

ANTARES: Una Integración de Docencia Universitaria e I+D+I en una misma Plataforma

*Álvaro Araujo, Juan M. Montero, David Fraga,
J. Ignacio Izpura y Octavio Nieto-Taladriz*

Dpto. de Ingeniería Electrónica –Universidad Politécnica de Madrid

{araujo, juancho, dfraga, izpura, nieto}@die.upm.es

RESUMEN

Aunque las universidades incluyen actividades de educación de grado y de postgrado junto con actividades de I+D+I (Investigación, Desarrollo e Innovación), no es habitual que éstas se integren y se complementen de una manera plena como sería deseable. Las actividades de I+D+I son realizadas por pequeños grupos de investigación con una alto grado de autofinanciación externa, liderados por uno o más profesores muy implicados en una formación doctoral y de postgrado directamente relacionada con sus temas de I+D+I. Por el contrario, la formación de grado que imparten profesores de diferentes grupos no está temáticamente tan relacionada en general. En este artículo describimos una exitosa experiencia de integración y complementariedad de todas las actividades anteriores que se ha logrado en torno a un sistema de desarrollo: la plataforma Antares.

1 INTRODUCCIÓN

Una de las tareas más delicadas dentro de un departamento universitario es la de compatibilizar de la mejor manera posible su doble vocación docente (tanto de grado como de postgrado) e innovadora (a través de la investigación y el desarrollo). El Departamento de Ingeniería Electrónica de la UPM (compuesto por 28 profesores, 5 técnicos y 3 administrativos) imparte docencia en Electrónica en la Escuela Técnica Superior de Telecomunicación y simultáneamente mantiene diversas líneas de I+D entre las que se incluye una orientada a los sistemas integrados. Como posible punto de convergencia de esas dos facetas, docente e investigadora, están las asignaturas de sistemas electrónicos basados en microprocesadores y en el aspecto humano, los docentes implicados en ellas. Este conjunto de asignaturas comprende una troncal de carácter teórico dentro del tercer curso de Ingeniería de Telecomunicación (SEDG: Sistemas Electrónicos Digitales), una obligatoria de carácter práctico dentro del mismo curso (LSED: Laboratorio de Sistemas Electrónicos Digitales), dos optativas de quinto curso de la especialidad de Electrónica (ISEL: Ingeniería de Sistemas Electrónicos y LSEL: Laboratorio de Sistemas Electrónicos) y también una asignatura de Libre Elección orientada a los alumnos instructores del LSED, todas ellas semestrales (Figura 1).

El problema que se nos planteaba era cómo abordar con continuidad y complementariedad estas asignaturas (para que resultasen etapas coherentes dentro de un proceso formativo en el marco de

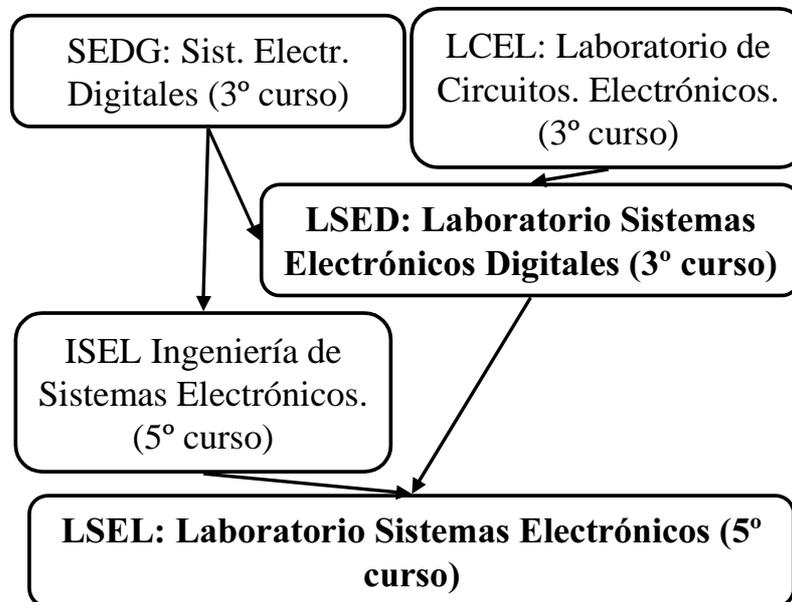
la Ingeniería de Telecomunicación), y cómo entroncarlas con los trabajos de I+D+I en sistemas microprocesadores (para dotarlas de la actualidad y la motivación que caracteriza las actividades de innovación). Si se consiguiese esta sinergia de objetivos, se mejoraría la formación recibida por el alumno a la vez que se aprovecharía mejor la experiencia y el tiempo de dedicación del profesorado.

Hasta el momento de la realización de las actividades recogidas en este artículo y continuando una tradición que se remontaba al plan docente 64M2, las asignaturas de tercero y de quinto empleaban sistemas microprocesadores diferentes, ofreciendo una visión de las dos grandes familias ya clásicas de microprocesadores, la de Motorola y la de Intel. Actualmente la diversidad de arquitecturas disponibles en el mercado no permite una visión como la que antes se daba, pero a cambio el incremento de la prestaciones de los sistemas, su abaratamiento, el creciente empleo de los lenguajes de alto nivel y la disponibilidad de herramientas de libre distribución, ha cambiado notablemente el panorama. Hoy es posible emplear una sola plataforma para ofrecer diversas perspectivas de los sistemas basados en microprocesadores y microcontroladores, tanto la que aborda los sistemas en su nivel más básico (sin sistema operativo, trabajando directamente con el microprocesador y sus dispositivos asociados) como la que lo hace en alto nivel (sobre la base de un sistema operativo que necesita desarrollos concretos en el nivel de aplicación y en el nivel de controlador de dispositivo, asentando las bases antes mencionadas).

Por estos motivos en el Departamento de Ingeniería Electrónica decidimos emprender el desarrollo de una plataforma básica en torno a la cual se pudiesen desarrollar tanto actividades docentes como actividades de I+D+I. Y el resultado fue la plataforma Antares.

2 ESQUEMA DOCENTE

Las asignaturas comentadas y su interrelación aparecen en la siguiente figura:



• *Figura 1: Relaciones entre las diversas asignaturas relacionadas con la plataforma Antares*

Para entender mejor esas relaciones, vamos a dar una descripción de la estructura y contenido de las dos asignaturas de tipo práctico LSED y LSEL

2.1 El Laboratorio de Sistemas Electrónicos Digitales

Es esta una asignatura obligatoria y por lo tanto masiva, que cursan cada año unos 400 alumnos, que deben diseñar, construir y probar un sistema completo compuesto por HW y SW desarrollado por ellos mismos agrupados en parejas. Parten de un enunciado de cierta extensión (30-40 páginas) que incluye las especificaciones y requisitos del sistema (esto es, el ámbito, la descripción general y los casos de uso), así como parte del análisis (en forma de un conjunto de objetos o subsistemas de análisis con sus propiedades, métodos y relaciones principales) y parte del diseño (concretamente una arquitectura SW modular y obligatoria en cuanto a cómo distribuir las tareas entre el proceso principal y el proceso por interrupciones). A partir de esta información, el alumno debe acabar de analizar el sistema (toda especificación es siempre incompleta y no está totalmente determinada) y debe acabar de diseñarlo, implementarlo y probarlo. El sistema solicitado cambia cada año y cada año el alumno debe desarrollar un prototipo funcional completo que es evaluado mediante: a) entregas electrónicas intermedias (que ayudan a profesores y coordinador a comprobar la evolución y originalidad del trabajo), b) un informe escrito (donde explique el análisis final, el diseño, la implementación y las pruebas realizadas) y c) un examen oral (donde el profesor comprueba que el prototipo cumple las especificaciones planteadas y donde formula preguntas individualizadas encaminadas a determinar la capacidad de cada alumno para explicar los resultados obtenidos). El sistema tiene un carácter multidisciplinar (la electrónica es un medio para construir sistemas de procesamiento de señal, de comunicaciones o de control de procesos cuya base matemática conoce el alumno de otras asignaturas no electrónicas) e incluye siempre una componente de tiempo real (una parte importante de la funcionalidad se concentra en rutinas de atención a interrupciones periódicas), lo cual hace más compleja la depuración del sistema por parte de los alumnos y más exigente el desarrollo completo del prototipo, aunque se proporcionan recomendaciones orientativas para que el alumno se enfrente específicamente al problema del tiempo real, la concurrencia y la compartición de recursos [1].

Se trata por tanto de una asignatura de laboratorio orientada a un diseño único (abierto a que los alumnos alcancen sus propias soluciones), de carácter sistémico y realista (aunque simplificado en la medida de lo posible, tanto económicamente como desde un punto de vista formativo), parcialmente guiado (orientando a los alumnos sobre cómo estructurar las distintas sesiones de laboratorio de que disponen) y en la que se prima la creatividad y la profesionalidad de cada pareja de alumnos, porque para alcanzar la calificación final máxima, el alumno debe realizar mejoras opcionales sobre el sistema básico propuesto que pueden suponer más de un 15 por ciento de la nota, o bien realizar una práctica especial con unas especificaciones o un microprocesador distinto a los propuestos en la práctica estándar. Se valoran además factores como la calidad de la escritura técnica o las capacidades para la comunicación oral. La asignatura de laboratorio enlaza con la asignatura teórica previa (SEDG) que se centra en el mismo microprocesador y los mismos periféricos, y busca un cierto equilibrio entre un alto contenido formativo con una carga de trabajo y aprendizaje que resulten abordables.

2.2 El Laboratorio de Sistemas Electrónicos

La asignatura Laboratorio de Sistemas Electrónicos está encuadrada en quinto curso del plan 94 de la E.T.S.I.T.-UPM, como optativa dentro de la especialidad de Electrónica y es impartida en el segundo semestre. La primera consecuencia que se obtiene, por tanto, es la matriculación de un menor número de alumnos que en la asignatura obligatoria. El objetivo principal de este laboratorio es la realización de un sistema electrónico completo, de la misma forma que se hace en entornos industriales, donde se

incluyen los siguientes aspectos: a) la metodología de diseño que se va a utilizar, b) la especificación del sistema a realizar, c) la realización del sistema y de su plan de pruebas, d) las medidas de los parámetros característicos y e) la realización de la documentación final.

Como objetivo adicional se busca estimular la creatividad e iniciativa del alumno, acercándolo a un nivel profesional, haciendo de puente entre las asignaturas anteriormente cursadas y la realización de su futuro Proyecto Fin de Carrera. Por todo ello la programación en ensamblador no es crítica, premiándose en mayor medida la programación a alto nivel, reutilización de módulos y, sobre todo, la capacidad de creación de alumno.

Un objetivo deseable y buscado con la impartición de esta asignatura es que el alumno que la curse realice el Proyecto Fin de Carrera ligado a los proyectos de I+D+I del Departamento. En este ámbito, la creatividad, novedad y funcionalidad de la plataforma sobre la que se imparta son requisitos esenciales y casi imprescindibles.

Teniendo en cuenta el entorno en que se encuadra lo anterior, la orientación de la plataforma es eminentemente hacia las comunicaciones. Se necesita por tanto una variedad de interfaces de comunicaciones y la posibilidad de adaptar fácilmente la plataforma a nuevas tecnologías en este sector.

Antes del desarrollo de Antares y su versión para docencia (DAntares), las plataformas empleadas (8051, 68000, 68HC11 y 68331) no nos permitían abordar prácticas plenamente ambiciosas [2] por carecer de la capacidad adecuada de proceso, de memoria y de periféricos de comunicaciones. Así si se trabajaba en un sistema de reconocimiento o de síntesis de voz, no se disponía de memoria no volátil en la cual guardar los patrones o las muestras de voz. Por el mismo motivo, al realizar prácticas de procesamiento de audio el ancho de banda procesable era muy reducido, alcanzando tan solo unos 2KHz, claramente insuficientes.

3 ANTARES: LA NECESIDAD DE UNA PLATAFORMA BÁSICA COMÚN

El diseño de la plataforma viene definido por una serie de criterios, algunos imprescindibles y otros aconsejables que debe cumplir. A la hora de tomar una decisión sobre una nueva plataforma, con un nuevo método de trabajo, uno de los requisitos fundamentales es que se encuentre dentro del estado del arte. La línea debe tener interés actual, siendo un desarrollo puntero en el sector. De esta manera aseguramos la utilización en proyectos de investigación y desarrollo vigentes y se prepara al alumnado para enfrentarse a sistemas reales de implantación inmediata. Se necesita tener un control total sobre el diseño para poder utilizarlo en proyectos industriales y realizar las modificaciones requeridas con el tiempo en la parte de docencia.

Si nos circunscribimos a su utilización tanto en proyectos fin de carrera como en proyectos de investigación y desarrollo y por extensión a la asignatura de quinto que realiza la función de puente, hemos de tener en cuenta unos aspectos concretos. Debido al gran avance de las telecomunicaciones, durante los últimos años hemos asistido al nacimiento y proliferación de nuevas redes de comunicaciones, tanto de corto alcance (Bluetooth, ICM, PLC, etc.), como de largo alcance (GSM/GPRS). Este nuevo escenario se presenta idóneo para el desarrollo de sistemas empotrados dedicados al telemando y telecontrol. Por ello, si queremos realizar sistemas de telemando y telecontrol sobre las nuevas redes de comunicaciones, nuestra plataforma debe ser capaz de adaptarse a estas nuevas tecnologías. Asimismo, nuestra plataforma debe tener la posibilidad de acceder a Internet haciendo uso de las redes físicas que tenga disponibles para lo que debe poder acceder y ofrecer servicios sobre la torre de protocolos TCP/IP, que es la utilizada en Internet. En lo referente a redes de corto alcance, nuestra plataforma simplemente deberá ofrecer un interfaz que permita la conexión de

los módulos de comunicaciones correspondientes, dadas las múltiples alternativas existentes (IRDA, ICM, etc.).

A la hora de diseñar nuestra plataforma hemos de tener en cuenta que su finalidad es el desarrollo de sistemas empotrados. Los sistemas empotrados tienen una serie de características que los diferencian de los ordenadores de propósito general, que son:

- **Precio:** En los sistemas empotrados, una de las restricciones más importantes en el diseño viene dada por el coste. Estos equipos suelen fabricarse en tiradas de decenas de miles, y por ello la reducción de costes se convierte en un factor fundamental en el momento del diseño. Para ello se suele ajustar bastante la capacidad de la plataforma a los requisitos del sistema, utilizando generalmente microprocesadores de baja frecuencia de reloj y poca memoria. Estos sistemas no suelen tener sistema operativo, o si lo tienen, suele ser un sistema operativo bastante ligero, debido a las limitaciones del hardware disponible. Si bien para docencia este requisito no es fundamental, también se considera aconsejable y beneficioso.

- **Consumo:** El consumo es otro factor a tener en cuenta a la hora de diseñar una plataforma para un equipo empotrado, aunque en este caso depende fundamentalmente de la aplicación concreta del sistema.

- **Tamaño:** En determinadas aplicaciones el tamaño de la plataforma puede ser un factor a tener en cuenta, ya que generalmente los equipos empotrados forman parte de sistemas más grandes, con lo que es deseable que la plataforma sea lo más reducida posible. En el Laboratorio de Sistemas Electrónicos se venían utilizando sistemas tipo PC-104 para la realización de prototipos. Estos equipos son ordenadores de propósito general a los que generalmente se les ha instalado un sistema operativo Linux, lo que facilita mucho la realización de prototipos funcionales en poco tiempo. Sin embargo, dichos equipos son excesivamente caros en cuanto a su mantenimiento y a la realización final del sistema.

Nuestra plataforma debe ser lo suficientemente genérica como para permitir el desarrollo de la gran mayoría de proyectos sin necesidad de añadir hardware externo. Sin embargo, pueden existir proyectos en los que se necesite añadir un hardware específico. En este caso nuestra plataforma debe ofrecer la posibilidad de ampliar su hardware de la manera más sencilla y con el menor coste posible.

En lo relativo a los requisitos software necesitaríamos un sistema operativo que se encargara de que las aplicaciones que se ejecutan sean capaces de acceder a recursos como la memoria o puertos de comunicaciones, proporcionar un sistema de ficheros para el manejo de la información y ser capaz de realizar multitarea. Las características de un sistema operativo para un equipo empotrado son:

- **Fiabilidad:** Para un sistema empotrado es imprescindible contar con un sistema operativo robusto y fiable, que no debe fallar bajo ninguna circunstancia.

- **Multitarea:** En un sistema empotrado generalmente se suelen realizar diferentes tareas de control de manera simultánea. La planificación y realización de las mismas resulta mucho más sencilla si se dispone de un sistema operativo multitarea. Este tipo de sistemas se encargan de gestionar los recursos hardware de tal forma que todas las tareas puedan hacer uso del mismo sin interferir entre ellas.

- **Orientado a comunicaciones:** Si la finalidad de nuestro sistema es el desarrollo de equipos empotrados que hagan uso de las nuevas redes de comunicaciones, es necesario que nuestro sistema operativo nos proporcione el mayor número de facilidades en este aspecto. Sería deseable que el propio sistema operativo tuviera soporte para acceder a redes TCP/IP, así como a otras redes de comunicaciones.

- **Gestión sencilla del hardware:** El sistema operativo debe proporcionarnos medios para la gestión del hardware.

Si tenemos en cuenta que la primera toma de contacto que tienen los alumnos con la plataforma se realiza en el tercer curso, hemos de considerar la poca experiencia en la utilización de este tipo de sistemas. Por tanto era casi imprescindible dotar a la plataforma de una serie de protecciones que posibilitaran el trabajo diario de una persona inexperta sin dañar el hardware básico. Por otro lado es aconsejable proporcionar interfaces conocidos por el alumno que integren de manera inmediata los elementos hardware adicionales que el alumno necesita para sus prácticas, tal como puede ser el puerto paralelo o salidas analógicas.

La primera conclusión que podemos obtener analizando los requisitos de diseño es la necesidad imperiosa de la realización de dos placas de circuito impreso, una que podríamos denominar genérica con todos los requisitos necesarios para las actividades de investigación y desarrollo y otra con las protecciones e interfaces necesario para la docencia que integre la anterior.

3.1 Antares: descripción de la placa genérica

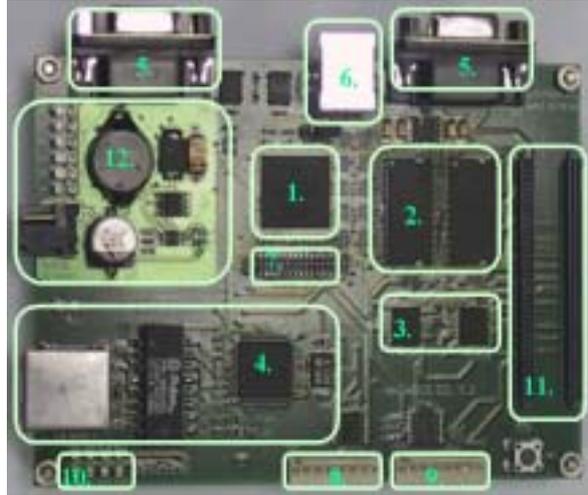
A continuación se describe el hardware de la placa genérica desarrollada, justificando las soluciones adoptadas en caso de existir alternativas de diseño. La denominación interna de nuestra plataforma es Antares, y será el nombre que utilizemos a partir de ahora para referirnos a ella. Antares tiene una arquitectura basada en la familia Coldfire, y está diseñada tomando como referencia la plataforma de desarrollo M5272C3 de Motorola. Las características genéricas de Antares son las siguientes:

- 1) Microprocesador de 32 bits MCF5272 de Motorola.
- 2) Memoria SDRAM (16 MBytes).
- 3) Memoria Flash (4 MBytes).
- 4) Interfaz Ethernet para conexión a una red de área local.
- 5) Dos interfaces serie RS-232.
- 6) Un interfaz USB esclavo.
- 7) Un interfaz BDM/JTAG para depuración y programación de la memoria Flash.
- 8) Ocho salidas digitales de nivel LCMOS.
- 9) Ocho entradas/salidas digitales de nivel LCMOS.
- 10) Cuatro LEDs indicadores de propósito general.
- 11) Bus de expansión.
- 12) Alimentación de entrada 8-14 Voltios.

Como se puede observar en la figura 2, existe una gran densidad de integración en la placa, lo que se traduce en un reducido tamaño de la misma, con unas dimensiones de 12cm × 9cm. A continuación desarrollaremos en detalle cada uno de los módulos de los que consta.

3.1.1 El Microprocesador

El microprocesador es una de las partes más importantes del sistema, ya que va a ser el componente que va a determinar en gran medida las prestaciones de la plataforma. Para la plataforma Antares se ha elegido un microprocesador de la familia Coldfire de Motorola. Se trata de microcontroladores de 32 bits, evolución de la familia del 68000, y orientados al mercado de los sistemas empujados. Puede decirse que la familia Coldfire es la apuesta de futuro de Motorola para realizar este tipo de sistemas.



• **Figura 2: Fotografía de la plataforma Antares y sus componentes principales**

Una ventaja de la familia Coldfire es su relación con la familia 68000. Esto permite una migración sencilla de los antiguos sistemas empotrados diseñados sobre una arquitectura 68000 así como de los programas monitores utilizados en docencia. De todos los modelos disponibles hemos tenido que elegir uno para la realización de la plataforma Antares. De los requisitos comentados, y viendo las características de los diferentes modelos, podemos concluir que el modelo que más se adaptaba a nuestras necesidades es el MCF5272, ya que integra en un solo chip todo lo que se necesita. El MCF5272 integra en un chip diversas interfaces de comunicaciones, ofreciendo interfaces como Ethernet, o SPI. Esta capacidad de comunicaciones hace de este microprocesador el indicado para aplicaciones orientadas a Internet, telefonía sobre redes LAN, etc.

3.1.2 Memoria

La elección de la memoria de la plataforma es casi tan importante como la elección del microprocesador de la misma, ya que, al igual que éste, afecta de manera directa al rendimiento del sistema. Aprovechando el controlador SDRAM integrado en el MCF5272, hemos dotado a nuestro sistema de este tipo de memoria. Antares lleva dos módulos de memoria SDRAM del modelo MT48LC4M16A2, configurados en paralelo formando un bus de 32 bits, lo que da lugar a un total 16 MBytes de memoria RAM. También hemos dotado a la placa de memoria Flash para el almacenamiento de información de manera no volátil. La plataforma ha sido diseñada para tener 2 ó 4 MBytes de memoria Flash. Esto ha sido así para que las aplicaciones que no requieran de una gran cantidad de espacio de almacenamiento puedan ser fabricadas con sólo 2 MBytes, abaratando así el precio del sistema.

3.1.3 Interfaces

Consideramos interfaces de la plataforma a todas las partes de la misma que le permiten comunicarse con su entorno y Antares los utiliza tanto para comunicarse con el usuario como con los dispositivos que debe controlar. En un sistema empotrado como este, en el que las comunicaciones van a jugar un papel fundamental, la disponibilidad de múltiples interfaces de comunicaciones es indispensable. Además de las interfaces de comunicaciones, como pueden ser Ethernet o USB, dentro de las interfaces también incluimos las E/S digitales, RS232, que van a permitirnos realizar las tareas de

control sobre dispositivos externos. Se considera también como interfaz el bus de expansión, que permitirá ampliar la plataforma mediante tarjetas de expansión. El interfaz Ethernet de Antares consta de diferentes partes: el controlador integrado en el MCF5272, que es el encargado de realizar las funciones de control de acceso al medio compartido (MAC), el circuito integrado que se conectará al MCF5272, y que ofrece las funciones de nivel físico del interfaz y unos transformadores que realizan la conversión de niveles de tensión con un conector RJ-45 al que se enchufará un par trenzado de red convencional. Antares dispone de un interfaz BDM/JTAG que facilita las funciones de depuración de aplicaciones sobre la misma plataforma de desarrollo, evitando la necesidad de utilizar simuladores, que generalmente son bastante caros. La selección del tipo de interfaz (BDM ó JTAG) se hace mediante un jumper situado en la placa. El bus de expansión de Antares consta de dos conectores paralelos a los cuales se han llevado las señales del MCF5272 más relevantes para permitir la extensión de la plataforma mediante tarjetas que se enchufarán a dichos conectores.

3.2 DAntares: Antares en una versión orientada a docencia básica

A la hora de abordar un laboratorio masivo con alumnos no familiarizados con el manejo de sistemas de desarrollo basados en microprocesadores es importante plantear unas adecuadas protecciones y una mecánica robusta que minimicen los costes de mantenimiento anual y maximicen la disponibilidad de los equipos a lo largo de cada semestre. Por eso desde el principio de este trabajo y basándonos en nuestra experiencia previa con sistemas 68000, 68HC11 y 68331 [2] diseñamos unas adecuadas protecciones de entrada y salida que evitasen que Antares fuese dañada por las sobretensiones y cortocircuitos que pueden ser tan frecuentes en un entorno de desarrolladores noveles como el de un laboratorio docente.

Aunque se podría minimizar el diseño de la placa de docencia mediante un re-diseño y re-implementación de Antares (incluyendo una ampliación de las capacidades de entrada y salida y de protección de las mismas), buscábamos la máxima compatibilidad, compartir al máximo la plataforma base, por lo cual se decidió aprovechar el bus de expansión de Antares para conectarle una placa auxiliar con la que formaría una nueva plataforma específicamente destinada a docencia en entornos de laboratorio masivos: la plataforma DAntares.

Si requisitos como el consumo o el tamaño eran cruciales en Antares, la placa auxiliar de DAntares (destinada a desarrollo, no a producción) imponía menos requisitos. Por ello no necesitábamos una alimentación conmutada, podíamos integrar la conversión de alterna a continua, podíamos incrementar el consumo si con ello ganábamos ancho de banda protegido, incluir LEDs que resulten informativos de cara a la depuración visual de aplicaciones (aunque consuman energía y espacio en placa), etc.

La placa auxiliar provee además de 2 entradas y 1 salida analógicas, aprovechando las capacidades de comunicación serie síncrona QSPI disponibles y amplía hasta 32 los terminales digitales de entrada o salida, además de incluir 3 entradas de interrupción, 1 entrada de captura temporizada, 3 salidas por PWM y una salida temporizada. Todos estos recursos digitales están optoacoplados mediante optoacopladores de aislamiento HCPL2631 de alta velocidad, alcanzando una velocidad de 100 kilomuestras por segundo.

Las entradas y salidas analógicas emplean el MAX1246 y el MAX5352 respectivamente, que son convertidores de 12 bits con track-and-hold que son controlados mediante el bus QSPI de Motorola. La protección la proporcionan los amplificadores de aislamiento HCPL7840 de más de 50 KHz de ancho de banda.

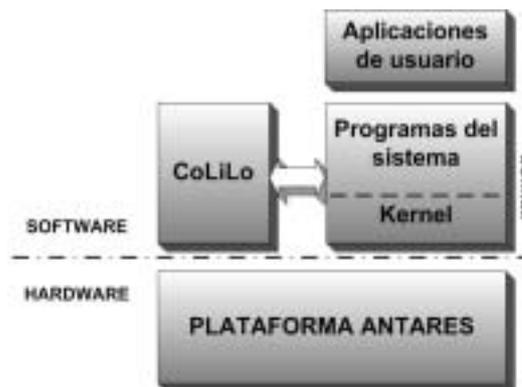


- *Figura 3: Fotografía de la plataforma DAntares (que incluye una placa Antares)*

Los aspectos mecánicos son especialmente importantes en una placa para docencia troncal u obligatoria. Los conectores seleccionados son DB-25 y DB-9 hembra, que se fijan a la caja metálica. También están sujetos a la caja los conectores BNC de las entradas y salidas analógicas, conectores también robustos de larga experiencia en los generadores de funciones y los osciloscopio del laboratorio.

4 Software de desarrollo para Antares

A continuación se describirá funcionalmente el software utilizado y desarrollado para la placa genérica realizada. La arquitectura software de la plataforma se puede observar en la figura 4. Se comprueba que sobre la parte hardware de la plataforma se encuentra el CoLiLo o cargador del sistema operativo cuya función es inicializar el hardware y el sistema operativo. Por otro lado tenemos el sistema operativo, μ CLinux, dividido en kernel y programas del sistema. Por encima de esta estructura están las aplicaciones de usuario. Por otro lado tenemos las herramientas utilizadas para el desarrollo de todo el sistema software. A continuación se describe brevemente cada una de las partes implicadas en la arquitectura.



- *Figura 4: Arquitectura SW de Antares*

4.1 CoLiLo

Entre las funciones de este software se encuentra la de configurar el hardware de la plataforma y recuperar una imagen con la distribución de μ CLinux de la memoria Flash. Para ello hemos recurrido

al programa CoLiLo, desarrollado inicialmente por Rob Scott bajo licencia GNU. Tomando como base el CoLiLo, hemos realizado las modificaciones necesarias para adaptarlo al hardware presente en Antares (las nuevas memorias SDRAM y Flash, un modo interactivo...). Además se han añadido funcionalidades al mismo como la comprobación del correcto funcionamiento de diferentes partes del hardware, o la posibilidad de arrancar diferentes imágenes de μ CLinux.

4.2 μ CLinux

El sistema operativo μ CLinux es una adaptación del popular sistema operativo Linux para que funcione en microcontroladores que no dispongan de unidad de gestión de memoria (MMU), como es el caso del MCF5272. Este sistema operativo tiene un tamaño bastante más pequeño que el de una distribución Linux estándar, lo cual lo hace idóneo para el desarrollo de sistemas empujados. El tamaño de un kernel con las opciones más comunes puede estar por debajo de 500 KBytes, mientras que el de una distribución completa (Kernel y aplicaciones) puede estar por debajo de 900 KBytes. Como toda distribución de Linux, se trata de código abierto, con lo que podemos tener acceso al código fuente del sistema operativo. Ésta es una de sus mayores ventajas, ya que podemos personalizar totalmente el sistema, haciendo que se adapte estrictamente a nuestras necesidades. A todo lo anterior hay que sumarle que, al estar basado en el kernel de Linux comparte todas las ventajas del mismo, entre las que se encuentran: Sistema operativo multitarea, arquitectura modular, soporte de múltiples protocolos de red: TCP/IP, PPP, SLIP, etc., soporte de múltiples sistemas de ficheros: NFS, Ext2, FAT32, FAT16, etc., robustez y fiabilidad, disponibilidad del código fuente, es gratuito, debido a que gran parte del software se distribuye bajo la licencia GNU, el control del hardware mediante la programación de controladores es muy sencillo. Actualmente existen adaptaciones para un gran número de microprocesadores, entre los que se encuentra la familia Coldfire de Motorola.

4.3 Herramientas de desarrollo

La estación de desarrollo es un equipo PC con una distribución del sistema operativo Linux. En primer lugar tenemos el conjunto de herramientas de software, entre las que se encuentran el compilador cruzado, el depurador cruzado, etc. Este conjunto de herramientas nos permite la realización de desarrollos para una plataforma diferente a aquella sobre la que se trabaja, generalmente un equipo PC. En segundo lugar tenemos el BDI2000, que es un dispositivo que permite la depuración del software realizado mediante el depurador GNU a través del interfaz BDM de la plataforma Antares. Esto nos permitirá, entre otras cosas, grabar la memoria Flash con los programas que realicemos, ver el contenido de los registros del microprocesador, ejecutar paso a paso, etc.

4.4 ED68K-CF: un entorno de desarrollo gratuito para DAntares

Aunque existen entornos de desarrollo de gran calidad para ColdFire (como el de Metrowerks), los precios de sus licencias (y las de los cables especiales para cargar y depurar programas mediante BDM) resultan prohibitivos para un departamento universitario. Las herramientas gratuitas basadas en GNU-Linux no resultan todavía suficientemente intuitivas para ser usadas por alumnos con escasa experiencia en programación de sistemas.

De nuestra anterior etapa con microprocesadores de Motorola, disponíamos de 2 entornos gráficos para plataforma Windows que incluían un editor, un ensamblador y un depurador, con sus correspondientes manuales [3] Hemos optado por el más empleado, el que no necesitaba un cable de comunicaciones BDM, el que sólo precisa una conexión serie y la existencia de un programa monitor en la memoria no volátil del sistema (antes se empleaba TUTOR, ahora se usa DBUG). Aunque el cambio del monitor ha supuesto cambios importantes en la aplicación (debidos al cambio de los

comandos y mensajes que intercambian el PC y DAntares), se trataba de cambios no estructurales porque la filosofía de funcionamiento seguía siendo la misma: durante la ejecución de programas y su depuración, un thread se encarga de monitorizar y controlar la placa. En paralelo con los cambios en el entorno de desarrollo ha sido necesario adaptar el propio monitor DBUG, adaptando el mapa de memoria, la inicialización de los nuevos dispositivos, el manejo de la memoria FLASH, etc. Gracias a una placa de evaluación de Motorola que ha servido de referencia, el desarrollo del HW (Antares y DAntares) y del SW se ha podido realizar de forma parcialmente paralela con notable éxito.

La disponibilidad de herramientas completas de GNU para trabajar en lenguaje C han hecho que las hayamos integrado por medio de “scripts” en el sistema. Aunque durante la depuración el código en ensamblador es siempre visible (el alumno no debe olvidar el contacto directo con la máquina, y para aprovechar los recursos e instrucciones especiales le será necesario incluir código en ensamblador), es posible depurar en C, inspeccionar variables por su nombre (no sólo por su dirección), etc.

5 EXPERIENCIA DE TRABAJO CON ANTARES

Las experiencias obtenidas con la plataforma hasta la actualidad son altamente gratificantes. Se realizó un software de prueba que comprobaba el buen funcionamiento de todo el sistema. El software tenía dos niveles. A nivel de CoLiLo realiza la comprobación de la memoria RAM, los LEDs de propósito general, puertos de entrada/salida, interfaz RS232, pines de entrada/salida del bus de expansión (con la ayuda de una placa adicional), líneas de interrupción, modulador de anchura de pulso, contadores y reset del sistema. Por otro lado a nivel de kernel de μ CLinux se prueba el interfaz USB, QSPI y Ethernet.

Como primera experiencia piloto se utilizó un grupo de trabajo durante el curso 2002-2003 en el Laboratorio de Sistemas Electrónicos. La práctica consistió en la realización de un reproductor de mp3 conectado a un servidor. Utilizando el interfaz web de Antares se realizaba la petición de una canción que se obtenía por ftp desde un servidor central. Dicha canción se reproducía en Antares con la ayuda de unos conversores analógico/digital incluidos en una placa diseñada para adaptarla a la plataforma mediante el bus de expansión. El trabajo resultó positivo tanto para los alumnos como para los profesores, asegurando el buen funcionamiento y la validez docente de esta plataforma para dicho laboratorio.

En la actualidad se ha realizado un proyecto fin de carrera [9] en el que se utiliza Antares como pasarela residencial dentro de una red domótica. A su vez se están realizando dos proyectos más relacionados con la plataforma, desarrollando periféricos remotos e incluyendo el tratamiento de imágenes y sonido mediante una FPGA en una placa de expansión.

Existen varios proyectos de investigación y desarrollo que se están realizando con la plataforma. Como ejemplo podemos citar el sistema de ahorro energético para hoteles, un sistema inteligente para el control de sistemas de fertirrigación o un sistema para mejorar la calidad de vida de los enfermos de Alzheimer mediante la utilización de diferentes sensores y actuadores.

En cuanto a DAntares se están realizando las primeras prácticas especiales que incluyen:

- el control de un brazo robótico para tareas de automatización de copias de seguridad,
- el desarrollo de un sistema de atención e información telefónica con síntesis de voz orientado a domótica.

6 CONCLUSIONES

Los resultados de nuestra experiencia muestran que la cooperación entre las actividades de I+D+I y las de formación de grado puede ser muy fructífera, contribuyendo a mejorar la formación de grado por medio de la familiarización con las tecnologías propias de los grupos de I+D+I que se encuentran en el estado del arte internacional. De este modo se permite una mejor transición del estudiante hacia sus futuras actividades laborales o de investigación, y se aprovecha al máximo la experiencia y el tiempo de dedicación del profesorado.

Antares y DAntares, las plataformas desarrolladas, presentan un conjunto de características que se adapta perfectamente tanto a las labores docentes como a las de I+D+I: bajo precio, bajo consumo, reducido tamaño, alta fiabilidad y potencia de procesamiento, disponibilidad de herramientas gratuitas de desarrollo, múltiples interfaces de comunicaciones, etc.

En cuanto a las primeras experiencias en proyectos de investigación y desarrollo se puede afirmar que los pilotos implantados están respondiendo a las expectativas creadas y que la línea de investigación abierta parece tener sencilla explotación industrial.

7 AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer el trabajo realizado por todas las personas involucradas de uno u otro modo en este ambicioso proyecto: A. Quintana, L. Necchi, J.M. Fernández Freire, M. L. López-Vallejo, R. de Córdoba...

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] J.M. Montero, J. Ferreiros, J. Macías Guarasa, R. de Córdoba y J.D. Romeral “*Enseñanza en Laboratorios de Electrónica: Una filosofía basada en diseños no guiados del mundo real*” en Actas del XI Congreso Universitario de Innovación educativa, Vilanova i la Geltrú Julio de 2003.
- [2] J.M. Montero, J. Colás, T. Palacios, R. Córdoba, J. Macías, A. Santos “*El Laboratorio en Casa: un Sistema de Desarrollo Basado en el Microcontrolador 68331, de Bajo Coste*” en las Actas del IV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica TAAE’2000, pp. 381-384 en el año 2000.
- [3] J.M. Freire, M.L. López Vallejo y J. Colás “*ED68K: un entorno de desarrollo para el diseño de sistemas digitales basados en el MC68000*” en las Actas del 2º Simposio Internacional de Informática Educativa, 2000
- [4] Motorola, Coldfire Family Programmer’s Reference Manual, 2001.
- [5] Motorola, MCF5272 Coldfire Integrated Microprocessor User’s Manual, 2001
- [6] URL www.uclinux.org
- [7] URL www.tlpd.org
- [8] A. Rubini, *Linux Device Drivers*, Oeilly & Associates, 1998.
- [9] A. Quintana, *Diseño e Implementación de un Sistema Empotrado con Capacidad para Comunicaciones Heterogéneas Basado en el Microcontrolador Coldfire*, Proyecto Fin de Carrera, ETSI Telecomunicación, UPM, 2003.
- [10] A.S. Tanenbaum, *Computer Networks*, Prentice Hall, 1997.
- [11] A. Araujo, A. Quintana, J. Agüi, O. Nieto-Taladriz. “*Nuevas soluciones tecnológicas para el entorno domótico*”. *Telecom I+D 2003. Madrid. Second best paper.*