

Asignatura de Sensores Electrónicos para Estudiantes Procedentes de Titulaciones de Química y Medio Ambiente

Javier Ibáñez, Luis Gil-Sánchez,
Eduardo García-Breijo
Departamento de Ingeniería Electrónica
Universitat Politècnica de Valencia
Valencia, España
jibanyez@eln.upv.es

Nicolás Laguarda¹, M.-Dolores Marcos²
¹Departamento de Ingeniería Química y Nuclear
²Departamento de Química
Universitat Politècnica de Valencia
Valencia, España

Resumen— En esta presentación se describe la experiencia docente en la impartición de una asignatura de sensores electrónicos siguiendo los criterios de los Másteres de Erasmus Mundus y aplicado al “International Master in Materials and Sensor Systems for Environmental Technologies” que se impartió en la Universidad Politécnica de Valencia. El principal reto docente era ofrecer una asignatura de claro contenido electrónico a alumnos procedentes de titulaciones relacionadas, en su mayoría, con la química y el medio ambiente. Para ello, se desarrolló un programa con un gran componente práctico y se construyeron y aplicaron módulos electrónicos de prácticas para realizar medidas con diversos tipos de sensores.

Palabras Clave: *Sensores Químicos, Sensores de Medio Ambiente, Lengua Electrónica*

I. INTRODUCCIÓN

Erasmus Mundus es un programa educativo de la Comisión Europea que tiene como objeto la mejora de la calidad en la educación superior a través de becas y la cooperación académica entre Europa y el resto del mundo. Este programa ofrece apoyo financiero a las instituciones participantes y becas para los estudiantes. La financiación está disponible para la unión de organismos educativos europeos para realizar Másteres y Doctorados (incluyendo becas), asociaciones con organizaciones no-europeas de enseñanza superior y becas para estudiantes, profesores y proyectos que permitan la promoción de la educación superior europeos en todo el mundo [1].

Los másteres Erasmus Mundus constan de cursos integrados y de alta calidad, que son impartidos por un consorcio de instituciones de educación superior de al menos tres países europeos.

A. *International Master in Materials and Sensor Systems for Environmental Technologies*

En el año académico 2008-09 la Universitat Politècnica de Valencia (UPV) puso en marcha en colaboración con la Università degli Studi (UNIBE) de Bolonia, Italia y la Kungl Tekniska Högskolan (KTH) de Estocolmo (Suecia) un master Erasmus Mundus denominado: “*International Master in materials and sensor systems for Environmental Technologies*”

(IMMSSET). Este Master tuvo un marcado enfoque interdisciplinario. Los estudios se programaron en dos años (120 créditos ECTS) y los estudiantes estaban obligados a realizar los estudios en dos de las tres universidades asociadas.

El objetivo del curso era formar a investigadores altamente cualificados y profesionales que sean capaces de utilizar nuevos materiales y sistemas sensores para desarrollar e implementar soluciones integradas a los problemas ambientales que surgen de los procesos industriales. El curso está dirigido a titulados universitarios con un título de Ingeniería Técnica Industrial.

El programa de estudios en la UPV se estructura en tres módulos: Diseño del Proceso Industrial, Ciencia de los Materiales y Sistemas Sensores. Los estudios se completan con Lengua Extranjera y Proyecto Fin de Carrera.

En este Máster se han aplicado distintas técnicas docentes que permitan el desarrollo de las capacidades de los alumnos. Las tareas docentes incluyen: conferencias, seminarios aprendizaje on line, etc. Algunas de las actividades educativas se han llevado a cabo en un entorno profesional

Los autores de esta comunicación impartieron una asignatura del grupo Sistema de Sensores denominada Sensores Electrónicos (denominación oficial *Electronic Sensors*) con una carga docente de 5 créditos ECTS implantada en el segundo semestre del primer curso

II. ASIGNATURA DE SENSORES ELECTRÓNICOS

El objetivo general del curso fue suministrar un contenido que pudiera ser útil y asequible para los estudiantes de otras disciplinas diferentes a la electrónica, pero al mismo tiempo, tuviese el nivel y el rigor necesario para unos estudios de máster de este tipo.

El reto inicial del profesorado de la asignatura era crear ilusión e interés de alumnos, que se acercaban con cierto temor y escepticismo por una materia que ellos suponían difícil de abordar adecuadamente porque no poseían los conocimientos suficientes de materias previas, como son la electrotecnia y electrónica básica, tanto analógica como digital.

Otro de los inconvenientes era la diferente procedencia de los alumnos, el máster tenía una clara vocación internacional por lo que los alumnos poseían distintas lenguas maternas. No obstante la docencia se realizaba en castellano, por ello había asignatura de español para extranjeros.

Los autores de la presente comunicación también pertenecen al centro de investigación denominado: “Centro de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico” (IDM) de la UPV, en el cual han desarrollado su carrera de investigación trabajando, fundamentalmente, en el campo de sensores electrónicos para la medida de diversos parámetros químicos y medio ambientales. Esta circunstancia ha sido de gran utilidad para la elaboración del programa de la asignatura, para la preparación de las prácticas, con la creación de módulos electrónicos de medidas. Estas tareas son la que se desarrollan en la presente presentación.

A. *Objetivos de la asignatura*

La asignatura se desarrolló para cumplir unos objetivos marcados al inicio del curso y que fueron los siguientes:

- Elegir el sensor adecuado para resolver cada problemática de medida.
- Determinar sus características más importantes a partir de los datos facilitados por los fabricantes.
- Caracterizar los circuitos electrónicos de adaptación de señal.
- Exponer resultados científico-técnicos de forma clara y concisa.
- Conocer las aplicaciones de los sensores en el sector industrial.

B. *Contenidos*

Para lograr los objetivos, la asignatura debe tener un carácter totalmente práctico, donde los estudiantes tengan un contacto con los sensores y sus aplicaciones. El contenido se divide en dos partes: la primera dedicada a los sensores físicos (temperatura, luz, humedad, presión, tacto, etc.), y una segunda sección dedicada a los sensores químicos (pH, conductividad, potencial redox, etc.). En cada caso, además de la descripción del sensor, también se analizaba el circuito electrónico para el acondicionamiento de la señal obtenida. Esta tarea es la más complicada debido a que era difícil de explicar el circuito electrónico a los alumnos con poco conocimiento de la electrónica.

Para reforzar los conocimientos impartidos, cada estudiante tuvo que hacer un trabajo de aplicación con un sensor y exponerlo en clase ante el resto de sus compañeros de clase y el profesor. Además del estudio de cada sensor por separado, se realizó una introducción a los sistemas multisensores, presentando los sistemas de lenguas electrónicas.

Los autores de este trabajo también tienen experiencia en investigación en la mayoría de estos tipos de sensores, tales como: iluminación [2], [3], conductividad [4], oxígeno disuelto [5], etc. Este hecho ha servido para ayudar a que el programa, especialmente para los laboratorios de módulos.

C. *Metodología Docente*

A la hora de plantearse el método docente de esta asignatura había que tener en cuenta los criterios básicos de los máster de Erasmus Mundus más los específicos derivados de los objetivos de la asignatura. En el primer caso, implicaba realizar un máster integrado y de alta calidad con lo que obligaba a poner un nivel elevado en los contenidos y en el segundo debía tener un elevado componente práctico.

Una característica fundamental de la docencia es que este máster pudiera ayudar a mejorar y potenciar las perspectivas profesionales de los estudiantes, por lo que los contenidos de la asignatura debían de ser prácticos y con clara aplicación en la industria y la promoción del entendimiento intercultural mediante la cooperación con terceros países. En nuestro caso, obligaba a que los contenidos y las formas de impartirlos debían ser lo más generalistas posibles, que fuesen útiles para estudiantes de todo tipo de procedencia, tanto de países desarrollados con un gran desarrollo industrial, como procedentes de países en vías de desarrollo con infraestructuras industriales limitadas.

La naturaleza de la asignatura también afectaba a su metodología docente. El estudio de los sensores electrónico puede caer en unas clases muy descriptivas, donde el profesor haga un gran uso de información para la descripción de cada uno de sus sensores y sus aplicaciones. Este tipo de docencia puede dar lugar a sesiones de clases monótonas, donde el profesor se limite a trasladar la información técnica que aparece en catálogos y hojas características que facilitan los fabricantes de cada uno de los sensores. De esta forma, lo más habitual es que el alumno pierda la atención del profesor y se limite a recoger la información para estudiarla en un examen. Para evitar estos problemas, el método docente debía de ser eminentemente práctica y activa, donde la clase magistral debía ser mínima para exponer las líneas maestras de la lección, pero el alumno debía de buscar la información necesaria para el uso de cada dispositivo. Las clases de prácticas deben de tener un peso importante, con ejemplos que sean útiles para la mayoría de los alumnos, en nuestro caso procedentes de titulaciones de química. Para lograr la mayor actividad de los alumnos se prepararon diversas actividades, como la preparación y presentación pública de trabajos de al menos dos sensores y las visitas activas a industrias con importante contenido de sensores para las medidas de parámetros químicos y de medio ambiente.

D. *Programa de la Asignatura*

El programa de la asignatura quedó confeccionado con cinco temas, más una introducción a la asignatura y a los sensores. En los primeros temas se estudiaron sensores de los parámetros físicos más importantes y en la segunda parte de los parámetros químicos, utilizando fundamentalmente técnicas de medidas electroquímicas, como son la potenciometría, conductividad, voltametría y espectroscopía de impedancia.

El último tema se realizó una introducción a los sistemas multisensores, enfocando a aquellos sensores no específicos pero que trabajando en conjunto pueden obtenerse una evaluación fundamentalmente cuantitativa de las muestras analizadas. Para ello se han de aplicar técnicas de análisis

multivariante que permiten trabajar con un gran número de datos utilizado para ello programas de análisis como el Matlab y su software anexo PLS Toolbox. Entre los análisis realizados destaca el Análisis de Componentes Principales (PCA), donde se realiza una reducción de la dimensión de datos para así mostrar la mayor parte posible de un conjunto de medidas procedente de un gran número de sensores en una gráfica bidimensional, y poder comprobar si se produce agrupaciones espontáneas de los datos. También se realizó una introducción a las técnicas supervisadas, como las redes neuronales artificiales, donde se pretende clasificar unos datos a partir de unas categorías ya establecidas con anterioridad, para ello hace falta una etapa inicial de entrenamiento donde se establece unos pesos a cada una de las neuronas de la red y, posteriormente, una etapa de validación donde se le aplica a la red nuevos datos y se comprueba si la red los clasifica adecuadamente. Por último, también fueron realizados análisis de regresión, como el *Partial Least Square* (PLS) para comprobar la correlación entre las medidas electroquímicas obtenidas con los sensores y los datos de otras medidas obtenidas con otros medios.

TABLA I. PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

Tema	Títulos	Horas	Teoría/Práctica
0	Introducción	2	2/0
1	Medida de la Temperatura	5	2/3
2	Desplazamiento y Presión	5	2/3
3	Sensores Ópticos	8	4/4
4	Medidas Electroquímicas	15	6/9
5	Sistemas Multisensores	15	6/9

E. Prácticas

La parte de la asignatura que más trabajo y dedicación llevó a los docentes fue, sin duda, las prácticas de laboratorio. Las prácticas se encaminaron a comprobar las características de los sensores y los circuitos de medición, a realizar medidas y a analizar resultados realizados con los principales sensores aprendidos en las clases de teoría.

Para realizar la mayoría de las prácticas fueron construidos unos módulos electrónicos específicos que permiten realizar las medidas de forma rápida y sencilla.

Así, para la medida de la conductividad de una disolución se desarrolló un sencillo circuito electrónico donde se aplicaba a unos electrodos de grafito sumergido en la disolución a medir, se aplica una tensión eléctrica alterna, para así evitar los fenómenos de electrolisis (Figura 1). Se mide la corriente que circula por la disolución y junto con la medida de la tensión aplicada se obtiene fácilmente el valor de la resistividad.

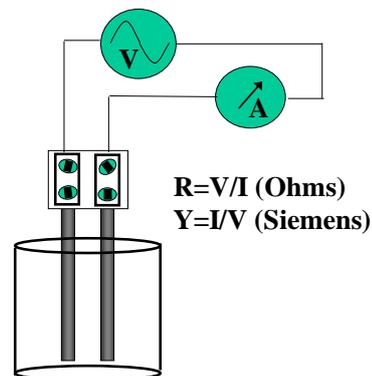


Figura 1. Medida de la Conductividad en Disoluciones

Un segundo módulo construido para las prácticas es un sistema para realizar voltametría cíclica, formado por tres electrodos, uno de ellos es el electrodo de trabajo, otro de contraelectrodo, entre ambos electrodos se hace pasar una corriente y se mide la tensión obtenida entre el electrodo de trabajo y un tercer electrodo de referencia por el que no pasa corriente. De esta forma, se analiza los procesos de oxidoreducción que se produce en la interfase entre el electrodo de trabajo y la disolución. En el electrodo de referencia, como no circula corriente, no se produce la interfase. El circuito de medida lo desarrollaron los propios alumnos sobre una placa board utilizando circuitos integrados de amplificadores operacionales convencionales (Figura 2).

Este circuito de medida es una versión muy simplificada de otros equipos que miden que los autores han desarrollado para realizar diversas medidas voltamétricas en tareas de investigación [6].

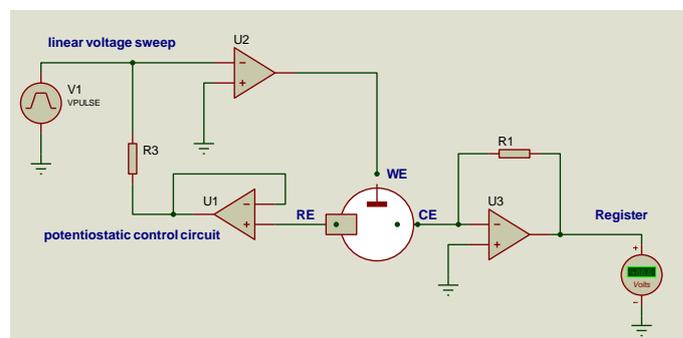


Figura 2. Circuito para Medida Voltamétrica

Las prácticas de laboratorio que más trabajo y tiempo necesitaron fueron aquellas que utilizaban sensores no específicos, ya que por un lado se utilizaban varios sensores y por otro lado, se precisaban de un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

La primera práctica con múltiples sensores fue aquella que utilizaban sensores ópticos. Para ello, se construyó un sistema de medida formado por varios diodos LED que emiten luz de diferentes longitudes de onda, tanto visible (rojo, amarillo y verde), como UVA e infrarrojo cercano. Estos diodos LED se asociaron a unos fotodiodos que actuaban como sensores y se

interponían entre ellos la muestra que estaba contenida en un recipiente transparente. Mediante un amplificador de transconductancia, se obtenía una tensión continua (Figura 3) proporcional a la transparencia de la muestra a esa determinada longitud de onda. El circuito era único, por lo que el alumno repetía el proceso de medida para cada uno de los LED y fotodiodos. Con ellos se realizaron medidas de observancia de diferentes muestras líquidas. El sistema actúa como un “ojo electrónico”, ya que con los datos de las medidas se realizan análisis multivariante para determinar si el sistema es capaz de discriminar las muestras de diferente naturaleza [7].

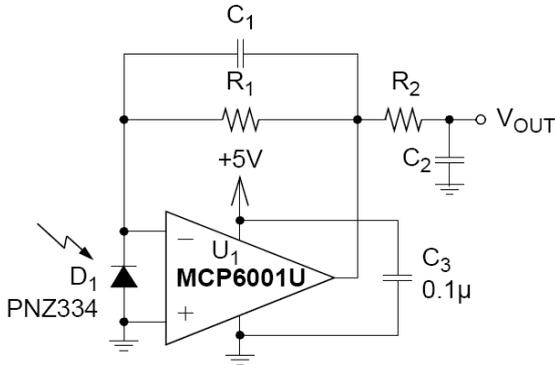


Figura 3. Sistema de medida óptico. Circuito adaptación fotodiodo. Cortesía de Microchip Technology Inc.

Pero el equipo de medida que fue más utilizado fue aquel que permite realizar medidas electroquímicas con varios electrodos no específicos y con los resultados se aplican técnicas matemáticas de reconocimiento de patrones. Estos módulos de medida fueron creados a partir de la experiencia de los autores en sistemas de lenguas electrónicas [8] y narices electrónicas [9]. Para ello, se desarrolló y construyó un sistema de medidas formado por cuatro bloques (Figura 4): un conjunto de electrodos que actúan como sensores electrolíticos de diferente tipo, una segunda etapa de acondicionamiento de la señal eléctrica obtenida por los electrodos, una etapa de adquisición de la señal y una cuarta etapa de almacenamiento, procesado y análisis de los datos obtenidos de las diversas medidas.

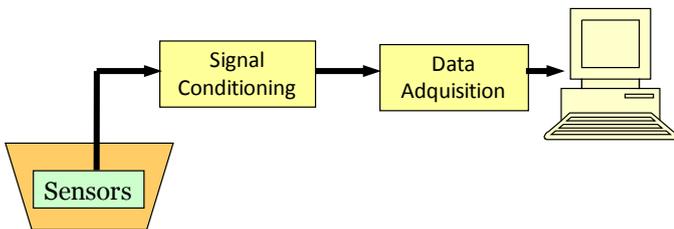


Figura 4. Diagrama de Bloques del Sistema de Medida de Multisensores

Las medidas potenciométricas consisten en medir la tensión eléctrica que se genera espontáneamente entre dos electrodos cuando son sumergidos en una disolución electrolítica.

Como sensores se utilizaron simples cables metálicos de distintos materiales: plata, cobre, cinc, plata oxidada con cloruro de plata (Ag/AgCl), de un grosor de 0,8 mm y varios centímetros de longitud para que así pudieran sumergirse en una disolución (Figura 5). El potencial eléctrico generado depende del material del electrodo y de la concentración de la disolución [10]. Uno de los electrodos, normalmente el de Ag/AgCl, se tomaba como electrodo de referencia realizando las medidas entre cada uno de los restantes electrodos respecto al de referencia. Los valores usuales obtenidos están dentro del rango de $\pm 1V$.



Figura 5. Electrodo Metálicos

Otra forma de obtener electrodos metálicos es mediante una placa aislante de alúmina donde se depositan diferentes pastas que se utilizan en la tecnología de capa gruesa (thick-film) para crear circuitos electrónicos híbridos. Para ello se aprovecha que los fabricantes de pastas o tintas les añaden diversos componentes para así variar sus propiedades conductoras y aislantes. Para la construcción de estas placas se aplicaron técnicas serigráficas que fueron desarrolladas y construidas en el laboratorio del Grupo de Microelectrónica Híbrida del instituto de investigación IDM. De esta forma, se obtiene un sistema de sensores no específicos que poseen la ventaja de su rigidez, durabilidad y bajo precio [11]. El desarrollo de este tipo de sensores ha sido impartido en otras materias de la carrera de ingeniero técnico industrial, creando un curso multimedia para la fabricación de dispositivos electrónicos híbridos y su utilización como sensores [12].

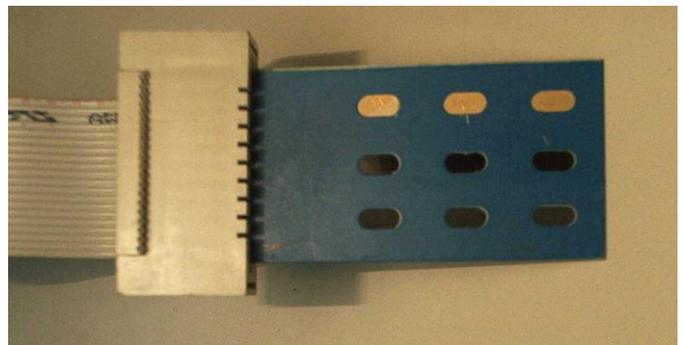


Figura 6. Placa multisensora construida en tecnología Thick-Film

La señal eléctrica generada por los electrodos posee bajo voltaje y sobretodo muy baja potencia, por lo que es necesario una etapa de acondicionamiento de la señal formada básicamente por Amplificadores Operacionales de baja corriente de polarización (MCP604) con un circuito de desplazamiento de la señal de 2,5 V para así obtener todas las señales positivas ya que el procesador que realiza la

adquisición de datos solo admite señales positivas en el rango de [0-5V].

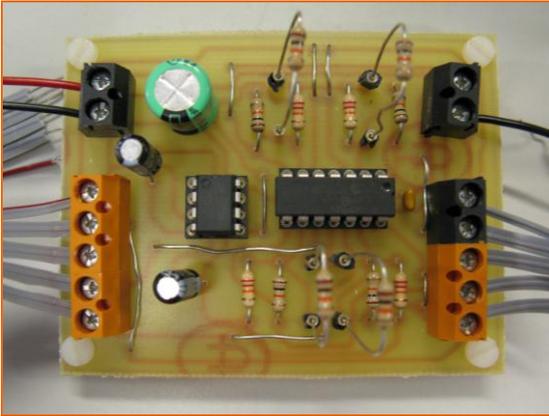


Figura 7. Circuito de Acondicionamiento de la Señal

La señal analógica obtenida por el sistema de acondicionamiento de la señal era digitalizada mediante un módulo de adquisición de datos (Figura 7). La placa construida para la adquisición de datos está formada por un microcontrolador PIC16F876 que se incorporó programas que permiten realizar medidas de hasta cinco señales analógicas y una entrada digital para así realizar el disparo del muestreo de la señal. Como puerto de salida posee un puerto RS232 que es controlado por el CI driver (MAX233) que permiten la conexión a un PC. Todo el circuito está controlado desde por el usuario con simplemente dos pulsadores P1 y P2, que controlan el menú de navegación del programa y es mostrado en una pantalla LCD (16x2 dígitos) que permite la lectura de los datos. Estos datos se trasladan, vía serie, a un computador donde se puede visualizar los datos y realizar con ellos distintos tipos de análisis multivariante. Este circuito es especialmente útil para los alumnos, porque sin necesidad de especiales conocimientos de microprocesadores, pueden realizar las medidas fácilmente.

Una vez realizadas las medidas deben recoger los datos de las medidas, normalmente con una hoja Excel, y realizar un resumen de ellas por medio de tablas y gráficas.

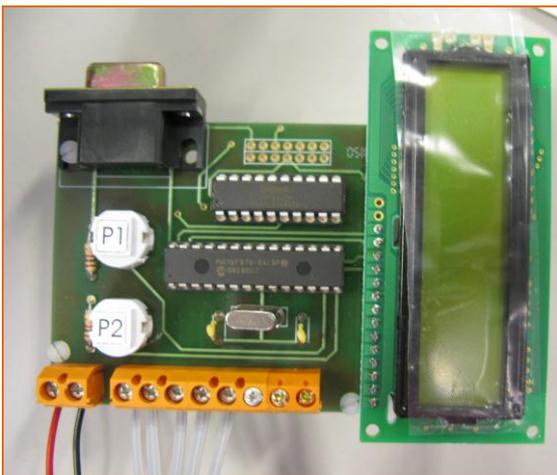


Figura 8. Placa de Adquisición de Datos

La práctica consistió en preparar diversas disoluciones salinas y de otros compuestos, tanto simples como complejas, y comprobar si el sistema era capaz de discriminarlas. Para ello, debían de utilizar las herramientas de cálculo que se citan en el apartado de programa.

F. Trabajo de Curso

Otro de los métodos de aprendizaje utilizados en esta asignatura era el denominado trabajo de curso, que consiste en la elección por parte de cada alumno, o pareja de alumnos, de un sensor de parámetro físico y otro sensor de parámetro químico y realizar un estudio lo más completo posible. Pero debía de tratar, al menos, los siguientes puntos: principio de funcionamiento del sensor-transductor, características técnicas más importantes, tipos comerciales y precios orientativos y por último circuitos electrónicos de adaptación de la señal eléctrica obtenida.

Una vez realizados los trabajos, eran expuestos en clase ante el profesorado y el resto de los alumnos, contestando a las preguntas y dudas que posteriormente se planteaban. Algunos de los sensores y temas que fueron elegidos fueron los siguientes:

Parámetros Físicos

- Detectores de Humo
- Sensores para la medida de caudal
- Sensores para la Industria Petroquímica
- Medida de Masa
- Control de Nivel
- Sensores para Autenticación de la Huella Digital
- Espesor de Láminas
- Humedad en Cámaras
- Detectores de Objetos

Parámetros Químicos

- Detección de Oxígeno
- Detección de O₂ en Agua
- Determinación de Nitratos
- Biosensores Celulares

G. Visitas a Industrias

Las clases regladas se complementaron con visitas a algunas instalaciones industriales en los que existieran una gran cantidad de sensores. Durante estas visitas se pudo comprobar la necesidad de usar los sensores estudiados en clase y cómo aplicarlos en los procesos industriales. Las visitas realizadas fueron los siguientes:

La principal planta de tratamiento de agua del área metropolitana de Valencia: En este centro, los alumnos pudieron aprender todo el proceso de purificación del agua, desde la entrada de las aguas residuales urbanas e industriales a las etapas de salida de suministro de agua potable. En todos estos procesos se encontraron aplicaciones de diversos sensores físicos, tales como: turbidez, temperatura, presión y conductividad, y químicas sensores, pH, potencial redox, etc.

Una fábrica de curtido de pieles, donde se comprobó el proceso de curtido, desde la piel fresca de animales hasta el producto final para varias aplicaciones industriales. En este tipo de industria es especialmente importante el control de residuos en los procesos de teñido de la piel porque puede ser muy perjudicial para el medio ambiente. Por lo tanto, había múltiples sensores y sistemas de gestión de residuos.

Fabricación de los biocombustibles: una instalación que, a partir de restos de producción agrícola, se obtiene alcohol para fabricación de biocombustibles para motores de automóviles. En esta visita se comprobó una manera eficaz y sencilla de reciclaje para la reducción del consumo de combustibles fósiles.

Con estas visitas los alumnos podían conocer importantes procesos industriales con especial énfasis en aspectos de medio ambiente y además debían reconocer los sensores que eran utilizados en las diferentes etapas y compararlos con los estudiados en clase. Después de realizar las visitas los alumnos debían de escribir un trabajo donde indicaban los sensores y sistemas de medias que habían observado en las industrias.

H. Evaluación

Para realizar la evaluación final de la asignatura se tomó las notas de cada una de las partes de la asignatura y se ponderó según los criterios expuestos al inicio del curso. Estos criterios fueron: examen teoría-problemas: 40%, prácticas: 30%, trabajos de curso: 15%, memorias visitas 15%. Los resultados de la evaluación fueron altamente satisfactorios.

III. CONCLUSIONES

A lo largo de la experiencia en la docencia de esta asignatura puso de manifiesto que se puede lograr la integración de diferentes disciplinas y técnicas, para hacer frente a un tema multidisciplinario, tales como sensores electrónicos para aplicaciones en la industria química y el medio ambiente. Por otro lado, la experiencia de la investigación del profesor puede servir al desarrollo de la enseñanza, en este caso la creación de módulos prácticos para la medición con sensores diferentes, tanto individualmente como en forma conjunta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al gobierno español por la ayuda MICINN (MAT2009-14564-C04-02) y a la UPV por la concesión de ayuda de un Proyecto para Nuevas Líneas de Investigación Multidisciplinares (PAID-05)

REFERENCIAS

- [1] http://ec.europa.eu/education/external-relation-programmes/doc72_en.htm
- [2] J. Ibáñez Civera, I. Romero Gil, N. Laguarda-Miro, E. García-Breijo, L. Gil-Sánchez and R. Martínez-Guijarro, "Instrument for sunlight extinction measurement in water bodies" *Sensors & Act. A*, 168, August 2011, pp. 267-274.
- [3] J. Ibáñez, E. García, L. Gil, M. Mollar and B. Marí, "Frequency-dependent light emission and extinction of electroluminescent ZnS:Cu phosphor", *Displays*, 28, July 2007, pp. 112-117.
- [4] E. García-Breijo, J. M. Barat, O. L. Torres, R. Grau, L. Gil, J. Ibáñez, M. Alcañiz, R. Masot and R. Fraile, Development of a puncture electronic device for electrical conductivity measurements throughout meat salting", *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 148, November 2008, pp. 63-67.
- [5] R. Martínez-Mañez, J. Soto, J. Lizondo-Sabater, E. García-Breijo, L. Gil, J. Ibáñez, I. Alcaina and S. Alvarez, "New potentiometric dissolved oxygen sensors in thick film technology", *Sensors and Actuators B: Chemical*, 101, July 2004, pp. 295-301.
- [6] J. Ibáñez Civera, E. García Breijo, N. Laguarda Miró, L. Gil Sánchez, J. Garrigues Baixauli, I. Romero Gil, R. Masot Peris, M. Alcañiz Fillol, "Artificial neural network onto eight bit microcontroller for Secchi depth calculation", *Sensors and Actuators B: Chemical*, 156, August 2011, pp. 132-139
- [7] I. Campos, R. Masot, M. Alcañiz, L. Gil, J. Soto, J. L. Vivancos, E. García-Breijo, R. H. Labrador, J. M. Barat, R. Martínez-Mañez, "Accurate concentration determination of anions nitrate, nitrite and chloride in minced meat using a voltammetric electronic tongue", *Sensors and Actuators B: Chemical*, 149, August 2010, pp. 71-78
- [8] J. Ibáñez, J. González del Rio, I. Romero, N. Laguarda, E. García-Breijo, L. Gil, "New instrument for measure the water column sunlight extinction", *IEEE International Symposium on Industrial Electronic (ISIE-2011)*, Bari (Italy)
- [9] R. Martínez-Mañez, J. Soto, E. García-Breijo, L. Gil, J. Ibáñez, E. Llobet, An "electronic tongue" design for the qualitative analysis of natural waters, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 104, 24 January 2005, pp. 302-307
- [10] L. Gil-Sánchez, J. Soto, R. Martínez-Mañez, E. García-Breijo, J. Ibáñez, E. Llobet, "A novel humid electronic nose combined with an electronic tongue for assessing deterioration of wine", *Sensors and Actuators A: Physical*, 171, November 2011, pp. 152-158.
- [11] J. Soto, R. H. Labrador, M. D. Marcos, R. Martínez-Mañez, C. Coll, E. García-Breijo, L. Gil, "Introduction of a model for describing the redox potential in faradic electrodes", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 594, September 2006, pp. 96-104.
- [12] R. Martínez-Mañez, J. Soto Camino, L. Gil Sánchez, E. García Breijo J. Ibáñez Civera, E. Gadea Morant, "System for Determining Water Quality with Thick-Film Multisensor", 5th Spanish Conference on Electronic Devices (2005), Tarragona (Spain).
- [13] E. García-Breijo, L. Gil-Sánchez, J. Ibáñez, E. Gadea, A. Tormos, "Curso multimedia de la tecnología de circuitos híbridos en capa gruesa" TAAE 2004, Valencia, Spain