

## **EL LABORATORIO EN CASA: UN SISTEMA DE DESARROLLO BASADO EN EL MICROCONTROLADOR 68331, DE BAJO COSTE**

J.M. MONTERO, J. COLÁS, T. PALACIOS, R. DE CÓRDOBA, J. MACÍAS, A. DE SANTOS.

*Departamento de Ingeniería Electrónica - Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación- Universidad Politécnica de Madrid. 28040-Madrid. España*

*En esta comunicación se describe la tarjeta entrenadora K68331-DOC del DIE-ETSIT-UPM, basada en el MC68331, que permite a los alumnos prototiparse su propio sistema digital empleando un microcontrolador de 32 bits, en su casa y a bajo coste. También se describe el entorno de desarrollo que se ofrece con la tarjeta, así como las primeras experiencias docentes y las prácticas especiales que se encuentran disponibles.*

### **1. Introducción**

En la actualidad numerosos planes de estudio contienen asignaturas troncales relacionadas con la enseñanza de la ingeniería de los microprocesadores, en las que se combina una parte teórica y una parte práctica, cubriendo un amplio espectro de alumnos que va desde los que tienen simplemente interés por conseguir créditos, hasta aquellos que presentan una incipiente vocación por los sistemas digitales.

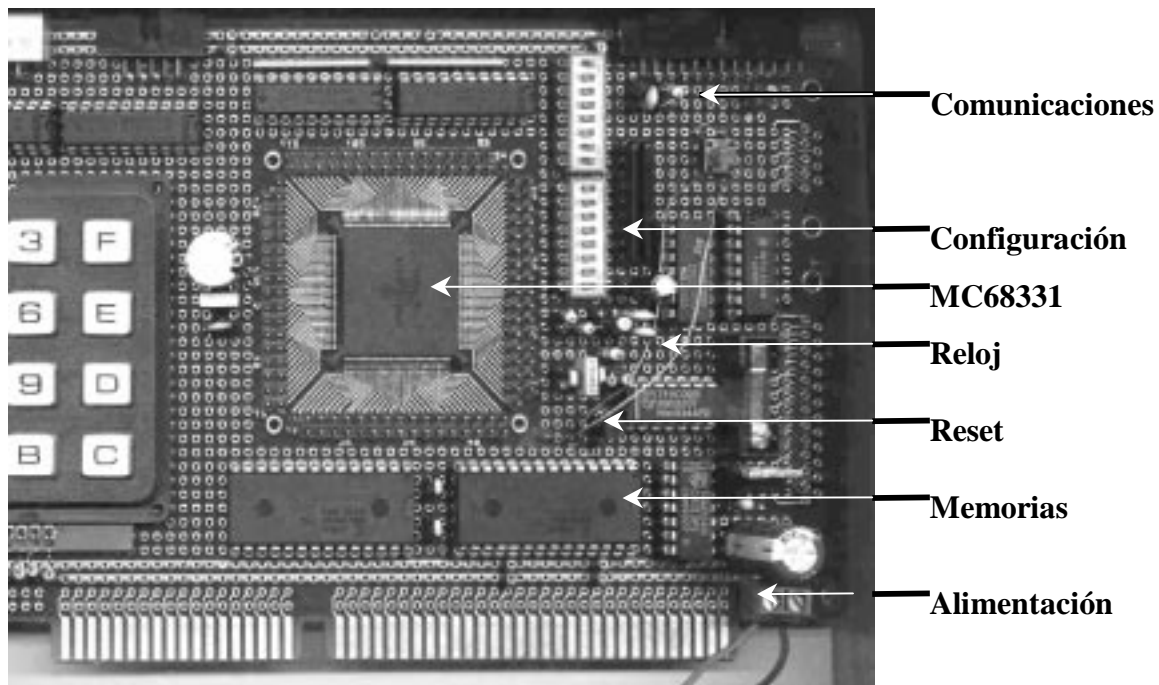
En los últimos años, los microcontroladores nos han abierto la posibilidad de que el alumno vocacional se construya su propio sistema con un reducido coste tanto en tiempo como en dinero. Nuestro Departamento ha venido ofreciendo a los alumnos la posibilidad de construirse su propia placa basada en el 68HC11, prototipándola en wire-wrapping, todo ello dentro de la asignatura troncal Laboratorio de Sistemas Electrónicos Digitales, de 3º curso. A pesar de que la asignatura teórica se centraba fundamentalmente en el MC68000, entre un 5% y un 10% de los alumnos optaban por emplear el 68HC11 en el laboratorio, seducidos por las posibilidades que ello les abría: hacer la práctica fuera de los laboratorios y los horarios del Dpto., obtener un sistema de su propiedad, profundizar más en una materia cuya práctica les seduce, abordar diseños propios más ambiciosos (con la posibilidad de poder continuarlos una vez cursada la asignatura), etc.

Dado el éxito de esta propuesta, el Dpto. se ha planteado solucionar esta disparidad entre la teoría y la práctica (entre vocacionales y no vocacionales), de tal manera que los alumnos vocacionales sigan disfrutando de la posibilidad de adquirir o prototiparse su propia tarjeta. Unificar ambas tendencias en torno al 68HC11 presentaba el inconveniente de tratarse de un microcontrolador ya veterano de 8 bits que no cuenta con algunos conceptos teóricos o prácticos interesantes: funcionamiento en modo supervisor/usuario, cesión de bus, depuración en segundo plano, mapa de memoria amplio, etc. Por este motivo se eligió un micro de 32

bits, el 68331, el miembro menos costoso de la familia Motorola 683xx, compatible con el MC68000 desde el punto de vista de modelo de programación y ensamblador, pero que cuenta con periféricos similares a los de cualquier microcontrolador.

## 2. El prototipo

El primer problema al abordar un prototipo basado en el 68331 fue su tipo de encapsulado, que nos obligó a trabajar con montaje superficial. El Departamento diseñó y mandó fabricar un conjunto de tarjetas destinadas a wire-wrapping (con agujeros metalizados), que tienen soldado un 68331 en su zona central, con todos sus terminales fácilmente accesibles por medio de unas tiras para wire-wrapping soldadas también a la placa (Fig. 1). La tarjeta incorpora la posibilidad de conectarse a un bus ISA de PC-compatible, pero esta línea no ha sido explorada todavía. La frecuencia de trabajo elegida (16 KHz) no supone un obstáculo para el trabajo con wire-wrapping. El alumno debía incorporar los circuitos de: reloj, *reset*,



**Figura 1:** *Detalle de una de las tarjetas construidas por los alumnos*

configuración inicial, la memoria RAM, una alimentación regulada y el puerto de comunicaciones para depuración.

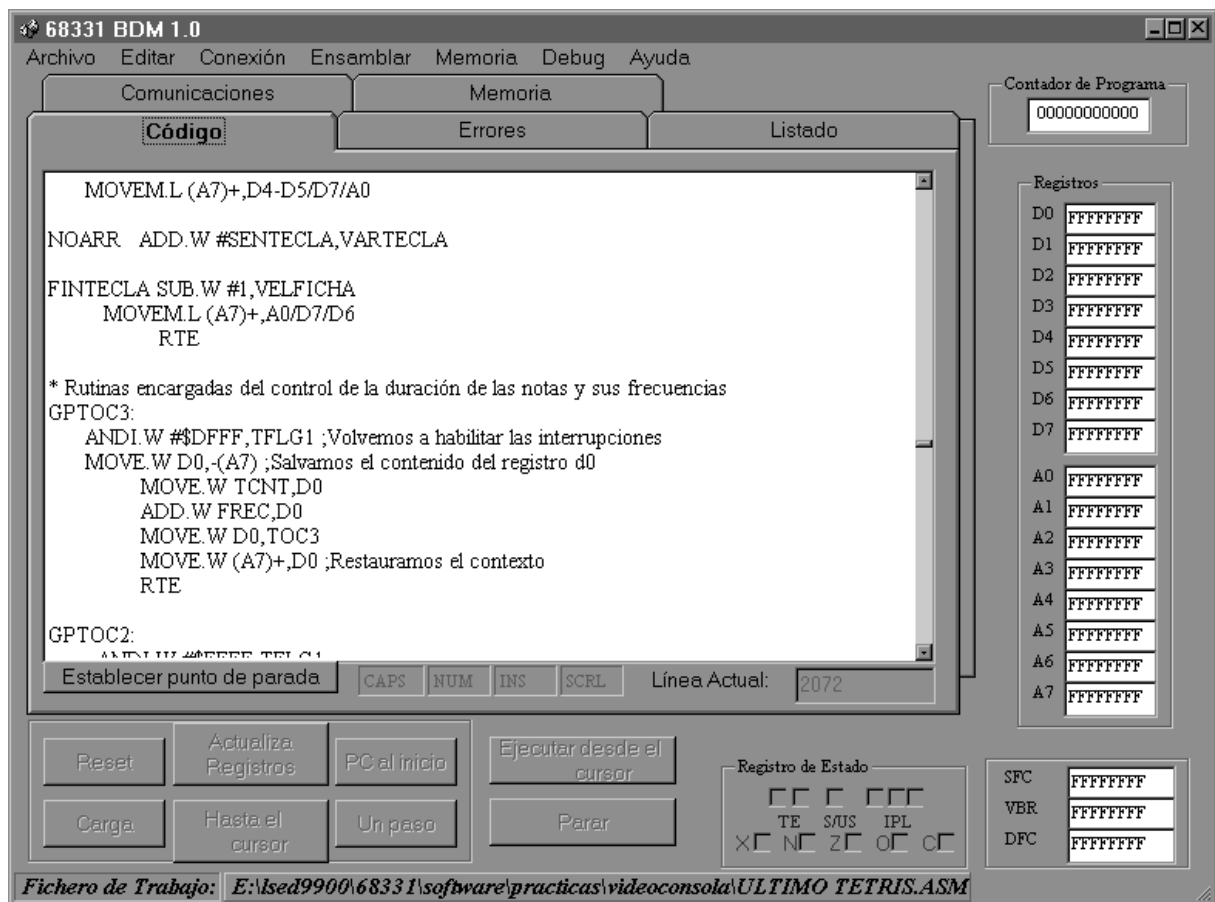
En una primera fase, 3 alumnos que ya habían cursado el laboratorio, realizaron 3 prototipos supervisados por 2 profesores. El tiempo medio fue de tan sólo unas 40 horas por prototipo.

## 3. El entorno de desarrollo

El 68331 posee un puerto serie síncrono exclusivo para labores de depuración de programas. Comunicándonos con dicho puerto desde un PC podemos realizar las tareas de: cargar y ejecutar un programa, detener su ejecución, visualizar y modificar registros o memoria (todo

ello en paralelo con la ejecución del programa y sin necesidad de consumir un puerto serie asíncrono ni incluir un programa monitor).

Como entorno de desarrollo se ha construido un programa en Visual Basic (Fig. 2), aunque el ensamblador y las rutinas de comunicaciones con la placa del 68331 forman una DLL escrita en Visual C. El entorno permite editar, ensamblar, cargar, depurar programas, ejecutar hasta el cursor, comunicarse a través de un puerto serie del PC, insertar puntos de ruptura, etc., todo ello de una manera fácil e intuitiva. Para ello nos hemos basado en el programa de prueba TEST32 que proporciona el fabricante, cuya funcionalidad hemos ampliado. Nuestro programa contiene además un amplio y detallado manual de funcionamiento (que contiene también las instrucciones de montaje de la placa), con diversos ejemplos de programación que



**Figura 2:** Entorno de desarrollo

incluyen el manejo de dispositivos de entrada/salida típicos (teclado matricial, display LCD), comunicaciones (puerto serie RS-232), de temporización (reloj de tiempo real), etc.

En torno a este sistema se han comenzado a desarrollar un conjunto de prácticas básicas que introducen al alumno en problemas de comunicaciones y control que le pueden ser útiles en la realización de diseños personalizados más complejos y realistas (aquellos que más satisfacen al alumno vocacional). Estas prácticas incluyen: una **interfaz telefónica** (con las operaciones más comunes de marcación, detección de llamada, colgar, descolgar y decodificar tonos DTMF, y que permite al alumno llevar a cabo prototipos domóticos controlables por vía telefónica), **comunicaciones digitales** y **control remoto** por medio de infrarrojos y

radiofrecuencia, **comunicaciones a través de la red eléctrica** convencional (para acceder a puntos remotos de una casa o de una empresa sin necesidad de nuevo cableado), **interfaces vocales** simples basadas en síntesis y reconocimiento de voz, etc.

#### 4. Experiencia docente

En Febrero del 2000 comenzó el Laboratorio de Sistemas Electrónicos Digitales, en el cual nuevos alumnos se construyeron su propio prototipo, y con él realizaron dentro de una de las 2 modalidades que ofrece la asignatura: el diseño final propuesto (control de velocidad de un motor de continua con PWM, dependiente de la temperatura ambiente) o una práctica especial (propuesta por los propios alumnos o por algún profesor). El precio de cada prototipo está en torno a las 12.000 pesetas (6.000 de componentes y 6.000 de placa, todo ello sin contar el *wire-wrapper*). Como complemento a la información del manual, se proporcionaron *net-list* detallados y sesiones tutorizadas de laboratorio, a fin de minimizar el tiempo de construcción.

Se recibieron 44 solicitudes (23,5% del alumnado), pero sólo disponíamos de placas para 31 parejas. Tres parejas no consiguieron completar el prototipo y otras dos quemaron el micro durante la fase de montaje, teniendo que recurrir a otras tarjetas para la realización de la práctica. Tres micros más se quemaron durante la realización de las prácticas (obligando a emplear las tarjetas construidas por el Dpto. para estos casos). Hay que destacar que algunas de estas tarjetas no tenían protegidos los puertos de entrada y salida o no tenían fusible. 23 parejas completaron el montaje sin problemas graves (74%). El tiempo medio de montaje fue de unas 70 horas (estimación por encuesta), con unas 20 de corrección de conexiones.

Entre las práctica especiales realizadas (y disponibles en [juancho@die.upm.es](mailto:juancho@die.upm.es)) podemos destacar: 4 **coches autónomos** (con capacidad para seguir una ruta programada, recorrer una superficie limitada por paredes, detectar obstáculos por infrarrojos, así como permitir su control por un enlace digital de radiofrecuencia o mediante un mando de infrarrojos), una **videoconsola** (con un LCD gráfico de 128 por 128 puntos, música y un juego de Tetris ya programado), un **visualizador de espectro de voz** (capaz de analizar 16 bandas de energía a partir de una FFT de 256 puntos, en tiempo real), 2 sistemas de **reconocimiento de voz** (basados en la técnica ya clásica de *Dynamic Time Warping*), 1 **grabador de memorias EEPROM** (con un interfaz en Visual Basic para su control desde un PC), 3 **sistemas telefónicos automáticos** (con respuesta vocal), 2 **brazos articulados** (que buscaban focos de luz o de calor), un pequeño **sistema operativo multitarea**.

#### 5. Conclusiones

Con esta experiencia docente, abrimos la posibilidad de emplear microcontroladores de 32 bits en nuestros laboratorios, sin perder por ello la capacidad de prototipar en wire-wrapping con bajo coste, aunque parece que resulta aconsejable proporcionar la placa madre en PCB, o incluir su montaje dentro de otra asignatura (de libre elección) con más créditos. La utilización de un sistema propiedad del alumno se ha demostrado que fomenta la creatividad, el esfuerzo personal, así como el trabajo fuera de las instalaciones de los laboratorios. Igualmente se ha experimentado un incremento del número de prácticas especiales, fruto de la mayor implicación de los alumnos en el laboratorio.