

# Formación en Microprocesadores en el Grado de Ingeniería en Electrónica de Comunicaciones

Fernando Pescador, Julián Nieto, Antonio Carpeño, Javier Corredor, Eduardo Barrera y Juan Manuel López  
Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control.  
Universidad Politécnica de Madrid (UPM).  
Madrid, España.  
pescador@sec.upm.es

**Abstract**— La implantación de los planes de estudio dentro del EEES en la E.U.I.T. de Telecomunicación de la UPM ha permitido implementar una estructura de las enseñanzas de Microprocesadores basada en el trabajo cooperativo que realizan los estudiantes y el desarrollo de proyectos de creciente complejidad. En este trabajo se detallan las metodologías empleadas en cada asignatura y los recursos utilizados. Si bien las conclusiones obtenidas hasta la fecha no se pueden considerar significativas debido a que aún no se ha implantado todo el plan de estudios, los resultados académicos de los estudiantes que han cursado estas asignaturas han sido muy favorables.

**Keywords-component;** *Microprocesadores, Microcontroladores, ECTS, EEES, Aprendizaje basado en proyectos.*

## I. INTRODUCCIÓN

La adaptación de los planes de estudio de las Escuelas de Ingeniería al marco del EEES ha dado lugar a modificaciones sustanciales tanto en los contenidos de algunas asignaturas como a cambios metodológicos para mejorar, entre otras cuestiones, el rendimiento académico de los estudiantes.

En el presente artículo se describe la metodología de trabajo que se propone para las asignaturas del plan de estudios de grado en Ingeniería en Electrónica de Comunicaciones relacionadas con la materia de microprocesadores. Adicionalmente se muestran las herramientas tanto hardware como software que se han empleado para poner en marcha las asignaturas. Finalmente, se incluye información relativa a los resultados académicos obtenidos por los estudiantes.

## II. MARCO DE APLICACIÓN

El objeto de este trabajo es mostrar como se han aplicado estos cambios a la formación en microprocesadores dentro del Plan de Estudios de la titulación de Grado en Ingeniería en Electrónica de Comunicaciones en la Universidad Politécnica de Madrid [1]. Dentro de este plan, las competencias relacionadas con esta materia que se describen en el Real Decreto se pueden resumir en los siguientes apartados:

- Capacidad de análisis y diseño de circuitos combinacionales y secuenciales, síncronos y asíncronos, y de utilización de microprocesadores y circuitos integrados.
- Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería.

- Capacidad de diseñar circuitos de electrónica analógica y digital, de conversión analógico-digital y digital-analógica para aplicaciones de telecomunicación y computación.
- Capacidad para seleccionar circuitos y dispositivos electrónicos especializados para la transmisión, el encaminamiento o enrutamiento y los terminales.
- Capacidad de realizar la especificación, implementación, documentación y puesta a punto de equipos y sistemas.

A partir de estas competencias se han definido unos resultados de aprendizaje que se han distribuido en tres asignaturas [2] a lo largo del Plan de Estudios:

- Microprocesadores (MIC) ubicada en el 4º semestre con 6 créditos ECTS.
- Sistemas Basados en Microprocesador (SBM) ubicada en el 5º semestre con 6 créditos ECTS.
- Ingeniería de Sistemas Electrónicos (ISE) ubicada en el 8º semestre con 4.5 créditos ECTS.

## III. METODOLOGÍA

La metodología que se aplica en este conjunto de asignaturas varía en función del semestre en el que se encuentra ubicada y del número de estudiantes. A continuación se detalla la metodología aplicada en cada una de ellas:

### A. *Microprocesadores*

La asignatura Microprocesadores es obligatoria para todas las titulaciones de grado de la E.U.I.T. de Telecomunicación lo que implica que el número de estudiantes matriculado sea superior a 150 en todos los semestres (esta asignatura se imparte tanto en el semestre de primavera como en el de otoño). Los estudiantes matriculados en cada semestre en la asignatura se dividen en grupos de 60 para las clases de teoría. A su vez cada uno de estos grupos da lugar a 4 grupos de laboratorio de 15 estudiantes cada uno.

Debido al elevado número de estudiantes asignados a cada grupo de teoría se ha optado por aplicar una metodología más clásica basada en lecciones magistrales, desarrollo de actividades en grupo y prácticas dirigidas de escasa complejidad.

$$\text{Nota} = 0.2 \cdot \text{NG} + 0.3 \cdot \text{NE1} + 0.3 \cdot \text{NE2} + 0.2 \cdot \text{NL}$$

Las actividades de la asignatura se han programado para 15 semanas lectivas y 2 semanas de evaluación. Por tanto, las horas de trabajo del alumno asignadas a los 6 créditos ECTS de la asignatura se han distribuido entre las 17 semanas de trabajo que realmente tienen los estudiantes.

La Subdirección Académica del centro ha considerado que un crédito ECTS corresponde con 25 horas de trabajo del estudiante por lo que a los 6 créditos de la asignatura se les asignan un total de 150 horas de trabajo lo que implica unas 8.8 semanales. De estas horas, 4 son de actividad presencial quedando el resto para actividades de los estudiantes fuera del aula (4.8 horas/semana).

La asignatura [3] se ha organizado en dos grandes temas, el primero cubre los contenidos relacionados con la arquitectura interna de un procesador sencillo que permite ejemplificar el modo en el que se ejecutan las instrucciones mientras que el segundo aborda la arquitectura interna de un microcontrolador comercial, el C8051F020 de la compañía SiLabs [5]. A lo largo del primer tema, los estudiantes no realizan actividades en el laboratorio por lo que los contenidos se presentan mediante clases magistrales y la realización de actividades, tanto individuales como de grupo, dentro y fuera del aula.

Por otro lado, en el segundo tema los alumnos invierten la mitad del tiempo asignado a las sesiones presenciales en la realización de prácticas en el laboratorio empleando el microcontrolador indicado anteriormente. Por supuesto, durante este segundo tema de la asignatura se mantienen las clases magistrales y los trabajos en grupo añadiendo la realización de pequeños proyectos en el laboratorio.

Un mayor detalle de los contenidos de la asignatura se muestra en la Tabla I.

TABLA I. CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA MICROPROCESADORES

<b>Tema 1</b>	<b>Arquitectura de un microprocesador</b>
1.1	Sistemas secuenciales con memoria. Definición de microprocesador
1.2	Elementos internos de un microprocesador
1.3	Arquitectura de tres buses
1.4	Programación de un sistema basado en microprocesador
1.5	Mapas de memoria
1.6	Temporización de un sistema basado en microprocesador
<b>Tema 2</b>	<b>Estudio del microcontrolador comercial c8051F020</b>
2.1	Núcleo del microcontrolador. Modelo de programación.
2.2	Memoria interna y externa
2.3	Puertos de Entrada/Salida
2.4	Gestión de interrupciones
2.5	Temporizadores

En cuanto a la evaluación de la asignatura esta se realiza teniendo en cuenta la calificación obtenida por los estudiantes en los trabajos individuales y en grupo que realizan a lo largo del cuatrimestre (NG), la nota de los dos exámenes escritos que se realizan en la asignatura, uno al finalizar el tema 1 (NE1) y otro al final del tema 2 (NE2) y la nota del laboratorio (NL). El promediado de estas calificaciones se realiza del siguiente modo:

## B. Sistemas Basados en Microprocesador

Esta asignatura es obligatoria para todos los estudiantes de la titulación de grado de Electrónica de Comunicaciones que se imparte en la E.U.I.T. de Telecomunicación de la U.P.M. Se trata por tanto de una asignatura en la que el número de estudiantes es reducido (en torno a 50 por semestre).

Al igual que ocurría en la asignatura microprocesadores esta asignatura tiene asignados 6 ECTS dentro del Plan de Estudios lo que implica una carga de trabajo total del estudiante a la semana de 8.8 horas de las cuales 4 son presenciales y el resto se realizan fuera del aula.

Para la asignatura SBM [4], se ha seleccionado una metodología basada en proyectos de mediana complejidad de modo que los estudiantes realizan dos proyectos a lo largo del cuatrimestre cuyo objetivo es integrar en una aplicación varios de los periféricos que posee el microcontrolador. Todas las actividades presenciales de la asignatura se realizan en el laboratorio estando los estudiantes separados en grupos de unos 12/14 estudiantes. Las actividades del laboratorio se realizan por parejas de modo que un profesor tiene asignadas entre 6 y 7 parejas a las que debe supervisar y evaluar.

El primero de los diseños que realizan los estudiantes es un diseño guiado en el que a lo largo de 8 semanas van desarrollado varios módulos de un frecuencímetro programable con envío de datos a través del puerto serie. El objeto de este diseño es presentar a los estudiantes una metodología que les permita abordar la realización este tipo de aplicaciones de forma autónoma. En cada una de las semanas asignadas a este diseño se les presenta un nuevo periférico a los estudiantes con el que realizan una práctica sencilla e independiente del resto de periféricos. Posteriormente integran el módulo desarrollado con el resto de la aplicación que están construyendo. Como resultado final, los estudiantes disponen de un sistema completo cuya funcionalidad es evaluada por el profesor al finalizar la aplicación (semana 8). Los recursos hardware empleados a lo largo de este primer diseño son los puertos de entrada/salida, los temporizadores, un teclado hexadecimal, un LCD, algunos pines de E/S de propósito general y un puerto de comunicaciones serie asíncronas (UART).

Por otra parte, el segundo de los diseños es abierto de modo que a partir de unos requisitos muy generales los estudiantes deben implementar la aplicación concretando la especificación del sistema. En este diseño se debe incluir, además de algunos de los periféricos ya empleados en el diseño anterior, alguno que todavía no haya sido utilizado anteriormente, con objeto de que los estudiantes realicen de forma autónoma un estudio del mismo aplicando la metodología empleada a lo largo del primer diseño. Si bien se realiza una propuesta de diseño por parte de los profesores de la asignatura, se deja abierta la posibilidad de que los estudiantes propongan sus propios diseños que serán evaluados antes de su realización por parte del profesor para valorar su complejidad y adecuación a los objetivos de la asignatura.

Tras la realización de este segundo diseño los estudiantes deben elaborar una memoria y realizar una presentación al

tribunal de la asignatura de las opciones de diseño que han tomado.

La Tabla II muestra de forma resumida los contenidos abordados en la asignatura.

TABLA II. CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA SBM

Diseño 1	Metodología para el desarrollo de una aplicación de mediana complejidad
1.1	Gestión de dispositivos externos
1.2	Mapa de memoria externa
1.3	Temporizadores
1.4	Módulos de captura y comparación
1.5	Generador PWM
1.6	Comunicaciones serie asíncronas
Diseño 2	Desarrollo de una aplicación de mediana complejidad
2.1	Desarrollo
2.2	Pruebas
2.3	Presentación

La calificación de esta asignatura se obtiene a partir de tres factores que poseen el mismo peso en la nota final:

- la evaluación de las diferentes fases en las que se divide el primer diseño,
- la realización de un examen escrito tras la finalización del primer diseño (semana 8),
- y el desarrollo y presentación del segundo diseño.

### C. Ingeniería de Sistemas Electrónicos

Finalmente, en la asignatura de Ingeniería de Sistemas Electrónicos cada grupo de estudiantes realiza un proyecto en el que se deben integrar subsistemas analógicos, digitales y basados en microprocesador.

La metodología de esta asignatura es basada en un único proyecto que los estudiantes realizan a lo largo de todo el semestre. En la primera semana se presenta el diseño y se concretan las especificaciones. A partir de ese instante, los alumnos desarrollan en grupo el proyecto de forma autónoma.

La asignatura integra conocimientos adquiridos a lo largo de toda la carrera por lo que el proyecto propuesto tiene una mayor complejidad para los estudiantes. Respecto a los conocimientos de microprocesadores es interesante hacer notar que la principal novedad que presenta esta asignatura es que el procesador ejecuta un sistema operativo en tiempo real en el se ejecutan las diversas tareas que realiza el procesador. En cuanto a los periféricos, la aplicación que se debe desarrollar puede integrar cualquiera de los periféricos internos u otros externos que sean necesarios.

En la actualidad esta asignatura aún no ha sido impartida debido a la progresión en la implantación del Plan de Estudios. La primera impartición de esta asignatura se realizará en el semestre de primavera de 2013. En la actualidad se está realizando la programación de la asignatura y la guía de actividades.

## IV. HERRAMIENTAS HW Y SW

Todas las asignaturas indicadas anteriormente emplean como microcontrolador de referencia el C8051F020 [5] de la compañía Silicon Labs. Se trata de un microcontrolador basado en el núcleo 8051 de Intel optimizado para mejorar su rendimiento. También incluye memorias internas de programa y datos así como numerosos periféricos. Las características más significativas son:

- Núcleo capaz de ejecutar 25 MIPS
- Memoria interna de datos de 4kB
- Memoria interna de programa tipo FLASH de 64kB
- Capacidad de acceso a memoria externa de datos
- 2 Convertidores AD de 10 y 12 bits
- Convertidor DA de 8 bits
- 2 Comparadores analógicos y generador de tensión de referencia
- 2 UARTs y un puerto I2C
- 5 temporizadores de propósito general
- Generador de PWM
- Hasta 8 puertos de 8 bits de E/S de propósito general

Para la realización de las prácticas los estudiantes disponen de dos sistemas de desarrollo el ToolStick UniSDK [6] (ver Figura 1) y el C8051F020DK [7] (Figura 4) que incorporan el microcontrolador. El primero de estos sistemas es muy sencillo y económico (alrededor de 25 euros) para que los alumnos que lo deseen puedan adquirirlo y, si lo desean, realizar las prácticas fuera del laboratorio.

Este entorno de desarrollo es el empleado en la asignatura Microprocesadores puesto que incorpora los periféricos (interrupciones externas, leds y microinterruptores) necesarios para realizar la totalidad las prácticas a excepción de la última. Para esta última práctica se ha desarrollado una tarjeta auxiliar como la mostrada en la Figura 2 que añade la posibilidad de trabajar con dos interrupciones externas adicionales, cuatro displays 7 segmentos y ocho microinterruptores.

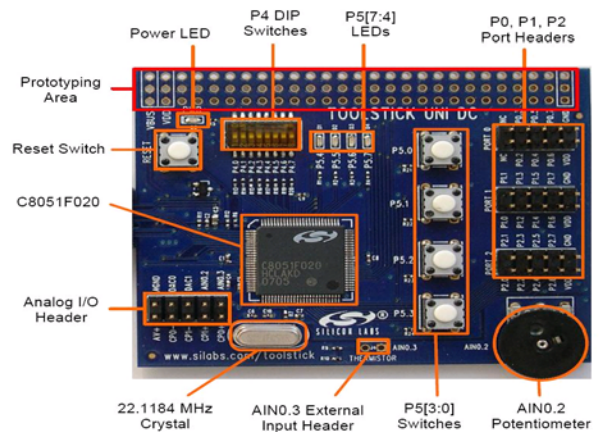


Figura 1. Aspecto del sistema de desarrollo ToolStick UniSDK

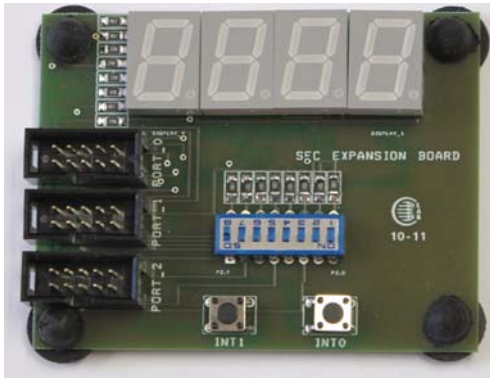


Figura 2. Aspecto de la tarjeta auxiliar del sistema de desarrollo ToolStick UniSDK desarrollada para la asignatura de Microprocesadores.

Para la depuración de las aplicaciones en este sistema de desarrollo se emplea el emulador USB que se puede apreciar en la Figura 3. Se trata de un emulador incluido dentro del paquete "ToolStick" y que se integra, bien con el entorno de desarrollo distribuido gratuitamente por SiLabs, bien con el entorno uVision del fabricante Keil [8], ampliamente empleado para trabajar con todo tipo de procesadores.

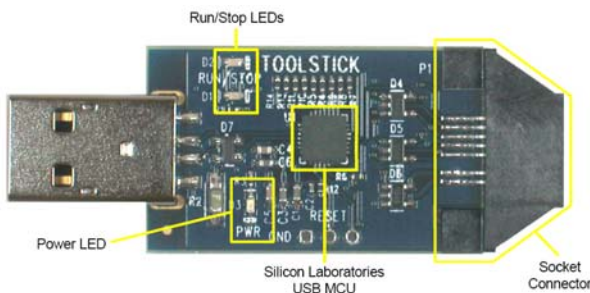


Figura 3. Aspecto del emulador USB empleado con el ToolStick UniSDK

El segundo de los sistemas empleados es más costoso (alrededor de 70 euros) por lo que se encuentra a disposición de los estudiantes en el laboratorio. Este sistema dispone del procesador, un reloj externo, el circuito de reset, una interrupción externa y un puerto RS232. Además incorpora un conector en el que están disponibles todos los pines del procesador lo que lo hace muy interesante para desarrollar placas auxiliares. La Figura 4 muestra el aspecto de esta tarjeta de desarrollo.

Para realizar las prácticas se ha desarrollado una tarjeta denominada "Eagle Board" con numerosos periféricos que se emplea en las asignaturas SBM e ISE. La Figura 5 muestra el aspecto de la tarjeta que incorpora los siguientes periféricos:

- Display LCD de dos líneas de 20 caracteres,
- Teclado hexadecimal,
- Sensor de temperatura,
- Reloj en tiempo real controlador por I2C,

- Led de alta luminosidad conectado al generador de PWM,
- Memoria serie conectada a través de la interface SPI,
- Termómetro digital de un solo hilo,
- Displays 7 segmentos y microinterruptores,
- Controlador para una segunda UART 1,
- Pulsadores de propósito general con conexión a algún pin de E/S o interrupción,
- Circuitos de protección para todas las entradas,
- Señales de expansion que permiten conectar nuevos dispositivos a la placa de prototipos.

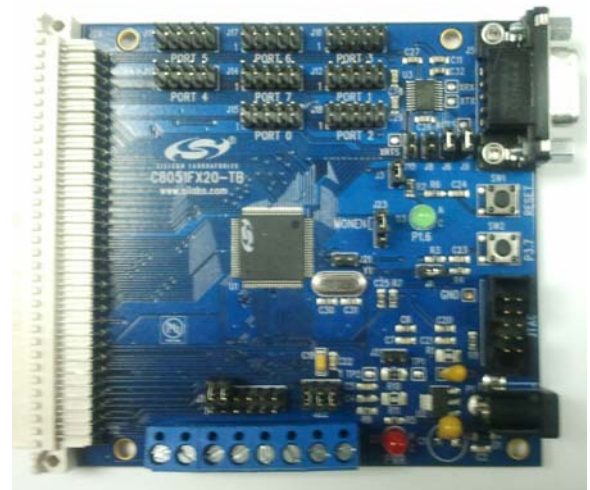


Figura 4. Aspecto de la tarjeta C8051F020DK

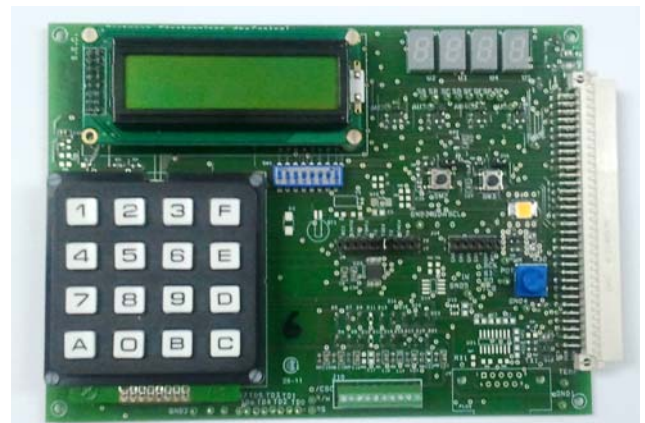


Figura 5. Aspecto de la tarjeta de periféricos desarrollada

## V. RESULTADOS ACADÉMICOS

En el momento de escribir este documento los resultados académicos que se han obtenido no pueden considerarse significativos puesto que la asignatura Microprocesadores se ha impartido en dos ocasiones (semestre de primavera del curso 10/11 y semestre de otoño del curso 11/12) y la asignatura

Sistemas Basados en Microprocesador en tan sólo una ocasión (semestre de otoño del curso 11/12). La asignatura Ingeniería de Sistemas Electrónicos aún no se ha impartido.

A pesar de la falta de resultados que se puedan considerar generalizables y que permitan extraer conclusiones significativas, se muestran a continuación los resultados obtenidos que se espera se puedan repetir en próximas ediciones de las asignaturas.

La Figura 6 muestra los resultados académicos de la asignatura Microprocesadores en las dos ediciones en las que se ha impartido. Como se aprecia el porcentaje de aprobados es elevado y se encuentra alrededor del 70%. Además el número de estudiantes que no se han presentado al examen de la asignatura es reducido y se puede estimar en un 10%. Ambos datos son sensiblemente mejores a los de otras asignaturas que se encuentran ubicadas en el mismo semestre. Finalmente, cabe reseñar que la nota media que obtienen los estudiantes en esta asignatura es de 6.5 puntos haciendo la media entre ambas convocatorias.

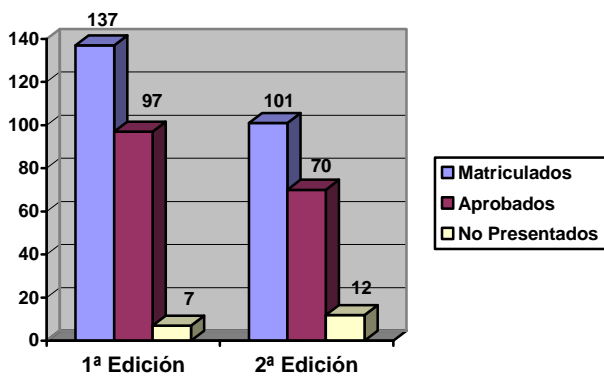


Figura 6. Resultados académicos de la asignatura Microprocesadores.

En relación con la asignatura Sistemas Basados en Microprocesador hay que indicar que en la única convocatoria en la que se ha impartido, sólo había 11 estudiantes matriculados. Todos ellos aprobaron la asignatura siendo la media de las calificaciones de 7.0 puntos.

Estos datos deben analizarse cuidadosamente puesto que se trata de los 11 mejores estudiantes que ingresaron en la

titulación de Electrónica de Comunicaciones dos años antes por lo que sus resultados académicos en la mayor parte de las asignaturas son sensiblemente superiores a la media.

## VI. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha presentado la estructura de las asignaturas que dan soporte a la materia de microprocesadores dentro del Plan de Estudios de la titulación de grado en Ingeniería en Electrónica de Comunicaciones de la E.U.I.T. de Telecomunicación de la U.P.M. Para cada asignatura se ha justificado la metodología que se ha aplicado y los contenidos que se han incluido en función de su ubicación dentro del Plan de Estudios. Finalmente, se presentan los resultados académicos de las dos únicas asignaturas que se han impartido hasta la fecha. Si bien los resultados estadísticos que se pueden extraer no son significativos debido a las pocas ocasiones en las que se ha impartido cada asignatura, si cabe reseñar que el rendimiento de las asignaturas se ha incrementado respecto a otras propuestas metodológicas que se han empleado anteriormente en otras asignaturas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren agradecer su ayuda a todos los profesores que han participado en la elaboración de los contenidos y la revisión de los mismos. Finalmente, no queremos olvidar a nuestro compañero Javier Hernández que desafortunadamente no ha podido ver el resultado de este proyecto en el tanto creía. Su entusiasta trabajo en estas asignaturas ha servido de inspiración para todos los que hemos trabajado en ellas.

## REFERENCES

- [1] <http://www.euitt.upm.es/estudios/grado/electronica>.
- [2] Boletín Oficial del Estado de día 20 de febrero de 2009. Sección I. Pág. 18150-18157.
- [3] <http://www.euitt.upm.es/uploaded/asignaturas/2011/GRADO/12.pdf>.
- [4] <http://www.euitt.upm.es/uploaded/asignaturas/2011/GRADO/61.pdf>.
- [5] <http://www.silabs.com/products/mcu/mixed-signalmcu/Pages/C8051F02x.aspx>.
- [6] <http://www.silabs.com/products/mcu/Pages/MCUUniversity.aspx>.
- [7] <http://www.silabs.com/products/mcu/Pages/C8051F020DK.aspx>.
- [8] <http://www.keil.com/dd/chip/4200.htm>.