

# DISEÑO DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS DIGITALES BASADOS EN EL PROCESADOR TMS320C3X DE TEXAS INSTRUMENTS. UNA VISIÓN PRÁCTICA.

*Sergio Gallardo, Javier Lillo, Sergio Toral, Federico Barrero*

*Universidad de Sevilla. sgallardo@gte.esi.us.es*

## RESUMEN

*Este trabajo resume y presenta las principales características y contenido de una nueva obra, recientemente publicada, relacionada con el procesador digital de señal (DSP) TMS320C3x de Texas Instruments. La obra se centra en ofrecer aplicaciones prácticas basadas en los DSPs comentados, abordándose la labor de diseño de un sistema digital completo y mitigando el déficit que existe en cuanto a este tipo de material lectivo y educativo.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Estrictamente hablando, el término DSP es aplicable a cualquier circuito integrado que trabaje con señales representadas de forma digital. En la práctica, se refiere a microprocesadores específicamente diseñados para realizar procesamiento digital de señal, para lo cual utilizan arquitecturas internas especiales que les permitan acelerar los intensos cálculos matemáticos que se les presupone van a realizar.



Figura 1. Ejemplo de uso de los DSPs.

Uno de los fabricantes que más ha apostado por el desarrollo de este tipo de microprocesadores es Texas Instruments. Hoy en día, algunos de los DSPs de mayor interés que se pueden encontrar en el mercado son los que diseña Texas Instruments bajo el nombre genérico TMS320. Estos DSPs ofrecen un elevado nivel de integración de dispositivos y periféricos internos lo que disminuye, considerablemente, el coste del hardware del sistema completo (son pocos los integrados externos que hacen falta para diseñar un producto final) y mejora su fiabilidad (cuanto menor sea el número de periféricos externos necesarios, menor será la probabilidad de equivocarse al diseñar el producto final).

La tecnología ha avanzado a un ritmo tan vertiginoso que, si a finales de los años ochenta la enseñanza de los DSPs formaba parte de los cursos de post-graduado, desde la década de los noventa los DSPs forman parte de las enseñanzas universitarias y constituyen una herramienta básica para muchos científicos e ingenieros. Así, en la Escuela de Ingenieros de Telecomunicación de Sevilla, el estudio de los sistemas electrónicos digitales se ha enfocado hacia el análisis de la estructura, funcionamiento y aplicaciones de los DSPs. En tercer curso, se imparte una asignatura obligatoria denominada “Complemento de Sistemas Electrónicos

Digitales”, centrada en el análisis de una de las familias de procesadores digitales de señal más extendida, la TMS320C3x de Texas Instruments.

Por otro lado, es posible encontrar en la literatura algunas obras dedicadas a los sistemas electrónicos digitales basados en DSPs pero es notable el gran déficit que existe de obras en las que se planteen aplicaciones prácticas de los mismos. Lo normal es que los libros que versan sobre el análisis de los DSPs tan sólo incluyan meros ejercicios ilustrativos y no aborden la labor de diseño de un sistema digital completo.

El libro que se presenta en este trabajo cubre el análisis y diseño de sistemas digitales complejos, basados en el TMS320C3x, con una clara orientación a su aplicación en el tratamiento de señales digitales. El destinatario es un alumno de Ingeniería de Telecomunicación al que se presupone unas nociones elementales sobre sistemas digitales.

## **2. ESTRUCTURA DEL LIBRO**

No es necesario insistir en la gran importancia que tiene la realización de problemas en las enseñanzas científico-técnicas, imprescindible para que el alumno pueda afianzar conceptos, relacionarlos y llevarlos a la práctica. Sólo de esa manera, la adquisición de datos teóricos se puede transformar en un conocimiento explícito, aplicable por el alumno ante las diversas circunstancias que surgen durante la resolución de un problema. Los conocimientos teóricos, por muy útiles que puedan ser para cualquier persona que está instruyéndose en una materia determinada, son insuficientes a la hora de enfrentarse a la realidad laboral. Esta idea es corroborada por numerosas encuestas realizadas tanto a empresas como a estudiantes. Para paliar estas carencias, es conveniente enfrentarse a la realidad, pues hay conocimientos, sobre todo en el campo científico-técnico, que no pueden adquirirse más que con la práctica en la materia correspondiente.

Este libro trata de cubrir esa necesidad, y pretende ser simplemente una recopilación de problemas o pequeños proyectos surgidos de la experiencia de los autores a lo largo de su trayectoria docente e investigadora en la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla. Todos ellos se encuentran basados en la familia de procesadores digitales de señales (DSP) TMS320C3x de Texas Instruments. Se trata de una familia de procesadores de 32 bits, en punto flotante, ampliamente utilizada en numerosas aplicaciones industriales y que se encuentra dotada de una gran capacidad de procesamiento.

Por tanto, el libro se encuentra estructurado como una sucesión de proyectos en los que se plantea un enunciado, que presenta la funcionalidad requerida, y una solución que trata de dar respuesta a esas premisas. El “espíritu” con el que se presenta la obra es el de fomentar en el lector el espíritu crítico que debe acompañar a todo diseñador de sistemas electrónicos, la toma de decisiones así como la búsqueda de alternativas antes de escoger de entre todas ellas la más óptima.

## **3. INDICE DEL LIBRO**

El libro aborda el desarrollo de los contenidos mediante el planteamiento, y posterior resolución, de veintidós “proyectos” prácticos relacionados con el diseño de sistemas microprocesadores basados en un DSP de la familia TMS320C3x. Los casos prácticos abordados son los siguientes:

1. Cuestiones de teoría aplicada.
2. Sistema de desarrollo basado en EPROM externa de 8Kx8.
3. Sistema microprocesador de propósito general con display de 4 dígitos.
4. Prototipo para el control de procesos industriales basado en un TMS320C30.
5. Sistema de procesamiento en paralelo basado en dos TMS320C31 y 4 EPROMs de 8Kx8.
6. Diseño de sistema microprocesador basado en un TMS320C31 con EPROM de 256Kx8.
7. Evaluador de programas de usuario basado en TMS320C31 con un único dispositivo externo de 64Kx8.
8. Sistema digital basado en TMS320C30 con dispositivo de gestión de interrupciones.
9. Diseño de un osciloscopio digital para PC.
10. Sistema microprocesador de funcionamiento autónomo para procesamiento de audio basado en un TMS320C30.
11. Tarjeta para PC de evaluación del TMS320C30.
12. Diseño de un sistema microprocesador para procesamiento de 8 señales analógicas con conexión serie asíncrona.
13. Tarjeta de adquisición de datos basada en un TMS320C3x y controlada por el puerto paralelo de un PC.
14. Placa multiprocesadora basada en dos DSPs TMS320C3x con conexión por el puerto serie síncrono.
15. Prototipo de sistema de control en tiempo real basado en el TMS320C31, optimizando los tiempos de ejecución.
16. Tarjeta para PC, con conexión mediante bus XT, basada en TMS320C31.
17. Sistema digital basado en TMS320C30 y conectado con el Motorola MC68HC11 por el puerto serie síncrono.
18. Plataforma de desarrollo para PC con capacidad de funcionamiento autónomo y lectura de un CAD mediante FIFO.
19. Diseño de sistema digital basado en TMS320C32.
20. Sistema basado en el DSP TMS320C3x con capacidad de ejecutar programas desde dos memorias diferentes.
21. Procesamiento de señales analógicas de baja frecuencia con carga de código por puerto serie síncrono.
22. Sistema digital basado en TMS320C3x funcionando en modo microprocesador con gestión de 5 interrupciones externas.

#### **4. EJEMPLO DE PROYECTO PRÁCTICO**

En las siguientes figuras se muestra, como ejemplo, el planteamiento y resolución de uno de los proyectos prácticos que forman parte del libro. En este caso, se propone el diseño de un osciloscopio digital para PC.

**Diseño de un osciloscopio digital para PC**

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Un osciloscopio digital es un instrumento electrónico que sirve para procesar y visualizar señales analógicas de tensión. El fundamento del osciloscopio digital es el muestreo de la señal (tensión) de entrada para, posteriormente, procesarla digitalmente.

Se desea diseñar un prototipo sencillo de osciloscopio digital para PC, basado en uno de los DSPs de la familia TMS320C3x de Texas Instruments estandarizados (TMS320C30 ó TMS320C31). El osciloscopio constará en una tarjeta, basada en el DSP, que se va a conectar con el PC por medio del bus XT (el PC es un sistema microprocesador que dispone, entre otras, de una interfaz XT –suponer que esta interfaz consiste en un bus de datos de 8 bits, de direcciones de 12 bits y de control de 2 bits<sup>1</sup>– que puede ser utilizada para conectar otros sistemas digitales al PC). El DSP se empleará en el muestreo y procesamiento de los datos que, posteriormente, serán enviados al PC.

El osciloscopio que se va a implementar está, por tanto, controlado por el PC (que debe gobernar el reset del DSP y que debe generar la orden de inicio de captura de datos para el DSP). La señal temporal es muestreada por el DSP a una frecuencia fija de 5MHz hasta que capture 4096 datos de 8 bits que, luego, son procesados en el DSP y, finalmente, son enviados al PC.

Sabiendo que el osciloscopio es de un único canal analógico (sirve para visualizar una sola señal temporal) y que el sistema a diseñar dispone de un cristal de cuarzo de 50MHz.

Se pide:

- Realizar un diseño en el que no se disponga de ningún periférico externo de tipo memoria (se podrán utilizar latches, pines, convertidores, ...).
  - Indicar el DSP que utilizarías. Justificar la respuesta.
  - Indicar si es necesario algún(os) periférico(s) o dispositivo(s) externo(s) y de qué tipo. Indicar las características generales del periférico que se va a emplear (cómo se conecta(n) al DSP, velocidad(es) de acceso, líneas de control que necesitan(, ...). Justificar las respuestas.
  - Mapa de memoria y esquema del sistema microprocesador basado en el DSP (osciloscopio digital).
- Completar el diseño de la interfase entre el PC y el osciloscopio. Suponer que el PC tiene disponible sólo el rango de memoria desde la 200h hasta la 2FFh.

<sup>1</sup> Las 3 líneas de control que gestionan la comunicación entre el PC y el DSP, a una velocidad máxima de 1MHz, se supondrán que son *RESET* (indica acceso desde el PC a través del bus XT), *STRB* (indica acceso desde el PC a latches) y *STRB* (indica acceso desde el PC a memoria).

<sup>2</sup> Programa que ocupa 412 words entre instrucciones y datos y que se ejecuta sin que inter venga para nada el PC a través del bus XT.

**SOLUCIÓN**

- De entre las cuatro posibles configuraciones del DSP nos quedaremos con el C31 en modo microcomputador. Veamos el por qué de esta elección.

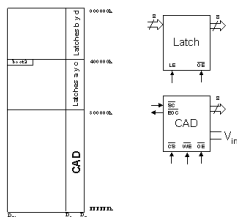
- C30, microcomputador. No, porque debe arrancar desde ROM que previamente debe ser programada por Texas Instruments, lo que para un único prototipo resultaría excesivamente caro.
- C31, microcomputador. Para que funcione el sistema hay que conseguir que el DSP cargue un programa desde el PC (utilizando el programa *boot-loader* que se encuentra en ROM-OTP del DSP). Dado que no se pueden utilizar dispositivos de memoria y que el puerto serie del PC es asíncrono y el del DSP síncrono, parece que esta opción no es válida. Sin embargo, es posible emular con el bus XT del PC y un latch, un dispositivo de memoria externo en el sistema microprocesador basado en el DSP. Basta conectar el latch en el bus XT del PC, para que pueda ser escrito desde el PC, y en el bus de datos del DSP, para que pueda ser leído por el DSP. El PC irá escribiendo datos en el latch, datos que serán progresivamente leídos por el DSP, cuando el PC lo permita (una PAL que controla la línea *RDY* de entrada al DSP se encargará de indicar al DSP que el PC acaba de escribir un dato en el latch, gestionando la transferencia del código desde el PC a la RAM interna del DSP). De esa forma se podría emular con 1 único latch conectado en el bus XT del PC y el propio PC, una memoria EPROM de 8 bits de ancho y tamaño el que deseemos desde la que el DSP podrá realizar el *boot-loader*. Esta solución es posible.
- C30 ó C31 en modo microprocesador. Para que esta posibilidad sea factible, se debe producir el arranque desde memoria externa de tipo no volátil y ancho 32 bits. En el enunciado nos dicen explícitamente que no se pueden emplear memorias de este tipo, aunque se podrían emular empleando un sistema similar al anterior aunque algo más complejo (se necesitarían 4 latches en lugar de uno, que deberán ser actualizados empleando el bus de datos XT de 8 bits del PC, antes de que la PAL active la línea *RDY* de entrada al DSP). Esta configuración también se podría utilizar aprovechando la presencia del PC, el cual se encargará de pasarle instrucciones, de una en una, al DSP, que irá ejecutándolas conforme las va leyendo. En este caso, el PC interviene en la ejecución del programa del usuario, algo que el enunciado no permite. Además, esta solución es más compleja que la anterior, por lo que se descarta.

Periféricos o dispositivos externos necesarios:

- CAD** Es necesario para que el sistema digital que conforma el osciloscopio pueda adquirir la señal analógica. Sus características serán las siguientes.
  - 8 bits de datos.
  - 1 canal analógico de entrada.
  - Deberá conectarse al bus de datos del DSP (debe aparecer, por tanto, en el mapa de memoria). No puede ser un convertidor conectado al puerto serie del DSP, dado que el muestreo y transferencia de datos al DSP es a 5MHz, velocidad mucho más alta de la permitida por el puerto serie.
  - Poseerá, además, señal de inicio de conversión y de fin de conversión.

- Latches (74573)** Utilizamos estos latches porque son conocidos por el alumno. Permiten conectar los buses del DSP y del PC (ambos son dispositivos maestros) sin riesgo de aparición de conflictos. La función de estos latches es la que sigue:
  - Un latch que permita enviar datos desde el DSP al PC. **latch a**.
  - Otro latch que permita enviar datos del PC al DSP. **latch b**.
  - Un latch que permita al DSP enviar señales de control al PC. **latch c**.
  - Otro latch que permita enviar señales de control del PC al DSP. **latch d**.
 Este latch se empleará para generar el reset al sistema microprocesador, activar el proceso de muestreo de la señal analógica, etc. Realmente, no será leído por el DSP sino que generará señales de control en el sistema digital basado en el DSP.
- Una **PAL** (o varias) que gestione la interfaz PC-DSP:
  - Escritura-lectura de los latches desde el PC al DSP.
  - Proceso de *boot-loader* desde algún latch que escribe el PC y lee el DSP.
  - Genera la señal de conversión del CAD.
  - Se encarga del control de los tiempos de las interrupciones que suelen ser bastante críticos.
  - Genera el reset al sistema microprocesador basado en el DSP.
  - Controla el proceso de transferencia de información entre el PC y el DSP.

Un posible mapa de memoria del DSP, sería el siguiente:



Donde se puede observar que se han ubicado en las mismas direcciones de memorias diversos dispositivos (ejemplo, latches a y c). Aunque pudiera pensarse que eso crea conflictos en el sistema microprocesador, no es el caso, dado que los dispositivos que coinciden en el rango de direcciones de memoria son accedidos

uno en lectura y el otro en escritura por el DSP. La señal *RDY* del DSP distinguirá entre uno u otro, evitando el conflicto.

El latch c se ha ubicado en **BOOT2** para que permita "emular" la memoria no volátil externa desde la que realiza el traspase del programa el DSP. Antes de implementar el cableado entre los diferentes latches, recordemos que la señal **LE** (que permite el almacenamiento de los 8 bits de la entrada por parte del latch) es activa a nivel alto mientras que la señal **OE** (que permite que la señal almacenada por el latch se vea en el bus de salida del mismo) es activa a nivel bajo. Por tanto, **LE** debe estar controlado por el dispositivo que desea escribir en el latch mientras que **OE** debe ser controlado por el dispositivo que desea leer el dato almacenado por el latch. Las señales de control de los diferentes latches son:

- Latch a. **OE** lo controla el PC (la salida de este latch se conecta al bus de datos del PC). Por el contrario, como el DSP es el encargado de escribir en él, la señal de habilitación del latch, **LE**, se genera a partir de las líneas del bus principal:  $LE = NOT(A_{12}) \cdot A_0 \cdot NOT(\overline{STRB}) \cdot NOT(R/\overline{W})$
- Latch b. Al igual que en el latch anterior, **OE** es controlado por el PC, mientras que **LE** se genera como sigue:  $LE = NOT(A_{12}) \cdot NOT(A_0) \cdot NOT(\overline{STRB}) \cdot NOT(R/\overline{W})$
- Latch c. Al revés que en los dos latches anteriores, ahora es el PC el que controla el **LE**, mientras que el DSP se encarga de gestionar **OE** (este latch es leído por el DSP y escrito por el PC). Por tanto:  $OE = A_{12} + NOT(A_{12}) + \overline{STRB} + NOT(R/\overline{W})$
- Latch d. **LE** lo controla el PC. Este latch es especial en cuanto a su salida, que se emplea para gestionar el sistema microprocesador basado en el DSP. Vamos a conectar las señales de salida del latch a la PAL, para que sea ésta quien genere, por ejemplo, el reset del DSP, la señal de inicio de toma de datos del osciloscopio, etc. Para que las señales de control que genera el PC escribiendo en este latch estén siempre visibles como entradas a la PAL, se conecta **OE** a GND.

Se ha optado por situar el CAD en la zona alta del mapa de memoria, por lo que presentará la siguiente señal de selección:  $CS_{CAD} = NOT(A_{12}) + \overline{STRB}$ .

El esquema de conexiones del sistema microprocesador que se ha diseñado es el siguiente:

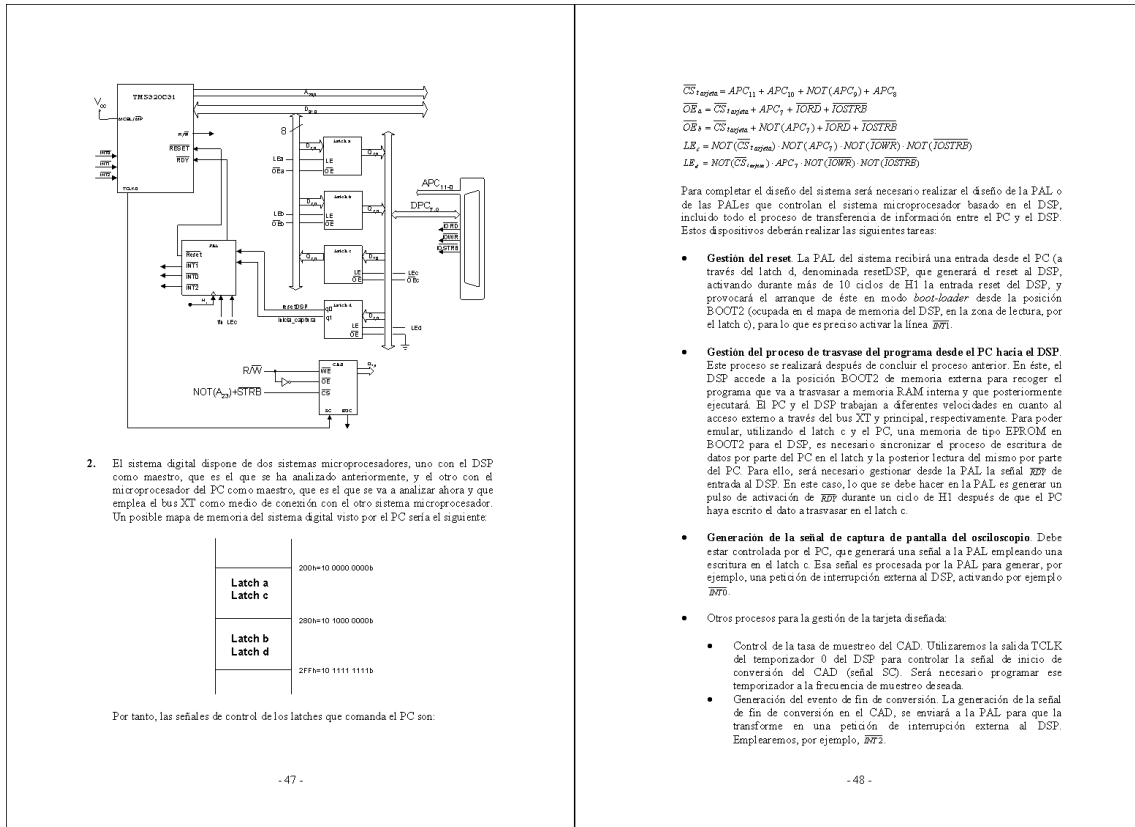


Figura 2. Proyecto práctico “diseño de un osciloscopio digital para PC”.

## 4. CONCLUSIONES

Aunque es posible encontrar abundante bibliografía relacionada con sistemas microprocesadores, sobre todo relacionados con la estructura y ejemplos de programación de los mismos, no es muy común encontrar bibliografía dedicada al diseño del sistema microprocesador. Este libro, centrado en el diseño de sistemas microprocesadores basado en la familia de DSPs TMS320C3x, pretende ayudar a cubrir ese hueco. Se ha pretendido desarrollar una herramienta descriptiva, rigurosa a la vez que asequible y eminentemente práctica, para facilitar la asimilación conceptos tales como la moderna tecnología de computadores y el diseño de un sistema digital basado en un DSPs.