

Ingeniería Técnica de Sistemas Electrónicos.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y de Telecomunicación.
Laboratorio de Electrónica Digital.

Práctica nº 4. Tarjeta de diseño en CPLDs.

El objetivo de esta práctica es aprender las características básicas de una tarjeta para el diseño de circuitos digitales sobre dispositivos lógicos programables, y familiarizarse con los pasos básicos del proceso de diseño y programación del dispositivo lógico. La tarjeta que se utilizará en las prácticas es la tarjeta ALTERA DE2 que lleva insertado el dispositivo programable Cyclone II EP2C35F672C6N de ALTERA. La programación del dispositivo se realizará desde un ordenador personal, conectado a la tarjeta a través de un puerto USB, mediante la herramienta de diseño Quartus II de ALTERA. Para el diseño y simulación de los circuitos se utilizará Quartus II, preferentemente mediante el lenguaje VHDL aunque podría hacerse también mediante un diagrama esquemático.

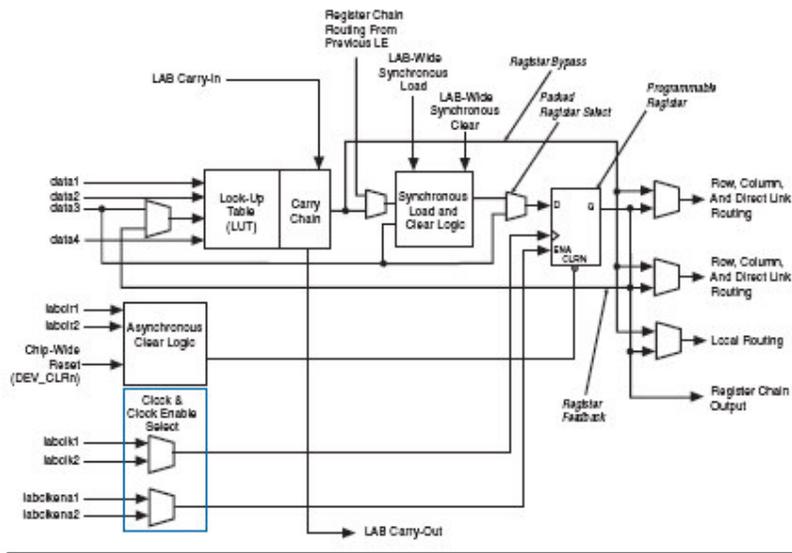
El paquete ALTERA DE2 incluye, además de la tarjeta, un cable USB de conexión al ordenador, el conector a la fuente de alimentación, un CD con el programa Quartus II (versión 6.0), un CD con la descripción del microprocesador Nios II que se puede cargar en el dispositivo programable y un CD DE2 con manuales, hojas de características, esquemas, ejercicios guiados (de la tarjeta DE2 y de Quartus II), prácticas propuestas, demostraciones avanzadas, etc. Más información sobre la tarjeta DE2 se puede encontrar en la página Web de ALTERA:

<http://university.altera.com/materials/boards/unv-de2-board.html>

Las características básicas de la tarjeta DE2 se muestran en el fichero *DE2_introduction_box* (disponible en el CD DE2 y en la página WEB de la asignatura). Una descripción más detallada de la tarjeta y de sus componentes se muestra en el fichero *DE2_UserManual* (disponible en el CD DE2, directorio *DE2_user_manual*, y en la página WEB de la asignatura).

La tarjeta dispone de un dispositivo Cyclone II EP2C35F672C6N (la hoja de características de este dispositivo y de los demás dispositivos de la tarjeta se encuentran en el CD DE2 en el directorio *Datasheets->Cyclone_II*), que tiene 475 pines disponibles (empaquetamiento de 672), contiene 33216 LEs (elementos lógicos complejos, ver página 2-3 de la hoja de características), 483840 bits de RAM (105 bloques de 4Kbits), 35 multiplicadores 18*18 y 4 PLLs (para generación de señales de reloj).

Dentro de la tarjeta se disponen de una serie de componentes conectados a unos pines determinados del dispositivo programables (ver *DE2_UserManual*). En estas prácticas se usarán principalmente los entradas y salidas digitales entre las que se encuentran:



LE de Cyclone II

- 4 botones KEY0-KEY3 de entrada (normalmente altos, al pulsar generan un pulso a bajo). Estos botones tienen circuitos que eliminan rebotes u oscilaciones en la tensión.
- 18 conectores digitales SW0-SW17 de entrada (abajo 0, arriba 1). Estos conectores no tienen circuitos eliminadores de oscilaciones, por lo que hay que tener cuidado al usarlos en circuitos secuenciales.
- Circuitos generadores de señales de reloj a 27 Mhz, 50 Mhz, y un conector para un reloj externo.
- 9 LEDs LEDG0-LEDG8 verdes de salida: se encienden a tensión alta, se apagan a tensión baja.
- 18 LEDs LEDR0-LEDR17 rojos de salida: se encienden a tensión alta, se apagan a tensión baja.
- 8 Displays de 7 segmentos de salida. Los leds de los displays se encienden cuando se conectan a tensión baja y se apagan cuando se conectan a tensión alta.
- 1 Display LCD de 16*2 (2 filas de 16 caracteres) de salida.
- Dos conectores externos (o de expansión) de 40 pines, que contienen 72 pines de entrada/salida + 8 conectores de alimentación o tierra.

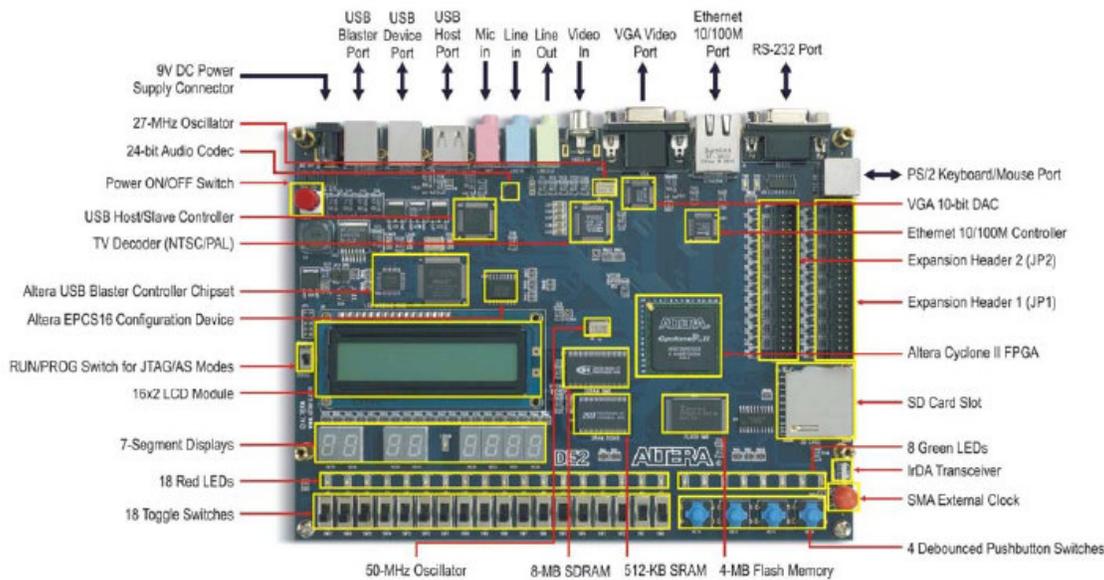
Además de estos componentes la tarjeta DE2 tiene muchos otros componentes conectados al dispositivo programable, y algunos de ellos conectados también al exterior mediante puertos de entrada y/o salida. Para más información sobre estos componentes ver *DE2_UserManual*. Entre estos componentes se encuentran memorias internas (512Kbyte SRAM, 8Mbyte SDRAM, 4Mbyte FLASH), salida VGA, codificadores de audio y video, puertos RS-232 y PS2, controladores de USB y Ethernet, etc.

En esta práctica se realizarán ejercicios de diseño lógico utilizando Quartus II de ALTERA describiendo los circuitos mediante diagramas esquemáticos y, principalmente, el lenguaje VHDL. En el caso de que no se domine la herramienta Quartus II se puede practicar con los

tutoriales que se encuentran en algunos de los libros recomendados en la bibliografía básica de la asignatura, o en el CD DE2 (directorio *DE2_tutorial*), o en la página Web de la asignatura:

- *tut_quartus_intro_schem* para diseño mediante esquemáticos.
- *tut_quartus_intro_vhdl* para diseño mediante VHDL.
- *tut_quartus_simulation_vhdl* para simulación de una descripción VHDL.

En el CD DE2 también hay otros tutoriales sobre simulación, análisis temporal, etc.



Tarjeta DE2 ALTERA

El objetivo final del trabajo con Quartus II es generar un fichero de programación *.sof* con la configuración del dispositivo. Para generar este fichero se deben realizar correctamente los siguientes pasos:

- Crear un proyecto y describir la operación del circuito (mediante un diagrama esquemático, VHDL, Verilog, AHDL) para el dispositivo Cyclone II EP2C35F672C6.
- Asignar las entradas y salidas del circuito a los pines correspondientes del dispositivo (usando el comando Assignments->Assignment Editor->Pin).

IMPORTANTE: Para evitar problemas que puedan estropear la tarjeta, al asignar las entradas y salidas del proyecto hay que dejar los pines sin usar del dispositivo como entradas en alta impedancia. Para ello antes de compilar el dispositivo hay que seleccionar Assignment->Device, pulsar en el botón *Device & Pin Options...*, y en la pestaña *Unused Pins* en su campo *Reserve all unused pins:* seleccionar *As input tri-stated*.

- Compilar la descripción del circuito, eliminando los errores de la descripción. Una compilación sin errores genera entre otros resultados el fichero de programación *.sof*.
- Simular el circuito para comprobar su funcionamiento antes de cargar el circuito en el dispositivo. Este paso es muy conveniente, aunque no es absolutamente necesario, a la hora de producir el circuito final.

Finalmente, para trabajar con la tarjeta DE2 se deben realizar los siguientes pasos:

- Conectar el cable USB al ordenador de trabajo y a la conexión USB Blaster de la tarjeta DE2 (en la esquina superior-izquierda el conector USB más a la izquierda).
- Conectar el adaptador de 9V a la red eléctrica (se necesita un conector especial del que se dispone en el laboratorio), y a la tarjeta DE2 (conector en esquina superior-izquierda).
- Situar el switch RUN/PROG al valor RUN (está así por defecto).
- Pulsar el interruptor rojo de encendido.

Al encender la tarjeta se arranca una programación por defecto del dispositivo que hace que los LEDs rojos y verdes parpadeen, que los displays de 7 segmentos realicen una cuenta cíclica de 0 a F, y que el módulo LCD muestre un mensaje de bienvenida. Además, si estuviese conectado un monitor VGA se mostraría una pantalla de bienvenida y si estuviesen conectados unos altavoces en la salida de audio se oíría un sonido.

Para cargar la configuración del circuito en la tarjeta se debe cargar el fichero *.sof* mediante Quartus II, usando su herramienta de programación (Tools->Programmer) a través del puerto *USB Blaster [USB-0]*. Si no está seleccionado este puerto por defecto, hay pulsar en *Hardware Setup* y seleccionarlo en *Currently selected hardware*:. Ahora, para cargar la configuración, hay que seleccionar el fichero *.sof*, activar la casilla *Program/Configure* y pulsar en *Start*.

A continuación se indican los ejercicios de manejo de la tarjeta DE2 a realizar en esta práctica. Los ficheros generados en el desarrollo de la práctica deben guardarse en la carpeta de cada grupo en el ordenador en una subcarpeta Pr4, generando dentro de ella subcarpetas para cada uno de los apartados.

4.1. Utilización del panel de control DE2.

El panel de control DE2 permite realizar actuaciones sobre componentes de la tarjeta DE2 (encender/apagar LEDs, cargar valores en los 7-SEG Displays, en la memorias, etc) desde el ordenador a través del puerto USB. Para utilizar este panel hay que insertar el CD DE2 en el lector, conectar la tarjeta al ordenador mediante el cable USB, encender la tarjeta DE2 y ejecutar Quartus II.

El CD DE2 contiene en la carpeta *DE2 Control Panel* el fichero de programación *DE2_USB_API.sof*. Abrir este fichero en Quartus II (File->Open) y cargar el contenido en

la tarjeta (seleccionar el comando Tools->Programmer, la programación mediante USB Blaster, activar la casilla *Program/Configure* y pulsar en *Start*).

En la carpeta *DE2 Control Panel* del CD DE2 está el programa *DE2_Control_Panel*; ejecutar dicho programa en el ordenador. Este programa controla ciertos componentes de la tarjeta DE2 a través de USB. Abrir el puerto USB mediante el comando *Open->Open USB Port 0*. Seleccionar las pestañas *LED & LCD*, y *PS2 & 7-SEG*, activar algunos de los LEDs, fijar valores en los displays de 7 segmentos y en el módulo LCD. Los valores se cargan en la tarjeta al pulsar *Set*. Al pulsar el botón *KEY0* se apagan los LEDs y los displays se fijan al valor 0.

4.2. Diseño de un multiplexor de dos entradas (descripción esquemática).

En este apartado se debe diseñar mediante Quartus II un circuito digital descrito mediante puertas lógicas. Un ejemplo de una descripción esquemática de un circuito en Quartus II puede encontrarse en el fichero *tut_quartus_intro_schem* en el CD DE2 (directorio *DE2_tutorial*), ó en la página Web de la asignatura.

El circuito a diseñar es un multiplexor de dos entradas (I0, I1) seleccionadas por la entrada S, con entrada E de habilitación, de forma que cuando el circuito está deshabilitado la salida Z es 0, y cuando está habilitado la salida Z toma el valor de la entrada I0 si S es 0 y de I1 si S es 1. El circuito debe ser cargado en la tarjeta DE2 de forma que las entradas (I0, I1, S, E) se asocien a switches y la salida Z a uno de los LEDs.

Los pasos para la programación del circuito son:

- Abrir en Quartus II un fichero gráfico y editar el circuito mediante esquemáticos.
- Crear un proyecto a partir del fichero gráfico para el dispositivo Cyclone II EP2C35F672C6.

IMPORTANTE: Para evitar problemas que puedan estropear la tarjeta, al asignar las entradas y salidas del proyecto hay que dejar los pines sin usar del dispositivo como entradas en alta impedancia. Para ello al crear el proyecto, en la selección del dispositivo, pulsar en el botón *Device & Pin Options...*, y en la pestaña *Unused Pins* en su campo *Reserve all unused pins*: seleccionar *As input tri-stated*.

- Asignar las entradas y las salidas del circuito a pines (Switches y LED) del dispositivo programable. La relación de pines está en el fichero *DE2_UserManual* (disponible en el CD DE2, directorio *DE2_user_manual*, y en la página WEB de la asignatura), en los subapartados correspondientes.
- Compilar la descripción del circuito, eliminando errores si aparecen, generando el fichero *.sof*.
- Simular la operación del circuito (opcional, pero recomendable).
- Cargar la programación en la tarjeta DE2 mediante el programador de Quartus II.

- Verificar la operación del circuito cambiando la posición de los switches y observando el estado encendido/apagado del LED.

4.3. Diseño de convertidor de códigos BCD (descripción VHDL).

En este apartado se debe diseñar mediante Quartus II un circuito digital descrito mediante lenguaje VHDL. Un ejemplo de una descripción VHDL de un circuito en Quartus II puede encontrarse en el fichero *tut_quartus_intro_VHDL* en el CD DE2 (directorio DE2_tutorial), ó en la página Web de la asignatura.

El circuito a diseñar es un convertidor entre códigos BCD y debe convertir un código de entrada X (x3x2x1x0) con pesos (6, 5, 2, -4) en un código de salida Z (z3z2z1z0) con pesos (7, 2, -1, -3). El circuito debe ser cargado en la tarjeta DE2 de forma que las entradas (x3x2x1x0) se asocien a switches y las salidas (z3z2z1z0) a LEDs.

Los pasos para la programación del circuito son:

- Abrir en Quartus II un fichero VHDL y editar la descripción del circuito mediante este lenguaje.
- Crear un proyecto a partir de la descripción VHDL para el dispositivo Cyclone II EP2C35F672C6.

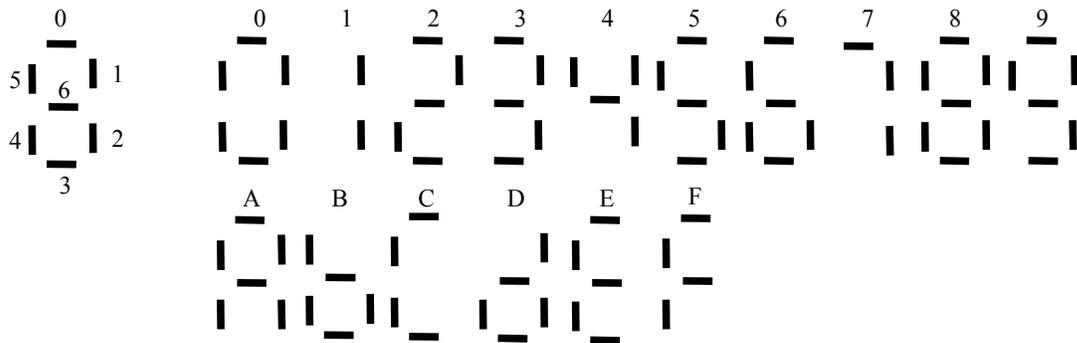
IMPORTANTE: Para evitar problemas que puedan estropear la tarjeta, al asignar las entradas y salidas del proyecto hay que dejar los pines sin usar del dispositivo como entradas en alta impedancia. Para ello al crear el proyecto, en la selección del dispositivo, pulsar en el botón *Device & Pin Options...*, y en la pestaña *Unused Pins* en su campo *Reserve all unused pins*: seleccionar *As input tri-stated*.

- Asignar las entradas y las salidas del circuito a pines (switches y LEDs) del dispositivo programable. La relación de pines está en el fichero *DE2_UserManual* (disponible en el CD DE2, directorio DE2_user_manual, y en la página WEB de la asignatura), en los subapartados correspondientes.
- Compilar la descripción VHDL del circuito, eliminando errores si aparecen, generando el fichero *.sof*.
- Simular la operación del circuito (opcional, pero recomendable).
- Cargar la programación en la tarjeta DE2 mediante el programador de Quartus II.
- Verificar la operación del circuito cambiando la posición de los switches y observando el estado encendido/apagado de los LEDs.

4.4. Diseño de convertidor de código hexadecimal a salida de 7 segmentos (descripción VHDL).

En este apartado se debe diseñar mediante Quartus II un circuito digital descrito mediante lenguaje VHDL. El circuito a diseñar es un convertidor de una entrada X (x3x2x1x0) en

código hexadecimal con valores entre 0-F a su representación gráfica en siete salidas Z (z0z1z2z3z4z5z6) correspondientes a los LEDs de un display de 7 segmentos, como se muestra en la figura. El circuito debe ser cargado en la tarjeta DE2 de forma que las entradas (x3x2x1x0) se asocien a switches y las salidas (z0z1z2z3z4z5z6) a uno de los displays de 7 segmentos de la tarjeta DE2.



Los pasos para la programación del circuito son:

- Abrir en Quartus II un fichero VHDL y editar la descripción del circuito mediante este lenguaje.
- Crear un proyecto a partir de la descripción VHDL para el dispositivo Cyclone II EP2C35F672C6.

IMPORTANTE: Para evitar problemas que puedan estropear la tarjeta, al asignar las entradas y salidas del proyecto hay que dejar los pines sin usar del dispositivo como entradas en alta impedancia. Para ello al crear el proyecto, en la selección del dispositivo, pulsar en el botón *Device & Pin Options...*, y en la pestaña *Unused Pins* en su campo *Reserve all unused pins*: seleccionar *As input tri-stated*.

- Asignar las entradas y las salidas del circuito a pines (switches y display de 7 segmentos) del dispositivo programable. La relación de pines está en el fichero *DE2_UserManual* (disponible en el CD DE2, directorio *DE2_user_manual*, y en la página WEB de la asignatura), en los subapartados correspondientes.
- Compilar la descripción VHDL del circuito, eliminando errores si aparecen, generando el fichero *.sof*.
- Simular la operación del circuito (opcional, pero recomendable).
- Cargar la programación en la tarjeta DE2 mediante el programador de Quartus II.
- Verificar la operación del circuito cambiando la posición de los switches y observando el valor que aparece en el display de 7 segmentos.

4.5. Diseño de un contador con salida gráfica (descripción VHDL).

En este apartado se debe diseñar mediante Quartus II un circuito digital que opere como un contador binario hacia arriba de 4 bits, el valor de cuenta debe mostrarse en un display de 7

segmentos en el formato utilizado en el apartado anterior (utilizar en lo posible la descripción VHDL del apartado anterior). El circuito se debe diseñar mediante un circuito secuencial y debe tener dos entradas Reset y Clk y siete salidas correspondientes al display de siete segmentos. La señal de entrada Reset es una señal asíncrona que cuando se activa fija la cuenta a valor 0, y debe ser asociada a un switch de la tarjeta DE2. Las siete salidas de la cuenta deben ser asociadas a los LEDs de un display de 7 segmentos de la tarjeta DE2. La señal de reloj Clk debe generarse de dos maneras dando lugar a dos descripciones VHDL distintas:

- 4.5.1. La señal de reloj se conecta a uno de los botones de entrada, de forma que pulsar el botón produce un flanco negativo en esa señal, y soltar el botón una vez pulsado un flanco positivo.
- 4.5.2. La señal de reloj se genera mediante el reloj interno de 50Mhz de la tarjeta DE2. En este caso hay que añadir una tercera entrada EN que activa la cuenta al ser pulsada. EN se debe generar mediante uno de los botones de la tarjeta DE2.

Los pasos para la programación de ambos circuitos son:

- Abrir en Quartus II un fichero VHDL y editar la descripción del circuito mediante este lenguaje.
- Crear un proyecto a partir de la descripción VHDL para el dispositivo Cyclone II EP2C35F672C6.

IMPORTANTE: Para evitar problemas que puedan estropear la tarjeta, al asignar las entradas y salidas del proyecto hay que dejar los pines sin usar del dispositivo como entradas en alta impedancia. Para ello al crear el proyecto, en la selección del dispositivo, pulsar en el botón *Device & Pin Options...*, y en la pestaña *Unused Pins* en su campo *Reserve all unused pins*: seleccionar *As input tri-stated*.

- Asignar las entradas y las salidas del circuito a pines (switch para Reset, botón para Clk en 4.5.1 o EN en 4.5.2, reloj de 50 Mhz para Clk en 4.5.2 y display de 7 segmentos) del dispositivo programable. La relación de pines está en el fichero *DE2_UserManual* (disponible en el CD DE2, directorio *DE2_user_manual*, y en la página WEB de la asignatura), en los subapartados correspondientes.
- Compilar la descripción VHDL del circuito, eliminando errores si aparecen, generando el fichero *.sof*.
- Simular la operación del circuito (opcional, pero recomendable).
- Cargar la programación en la tarjeta DE2 mediante el programador de Quartus II.
- Verificar la operación del circuito pulsando el botón para ir incrementando el valor de la cuenta.

4.6. Diseño de un circuito sumador (descripción VHDL).

En este apartado se debe diseñar mediante Quartus II un circuito digital descrito mediante lenguaje VHDL que opere como un sumador completo de 4 bits (como el sumador 4008 utilizado en la práctica 3). El circuito a diseñar tiene dos operandos de entrada X ($x_3x_2x_1x_0$) e Y ($y_3y_2y_1y_0$) que son números binarios sin signo de 4 bits y un acarreo de entrada Cin de 1 bit; como salidas tiene una salida de suma S ($s_3s_2s_1s_0$) de 4 bits y un acarreo de salida de 1 bit. El circuito debe ser cargado en la tarjeta DE2 de forma que las entradas y salidas del circuito estén asociadas a pines de los conectores externos de la tarjeta, para que el circuito sea verificado desde el analizador lógico LA4240, que debe suministrar los estímulos de prueba y mostrar las respuestas obtenidas.

Los pasos para la programación del circuito son:

- Abrir en Quartus II un fichero VHDL y editar la descripción del circuito mediante este lenguaje.
- Crear un proyecto a partir de la descripción VHDL para el dispositivo Cyclone II EP2C35F672C6.

IMPORTANTE: Para evitar problemas que puedan estropear la tarjeta, al asignar las entradas y salidas del proyecto hay que dejar los pines sin usar del dispositivo como entradas en alta impedancia. Para ello al crear el proyecto, en la selección del dispositivo, pulsar en el botón *Device & Pin Options...*, y en la pestaña *Unused Pins* en su campo *Reserve all unused pins*: seleccionar *As input tri-stated*.

- Asignar las entradas y las salidas del circuito a pines del dispositivo programable correspondientes a los conectores externos o de expansión de la tarjeta DE2. La relación de pines está en el fichero *DE2_UserManual* (disponible en el CD DE2, directorio *DE2_user_manual*, y en la página WEB de la asignatura), en los subapartados correspondientes.
- Compilar la descripción VHDL del circuito, eliminando errores si aparecen, generando el fichero *.sof*.
- Simular la operación del circuito (opcional, pero recomendable).
- Cargar la programación en la tarjeta DE2 mediante el programador de Quartus II.
- Verificar la operación del circuito con el sistema de análisis lógico LA4240, siguiendo las pautas seguidas en el apartado 3 de la práctica 3 (verificación del sumador 4008): aplicar los mismos estímulos en las entradas con los pods del generador de patrones y leer las salidas con los pods de análisis lógico.

Para facilitar la verificación del circuito hay que hacer alguna variación en la programación del LA4240 con respecto a la de la práctica 3: no se deben leer con el analizador lógico los valores de las entradas (es difícil colocar las pinzas en los terminales de los conectores), por lo que al editar los grupos de canales hay que asociar a los grupos de las entradas a los canales del generador de patrones. Para realizar el disparo hay que programar una señal de inicio en un canal libre del generador de patrones que debe estar a siempre 0 salvo un 1 en la

dirección en que se comienza a aplicar estímulos al sumador; esta señal debe ser leída con una canal libre del analizador lógico, la marca roja de disparo debe situarse en la dirección de comienzo de los estímulos, y el palabra de disparo debe formarse con un 1 en el canal del analizador en el que se lee el pulso de inicio. De esta forma en las entradas se visualizan en los canales del generador, mientras que las salidas se visualizan en los canales del analizador. El problema que tiene este sistema es que no es fácil detectar errores si se hay algún problema en la conexión de las entradas (cables mal puestos o intercambiados). Dependiendo de cómo se coloque el disparo las medidas en las salidas pueden aparecer retrasadas o adelantadas una dirección con respecto a la lectura de las entradas.