

# DISEÑO DE UN LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS DIGITALES

*Guillermo González de Rivera, Javier Garrido*

*Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid  
guillermo.gdrivera@uam.es, javier.garrido@uam.es*

## RESUMEN

En este artículo se presenta la solución adoptada para el laboratorio de la asignatura de Sistemas Electrónicos Digitales, de Ingeniería de Telecomunicación, impartida en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid. Se describe tanto la plataforma empleada como las herramientas principales que se han utilizado, así como un desarrollo propio fruto de experiencias anteriores.

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo es dar soporte al laboratorio de la asignatura de Sistemas Electrónicos Digitales. Esta es la primera asignatura en la que los alumnos de Ingeniería Superior de Telecomunicación ven los microprocesadores de una manera práctica, como parte de un sistema más complejo.

En los últimos años, los microcontroladores de bajo coste han facilitado la realización de prácticas de laboratorio. Esto permite a los estudiantes disponer de su propio equipo de desarrollo para crear un hardware a medida del problema y montar un pequeño sistema, desde el diseño PCB hasta la programación. Dentro del ámbito español, varias universidades ya han optado por esta opción [1]-[6].

El problema surge cuando la tarea a desarrollar conlleva cierta complejidad o se fijan objetivos más ambiciosos, en cuyo caso la mayoría de microcontroladores no disponen de suficientes recursos: velocidad de proceso, capacidad de direccionamiento, complejidad de los periféricos integrados, herramientas de desarrollo demasiado simplificadas, etc.

Por otro lado está la amortización de la inversión. Si se adquieren sistemas de desarrollo que se puedan seguir utilizando en cursos superiores no sólo se habrán reducido costes económicos, sino que al conocer ya la herramienta permite comenzar a trabajar desde el primer día.

En este artículo mostramos una nueva propuesta en la que los requerimientos de material necesarios para el desarrollo de las prácticas finalmente han sido:

- Tarjeta de desarrollo comercial, basado en el microprocesador ARM.
- Conjunto de periféricos y placa de prototipos de desarrollo propio.
- Analizador Lógico conectado a un PC.

## 2. SISTEMA DE DESARROLLO Y HERRAMIENTAS

El conjunto de material necesario para el desarrollo de las prácticas es:

- Sistema de desarrollo AT91EB55, de ATMEL [7]
- Placa de periféricos de propósito general [8].
- Placa de interfaz entre las dos anteriores [8].
- Analizador Lógico LA4240 conectado a PC [9].

### 2.1 Sistema de Desarrollo AT91EB55.

La Tarjeta de Evaluación AT91EB55 está basada en el microcontrolador AT91M55800A de ATMEL [10].

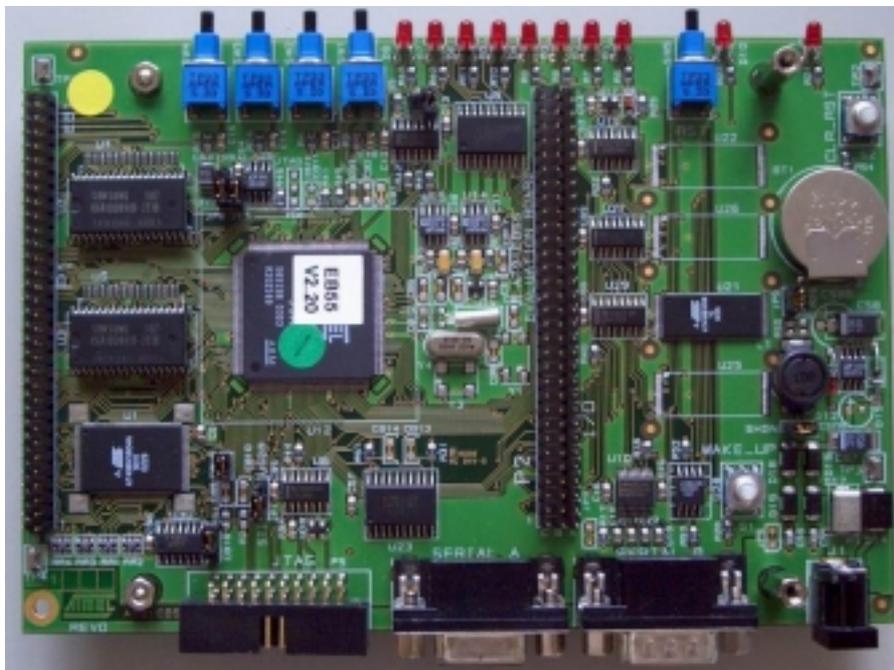


Figura 1. Tarjeta de Evaluación AT91EB55

El *core* del microcontrolador es un ARM7 TDMI, la alimentación interna es entre 2,7 y 3,6 voltios, y entre 2,7 y 5,5 para las líneas de entrada/salida. Es totalmente estático y permite una frecuencia de reloj de hasta 33 MHz. Dispone de 8Kbytes de SRAM, bus de datos de 8 o 16 bits y de direcciones de 24 bits. Como periféricos integrados tiene 3 USARTs, 1 SPI, *WatchDog*, reloj de tiempo real, 6 temporizadores de 16 bits, un conversor analógico/digital de 10 bits con 8 canales y otro digital/analógico de 10 bits con dos canales y dos puertos de datos digitales de entrada/salida de 32 bits cada uno.

Las características principales de la tarjeta de desarrollo son:

- 256K byte de 16-bit SRAM (puede tener hasta 1 MB)
- 2M bytes de 16-bit Flash (1 MB está disponible para software del usuario)
- 4M bytes de Flash serie (puede tener hasta 16 MB)
- 64K bytes de E2PROM con acceso I2C
- 32K bytes de E2PROM con acceso SPI

- Conector de expansión EBI 2 x 32 pines
- Conector de expansión I/O 3 x 32 pines
- Conector de interfaz JTAG de 20 pines
- Dos puertos serie
- Cuatro pulsadores de propósito general
- Ocho diodos LED
- Un sensor de temperatura

Gracias a los diferentes periféricos de los que se dispone, tanto en el propio microcontrolador como en la tarjeta de evaluación de ATMEL, es posible desarrollar múltiples programas en los que se puede ver el funcionamiento del microprocesador como parte de un sistema. Adicionalmente, se ha desarrollado una tarjeta que se conecta al bus de expansión de entrada/salida, en la que se han situado otros periféricos de propósito general que permitirán una mayor flexibilidad a la hora de diseñar otras prácticas. Esta tarjeta se describe en el siguiente punto.

## 2.2 Tarjeta de Periféricos.

Esta tarjeta ha sido desarrollada por los autores en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid.

Consta de una serie de periféricos que se conectan al bus de entrada/salida de la Tarjeta de Evaluación descrita en el punto anterior. Dichos periféricos no están conectados entre sí, ni tampoco están conectados al bus de I/O. Sólo están conectados los pines de alimentación, el resto de líneas están disponibles a través de una serie de pines de *wrapping* de manera que el alumno los puede conectar donde él decida: bien entre ellos o bien a los pines que seleccione del bus de entrada/salida.

Los elementos o periféricos que se han incluido son:

- Pantalla de cristal líquido (LCD). Dispone de 2 líneas y 12 columnas. Los terminales del contraste están disponibles, de forma que se puede conectar un potenciómetro clásico o bien uno programable (en la placa descrita se encuentran ambos). El controlador del LCD es compatible con el estándar LSI HD44780.
- Array de 4 displays de 7 segmentos, dispuestos en una configuración de ánodo común.
- 16 pulsadores configurados como una matriz de 4x4
- 4 pulsadores independientes

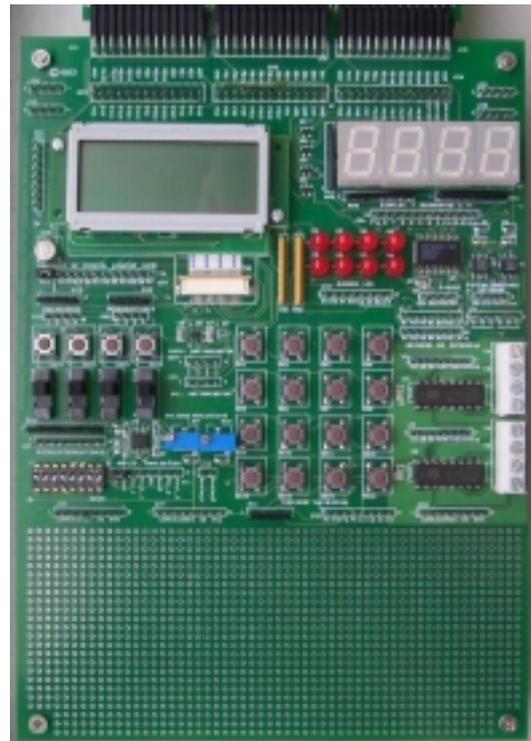


Figura 2. Tarjeta de Periféricos

- 4 interruptores
- 8 diodos LED
- 8 microinterruptores en formato DIL
- 2 circuitos integrados MAX6817, de Maxim [11]. Cada uno de ellos integra dos eliminadores de rebotes, útiles para filtrar las salidas de interruptores y pulsadores.
- Un circuito integrado DS1806, de Dallas [11]. Está compuesto por 6 potenciómetros de 64 posiciones, controlados por un bus de 3 hilos.
- Dos circuitos integrados DS1804, de Dallas [11]. Cada uno de ellos es un potenciómetro digital de 100 posiciones, no volátil. El control es por incremento/decremento a través de dos líneas.
- Dos amplificadores operacionales, en una configuración de amplificador de ganancia variable. Se puede conectar una resistencia fija o cualquiera de los potenciómetros descritos anteriormente.
- Dos señales analógicas, que pueden variar entre 0 y 2.5 voltios a través de sendos potenciómetros.
- Dos drivers de potencia del tipo L293D, útiles para controlar motores.
- Una zona de wrapping, para incluir cualquier otro periférico. Esto permite al alumno el poder incluir cualquier otro elemento de manera que no le limite su diseño.

Como detalle adicional, mencionar que se han serigrafiado el significado de cada una de las líneas, tanto en la cara de componentes como en la cara de soldadura, lo que facilita la conexión de los diferentes elementos. Así mismo se han duplicado los conectores que unen esta tarjeta con la de evaluación, de manera que se pueda conectar de forma sencilla un analizador lógico que permita el depurado del diseño.

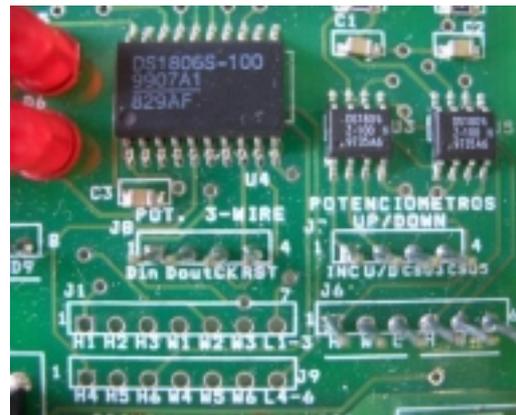


Figura 3. Detalle de serigrafía

### 2.3 Placa de Interfaz.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, este laboratorio es el primero de estas características con el que se encuentran los alumnos, por tanto la probabilidad de realizar malas conexiones o cortocircuitos es alta, con la consiguiente rotura del microcontrolador.

Para evitar esto, también se ha diseñado una sencilla tarjeta que servirá de interfaz entre la tarjeta de evaluación, la que tiene el microcontrolador, y la tarjeta de periféricos. Básicamente se trata de hacer pasar cada línea por un buffer que aisle dichas señales, de forma que un exceso de tensión o una mala conexión no llegue a producir ninguna avería.



Figura 4. Placa de Interfaz

Está compuesta por los siguiente módulos:

- *Buffers* unidireccionales: Se utilizan en líneas del microcontrolador que bien son de entrada o bien son de salida. El sentido ya está fijado por el propio diseño y está en relación con las especificaciones del microcontrolador.
- *Buffers* bidireccionales: Se utilizan en líneas que pueden ser entradas o salidas. El usuario selecciona a través de un *jumper* si quiere que sean entradas o salidas. Están en grupos de 8 líneas.
- Adaptadores de tensión analógica: Se utilizan para los conversores AD y DA. En el caso de los AD toman como entrada la señal analógica del exterior, con un circuito de protección, y como salida una señal entre 0 y 2.5 voltios, que es la tensión de referencia del conversor. En el caso del conversor DA son simples seguidores de tensión.
- Fuente de alimentación. A través de un conector externo toma corriente del exterior, generando las tensiones que alimentan los circuitos de esta tarjeta y la de los periféricos. Así mismo se genera una tensión de 2,7 voltios, con la que se alimentan los operacionales anteriores.

Por un lado tiene un conector que encaja en el bus de entrada/salida de la placa de evaluación y por otro lado una serie de conectores en los que encaja la placa de periféricos. Estos últimos conectores están duplicados para poder conectar ahí las sondas del analizador lógico.

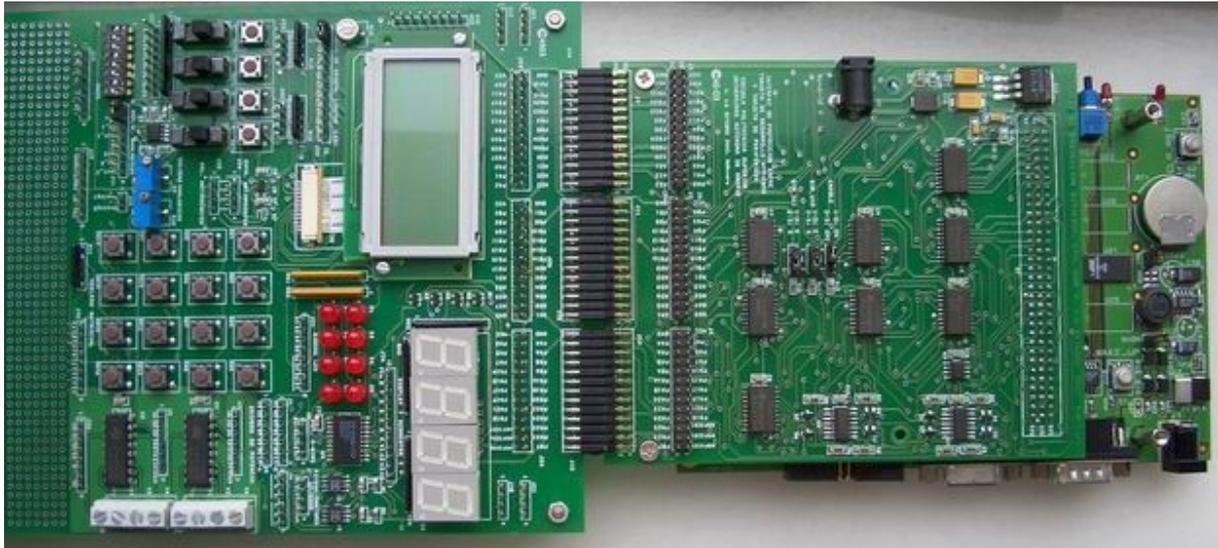


Figura 5. Conjunto completo

## 2.4 Analizador Lógico.

Otro de los objetivos propuestos para este laboratorio es que el alumno supiera manejar no sólo una herramienta de desarrollo y depuración software, sino también una potente herramienta de depuración hardware como es el analizador lógico.

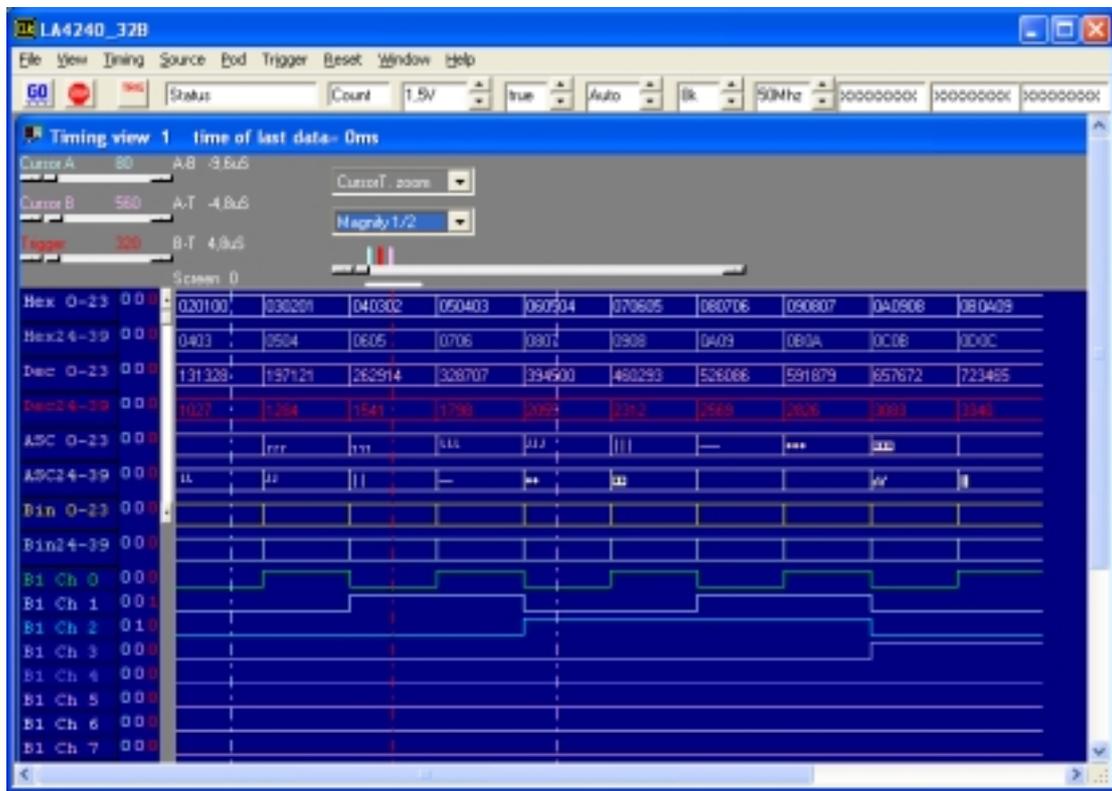


Figura 6. Captura de una pantalla del analizador lógico.

Por razones de espacio, operatividad y economía se eligió un analizador lógico que se conecta al PC, a través del puerto USB. El modelo elegido es el LA4240, de *Clock Computer Corporation* [9].

Las principales características son:

- 40 canales de entrada/salida
- Generador de patrones de 16 canales, hasta 100 MSa/s
- Memoria de 32K
- Diferentes velocidades de muestreo en función del número de canales utilizables:
  - 200 MSa/s con 24 canales (16 canales a 200MSa/s con 64Kbytes y 8 canales a 100MSa/s con 32KBytes)
  - Desde 1 Sa/s a 100MSa/s con 40 canales (40 canales a 1 Sa/s-100MSa/s con 32KBytes)
  - Reloj externo con 40Ch. (40 canales desde DC a 50MSa/s con 32KBytes)

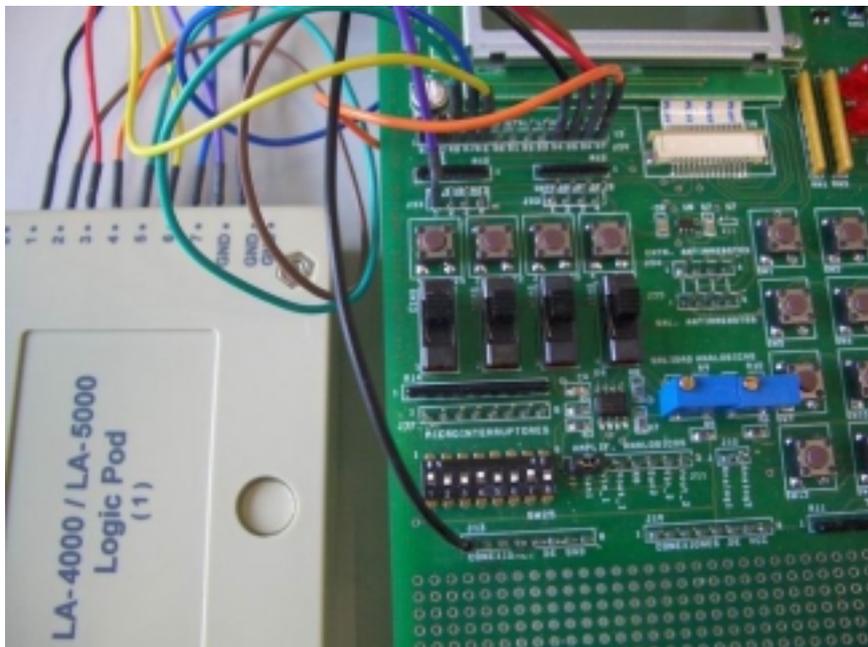


Figura 7. Detalle de conexión de sondas del analizador lógico

### 3 ORGANIZACIÓN DEL CURSO

#### 3.1 Configuración de cada puesto.

Los alumnos están organizados por parejas y cada pareja dispone de los siguientes elementos:

- Placa de Evaluación AT91EB55
- Placa de Periféricos
- Placa de Interfaz
- Analizador Lógico
- Ordenador Personal con el sistema de desarrollo software
- Fuente de alimentación

### 3.2 Desarrollo de las prácticas.

A grandes rasgos, las prácticas a realizar son:

- Práctica 1: Presentación de la placa de evaluación, programación del microprocesador ARM y manejo del sistema de desarrollo software SDT 2.50 (*Software Development Toolkit*). Primer contacto con el lenguaje ensamblador del ARM y el SDT.
- Práctica 2: Control de periféricos sencillos: medida de la temperatura ambiente a través del conversor analógico/digital y el sensor de temperatura que incluye la placa de evaluación. El resultado se presenta en los LEDs de dicha placa.
- Práctica 3: Diseño de un contador ascendente/descendente, modificado por algún pulsador. Captura del cronograma correspondiente por medio del analizador lógico.
- Proyecto: Con los conocimientos ya adquiridos de la herramienta, el ensamblador y el analizador lógico se propone un trabajo más complejo, que involucre no sólo periféricos de la placa de evaluación sino también de la placa de periféricos externa, añadiendo incluso más componentes en la zona de expansión de esta última placa.

### 4. CONCLUSIONES

El sistema de desarrollo descrito cumple con los requisitos necesarios para llevar a cabo un completo curso de laboratorio de Sistemas Electrónicos Digitales. El alumno adquiere conocimientos de lenguaje ensamblador, controla diferentes periféricos, utiliza herramientas que le permiten depurar cualquier diseño digital obteniendo, en suma, una visión global de todo el proceso.

### 5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Santos, E. Boemo, J. Faura, y J. Meneses, "Microcontrollers in Education", *Proc. IEEE 24th Frontiers on Education Conference*, San Jose, 1994. Disponible en <http://www.ii.uam.es/~ivan>.
- [2] M. Barrón y J. Martínez, "Equipo Didáctico para la Familia de uC 8051", *Actas TAAE '98*, Publicaciones UPM, 1998.
- [3] B. Martín y C. Bernal, "Visual 11 y Kit11: Herramientas para el aprendizaje del MC86HC11 de Motorola", *Actas TAAE '98*, Publicaciones UPM, 1998.
- [4] G. Aranguren y L. Nozal, "Prácticas con Microcontroladores PIC", *Actas TAAE '96*, Universidad de Sevilla, 1996.
- [5] A. Aledo y J. Sáenz, "Placas didácticas para el estudio de los microcontroladores de la Familia MC-51 y MC-96", *Actas TAAE '96*, Universidad de Sevilla, 1996.
- [6] G. Glez. de Rivera, S. López-Buedo, I. González, C. Venegas, J. Garrido, E. Boemo, "GP\_Bot: Plataforma Hardware para la enseñanza de robótica en la titulación de Ingeniería Informática". *Actas TAAE 2002*, pg 67 a 70. Las Palmas de Gran Canaria, Febrero de 2002
- [7] [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/DOC1709.PDF](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/DOC1709.PDF)
- [8] <http://www.ii.uam.es/~gdrivera/sed/inicio.htm>
- [9] <http://www.clock-link.com.tw/>
- [10] <http://www.atmel.com/>
- [11] <http://www.maxim-ic.com>