del centro de transformación y proponer mejoras sobre la ubicación relativa de las rejillas de ventilación y del transformador. Con los resultados del proyecto se ha preparado una comunicación que se va a presentar en la *4ª Conferencia Internacional sobre Transferencia de Calor y Masa Computacionales*, a celebrar en París-Cachan del 17 al 20 de mayo de 2005.

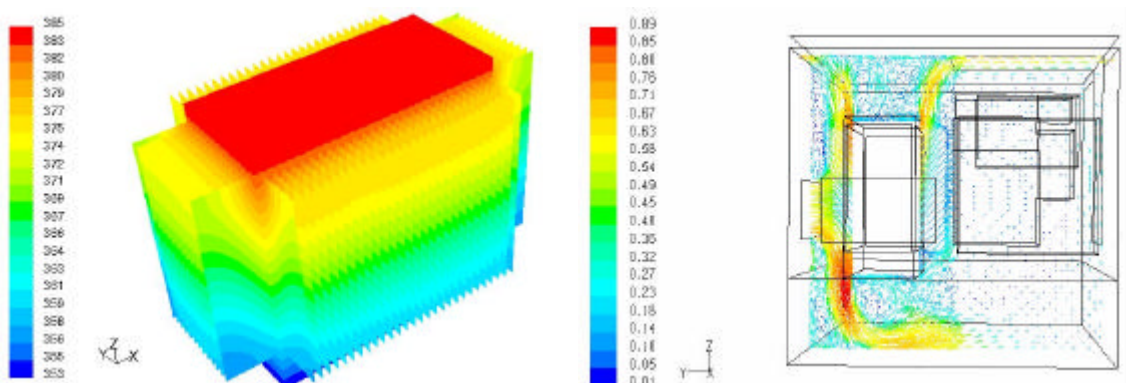


Figura 1. Distribución de temperaturas (K) sobre la superficie del transformador (izquierda) y distribución de velocidades (m/s) en una sección del centro de transformación perpendicular al transformador



DESARROLLO DE UN MODELO TÉRMICO SIMPLIFICADO PARA OPTIMIZAR LA REFRIGERACIÓN Y EL DISEÑO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN EMPLEADOS EN CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

- **Entidad Financiadora:** Ormazabal Corporate Technology.
- **Entidades Participantes:** CAA-UN y Ormazabal Corporate Technology.
- **Estado del proyecto:** En Curso.
- **Resumen:** El objetivo principal del proyecto es desarrollar un modelo térmico simplificado para optimizar la refrigeración y el diseño de los transformadores de distribución empleados en centros de transformación. Para lograrlo el proyecto se ha dividido en cuatro fases. En la primera fase se definirán los tipos de transformadores que van a ser modelados y se recopilará toda la información necesaria para su modelación térmica. En la segunda fase se desarrollará y validará un modelo térmico de transformador mediante técnicas de Mecánica de Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics, CFD*). El modelo servirá para obtener la circulación del aceite del interior del transformador, su distribución de temperaturas, las temperaturas de la superficie del transformador y los coeficientes de convección del aceite sobre la superficie interior del transformador. El modelo se ajustará comparando sus resultados con los obtenidos en ensayos experimentales. La tercera fase del proyecto consistirá en analizar y optimizar la circulación del aceite del transformador y la disipación de calor mediante simulaciones del modelo desarrollado. Se identificarán los parámetros fundamentales del transformador que afectan a las dos características antes señaladas y se analizará su influencia al realizar simulaciones del modelo variando los valores de esos parámetros. Estas simulaciones permitirán seleccionar los valores óptimos de los parámetros. En la cuarta y última fase se desarrollará el modelo simplificado. Este modelo se basará en los parámetros fundamentales identificados en la fase anterior y permitirá que mediante las simulaciones del modelo los usuarios puedan seleccionar los valores óptimos desde el punto de vista de disminuir la temperatura del aceite y de aumentar la transferencia de calor para cualquier tipo de transformador. El modelo simplificado se caracterizará por no tener en cuenta tantos parámetros y fenómenos como el modelo basado en técnicas de *CFD* y por estar implementado en un herramienta de fácil utilización. Actualmente se está realizando la segunda tarea, la construcción del modelo del transformador.

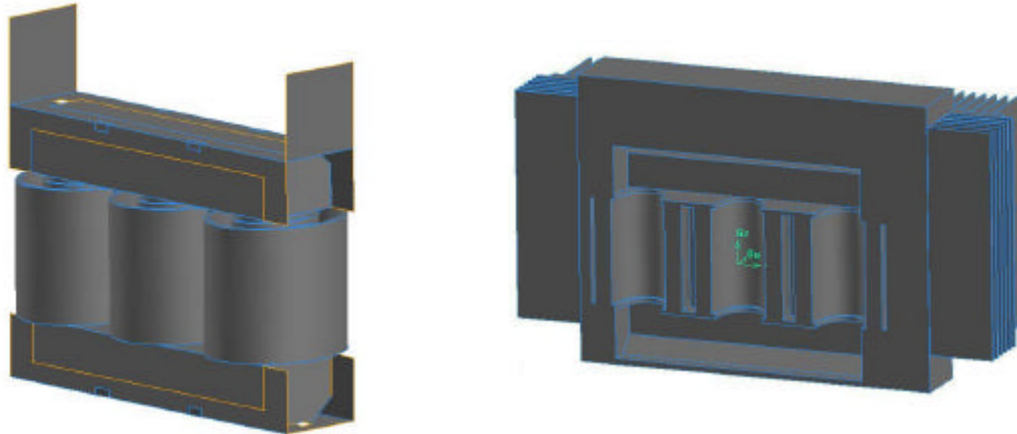


Figura 2. Dos imágenes del modelo físico del interior del transformador desarrollado

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO AIRE Y DE LAS TEMPERATURAS EN EL INTERIOR DE ARMARIOS DE TELECOMUNICACIONES

- **Entidad Financiadora:** KTH Royal Institute of Technology.
- **Entidades Participantes:** KTH y CAA-UN (mediante un becario que está realizando su tesis doctoral).
- **Estado del proyecto:** En Curso.
- **Resumen:** El objetivo es estudiar el flujo del aire y la transferencia de calor dentro de las *Radio Base Stations* (Estaciones Base). La refrigeración es mediante convección forzada (usando ventiladores). La finalidad es desarrollar herramientas de diseño para poder estimar rápida y correctamente la transferencia de calor y la caída de presión en estos sistemas. Para desarrollar estas herramientas información detallada será extraída de las simulaciones con códigos de *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*). Dichas simulaciones son validadas experimentalmente. En el presente curso la investigación se ha centrado en mediciones experimentales y simulaciones de *CFD*. Un modelo de un *subrack* fue construido dentro de un túnel de viento. Normalmente el aire fluye por la entrada, después gira 90 grados a través de una chapa perforada y luego fluye por las ranuras (entre dos tarjetas llenas de componentes electrónicos). Se analizó la distribución del aire mediante visualizaciones generadas por *wire-smoke*. Un amplio estudio paramétrico usando diferentes geometrías y velocidades fue realizado utilizando simulaciones *CFD*. El objetivo ha sido crear una correlación para la predicción de la caída de presión dentro de los *subracks* y de la uniformidad del flujo después de pasar por la chapa perforada. Los resultados de esta investigación se han recogido en un artículo que ha sido enviado a la revista *IEEE Trans. On Components and Packaging Technologies* y en una presentación al congreso *THERMINIC 2005*.

ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE ATOMIZADORES DE ABANICO.

- **Entidad Financiadora:** Gobierno Vasco y Goizper Sociedad Cooperativa
- **Entidades Participantes:** CAA-UN y Olaker Soc. Coop.
- **Estado del proyecto:** En Curso.
- **Resumen:** La utilización de aerosoles o sprays en aplicaciones prácticas es elevada. Aplicaciones industriales, agrícolas o médicas en cada una de las cuales las características del spray deben ceñirse a unos requerimientos, principalmente en cuanto al tamaño de las gotas y a la distribución de la pulverización.

Para las empresas fabricantes de boquillas es clave conocer, para unas determinadas condiciones de funcionamiento, la influencia del diseño del atomizador o boquilla en las características del spray que produce. Conocerla permitiría diseñar las boquillas de manera que sean capaces de satisfacer los requerimientos del cliente o de la aplicación en la que van a ser empleadas.

Para conocer la influencia del diseño del atomizador en las características del spray es necesario conocer los mecanismos de rotura y atomización que conducen a la formación del spray y analizar cómo influye el diseño en dichos mecanismos.

La CAA-UN, Olaker S. Coop. y Goizper S. Coop. han formado el grupo de investigación que trabajará en el presente proyecto cuyo objetivo principal es optimizar hidráulicamente el diseño de las boquillas de abanico fabricadas por Goizper S. Coop. de manera que sean capaces de satisfacer unos determinados requerimientos de pulverización (tamaño de gotas, patrón del spray y aspecto de la lámina líquida).

Para conseguir el mencionado objetivo se comenzará seleccionando algunos de los diseños de boquillas de abanico fabricados por Goizper S. Coop. y se analizará el flujo de líquido en su interior, modelándolo matemáticamente y simulándolo mediante técnicas de Mecánica de Fluidos Computacional (CFD). El análisis de los resultados proporcionados por la simulación del modelo matemático del flujo, convenientemente validados, mediante contraste con resultados experimentales, permitirá obtener la influencia de los parámetros de diseño en las características del flujo en el interior de las boquillas (patrón de flujo, turbulencia y campo de velocidades).

A continuación se analizarán mediante modelación matemática y simulación y visualización de flujo, filmación de alta velocidad y tratamiento de imágenes, los fenómenos que suceden aguas abajo de la salida del atomizador, principalmente los mecanismos de rotura y atomización de la lámina líquida. De los resultados de este análisis se

determinarán cuáles son los principales mecanismos de rotura y atomización y cuál es su influencia en las características del spray.

Posteriormente los resultados de los dos análisis anteriores se relacionarán con el objeto de determinar la influencia entre las características del flujo en el interior de la boquilla y los mecanismos de rotura y atomización, lo que proporcionará la buscada relación entre el diseño de la boquilla y las características del spray.

Finalmente, si los resultados obtenidos con las boquillas de abanico son satisfactorios se acomodará la metodología y las técnicas empleadas para realizar el estudio con otros tipos de boquillas.

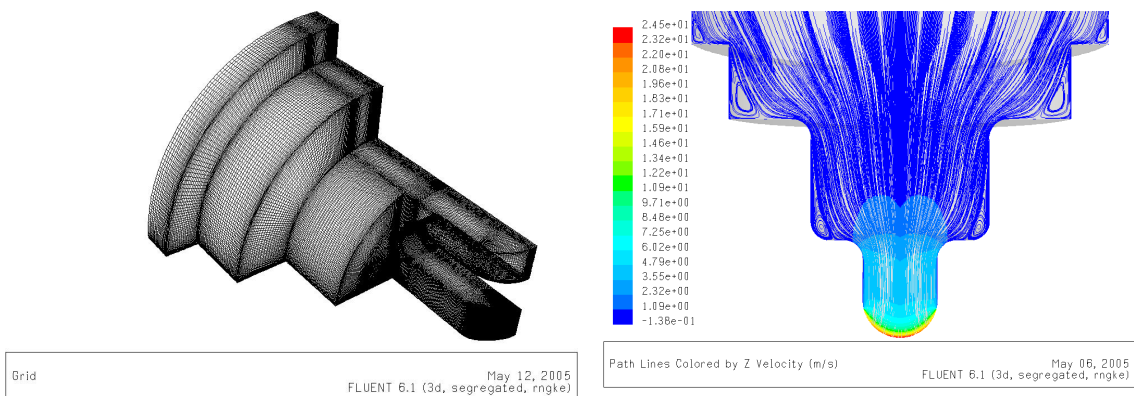


Figura 3. Atomizador de abanico modelado y simulado (Izda) y líneas de corriente resultado de la simulación (Dcha.)

FLOW INDUCE NOISE AND VIBRATION MODELING IN THE TRANSPORTATION INDUSTRY (WINDY)

- **Entidad Financiadora:** Eureka Project E!3020.
- **Entidades Participantes:** MLS International (Belgium), K.U.Leuven (Belgium), CEIT (Spain), CAA-UN (Spain) y Mcube (France).
- **Estado del proyecto:** En Curso.
- **Resumen:** La contribución del CEIT y la CAA-UN al proyecto estará centrada principalmente en la *modelación aeroacústica* del ruido generado en casos complejos de interés industrial, utilizando el acoplamiento entre los códigos comerciales de simulación FLUENT y SYSNOISE. Las aplicaciones seleccionadas estarán centradas en las siguientes áreas:
 - *Funcionamiento de Turbomaquinaria* (Ventiladores y Compresores). En este caso un ventilador centrífugo industrial será modelado. Para constatar la validez de la metodología empleada se contrastarán el ruido obtenido mediante simulación con medidas experimentales obtenidas en el laboratorio.

- *Componentes de trenes.* El uso de estas técnicas podrían ayudar a desarrollar trenes de alta velocidad que son una de las mayores fuentes de ruido ambiental. La intención del CEIT y la CAA-UN es modelar y simular el ruido producido por el pantógrafo de un tren de alta velocidad para conocer los fenómenos que intervienen en la generación de ruido por parte de estos elementos de manera que se puedan sugerir medidas orientadas a su reducción.

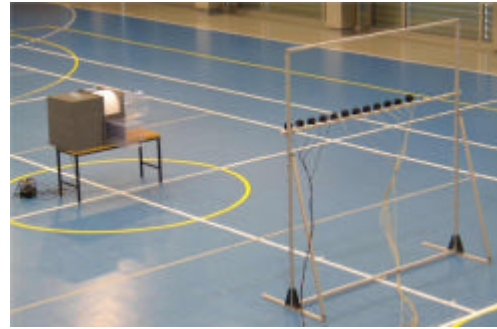
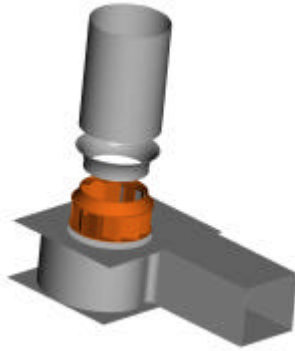


Figura 4. Ventilador centrífugo que ha sido modelado (Izda.) y el dispositivo experimental para la medición del ruido producido por dicho ventilador (Dcha.)

Los resultados de este proyectos se recogen en una comunicación que ha sido aceptada para su presentación en el 12th International Congress on Sound and Vibration que se celebrará en Lisboa en Julio de 2005.

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE CONTADORES INFERENCIALES DE CAUDAL

- **Entidad Financiadora:** Gobierno Vasco y Elster Iberconta S.A.
- **Entidades Participantes:** CAA-UN.
- **Estado del proyecto:** En curso.
- **Resumen:** El propósito del proyecto es proporcionar a ELSTER Iberconta S.A. una herramienta de simulación que le permita conocer con mayor profundidad la hidráulica de los contadores y poder mejorar así su diseño. Para cumplir con dicho propósito se han establecido los siguientes objetivos:
 - Desarrollo de sendos modelos matemáticos de los contadores y su simulación mediante técnicas de *Mecánica de Fluidos Computacional* para intentar reproducir su comportamiento hidráulico.
 - Validación de los modelos desarrollados mediante la comparación de los resultados obtenidos con mediciones experimentales.



- Predicción, mediante los modelos matemáticos desarrollados, del efecto que los principales parámetros de diseño tienen sobre la hidráulica de los contadores.

ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN A DESARROLLAR EN 2005-2006

Durante el curso 2005-2006 la CAA-UN tiene previsto continuar su actividad investigadora continuando con los proyectos que actualmente está realizando. Dentro de estos proyecto se prevé aumentar el número de publicaciones ya que de hecho son varios los artículos que van a ser enviados a revistas internacionales o a congreso, entre los que cabe citar:

- Artículo: “*Model Based Optimisation of Wastewater Treatment Plants Design*”, **A. Rivas**, E. Ayesa, I. Irizar. En preparación para ser enviado a la revista *Water Research*.
- Artículo: “*Application of Spreadsheets to Analysis and Optimisation of Systems and Processes in Hydraulic and Thermal Engineering Teaching*”, **A. Rivas**, T. Gómez Acebo y J. C. Ramos. En preparación para ser enviado a la revista *Computer Applications in Engineering Education*.
- Artículo: “*Detailed CFD Modelling of EMC Screens for Radio Base Stations: a Parametric Study*”, **Antón R.**, Jonsson H., Moshfegh B., En preparación para ser enviado a la revista *IEEE Trans. On Components and Packaging Technologies*.
- Comunicación en Congreso: “*Improving flat-fan spray atomizers design through Computational Fluid Dynamics Techniques*”, **A. Rivas**, **A. Estevez**, **G. Sánchez y J. C. Ramos**, 4th International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, Paris-Cachan, 17-20 may 2005.

También durante el curso 2005-2006 se pretende poner en marcha el proyecto titulado “*Modelación Matemática y Simulación de Gasificadores*” para lo cuál se prevé incorporar un nuevo becario.

DIVULGACIÓN DE LA ACTIVIDAD INVESTIGADORA

- Artículo: “*Development of a Thermal Model for Automotive Twin-tube Shock Absorbers*”, **J. C. Ramos**, **A. Rivas**, J. Biera, G. Sacramento and J. A. Sala. *Applied Thermal Engineering*, 25 (2005), 1836-1853.
- Artículo: “*Detailed CFD Modelling of EMC Screens for Radio Base Stations: a Bechmark Study*”, **Antón R.**, Jonsson H., Moshfegh B., submitted to *IEEE Trans. On Components and Packaging Technologies*.
- Comunicación en Congreso: “*Numerical Thermal Modelling of the Natural Ventilation of a Half-buried Transformer Substation using CFD Techniques*”, **J. C. Ramos**, **A. Rivas**, J. M. Morcillo, 4th International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, Paris-Cachan, 17-20 may 2005.
- Comunicación en Congreso: “*Numerical Thermal Modelling of the Natural Ventilation of a Half-buried Transformer Substation using CFD Techniques*”, **J. C.**



Ramos, A. Rivas, J. M. Morcillo, 4th International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, Paris-Cachan, 17-20 may 2005.

- Comunicación en Congreso: “*Numerical Prediction of the Aerodynamic Noise Radiated by a Centrifugal Fan*”, A. Pradera, **A. Rivas**, N. Gil, J. Viñolas and C. Schram, 12th International Congress on Sound and Vibration, Lisbon, 11-14 July 2005.
- Comunicación en Congreso: “*Smoke and CFD Visualization of the Flow after an EMC Screen in a Subrack Model*”, Antón R., Jonsson H., Moshfegh B., submitted to THERMINIC 2005.