

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

**Práctica nº 5: Diseño de circuitos combinacionales.**

El objetivo de esta práctica es realizar el diseño de circuitos digitales combinacionales. El proceso recomendado para realizar y verificar los circuitos propuestos sigue los puntos que se citan a continuación:

- Realizar el diseño del circuito, bien sea mediante una descripción esquemática del circuito o mediante una descripción VHDL. El diseño del circuito debe tenerse preparado antes de la correspondiente sesión de laboratorio.
- Simular el circuito: preparar una estrategia de verificación del funcionamiento del circuito y simular su operación con alguna de las herramientas disponibles en el laboratorio (Circuit Maker o Quartus II). En esta práctica la simulación de los circuitos es obligatoria. La estrategia debe poder adaptarse a la verificación real del circuito ya sea con el analizador lógico LA4240 o con los dispositivos de entrada (botones, conmutadores) y de salida (leds, displays) de la tarjeta DE2. Hay que procurar que dicha estrategia esté pensada antes de la correspondiente sesión de laboratorio.
- Realizar la implementación del circuito. Si el circuito se realiza sobre la tarjeta DE2 a partir del programador de Quartus II la implementación se debe realizar en el laboratorio, pero si la implementación se realiza con circuitos comerciales SSI y/o MSI sobre una tarjeta es conveniente realizar las conexiones antes de la sesión de laboratorio ya que puede llevar bastante tiempo conectar los circuitos.
- Verificar la operación real de los circuitos mediante el sistema de análisis lógico LA4240. Programar el equipo de forma correcta para aplicar las señales a las entradas, adquirir medidas e interpretarlas para decidir si el circuito opera adecuadamente o no. En el caso de encontrar algún defecto en el montaje del diseño se debe localizar el error, rehacer las conexiones y verificar de nuevo hasta que se compruebe que el circuito opera correctamente.

Todos los ficheros de simulación y verificación del circuito deben guardarse en la carpeta Pr5 dentro de la carpeta de trabajo de cada grupo, creando subcarpetas para cada uno de los ejercicios de la práctica.

**A). Diseño de un circuito aritmético.**

En este apartado se debe diseñar un circuito aritmético combinacional que tenga dos entradas, X e Y, y una salida Z, todas ellas de cuatro bits para números descritos en complemento-2 (valores entre -8 y +7), que realice las tres siguientes operaciones aritméticas:

(VER HOJAS DE PRACTICA POR GRUPO)

Diseñar el circuito tomando como base las operaciones de sumas y restas para números binarios en complemento a 2, en base a un circuito sumador, siguiendo las siguientes directrices:

- **A1.** Utilizar el menor número posible de los siguientes componentes (localizar las hojas de características de estos circuitos en Internet):

- \* Un único circuito sumador de cuatro bits 74LS83.

- \* Un único circuito con cuatro puertas EXOR 74LS86.

- \* Uno o dos circuitos (según la práctica) con cuatro multiplexores de dos entradas 74LS157.

- Utilizar el menor número de señales de control para determinar la operación aritmética que se realiza. Intentar realizar el circuito con sólo dos entradas de control C1 y C0 y sin lógica decodificadora, en el caso de no poder hacerse así utilizar tres señales de control C2, C1 y C0 como máximo. La mayoría de las prácticas pueden hacerse utilizando sólo dos señales de control.

- Simular el circuito mediante Circuit Maker. Preparar una secuencia de 20 valores distintos y aleatorios de X e Y, y simular el circuito para las tres operaciones aritméticas (seleccionadas mediante los valores lógicos de C1 y C0), comprobando que el circuito opera correctamente, en caso contrario rehacer el diseño del circuito y volver a simular. Guardar en el ordenador el fichero del diseño final en Circuit Maker con el nombre Arit.ckt.

- Conectar el circuito en una regleta. Debido a que se deben conectar muchos cables se recomienda realizar el cableado en casa antes de la sesión de laboratorio, aunque no se disponga aún de los circuitos integrados. Coger cable suficiente en el laboratorio, planificar donde se fijarán los circuitos en la regleta, y realizar las conexiones entre ellos de forma que el cableado esté ordenado, y puedan localizarse los errores de conexión (cables sueltos, cortocircuitos, etc) con facilidad. Se sugiere que las conexiones se realicen en lo posible al ras de la regleta, con el tamaño justo para realizar la conexión, y que se utilice el color de los cables o se sitúen etiquetas con nombres en ellos para reconocerlos. De esta forma durante la sesión de prácticas en el laboratorio sólo habrá que insertar los circuitos integrados en la regleta.

- Programar el sistema de análisis lógico LA4240 utilizando los conocimientos adquiridos en la práctica 3, y con ayuda del manual de programación del equipo, del guión de dicha práctica.

Los valores lógicos de las ocho entradas X e Y, deben ser aplicados mediante los canales de los *ports* del generador de patrones (*Pattern Generator*) del equipo. Se debe utilizar la misma secuencia de prueba del circuito que la utilizada durante la simulación en Circuit Maker.

Las entradas de selección de la operación C1 y C0 se aplicarán manualmente conectando sus cables a GND (0 lógico) o a +5V (1 lógico) según la operación que se quiera probar, por lo que no necesitan programarse en el LA4240.

Los valores aplicados a las entradas X e Y del circuito, así como las respuestas en las salidas deben ser leídos en canales de los *pods* de análisis lógico (*Logic Pod*). Programar el disparo del equipo (*Trigger*), y programar grupos de canales para que se pueda observar fácilmente el comportamiento del circuito como lista de estados.

Guardar en el ordenador el fichero con la programación realizada (*Arit.ini*) y con la secuencia de prueba cargada (*Arit.Dso*).

- Conectar los canales del LA4240 a las entradas X e Y, y a las salidas Z del circuito según la programación realizada y tomar medidas. Comprobar que los resultados son correctos, si no lo fueran hay que encontrar los errores y subsanarlos hasta que las medidas sean correctas. Si se supone un error en alguna conexión del circuito se recomienda utilizar un canal libre como sonda para comprobar los valores en los nudos internos del circuito (con el analizador en modo temporal o *Timing*), ya que esos nudos deberán tomar valores lógicos iguales que en una entrada, los valores complementados de una entrada, o fijos a valores 0 ó 1.

Una vez que se obtengan las repuestas correctas para cada una de las tres operaciones aritméticas almacenar sus resultados en los ficheros *Uno.Dso*, *Dos.Dso* y *Tres.Dso*, respectivamente.

• **A2.** Realizar una descripción del problema en Quartus II e implementar el circuito sobre la tarjeta DE2. La descripción debe hacerse mediante una descripción VHDL que intente adaptarse lo más posible a la estructura del circuito desarrollada en el apartado A1, añadiendo una salida Ov de desbordamiento que indique cuando el resultado de la operación excede del rango válido de las salidas Z.

- Crear un proyecto en Quartus II y compilar la descripción del circuito sobre el dispositivo CYCLONE II EPC235F672C6, eliminando los errores que se produzcan.

- Simular en Quartus II el circuito utilizando los mismos estímulos que en el apartado A1 (como se hizo con Circuit Maker). Comprobar que el funcionamiento del circuito es correcto.

- Programar el circuito en la tarjeta DE2. Situar las entradas de control en conmutadores de la tarjeta DE2, y las entradas y salidas de datos X, Y, Z y Ov, en los pines de los conectores externos. Recompilar el circuito para reconocer la asociación de pines.

**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*.

- Verificar el circuito con el LA4240. Utilizar la programación del analizador realizada en el apartado A1 para comprobar el funcionamiento del circuito sobre la tarjeta DE2, modificando dicha programación según las directrices utilizadas en el apartado 6 de la práctica 4. Conectar los cables del generador de patrones a los pines de X e Y, y los cables del analizador lógico a los pines de Z y Ov. Medir las respuestas del circuito para cada combinación de valores en las señales de control comprobando que las tres operaciones se realizan correctamente. Guardar las respuestas medidas en Cuatro.Dso, Cinco.Dso y Seis.Dso, respectivamente.