

## **Trabajo de Electrónica Digital: Tres en Raya Digital**

### **RESUMEN**

Este documento contiene las normas y la especificación del trabajo de la asignatura de Electrónica Digital del curso 2019/2020.

### **NORMAS DEL TRABAJO DE CLASE**

El presente trabajo es obligatorio y cuenta un 30% de la nota final de la asignatura. El trabajo se debe presentar para su evaluación **antes** del examen final, sea la convocatoria que sea. Si la asignatura se suspende en febrero, la nota del trabajo se guarda para julio del mismo año, pero no es posible aprobar la asignatura sin volver a examinarse (la nota de cada examen final no se guarda para la siguiente convocatoria, por lo que no es posible aprobar presentando un trabajo mejor después del examen o presentándose sólo a la parte de VHDL). Es necesario obtener un mínimo de 4 (sobre 10) en el examen final (la parte de diseño) para poder aprobar la asignatura, ya sea en febrero o en julio.

El trabajo se realizará en grupos de hasta cuatro personas, y la entrega del trabajo se hará mediante una demostración del circuito, configurado en una FPGA, que deberá ser además explicado por los alumnos del grupo. Todos los alumnos deberán estar presentes durante la entrega, en la que el profesor encargado realizará además una entrevista personal con todos los miembros del grupo. Posteriormente, se deberán entregar los ficheros fundamentales del diseño (ficheros de descripción y bancos de prueba con las simulaciones que se hayan realizado) a través de Moodle.

### **OBJETIVO DEL TRABAJO**

El objetivo del trabajo es el diseño de un circuito mediante la herramienta Xilinx *Vivado*, usando código VHDL como lenguaje de entrada. El circuito deberá ser simulado y probado sobre las placas *Pynq* de prácticas, con la *FPGA Zynq-7020* y la placa de expansión de entradas/salidas con LEDS, pulsadores, botones y displays de siete segmentos. En la Figura 1 se muestra la placa de desarrollo que se va a emplear y los elementos de la placa de expansión que se necesitan para este trabajo.

La especificación del circuito consta de una funcionalidad mínima, requerida para todos los trabajos, pero luego se podrá optar por implementar opciones diferentes del juego, con las que se podrá mejorar la nota del trabajo. De cualquier forma, la decisión de implementar una opción o no viene dada por el número de horas, medidas con detalle, que se hayan utilizado. Se calcula que el trabajo no debería llevar más allá de veinte horas de trabajo real por persona por lo que, si llegado este tiempo no se han completado las fases opcionales, es mejor no hacerlas.

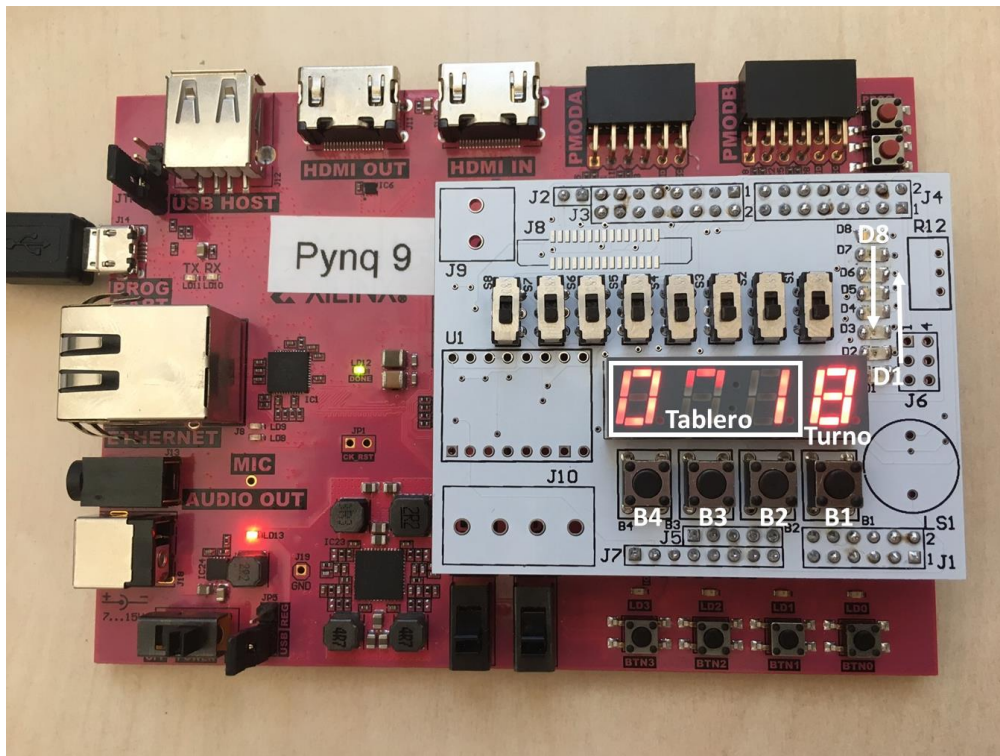
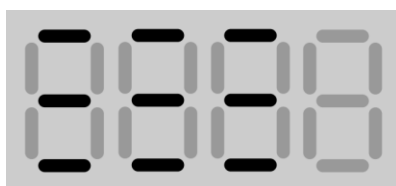


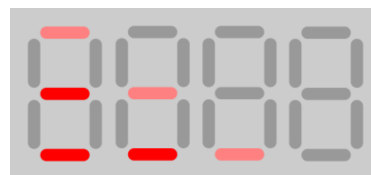
Figura 1: Placa de Desarrollo y Placa de Expansión con dispositivos de E/S que se van a emplear en el trabajo

### FUNCIONALIDAD BÁSICA

El circuito debe implementar la funcionalidad del juego del **Tres en Raya** en versión electrónica, en el que el tablero de juego se representará por los tres segmentos horizontales (*a*, *g* o *d*) de los *displays* de 7 segmentos situados más a la izquierda, como se muestra en la Figura 2 (a). Para distinguir entre las fichas de cada jugador (representadas tradicionalmente por O y X), se deben utilizar dos niveles distintos de brillo, tal y como se muestra en la Figura 2 (b): las fichas de un jugador se representarán con el nivel máximo de brillo, mientras que las del otro se representarán con el nivel mínimo necesario para distinguirlas de las posiciones vacías del tablero.



(a)



(b)

Figura 2 - En (a), se representan las posiciones de displays a usar como tablero 3x3, y en (b), se muestra un ejemplo de posiciones sobre el tablero con los dos tipos de fichas

### **Selección de la posición de la ficha en el tablero**

El jugador seleccionará la posición en la que quiere colocar su ficha mediante los botones de la placa de expansión situados debajo de los segmentos: Si desea ubicar la ficha en la columna situada más a la izquierda, usará el botón B4. Para ubicarla en la del

medio, usará el botón B3. Finalmente se pulsará el botón B2 para colocar las fichas en la columna de la derecha. Dentro de cada columna, se distinguirá la fila en la que se ubica la ficha mediante la duración de la pulsación del botón correspondiente, tal y como sigue:

- Una pulsación inferior a 0,5 segundos se considera **corta**. Posicionará la ficha en la fila inferior (segmento d)
- Una pulsación de entre 0,5 segundos y 1,5 segundos será **intermedia**, seleccionará la fila del medio (segmento g).
- Una pulsación superior a 1,5 segundos se considera **larga**. Seleccionará la fila superior (segmento a).

Una vez seleccionada la posición del tablero donde el jugador desea ubicar la ficha, el segmento seleccionado comenzará a parpadear, con el nivel de brillo correspondiente al jugador. La selección de la posición se deberá confirmar mediante una pulsación en el botón B1, tras lo que el turno pasará al otro jugador. Si antes de pulsar B1 el jugador introduce una nueva posición en el tablero (de nuevo, con los botones B4, B3 o B2), la selección anterior se anula.

Si la posición seleccionada por el jugador está ya ocupada por otra ficha, la jugada no se considera válida. En este caso, en lugar de parpadear el segmento seleccionado, se pondrá un 8 durante un segundo en el display en el que se estaba introduciendo la ficha. Pasado ese tiempo se volverán a mostrar las fichas que había en el tablero antes de la jugada no válida y el jugador deberá seleccionar una nueva posición.

### **Detalles adicionales para el modo básico**

El juego básico deberá enfrentar a dos jugadores, que irán posicionando sus fichas sobre los espacios vacíos del tablero 3x3 de forma alternativa. La estructura del juego deberá ser la de un torneo, cuyo vencedor será el mejor de un total de 8 partidas. Cada partida se iniciará con el tablero vacío, y se dará como vencedor de la misma al jugador que primero haya sido capaz de realizar una línea recta o una diagonal con sus fichas. Si ninguno de ellos lo consigue, se dará la partida por finalizada con empate.

En este modo básico, se deberán tener en cuenta las siguientes normas de obligatorio cumplimiento:

- El jugador al que le corresponde el turno se indicará representando el número correspondiente (un 1 o un 2) en el display libre (el situado más a la derecha en la placa).
- La selección del jugador que empezará la primera partida de cada torneo, o tras una partida con resultado de empate, se realizará de manera aleatoria. En caso de que algún jugador se haya alzado con la victoria, la siguiente partida la deberá empezar el jugador perdedor. Se empleará también un procedimiento aleatorio para la selección del jugador que empezará cada una de las partidas durante la *muerte súbita*, a la que se llegará en caso de empate.
- A la finalización de cada partida, el número del jugador vencedor debe desplazarse de manera continua por los cuatro segmentos durante 5 segundos. En caso de empate se desplazará un signo de =, representado con los segmentos a y g.

- El número de partidas ganadas por cada jugador se indicarán encendiendo los LEDs de la placa de expansión, de la siguiente manera:
  - o Con cada nueva partida ganada por el jugador 1 se encenderá un nuevo LED, empezando por el extremo inferior (LED D1).
  - o Con cada partida ganada por el jugador 2, se encenderá un LED, en este caso, empezando por el extremo superior (LED D8).
- En caso de empate, ninguno de los jugadores mejorará su puntuación, aunque si se restará la partida del total de 8 que tiene el torneo.
- El torneo finalizará cuando sea ya imposible que el jugador que va por detrás pueda alcanzar al primero en las partidas restantes del torneo. En caso de empate a la finalización de las 8 partidas del torneo, el vencedor final se resolverá por el procedimiento de muerte súbita: el vencedor será el primero que gane una partida.
- A la finalización del torneo, el número del jugador vencedor debe mostrarse en todos los segmentos por tiempo indefinido, hasta que se vuelva a presionar el botón de reset para iniciar un nuevo torneo.

#### AMPLIACIONES OPCIONALES

Si la funcionalidad básica se completa correctamente, se le dará al grupo una nota de 5 puntos. Se ofrecen una serie de ampliaciones opcionales que podrán realizarse para mejorar la nota obtenida:

##### **Opción 1: Juego con Límite de Tiempo (Hasta 1 punto)**

Se establece un límite de tiempo para que cada jugador realice la jugada. Dicho límite empezará en 10 segundos en la primera partida del juego, y a este valor se le restará un segundo al comienzo de cada partida, dentro del torneo. El tiempo para cada jugada se comenzará a medir una vez se dé por finalizada la jugada anterior.

Si transcurrido el tiempo máximo para la realización de la jugada el jugador no ha confirmado la selección mediante la pulsación en B1, la selección se realizará por confirmada automáticamente. En este caso, no habrá oportunidad para corregir la selección. En caso de que se dé por elegida una posición no vacía del tablero o que el tiempo máximo se agote antes de entrar en el modo de selección, el sistema electrónico realizará una selección aleatoria de la posición final de entre las que se encuentran vacías.

##### **Opción 2: Juego Autónomo (Hasta 3 puntos)**

Se plantea como gran mejora opcional del juego el que un único jugador se pueda enfrentar a la máquina, que jugará en modo autónomo. En este caso, se propone a los alumnos la elección del algoritmo a emplear. Se podrá optar por algo tan sencillo como un modo autónomo basado en la selección de las posiciones del jugador “electrónico” de una manera totalmente aleatoria, así como por un modo basado en la búsqueda exhaustiva para no perder nunca, o un modo más inteligente basado en máquinas de estado pensando en esquemas de tipo árboles de decisión. Cualquier otra opción que decidáis será bienvenida. En esta ampliación obtendréis una nota proporcional a la complejidad (y la calidad del juego autónomo) resultante del algoritmo que se os ocurra implementar.

### **Opción 3: Opción libre (peso variable)**

Queda a la imaginación y creatividad de los alumnos pensar en implementar, usando los recursos disponibles en la placa de prácticas, otras opciones que hagan más atractivo el juego. Queda a criterio del profesor la evaluación de esta parte extra dependiendo de la originalidad y la complejidad asociada.

#### DESCRIPCIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS

El circuito a realizar dispone de las siguientes entradas y salidas

In	<b>clk</b>	Señal de reloj de 125 MHz.
In	<b>reset</b>	Señal de <i>inicialización</i> , procedente de un pulsador, y que se usa para iniciar un juego nuevo. Sirve como START.
In	<b>B1...B4</b>	Señales procedentes de los pulsadores, y que se emplearán para la selección de la posición para la ficha.
Out	<b>segments(7:0)</b>	8 señales para los displays de 7 segmentos (señales a, ..., g) y el punto decimal. Esta señal es activa por nivel bajo.
Out	<b>selector(3:0)</b>	Señales para selección de displays (4 dígitos). El display más a la izquierda es el 3, y el más a la derecha, el 0. El selector es activo por nivel alto.
Out	<b>led(7:0)</b>	Barra con 8 LEDs que muestra las partidas ganadas por cada jugador.
In	<b>mode(1:0)</b>	Señal procedente de dos interruptores, y que permitirá seleccionar entre el modo básico, el temporizado, el autónomo, o el modo con las mejoras libres.
In	<b>speed</b>	Señal procedente de un interruptor que permitirá seleccionar entre el modo de funcionamiento normal (asumiendo un reloj de 125 MHz) y el modo de simulación (en el que todas las referencias de tiempo se dividirán por 1000).

#### DETALLES ADICIONALES DEL FUNCIONAMIENTO

El **funcionamiento general** ha de ser el siguiente:

Generación de números aleatorios: Desde el instante en que se inicializa la FPGA, se debe tener un contador corriendo libremente a 125 MHz para generar, a partir de él, valores pseudo-aleatorios que se usarán para determinar a qué jugador le corresponde el turno inicial. La ‘aleatoriedad’ viene determinada por el instante de tiempo en que el jugador pulse o bien el *reset* o bien alguno de los botones, con el objeto de empezar la partida. Este contador no se debe inicializar en ningún momento y estará contando permanentemente. La generación de números aleatorios no puede ser sesgada, es decir, todas las posibilidades tendrán la misma probabilidad de ser escogidas.

La señal de **speed** debe emplearse de modo que las simulaciones no sean excesivamente largas. Sin embargo, el interruptor debe ponerse en modo normal para realizar la implementación en la placa, con el reloj externo real de 125 MHz.

Al pulsar el botón de *Reset*, o cualquier otro botón, comenzará el juego. Se deberá inicializar el contador de partidas a cero.



**Nota extremadamente importante:** Es requisito de diseño que el circuito sea completamente síncrono, es decir, absolutamente **todos** los biestables que se usen deberán ser síncronos y trabajar con el único reloj de 125 MHz. Es fundamental que se empleen descripciones secuenciales correctas, especialmente en lo que se refiere a los procesos síncronos. **El no cumplir con las reglas básicas de diseño VHDL restará puntos en la nota final de forma significativa, aunque el circuito cumpla la funcionalidad especificada.**

Se aconseja una velocidad de refresco de los displays superior a 100 Hz, pero nunca muy elevado (con frecuencias de MHz los LEDs no llegan a emitir luz).

### DISEÑO DEL CIRCUITO Y ENTREGA

El circuito se diseñará mediante VHDL. El fichero principal se consistirá en una descripción **puramente estructural** en el que la funcionalidad se separa en bloques funcionalmente consistentes. Queda a criterio del grupo la partición interna del circuito en los bloques que se consideren oportunos. En cualquier caso, la interfaz externa del circuito completo será la anteriormente expuesta y se entregarán todos los ficheros *.vhd* que conformen el diseño completo, así como los ficheros de *test bench* con las simulaciones de todos los bloques.

Aparte, en un documento (Word o PDF) se hará una breve explicación (1 ó 2 páginas, pero no más) de la división en bloques realizada y la funcionalidad de cada señal interna de conexión entre bloques. Si algún bloque se ha diseñado mediante un diagrama de estados, se deberá adjuntar éste en el documento también.

La entrega se realizará por Moodle como un único fichero *.zip*.

### VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

Para comprobar el correcto funcionamiento del circuito diseñado se realizará la simulación de todos los bloques fundamentales y del circuito completo. **La realización de dichas simulaciones es obligatoria y serán revisadas sobre el propio simulador por el profesor encargado, durante la entrega.**

Posteriormente, el diseño se probará sobre la FPGA real en el laboratorio de Electrónica y, cuando los grupos consideren, se citarán con el profesor para la entrevista final, empleando para ello un formulario que se habilitará en Moodle. Salvo casos muy excepcionales que considere el profesor, sólo hay una oportunidad para realizar la entrega final.

### CRITERIOS DE PUNTUACIÓN

Además de evaluar con una nota entre 0 y 10 la funcionalidad alcanzada por el trabajo, se considerarán otros aspectos:

- El tamaño (*LUTs* y *Flip-Flops*) del circuito resultante (que se mira en la tabla-resumen, tras la síntesis). En este caso, se realizará una comparativa de todos los alumnos de la clase, para cada uno de los modos. Se otorgará una puntuación entre +1 y -1 en este apartado, a sumar directamente sobre la nota alcanzada en la funcionalidad.
- Organización del proyecto y claridad del código. Se realizará un análisis del código proporcionado por los alumnos, así como de la estructura de bloques

propuesta. Se otorgará una puntuación entre +2 y -2 en este apartado, a sumar directamente sobre la nota alcanzada en la funcionalidad.

- La ausencia de test-bench así como el incumplimiento de las reglas básicas de diseño serán fuertemente penalizadas (hasta -5 puntos sobre la nota final).
- Se debe tener en cuenta que la entrega del trabajo es a todos los efectos como un examen de la asignatura, por lo que el profesor podrá penalizar o premiar a alguno de los componentes del grupo, en función del conocimiento que demuestren del código realizado, y las respuestas que proporcionen a una serie de cuestiones sobre VHDL y el propio trabajo que irá realizando el profesor.

Es muy importante **contabilizar** las horas de **esfuerzo real** que usa cada alumno en la realización del trabajo. La complejidad que se ha estimado es de 20 horas por alumno. Si al cubrir este número de horas sólo se ha abordado la funcionalidad básica, es conveniente no hacer otras, para no extender el tiempo dedicado al trabajo. El profesor también preguntará cuántas horas ha dedicado cada alumno por separado, y que cada uno le explique el bloque que él decida.

#### **DOCUMENTACIÓN ADICIONAL**

Ésta es la primera versión del documento de especificaciones, aunque conviene mirar periódicamente en Moodle para posibles actualizaciones del documento.

Aparte del documento de especificaciones, es conveniente mirar los guiones de prácticas de la asignatura, también disponibles en Moodle.