



Universidad de Navarra
Nafarroako Unibertsitatea

Escuela Superior de Ingenieros
Ingeniarien Goi Mailako Eskola



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

MEMORIA DE ACTIVIDADES
DEL CURSO 2007-2008

tecnun

MEMORIA DEL CURSO 2007-2008

A lo largo del curso 2007-2008 la Cátedra de Ingeniería Térmica y de Fluidos Fundación Antonio Aranzábal - Universidad de Navarra (CAA-UN) ha continuado desarrollando sus actividades en los ámbitos de la docencia y de la investigación.

En primer lugar se detallan las novedades relativas al personal de la Cátedra, las visitas de profesores y la adquisición de equipos que han tenido lugar durante este último curso. En las páginas siguientes se detallan las actividades referentes a la formación y a la investigación.

PERSONAL

En septiembre de 2007 se incorporó a la Cátedra como doctorando Eduardo Martínez Galván, Maestro en Ingeniería Mecánica por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Eduardo va a desarrollar su tesis doctoral en un proyecto de investigación sobre la refrigeración de componentes electrónicos mediante pulverización, *Spray Cooling*.

En mayo de 2008 se ha incorporado a la Cátedra como doctorando Maximiliano Beiza Silva, Ingeniero Civil Mecánico por la Universidad de Santiago de Chile. Maximiliano va a trabajar en el proyecto de investigación "Modelado, análisis y optimización de la ventilación de centros de transformación" en el que basará su tesis doctoral.

Con estas nuevas incorporaciones la Cátedra cuenta con 9 personas, que aparecen en la siguiente fotografía y que son (de izquierda a derecha y de arriba a abajo): Eduardo Martínez (doctorando), Raúl Antón (profesor y doctor), Juan Villarón (técnico de laboratorio), Max Beiza (doctorando), Alejandro Rivas (profesor y doctor), Jon Gastelurrutia (doctorando), Juan Carlos Ramos (profesor y doctor), Mireia Altimira (doctoranda) y Gorka Sánchez (profesor y doctorando).

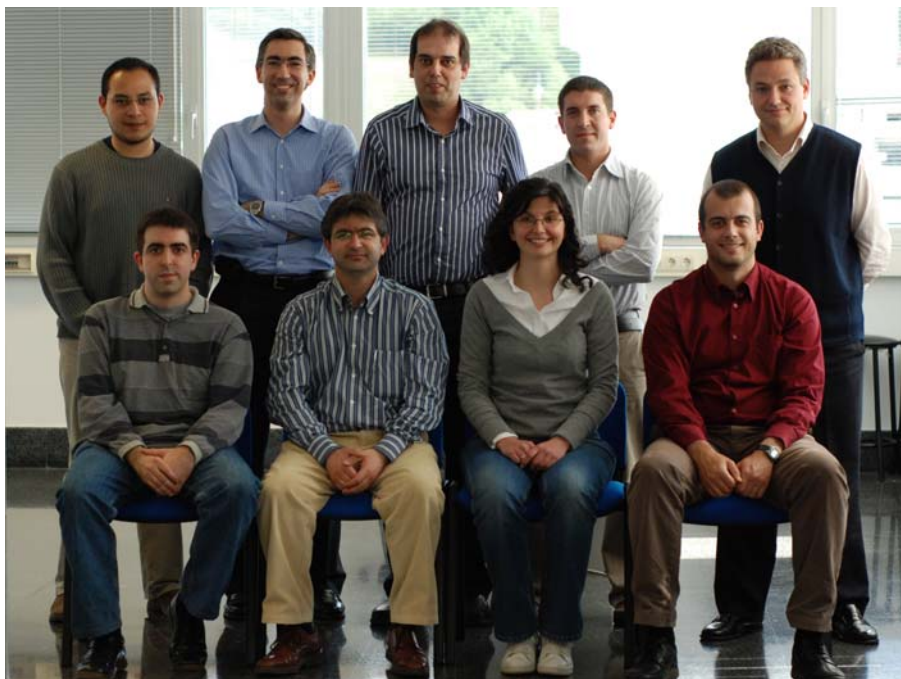


Figura 1. Fotografía con los componentes actuales de la Cátedra.

Las dos incorporaciones mencionadas anteriormente se han producido gracias a la intermediación del Dr. Antonio Campo, *Associate Professor of Heat Transfer and Fluid Mechanics* en *The University of Vermont* (Estados Unidos). El Dr. Campo nos estuvo visitando en mayo de 2006 y gracias a esa visita se consolidó la relación con los miembros de la Cátedra. La CAA-UN agradece al Dr. Campo su labor realizada para poder incorporar nuevos doctorandos y espera que en el futuro la colaboración se materialice en proyectos de investigación y publicaciones conjuntas.

En diciembre de 2007 le fue concedida a la doctoranda de la Cátedra Mireia Altimira una beca para formación de investigadores del Departamento de Educación, Universidades e Investigación del Gobierno Vasco. Esta beca está destinada a la realización de su tesis doctoral y tiene una duración de 4 años.

PÁGINA WEB

La Cátedra de Ingeniería Térmica y de Fluidos Fundación Antonio Aranzábal - Universidad de Navarra (CAA-UN) dispone de una nueva página web (<http://www.tecnun.es/fluidos/>) en la que se reflejan las actividades docentes y de investigación que realiza.

VISITAS

Los días 27, 28 y 29 de junio de 2007 visitó la Cátedra el Dr. Bahram Moshfegh, *Professor in Energy Systems* y *Head of Division of Energy Systems* del *Department of Mechanical Engineering* en *Linköping University* (Suecia), y *Professor of Heat Transfer* y *Head of the Division of Energy and Mechanical Engineering* del *Department of Technology and Build Environment* en *University of Gävle* (Suecia).



Figura 2. El Doctor Bahram Moshfegh.

El motivo principal de la visita fue la impartición de un curso titulado “*Large Eddy Simulation Workshop*”, que aparece referenciado en el apartado de formación.

Asimismo el Dr. Moshfegh mantuvo una reunión de trabajo con los miembros de la Cátedra en la que se definió la manera de colaborar en un nuevo proyecto de investigación sobre refrigeración de componentes electrónicos mediante la acción combinada de un chorro incidente y un flujo cruzado, del que se expone un breve resumen en el apartado de investigación.

Entre el 27 de enero y el 27 de febrero de 2008 visitó la Cátedra el Dr. Nabil Kassem, *Associate Professor* del *Department of Energy Technology* del *Royal Institute of Technology*

(KTH) de Estocolmo. El Dr. Kassem es un experto en la implementación de modelos matemáticos, el análisis de sistemas y los métodos de optimización en las siguientes áreas de la ingeniería: control de motores diesel de automóviles para minimizar sus emisiones, análisis dinámico de células de combustible, deformación de metales en laminado y lechos fluidizados.



Figura 3. El Doctor Nabil Kassem.

Durante su estancia el Dr. Kassem impartió a los miembros de la Cátedra un curso sobre células de combustible titulado “*Fuel Cells Engineering Systems*”, e impartió una conferencia a los alumnos y al personal de TECNUN y del CEIT.

La presencia del Dr. Kassem quedó reflejada en una entrevista publicada el 26 de febrero de 2008 en “El Diario Vasco”, que se adjunta como un anexo al final de esta memoria.

Las visitas de estos dos profesores y los cursos y seminarios que han impartido han sido preconizados y organizados por el profesor de la Cátedra Raúl Antón.

ADQUISICIÓN DE EQUIPAMIENTO

Tras la amplia inversión en equipamiento realizada durante el curso pasado, gracias a las subvenciones aportadas por el Gobierno Vasco, la Diputación Foral de Gipuzkoa y la propia Universidad de Navarra, las inversiones realizadas durante este curso han sido más modestas.

La adquisición de equipamiento durante este curso 2007-08 se ha realizado, principalmente, en el marco del proyecto de investigación titulado “*Modelado, análisis y optimización de la ventilación del centros de transformación*”. Este proyecto de investigación, bajo contrato con Prefabricados Uniblok del Grupo Ormazabal, es un subproyecto dentro de otro mayor cuyo acrónimo es CRISALIDA y que ha recibido una subvención dentro del Programa CÉNIT del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, CDTI.

El equipamiento que se ha adquirido ha sido el siguiente:

- ❑ **Servidores Multiprocesador.** 2 servidores HP Proliant DL585 G2. Cada una de estas computadoras posee 4 procesadores Opteron 8220 de doble núcleo que trabajan a una frecuencia de 2,8 GHz y 64 GBytes de memoria RAM. La inversión en estos dos servidores ha sido de **47.036,14 €**

Con esta adquisición los recursos computacionales de la Cátedra consisten en un cluster de 15 computadoras PC Dell con procesadores de 3 GHz y 2 GB de memoria RAM conectadas mediante un *switch* de 100 MBytes, 2 servidores HP Proliant DL585 con 4 procesadores Opteron 880 de 2,4 GHz y 16 GBytes de memoria RAM y los 2 nuevos servidores mencionados anteriormente.

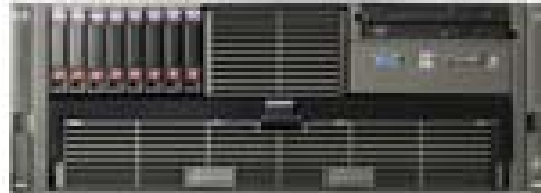


Figura 4. Servidor HP Proliant DL585 G2.

- **Registradores de temperaturas.** 4 *data-logger* TESTO 177-T4 con 4 canales para termopares tipo K, J o T, una capacidad de almacenamiento de 12.000 datos por canal, una resolución de 0,1 K y una exactitud de $\pm 1,5$ % del valor medido. El coste de este equipamiento ha sido de **2.013,76 €**



Figura 5. *Data-logger* TESTO 177-T4.

- **Anemómetros de hilo caliente.** Se ha adquirido 1 anemómetro térmico manual TA 430-A de la casa Airflow con un rango de medición de 0 a 30 m/s, un rango de operación entre -17,8 y 93,3 °C, una resolución de 0,01 m/s y una exactitud de ± 3 % ó 0,015 m/s. También se han comprado 2 transductores de velocidad de la misma casa, modelos AVT75-225 con un rango de medición de 0 a 2,5 m/s, un rango de operación entre 0 y 60 °C, una resolución del 0,07% de la escala completa y una exactitud del ± 3 %. La inversión en estos equipos ha sido de **4.089 €**



Figura 6. Anemómetro de hilo caliente manual (izquierda) y Transductor de velocidad (derecha).

- **Baño termostático.** Se ha comprado 1 baño termostático con circulación Haake DC30-K10, con un rango de temperaturas de trabajo entre -10 y 150 °C, una precisión de $0,01$ °C, una potencia calefactora de 2.000 W, una potencia frigorífica de 240 W a 20 °C, un volumen del baño de 3 litros y una bomba con una capacidad de $12,5$ l/min. Este baño se va a emplear para condensar y subenfriar el fluido refrigerante de los experimentos del *Spray Cooling* y para las prácticas de los alumnos del Laboratorio de Ingeniería Térmica. La inversión en este equipamiento ha sido de **3.595,07 €**



Figura 7. Baño termostático Haake DC30-K10.



- **Licencias del código de CFD Fluent.** Se han adquirido 4 licencias de investigación del código de Mecánica de Fluidos Computacional Fluent, que es el que viene usando la Cátedra en la modelación matemática de flujos de fluidos y procesos térmicos, tanto a nivel docente como investigador. La inversión ha sido de **9.287 €**

Con esta nueva compra la Cátedra dispone en total de 49 licencias de Fluent con las que llevar a cabo sus tareas docentes y de investigación.

- **Código de CFD STAR-CCM+.** Se han adquirido 20 licencias del código de Mecánica de Fluidos Computacional denominado STAR-CCM+. Con esta adquisición la Cátedra pretende adquirir experiencia en el uso de otros códigos de CFD, para poder hacer comparaciones entre ellos y aprovechar las ventajas de cada uno de ellos en los proyectos de investigación. La inversión ha sido de **3.000 €**



FORMACIÓN

FORMACIÓN DEL ALUMNADO

Durante este curso académico 2007-08, 4 alumnos de la Escuela de Ingenieros de San Sebastián han desarrollado o están desarrollando sus proyectos fin de carrera en la Cátedra.

Asimismo, 7 alumnos están colaborando como alumnos internos, trabajando en temas relacionados con las actividades de investigación y docentes que actualmente llevan a cabo los miembros de la Cátedra. Mediante esta colaboración los alumnos complementan su formación académica y se inician en el campo de la investigación.

Dentro del Diploma Internacional en Aeronáutica impartido por TECNUN, los profesores de la Cátedra Alejandro Rivas y Gorka Sánchez realizaron la presentación del Seminario de Aeronáutica que impartieron Aratz Arregui (antiguo alumno de TECNUN) y Ugaitz Iturbe (piloto comercial) de la empresa AERIS NAVITER sobre "Ingeniería y Diseño de Aeronaves", el día 1 de marzo de 2008.

El 21 de febrero de 2008 el Dr. Kassem impartió la Conferencia titulada "*The reality of hydrogen cars*" para todos los alumnos y personal de TECNUN y CEIT. Durante la presentación del conferenciante, el profesor de la Cátedra Raúl Antón destacó la importancia que en un futuro más cercano de lo que se piensa van a tener los coches propulsados por células de combustible de hidrógeno, lo cual pudo ser corroborado por los asistentes al escuchar la charla del Dr. Kassem.

FORMACIÓN DEL PERSONAL INVESTIGADOR

- Los días 14 y 15 de junio de 2007 los profesores de la Cátedra Raúl Antón y Juan Carlos Ramos asistieron a las V Jornadas Nacionales de Ingeniería Termodinámica celebradas en Vigo, en las que presentaron una comunicación sobre un laboratorio virtual de un ciclo de refrigeración y su aplicación en las asignaturas de Termodinámica y Transferencia de Calor.
- Durante los días 27 y 28 de junio de 2007 el profesor Bahram Moshfegh impartió el curso titulado "*Large Eddy Simulation Workshop*". Este curso tenía como objetivo el introducir los conceptos fundamentales de la simulación transitoria de la turbulencia mediante el modelo denominado LES. El curso era de carácter público y, además de los miembros de la Cátedra, asistieron representantes de distintas empresas (CAF, Gamesa Eólica e INDAR Máquinas Eléctricas), universidades (Escuela de Ingeniería de Bilbao) y centros tecnológicos (CENER, CITEAN y CEIT). El curso estuvo subvencionado parcialmente por el Gobierno Vasco. Se adjunta como anexo al final de esta memoria el díptico que se editó para publicitar este Seminario.
- Del 10 al 12 de septiembre de 2007 la doctoranda Mireia Altimira y el doctor Alejandro Rivas asistieron en Mugla (Turquía) a la 21ª Conferencia Anual sobre Atomización Líquida y Sistemas de Spray, ILASS'2007. Presentaron una comunicación sobre el trabajo desarrollado en uno de los proyectos de investigación de la Cátedra, descrito posteriormente.

- Entre los días 15 y 19 de octubre de 2007 se celebró en las instalaciones de TECNUN un Seminario de formación del código de *CFD* Fluent al que asistió el doctorando de la Cátedra Eduardo Martínez.
- Los días 6 y 7 de noviembre de 2007, el personal de la Cátedra recibió un curso de iniciación al código de Mecánica de Fluidos Computacional STAR-CCM+. Los asistentes recibieron formación sobre el manejo de este programa y realizaron algunos ejemplos de mallado, definición de modelos, procesado de las simulaciones y post-procesado de los resultados.
- Los días 15 y 16 de noviembre de 2007 el profesor de la Cátedra Raúl Antón asistió en Madrid a la reunión anual de usuarios de Fluent, en la que recibió un seminario sobre técnicas de modelación de la interacción entre fluidos y estructuras.
- Durante su estancia en los meses de enero y febrero de 2008 el Dr. Kassem impartió a los miembros de la Cátedra un curso de 25 horas sobre células de combustible titulado "*Fuel Cells Engineering Systems*", en el que explicó los conceptos fundamentales sobre el funcionamiento de las *fuel cells*, describió la tecnología de los diferentes tipos de células y de sus campos de aplicación e introdujo al personal de la Cátedra en su modelación matemática.
- El día 15 de abril de 2008 los doctorandos Jon Gastelurrutia y Eduardo Martínez asistieron a un curso de introducción al lenguaje de programación gráfica LabVIEW de National Instruments, donde recibieron formación sobre las diversas plataformas de control de que dispone y sobre su integración con Matlab y Simulink además de realizar algunos ejercicios prácticos.
- El 25 de abril de 2008 el personal de la Cátedra asistió a "Seminario de modelado con COMSOL Multiphysics". Los asistentes recibieron formación sobre los fundamentos de este código de modelación matemática y simulación mediante el Método de los Elementos Finitos, se les describieron los principales modelos físicos que incorpora y pudieron realizar algún ejemplo de aplicación.

INVESTIGACIÓN

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Durante el curso 2007-2008 los miembros de la CAA-UN han realizado sus tareas de investigación en el marco de 4 proyectos de investigación que se detallan a continuación.

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

- **Entidad Financiadora:** Elster Iberconta S. A.
- **Entidades Participantes:** CAA-UN y Elster Iberconta S. A.
- **Duración del proyecto:** desde septiembre de 2005 a diciembre de 2007.
- **Estado del proyecto:** Finalizado.

Resumen: El proyecto de investigación industrial iniciado hace dos años con ELSTER Iberconta S. A. para el desarrollo de un nuevo diseño de contador está a punto de llegar a su fin. Tras una primera fase en la que se desarrolló y validó el modelo matemático de un diseño preliminar (ver publicación en *ASME Journal of Fluid Engineering*), se procedió a realizar un estudio detallado del efecto que los diferentes parámetros de diseño tienen en el funcionamiento del contador. Como resultado final de este proyecto, ELSTER Iberconta S. A. está a punto de lanzar al mercado un nuevo diseño de contador de gran precisión con el que pretende consolidar su posición de líder en el mercado de contadores de agua para aplicaciones domésticas.

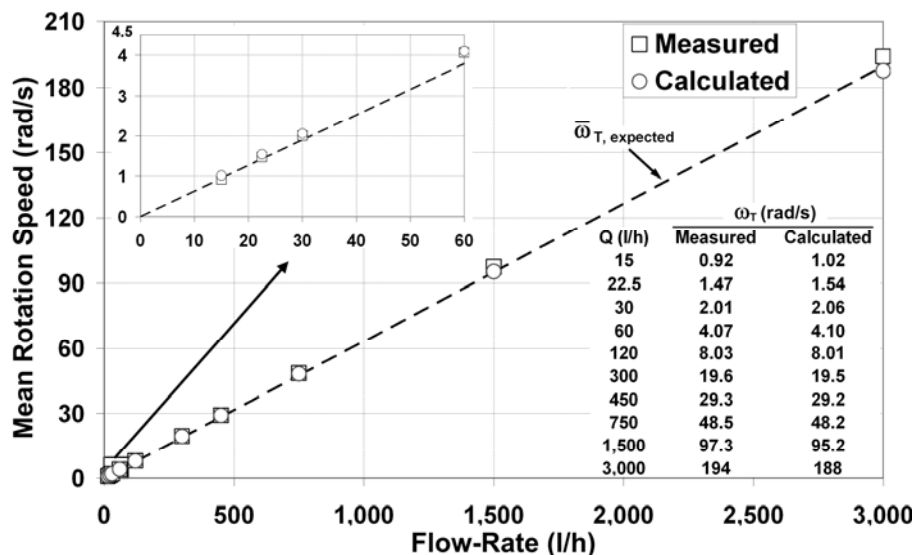


Figura 8. Comparativa entre el resultado experimental y el calculado de la velocidad de rotación media de la turbina de uno de los contadores modelado.

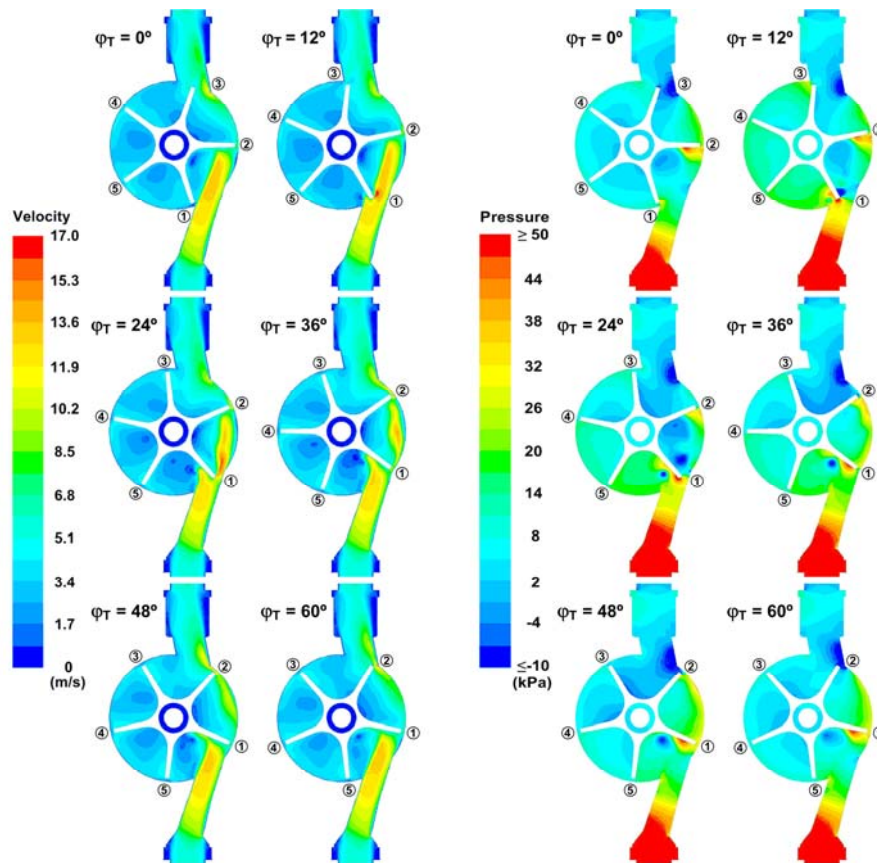


Figura 9. Contorno de velocidades (izquierda) y presiones (derecha) en un plano medio para diferentes posiciones de la turbina y un caudal de 3.000 l/h.

ESTUDIO PARAMÉTRICO DE LA REFRIGERACIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS MEDIANTE PULVERIZACIÓN – SPRAY COOLING

- ❑ **Entidad Financiadora:** Gobierno Vasco. Programa SAIOTEK 2006-2007.
- ❑ **Entidades Participantes:** CAA-UN y KTH.
- ❑ **Duración del proyecto:** desde noviembre 2006 a diciembre de 2007 (Ampliable).
- ❑ **Estado del proyecto:** En curso.
- ❑ **Resumen:** El objetivo de este proyecto de investigación, que se está llevando a cabo en colaboración con la *Division of Applied Thermodynamics and Cooling Technology* del *Department of Energy Technology* del *Royal Institute of Technology (KTH)* de Estocolmo, es analizar mediante mediciones experimentales y modelación matemática la influencia que tienen los principales parámetros que caracterizan el funcionamiento y la aplicación de la técnica del *Spray Cooling*.

Tras recibir el banco de ensayos procedente del *KTH*, se realizaron unos primeros ensayos utilizando como fluidos refrigerantes FC-72 y R-134a. En estos ensayos, controlando el flujo de calor del calentador, se midieron la temperatura en su superficie y la temperatura del fluido refrigerante con el fin de sacar el coeficiente de transferencia de calor para diferentes condiciones de operación (caudal de

refrigerante y caudal de agua de condensación). También se realizaron filmaciones de alta velocidad, por una parte de la salida de la boquilla para obtener el ángulo del spray, y por otra de la zona de impacto de las gotas del spray con la lámina de líquido sobre el calentador para ver la influencia de las distintas condiciones de operación en la interacción gotas-lámina. Por último se utilizó la técnica *PIV* para determinar el campo de velocidades en el spray.

En estos momentos se está modificando el banco de ensayos con el fin de poder tener un mayor rango de variación de las condiciones del proceso (tipo de boquillas, tipo de calentadores, número de calentadores, subenfriamiento del fluido refrigerante, presiones de trabajo) y un mayor número de puntos de medición (termopares en diferentes puntos de la instalación, caudalímetros para el fluido refrigerante y el agua de condensación). Esto permitirá realizar un estudio paramétrico mucho más amplio con el que, en la siguiente fase del proyecto, se podrán validar los modelos matemáticos a desarrollar.

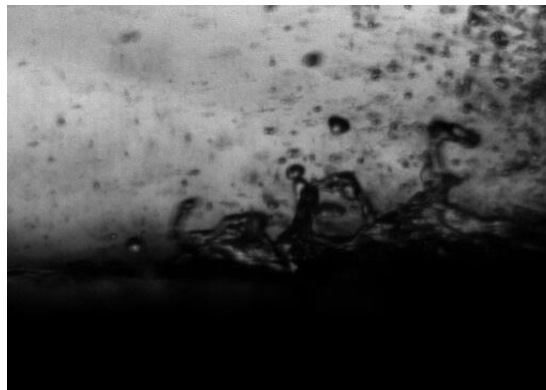


Figura 10. Zona de impacto de las gotas en la lámina de líquido sobre el calentador para el refrigerante R-134a con un flujo másico de 3,8 g/s y con un flujo de calor de 450 kW/m².

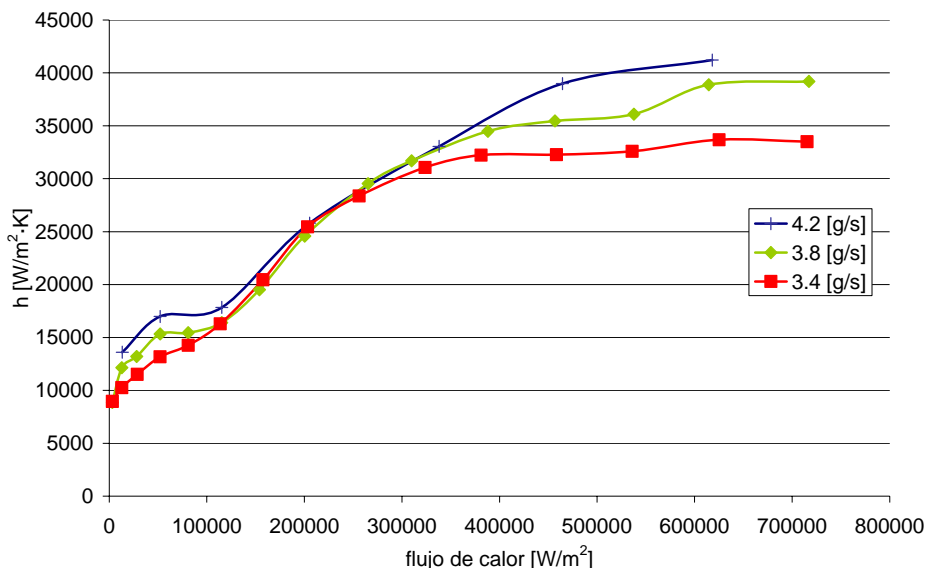


Figura 11. Coeficiente de transferencia de calor en función del flujo de calor para distintos caudales másicos del refrigerante R-134a.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN BÁSICA EN MODELACIÓN MATEMÁTICA Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE SISTEMAS DE ATOMIZACIÓN

- ❑ **Entidad Financiadora:** Gobierno Vasco. Convocatoria de Subvención a Proyectos de Investigación Básica y Aplicada 2007-2009.
- ❑ **Entidades Participantes:** CAA-UN.
- ❑ **Duración del proyecto:** desde enero de 2007 a diciembre de 2008.
- ❑ **Estado del proyecto:** En curso.
- ❑ **Resumen:** Los líquidos atomizados en el seno de un gas se emplean en numerosos procesos industriales y aplicaciones prácticas. Por ello, la atomización ha sido objeto de investigación durante muchos años. Sin embargo, la literatura en la que se aborda el análisis de atomizadores industriales o la influencia de la geometría del atomizador en las características del spray es escasa. El objeto principal del proyecto es determinar las características del spray, velocidades y diámetros de gotas, producido en la atomización de láminas líquidas generadas por atomizadores a presión de uso industrial. Para conseguir este objetivo se quiere obtener y validar un modelo matemático en el que se relacionen la geometría y las condiciones de operación del atomizador con las mencionadas características del spray. Su consecución permitirá disponer de las herramientas para determinar la geometría del atomizador de manera que el spray producido sea el óptimo para cada aplicación.

El modelo matemático mencionado está formado por tres submodelos, cada uno de los cuales está relacionado con uno de los procesos básicos de la atomización. Acoplando estos submodelos, de manera que los resultados proporcionados por uno sirven como entradas en otro, se consigue un modelo global del fenómeno de atomización primaria. El primero corresponde al flujo líquido-gas en el interior del atomizador y en la zona exterior cercana a la salida del mismo. En él se determinan las propiedades de la corriente emergente tales como el ángulo, la velocidad y la turbulencia. Las tareas en el curso 2007-2008 se han centrado en este modelo, el cual ha sido completamente desarrollado y validado. El segundo submodelo aborda la aparición y crecimiento de perturbaciones en la lámina líquida que conducen a su rotura. Los resultados obtenidos en el curso anterior, correspondientes al análisis temporal de inestabilidad lineal, se han completado con los del análisis espacial y validado parcialmente con valores experimentales de la longitud de rotura de la lámina. Por último, también se ha desarrollado el código matemático correspondiente al tercer submodelo para predecir las distribuciones de diámetros de gota y velocidades del spray. Para la validación de este modelo se realizó el montaje y puesta a punto de un dispositivo GSV, en el cual se han realizado ya varias mediciones experimentales.

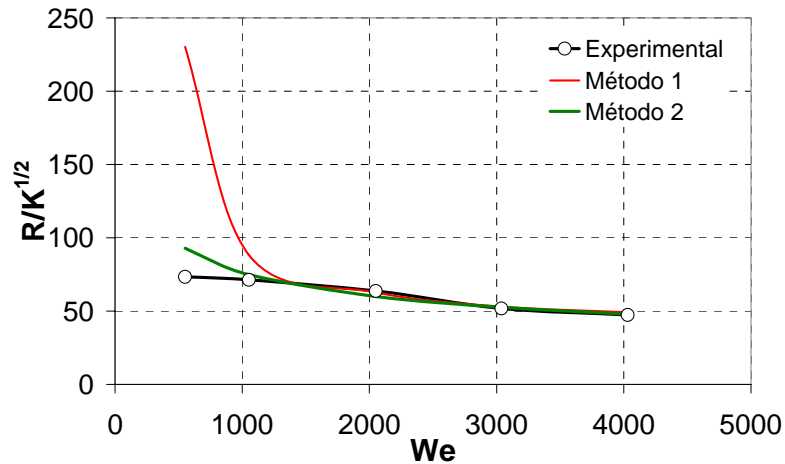


Figura 12. Ajuste de la longitud de rotura por dos métodos de cálculo distintos del atomizador N_3 (validación del submodelo 2).

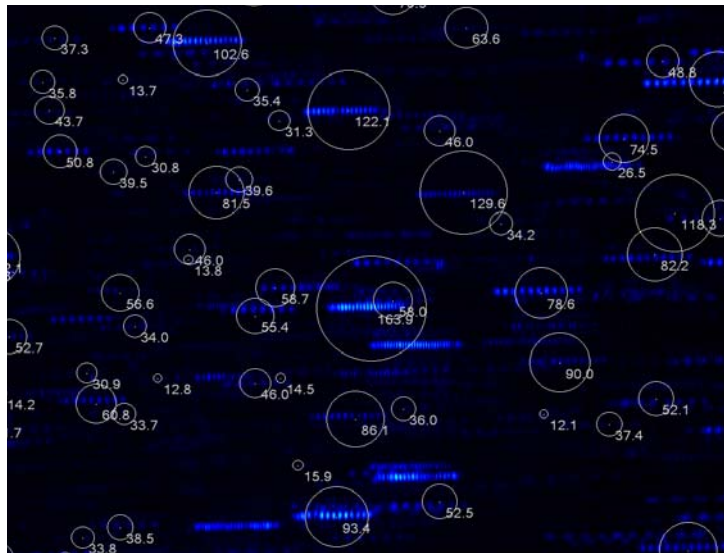


Figura 13. Medición experimental del tamaño de gota mediante el dispositivo GSV.

MODELADO, ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE LA VENTILACIÓN DE CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

- ❑ **Entidad Financiadora:** Prefabricados Uniblok del Grupo Ormazabal mediante un Proyecto CÉNIT de la CDTI.
- ❑ **Entidades Participantes:** CAA-UN, Prefabricados Uniblok y Ormazabal Corporate Technology.
- ❑ **Duración del proyecto:** desde abril de 2007 a septiembre de 2010.
- ❑ **Estado del proyecto:** En curso.
- ❑ **Resumen:** El objetivo principal del proyecto es optimizar la ventilación de centros de transformación basándose en su análisis mediante el empleo combinado de modelado matemático y de experimentación. Para ello en primer lugar se va a realizar una amplia campaña experimental sobre los tipos de centros que se van a

modelar con objeto de medir temperaturas en las superficies del transformador y del centro, así como las temperaturas y velocidades del flujo de aire de ventilación. Posteriormente se modelarán matemáticamente la circulación del aire y de la transferencia de calor en el interior de los centros de transformación mediante técnicas de Mecánica de Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics, CFD*). Este modelo se validará comparando sus resultados con los experimentales, y servirá para identificar, analizar y optimizar los principales parámetros que afectan a la ventilación de los centros de transformación. A partir de la información proporcionada por el modelo matemático de *CFD* y la experimentación, se desarrollará un modelo matemático simplificado de la ventilación de centros de transformación. Este modelo simplificado se implementará en una aplicación informática o simulador que servirá al personal de la empresa como herramienta de diseño y optimización.

Durante el mes de abril de 2008 se ha realizado una campaña experimental de dos semanas de duración sobre dos centros de transformación en las instalaciones de Prefabricados Uniblok en Seseña (Toledo). Se han realizado mediciones mediante termopares y cámara termográfica de las temperaturas del transformador, del centro y del aire de ventilación y mediante anemómetros de hilo caliente de las velocidades del aire de ventilación en el interior del centro y en la salida de las rejillas. Estos datos se usarán para validar los modelos a desarrollar en la siguiente fase del proyecto.

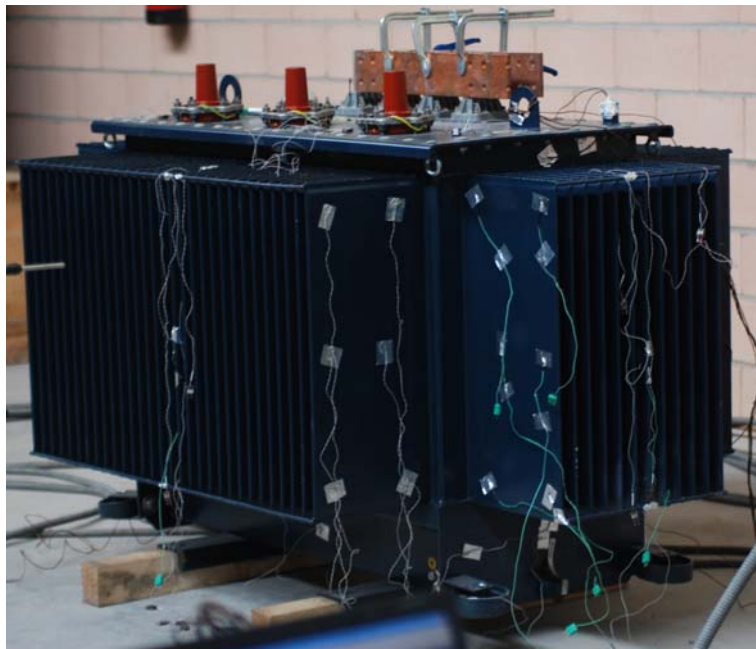


Figura 14. Uno de los transformadores ensayado con los termopares de medición de temperaturas.

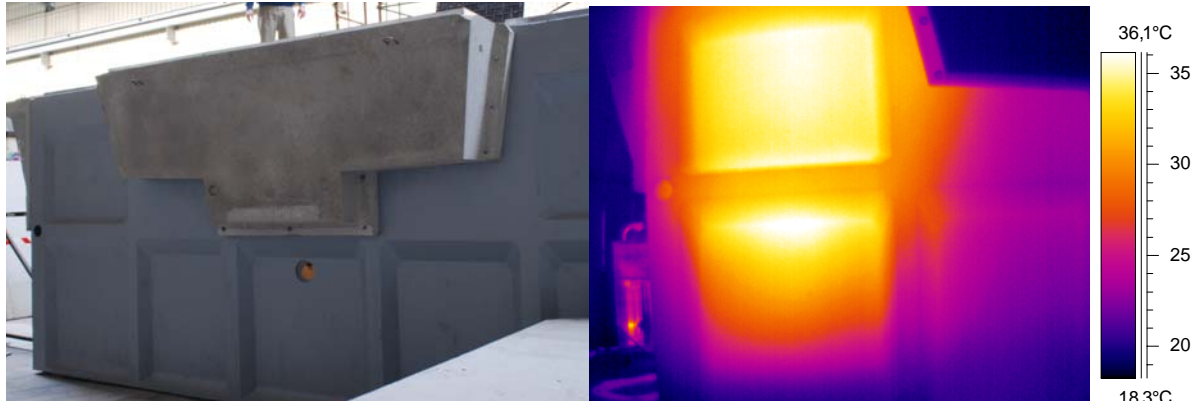


Figura 15. Imagen normal (izquierda) e imagen termográfica (derecha) de uno de los centros de transformación ensayados.

DIVULGACIÓN DE LA ACTIVIDAD INVESTIGADORA

El resultado de la labor investigadora llevada a cabo por los miembros de la CAA-UN a lo largo del curso 2007-2008 se ha plasmado en 2 artículos publicados y 1 artículo aceptado para su publicación en revistas internacionales y en 1 comunicación en congreso internacional. A continuación se presentan los mismos y en la parte final de esta memoria se incluye una copia.

- Artículo publicado: “*Model-based optimisation of Wastewater Treatments Plant design*”, **A. Rivas**, I. Irizar, E. Ayesa, *Enviromental Modelling & Software*, vol. 23 (4), April 2008, pp. 435-450. En el periodo comprendido entre octubre y diciembre de 2007, este artículo ocupó la 5ª posición entre los 25 artículos más leídos de la revista.
- Artículo publicado: “*Computational Modeling and Simulation of a Single-jet Water Meter*”, **G. Sánchez, A. Rivas, J. C. Ramos**, *Journal of Fluids Engineering (ASME)*, vol. 130 (5), May 2008.
- Artículo aceptado: “*Refrigerating cycle simulator: system modelling, educational implementation and assessment*”, **R. Antón**, H. Jonsson, **J. C. Ramos**, T. Gómez-Acebo, **A. Rivas**. Aceptado para su publicación en la revista *International Journal of Engineering Education*.
- Comunicación en Congreso: “*Fan-Spray Atomizers Analysis through Mathematical Modeling*”, **M. Altimira, A. Rivas, R. Antón, G. Sánchez, J. C. Ramos**. *21st Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, ILASS'2007*, Mugla (Turkey), 10-12 Sept. 2007.

ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN 2008-2009

Durante el curso 2008-2009 la CAA-UN tiene previsto continuar su actividad docente e investigadora tal y como ha venido realizando hasta la fecha.

PERSONAL

En el momento de redactar esta memoria está prevista la incorporación de dos nuevos doctorandos. Estos investigadores realizarán sus tesis doctorales trabajando en los nuevos proyectos que la Cátedra tiene previsto poner en marcha durante este curso.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Durante el curso 2008-2009 se seguirá trabajando en los 3 proyectos de investigación actualmente en curso y se tratarán de iniciar otros 2 nuevos proyectos. Uno de ellos se ha presentado a la convocatoria de proyectos de investigación de la CICYT y el otro está en su fase de definición y preparación. A continuación se describen brevemente estos proyectos:

COOLING OF ELECTRONIC COMPONENTS THROUGH IMPINGING JET IN A CROSS FLOW

- ❑ **Posible Entidad Financiadora:** Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, CICYT.
- ❑ **Entidades Participantes:** CAA-UN y *Linköping University* (Suecia).
- ❑ **Duración del proyecto:** 3 años.
- ❑ **Estado del proyecto:** Presentada la propuesta.
- ❑ **Resumen:** Las prestaciones que actualmente se demandan a los dispositivos electrónicos hacen que sus componentes necesiten disipar unas cantidades de calor cada vez mayores. En numerosos sistemas eléctricos existen varias placas de circuitos (*PCB*) formando un canal y sobre ellas se encuentran colocados los componentes. Es también habitual que en los sistemas electrónicos alguno de los componentes disipe una cantidad de calor sensiblemente superior al resto, cuando esto es así, el sistema convencional de refrigeración basado en una corriente forzada de aire a través del canal requiere unos caudales de aire enormes. El proyecto pretende estudiar una alternativa al sistema convencional en la que se combina la corriente forzada con un chorro que incide sobre el componente que disipe mayor calor. Los elevados valores de los coeficientes de transferencia de calor que se consiguen en la zona de impacto del chorro mejorarán sustancialmente la refrigeración trabajando con caudales inferiores. En la configuración que se va a analizar, con un chorro incidente en una corriente cruzada, el flujo turbulento y su relación con la transferencia de calor son complejos por lo que su diseño no es sencillo.

El proyecto se propone analizar el sistema propuesto experimentalmente y desarrollando modelos matemáticos de la misma. La parte experimental del proyecto contempla construir un dispositivo que represente el canal formado entre dos PCB y



un arreglo de cubos que representen a los componentes montados sobre una de las PCB. Uno de los cubos estará calentado representando al componente que disipa mayor calor y sobre el cual incidirá el chorro. En este dispositivo se analizarán diferentes configuraciones bajo distintas condiciones de operación. Se emplearán técnicas experimentales avanzadas tales como la Anemometría de Imágenes de Partículas (*PIV*), Anemometría de Hilo Caliente (*HWA*) y Frío (*CWA*) e imágenes infrarrojas para estudiar el flujo, las estructuras turbulentas y las temperaturas del aire y de las superficies sólidas.

En la modelación matemática del flujo se van a seguir dos líneas de trabajo. En una de las líneas se modelarán las configuraciones analizadas experimentalmente empleando el enfoque de *Large Eddy Simulation* y se simularán con técnicas de *CFD*. La otra línea propone desarrollar e implementar en un código *CFD* comercial un modelo de turbulencia basado en el de Tensiones de Reynolds no estacionarias (*URSM*) con una modelación adecuada del término de *Pressure-Strain*. Los modelos matemáticos desarrollados en la primera línea se validarán con las medidas experimentales. Los resultados obtenidos por simulación se emplearán para desarrollar y validar el modelo de la segunda línea de trabajo. Una vez que se halla desarrollado e implementado el nuevo modelo de turbulencia se empleará para realizar un exhaustivo estudio paramétrico que permitirá obtener una información muy útil para el diseño de este tipo de sistemas de refrigeración. Finalmente el sistema propuesto se comparará con el convencional demostrando su mayor eficiencia.

ANÁLISIS DE LA ATOMIZACIÓN DE METALES LÍQUIDOS PARA LA PRODUCCIÓN DE POLVOS METÁLICOS.

- ❑ **Posible Entidad Financiadora:** Metallied Powder Solutions, S. A.
- ❑ **Entidades Participantes:** CAA-UN, CEIT y Metallied Powder Solutions, S. A.
- ❑ **Estado del proyecto:** En preparación.
- ❑ **Resumen:** Metallied Powder Solutions, S. A. es una empresa *spin-off* del CEIT, en concreto del Área de Pulvimetalurgia del Departamento de Materiales cuya actividad es la producción de polvos metálicos por atomización. Aunque las tecnologías para la producción de polvos metálicos por atomización están implantadas industrialmente desde hace años, es escaso el conocimiento que se posee acerca de los procesos que tienen lugar en los atomizadores de metal líquido y de cómo las variables de operación afectan al producto final. Llegar a conocer la influencia de las variables de operación en el resultado final tiene interés tanto en el campo industrial como en el científico. Para la Cátedra este proyecto posee un gran interés ya que por un lado encaja perfectamente con la línea de atomización y flujos multifásicos en la que lleva trabajando desde hace tres años y por otro se trata de un proyecto de gran interés y aplicación industrial que además le permitirá colaborar con un área tan bien consolidada como es la de Pulvimetalurgia del CEIT.

DIVULGACIÓN DE LA ACTIVIDAD INVESTIGADORA

Los artículos que están ya enviados, pero todavía no aceptados, y los que están actualmente en preparación para ser enviados a revistas internacionales durante el curso 2008-2009 son los siguientes:

- Artículo enviado: “*Detailed CFD Modelling of EMC Screens for Radio Base Stations, a Parametric Study*”, **Antón R.**, Jonsson H., Moshfegh B. Enviado a la revista *IEEE Trans. On Components and Packaging Technologies*.
- Artículo en preparación: “*Numerical Thermal Modelling of an ONAN Distribution Transformer*”, **J. Gastelurrutia, J. C. Ramos, G. Sánchez, A. Rivas**, J. Izagirre, L. del Río. En preparación para ser enviado a la revista *Numerical Heat Transfer, Part B Applications*.
- Artículo en preparación: “*Characterization of Fan Spray Atomizers through Computational Fluid Dynamics techniques*”, **M. Altimira, A. Rivas, G. Sánchez, R. Antón, J. C. Ramos**. En preparación para ser enviado a la revista *International Journal of Heat and Fluid Flow*.
- Artículo en preparación: “*Numerical Investigation on Natural Convection between two Horizontal Plates with Different Heat Fluxes*”, **J. C. Ramos**, M. Avis, **A. Rivas**. En preparación para ser enviado a la revista *International Journal of Thermal Sciences*.