

PRÁCTICA 3

ESTRUCTURA DE COMPUTADORES

1º DE I. T. I. SISTEMAS

DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DIGITAL MEDIANTE EL PROGRAMA LOGISIM

OBJETIVO DE LA PRÁCTICA

El objetivo de la práctica es implementar con el simulador de circuitos lógicos LOGISIM uno de los sistemas digitales que aparecen en el boletín de problemas de la asignatura Estructura de Computadores de 1º de I.T.I. Sistemas. Concretamente, se trata del problema 35 del boletín1, en el que se nos pide que diseñemos un circuito multiplicador muy simple basado en tres contadores.

REQUISITOS PREVIOS

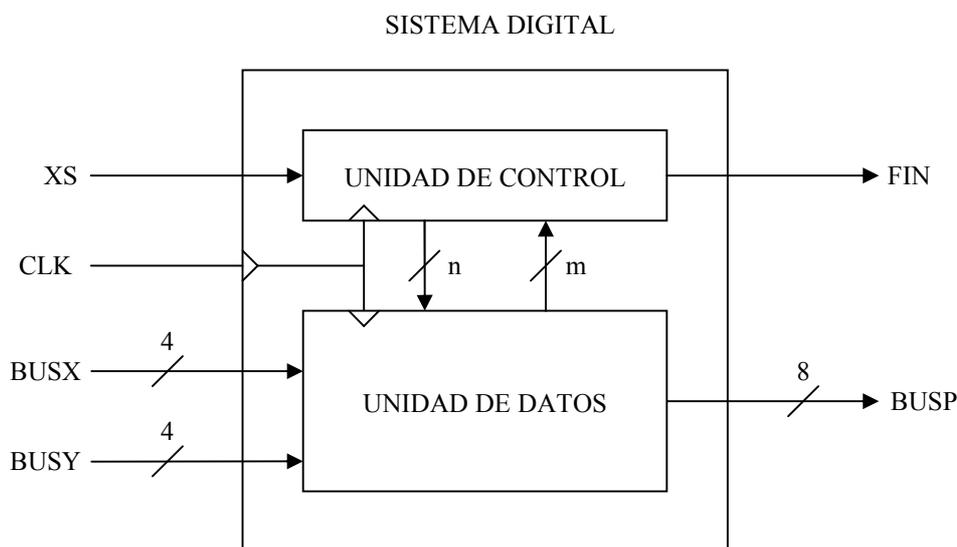
El alumno debe conocer previamente a la realización de la práctica el programa LOGISIM. Para ello deberá haberse leído las presentaciones que se han dejado en la web de la asignatura y que son tutoriales que van mostrando, paso a paso, el manejo del programa.

ESTRUCTURA DEL SISTEMA DIGITAL

El sistema digital con el que vamos a trabajar es un multiplicador que, dados dos números enteros sin signo, X e Y, debe ser capaz de calcular el producto aritmético $P = X \times Y$.

Los datos X e Y le llegan al sistema cada uno por un bus diferente (BUSX y BUSY), y el resultado se manda al exterior por otro bus distinto (BUSP).

La estructura del sistema digital es la habitual y se muestra en la siguiente figura. La señal de reloj es común, como siempre, a ambas unidades. Todas las operaciones de la unidad de datos son síncronas. La unidad de control es la encargada de atender a la señal XS y generar la señal FIN.



Estructura general del MULTIPLICADOR

INTERFAZ CON EL USUARIO

A continuación se detalla la forma en la que el usuario del multiplicador interactúa con el mismo.

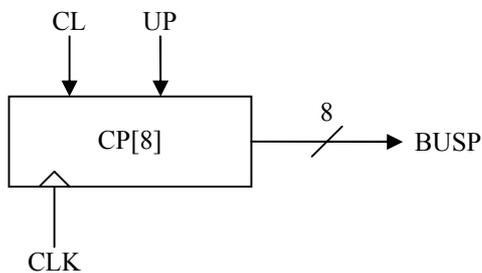
El usuario colocará en el BUSX el operando X y en el BUSY el operando Y, tras lo cual pondrá la señal de entrada XS a valor 1, que será interpretada por el sistema digital como la orden de comienzo de operación. X e Y se deben mantener en los buses correspondientes hasta que acabe la multiplicación.

Debe prestarse especial cuidado al tiempo en el que XS permanezca activada. La señal XS se pondrá a 1 tras un flanco activo del reloj y se pondrá a 0 tras el siguiente flanco activo del reloj. El incumplimiento de esta norma que regula el tiempo que XS permanece activada, conducirá a problemas de funcionamiento en el multiplicador.

El multiplicador, cuando acabe la operación de multiplicación, pondrá en BUSP el resultado de la misma y avisará al usuario del sistema digital de que hay un resultado válido en el BUSP activando la señal FIN durante un único ciclo de reloj. La señal FIN se pondrá a 1 tras un flanco activo del reloj y se pondrá a 0 tras el siguiente flanco activo del reloj. El usuario, si FIN no está activado, no puede considerar válido el dato del BUSP.

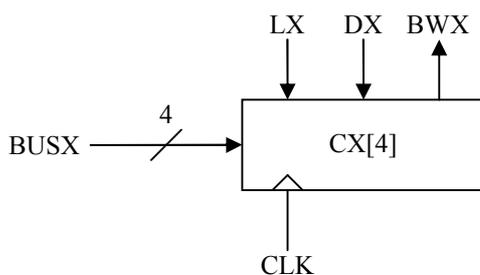
LA UNIDAD DE DATOS

La unidad de datos del multiplicador se compone exclusivamente de tres contadores, cuya estructura y descripción de funcionamiento se muestran en la figura siguiente.

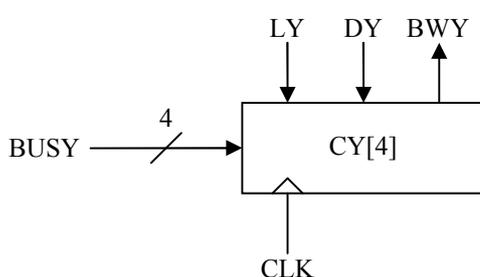


CL	UP	CP ←	BUSP =
0	0	CP	[CP]
0	1	CP + 1	[CP]
1	X	0	[CP]

CP es un CONTADOR ASCENDENTE



LX	DX	CX ←	BWX =
0	0	CX	1 si y solo si [CX] vale 0000
0	1	CX - 1	
1	0	BUSX	
1	1	BUSX - 1	



LY	DY	CY ←	BWY =
0	0	CY	1 si y solo si [CY] vale 0000
0	1	CY - 1	
1	0	BUSY	
1	1	BUSY - 1	

CX es un CONTADOR DESCENDENTE y CY es idéntico a CX.

Unidad de Datos del MULTIPLICADOR

PRUEBA DE LA UNIDAD DE DATOS CON LOGISIM

Arranque el programa LOGISIM usando el icono que hay en el escritorio. Entre en el Menú “File”, selecciones “Preferencias...” y dentro de la pestaña “Internacional” seleccione el idioma “Español”. Luego, en el menú “Archivo” seleccione “Abrir” y abra el archivo llamado “multiplicador”, que contiene el diseño del sistema digital sobre el que vamos a trabajar.

Una vez hecho esto, podrá ver en la parte superior izquierda de la pantalla los diferentes diseños de circuitos contenidos en el archivo “multiplicador”. Fíjese en que los dos primeros se llaman CONTADOR ASCENDENTE y CONTADOR DESCENDENTE.

Entre dentro del CONTADOR ASCENDENTE y compruebe, usando las capacidades de simulación de LOGISIM, que su funcionamiento de dicho CONTADOR ASCENDENTE es exactamente el que hemos descrito en la tabla de la figura anterior. “Juegue” un poco con él, haciendo que vaya incrementándose con la señal de incremento (UP), efectúe un borrado (CL), etc.

¿Está prohibido activar simultáneamente la señal CL y la señal UP del contador?

¿Qué ocurre si se activan simultáneamente la señal CL y la señal UP?

¿El borrado del contador es síncrono o es asíncrono?

Vaya anotando las respuestas de las cuestiones que se le van formulando.

Entre ahora dentro del CONTADOR DESCENDENTE y compruebe, usando las capacidades de simulación de LOGISIM, que el funcionamiento de dicho CONTADOR DESCENDENTE es exactamente el que hemos descrito en la tabla de la figura anterior. Haga que vaya decrementándose con la señal de decremento D (DOWN), ponga valores en el BUS de entrada y cárguelos usando la señal L (LOAD), consiga que se active la señal BW (BORROW) del contador, etc.

¿Está prohibido activar simultáneamente la señal L y la señal D?

¿Qué ocurre si se activan simultáneamente la señal L y la señal D?

¿Qué valor (o valores) del contador consiguen que se active la señal BW(BORROW)?

¿Qué valor tomará el contador si lo decrementamos cuando el valor del contador es 0?

LA UNIDAD DE CONTROL

La unidad de control obtendrá el producto $P = X \times Y$ utilizando única y exclusivamente los tres contadores existentes en la unidad de datos de la figura anterior. Es decir, que no disponemos de una ALU con la que hacer sumas ni tampoco podemos ir desplazando los números de ninguna forma, así que no podemos aplicar algoritmos de multiplicación sofisticados y veloces, sino que tendremos que “apañarnos” con los tres contadores y usar un algoritmo bastante lento.

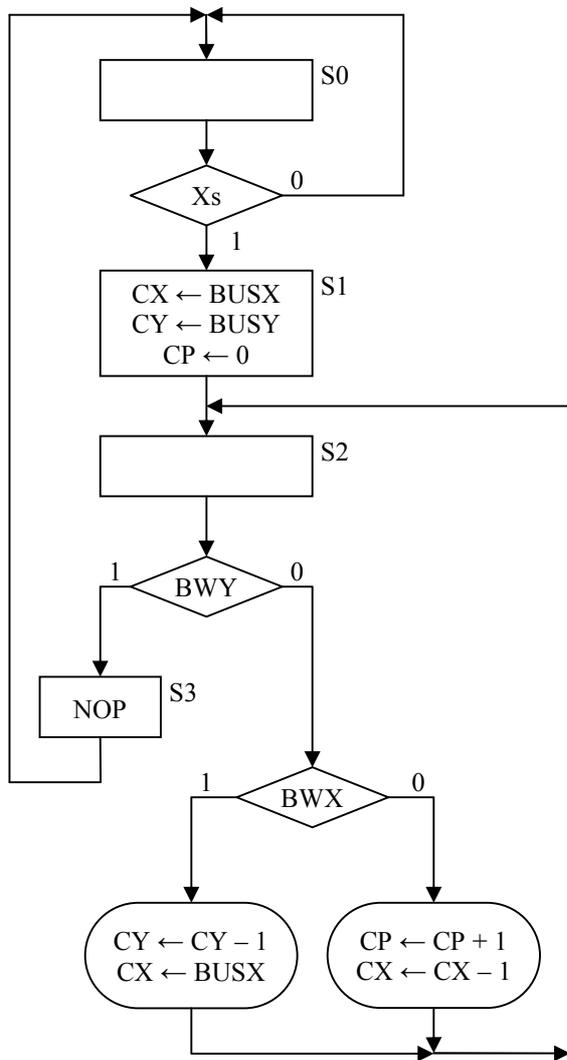
El algoritmo en cuestión se muestra a continuación, en “pseudocódigo”, para que se entienda fácilmente la lógica del mismo.

```
CX ← BUSX
CY ← BUSY
CP ← 0

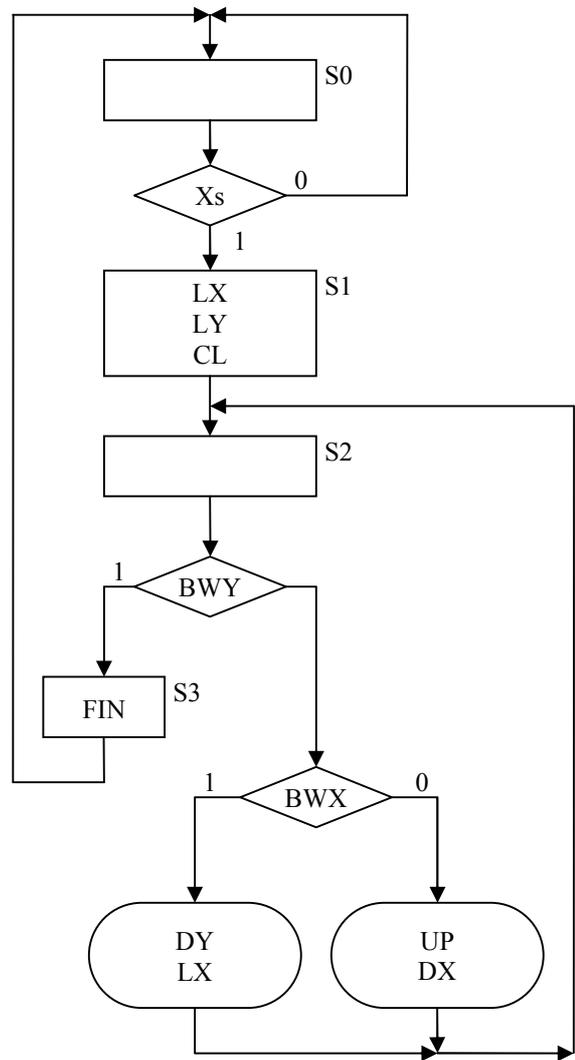
MIENTRAS CY > 0 HACER
    MIENTRAS CX > 0 HACER
        CP ← CP + 1
        CX ← CX - 1
    FIN MIENTRAS
    CY ← CY - 1
    CX ← BUSX
FIN MIENTRAS
```

Como puede apreciarse, el algoritmo, tras una fase de inicialización de los contadores, va decrementando CX e incrementando CP hasta que CX llega a cero. Cuando esto ocurre, vuelve a cargar CX con su valor inicial, decrementa CY y repite de nuevo la fase de ir decrementando CX e incrementando CP. Obviamente, al final del todo el contador CY llegará a cero, momento en el cual CP habrá sido incrementado exactamente P veces, por lo que el proceso finaliza y tenemos almacenado en CP el producto de del número que había en BUSX por el número que había en BUSY.

A continuación se muestra la carta ASM de la unidad de control que implementa exactamente el algoritmo que acabamos de explicar.



Carta ASM de Procesado



Carta ASM de Control

Carta ASM del MULTIPLICADOR (Primera versión)

PRUEBA DEL SISTEMA DIGITAL MONOBLOQUE

Entre ahora en el SISTEMA DIGITAL MONOBLOQUE haciendo “doble click” en el tercer circuito que aparece en la lista de circuitos del archivo “multiplicador”.

Coloque un par de números en los dos BUSES de entrada y actúe sobre la entrada CLK provocando subidas y bajadas en la entrada de reloj de los biestables “D”. Comprobará que el sistema parece que “no funciona”. El motivo es que si no activamos la señal XS, el sistema entiende que aún no queremos que empiece a funcionar. Active XS hasta que el sistema nos avise con la señal FIN de que la multiplicación ha terminado. Compruebe que el resultado que se obtiene en BUSP es el correcto.

Es muy probable que se le “olvide” que la señal XS no puede permanecer a 1 más tiempo de la cuenta... **¿Qué ocurre si XS dura más de un ciclo de reloj?**

Recuerde que puede alterar “a mano” el estado de los biestables en cualquier momento, usando la “mano” de LOGISIM (la “herramienta de cambio”). Esto es útil, por ejemplo, si a mitad del funcionamiento del MULTIPLICADOR nos damos cuenta de que algo va mal y queremos volver al estado inicial en el que los biestables están todos a cero.

Otra forma de poner todos los biestables “a cero” es pulsar “CTRL-R”. Esto “resetea la simulación” y borra todos los valores internos de todos los elementos. Eso incluye el borrado de los biestables y registros (se borran los contadores) pero también borrará las entradas que haya colocado en el BUSX y en el BUSY, así que recuerde que si utiliza “CTRL-R” debe volver a dar valor a los buses.

Multiplique $X=3$ por $Y=2$ y cuente el número de flancos de subida de reloj que hay que generar hasta que el multiplicador activa la señal FIN. Repita la cuenta para la multiplicación de $X=2$ por $Y=3$ y compruebe que le sale un número aún mayor. Anote los resultados.

En las clases de teoría se explicaba una solución al problema de una señal de inicio demasiado larga. Esta solución estaba basada en un circuito formado por dos biestables “D” y una puerta AND que era capaz de transformar una señal de inicio XL (LARGA) en una señal de inicio XS que dura exactamente un ciclo. **Implemente dicha solución en el SISTEMA DIGITAL MONOBLOQUE.** Otra posible solución al problema es hacer un AND entre la salida complementada de los tres biestables y la señal XL. La salida de esa puerta AND solo valdrá 1 si XL es 1 y además estamos en el estado inicial. Esta última solución tiene el problema de que no convierte XL en una única activación de XS, pues si XL dura lo suficiente, XS se activará de nuevo justo después de que se active la señal FIN. **Implemente también esta segunda solución y compare ambas soluciones.**

PRUEBA DEL SISTEMA DIGITAL MODULAR

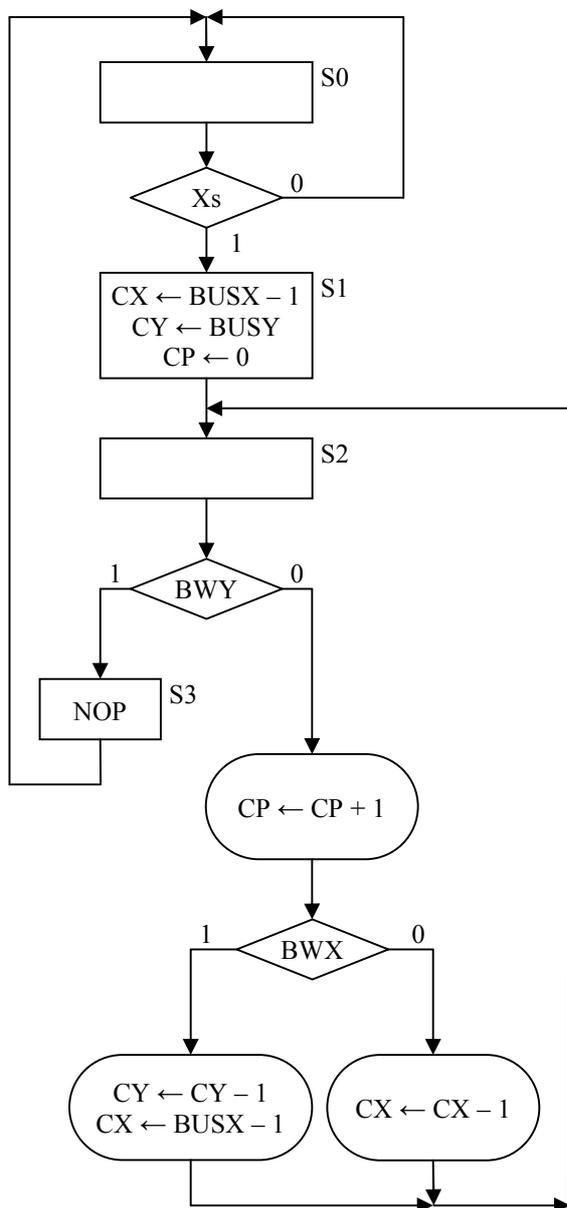
Entre ahora en el circuito llamado SISTEMA DIGITAL MODULAR y compruebe que funciona correctamente haciéndolo multiplicar un par de números.

Desde el SISTEMA DIGITAL MODULAR, entre en sus dos SUBCIRCUITOS: La UNIDAD DE DATOS y la UNIDAD DE CONTROL. Recuerde que tiene que entrar haciendo “click” con el botón derecho del ratón sobre el CHIP del SUBCIRCUITO que se ve dentro de la “pizarra de trabajo”. Para volver al circuito “padre” puede hacerlo a través del menú “Simular” o bien pulsando “CTRL-Arriba”, que es más rápido.

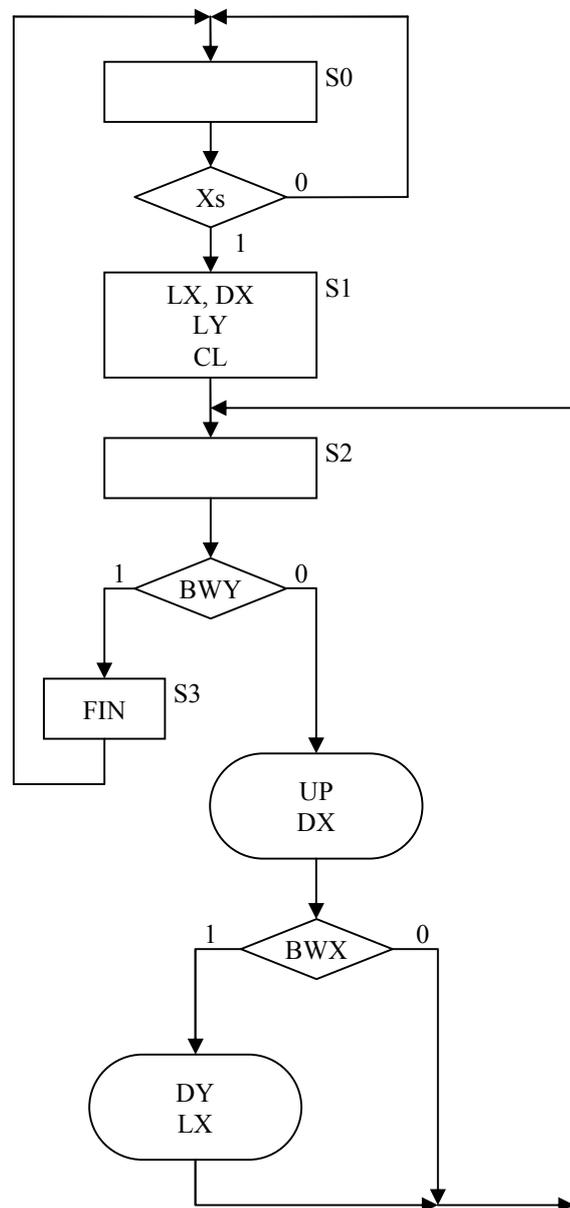
Compruebe que, cuando está visualizando un SUBCIRCUITO vinculado al SISTEMA DIGITAL MODULAR, no puede cambiar la entrada CLK ni ninguna otra entrada de dicho SUBCIRCUITO. Si quiere hacer que la entrada CLK cambie debe hacerlo cuando está viendo el circuito “padre”, es decir, el SISTEMA DIGITAL MODULAR. Lo mismo es aplicable si lo que quiere es cambiar XS, BUSX o BUSY, debe cambiarlos en el circuito “padre”, el SISTEMA DIGITAL MODULAR.

ADICIÓN DE UN RELOJ AL SISTEMA DIGITAL MODULAR

Entre en el SISTEMA DIGITAL MODULAR, borre el “pin de entrada” llamado CLK y ponga en su lugar un “Reloj”. El “Reloj” es un componente que encontrará en la “Carpeta Base”. El “Reloj” va cambiando de valor (de 0 a 1 o bien de 1 a 0) cada vez que hacemos “click” sobre él con la “mano”. Otra forma muy interesante y cómoda de hacer que este “Reloj” cambie de valor es pulsar “CTRL-T”. Compruebe que el método de pulsar “CTRL-T” puede usarse también desde dentro de un SUBCIRCUITO (la UNIDAD DE DATOS o la UNIDAD DE CONTROL). Esta técnica nos permite disfrutar de la “limpieza” y “claridad” de un SISTEMA DIGITAL organizado en SUBCIRCUITOS, sin perder la posibilidad de hacer avanzar el “Reloj” mientras examinamos el funcionamiento de uno de los SUBCIRCUITOS.



Carta ASM de Procesado



Carta ASM de Control

Carta ASM del MULTIPLICADOR (Segunda versión)

SEGUNDA VERSION DE LA UNIDAD DE CONTROL

En la página anterior se muestra una carta ASM que implementa el mismo algoritmo de multiplicación que hemos visto, pero que es algo más rápida que la de la primera versión. Se trata de una segunda versión que elimina algunos ciclos en los que no se hacía nada productivo. Esto se consigue gracias a que el contador descendente CX es capaz de cargarse con el valor que hay en el BUSX menos 1, lo que permite detectar antes que el contador llega a cero.

Entre en la UNIDAD DE CONTROL del SISTEMA DIGITAL MODULAR y modifíquela para que refleje los cambios mostrados en la carta ASM de la página anterior (segunda versión).

Tenga cuidado al editar la UNIDAD DE CONTROL y procure no cambiar el orden (de izquierda a derecha) que tienen los “pines de entrada y de salida”. Puede moverlos arriba o abajo si necesita espacio para los cables, pero no los desordene, pues esto afectaría al orden de los pines del SUBCIRCUITO y por tanto la unión entre la UNIDAD DE CONTROL y la UNIDAD DE DATOS no sería la correcta.

Multiplique $X=3$ por $Y=2$ y cuente el número de flancos de subida de reloj que hay que generar hasta que el el multiplicador activa la señal FIN. Repita la cuenta para la multiplicación de $X=2$ por $Y=3$ y compruebe que ahora le sale el mismo número. Anote los resultados. Deben ser mejores que los de la primera versión de la carta ASM.

TERCERA VERSION DE LA UNIDAD DE CONTROL

En la siguiente página se muestra una carta ASM que presenta alguna mejora adicional a la de la segunda versión. Lo que hemos hecho ha sido “convertir” las cajas de estado S0 y S3 en cajas de acción condicional, con lo que la ejecución de cualquier multiplicación tardará ahora dos ciclos menos que antes.

Entre en la UNIDAD DE CONTROL del SISTEMA DIGITAL MODULAR y modifíquela para que refleje los cambios mostrados en la carta ASM de la página siguiente (Tercera versión).

Multiplique $X=3$ por $Y=2$ y cuente el número de flancos de subida de reloj que hay que generar hasta que el el multiplicador activa la señal FIN. Repita la cuenta para la multiplicación de $X=2$ por $Y=3$ y compruebe que le sale el mismo número. Anote los resultados. Deben ser mejores que los de la segunda versión de la carta ASM.

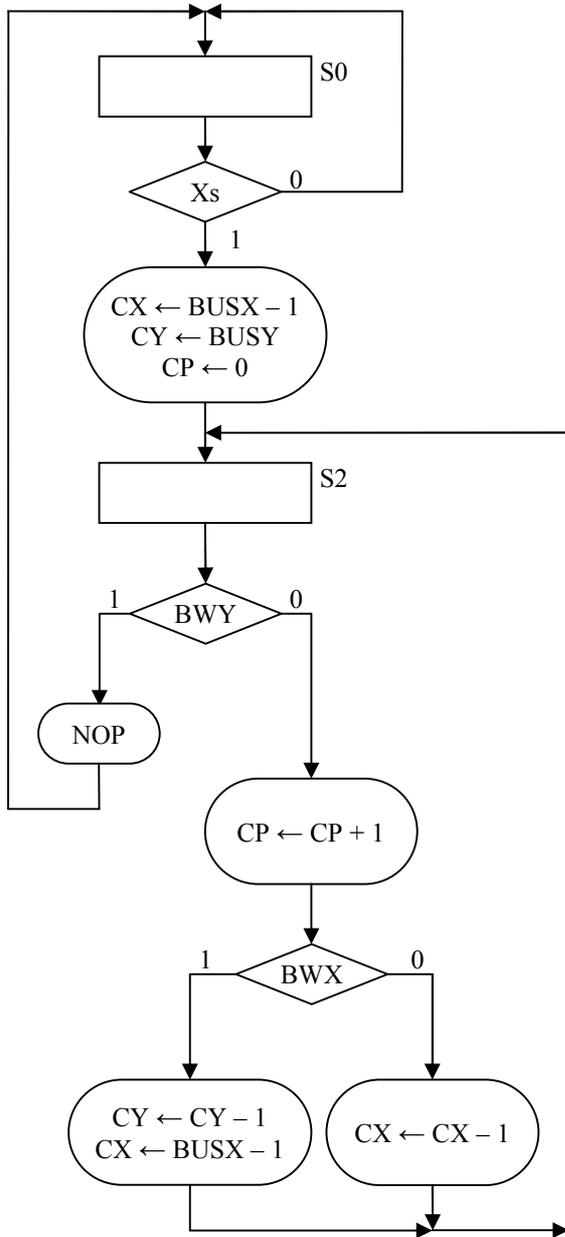
REDUCCIÓN DEL COSTE DEL CIRCUITO

Intente eliminar la puerta OR que une las dos salidas del DEMULTIPLEXOR gobernado por la señal BWX. Si lo consigue no habrá ganado en rapidez, pero su circuito será más económico.

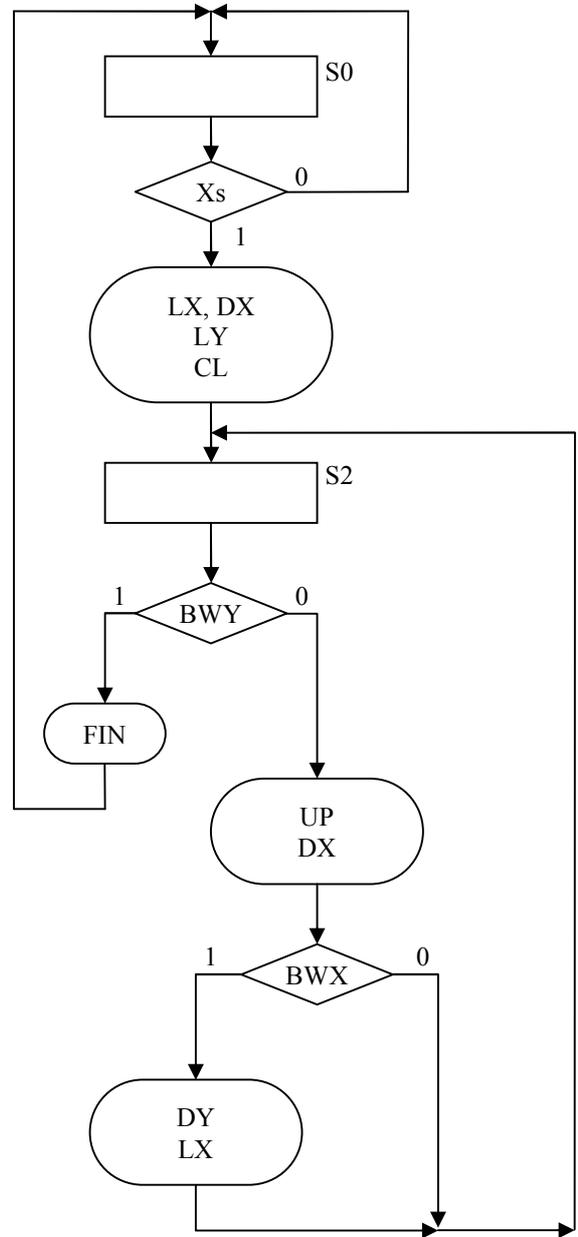
LIMITACIONES DE LAS VERSIONES SEGUNDA Y TERCERA

Quizá no se haya dado cuenta, pero la mejora en velocidad que se introdujo en la segunda versión de la unidad de control introdujo una limitación en el uso del multiplicador. Esta limitación, que ha heredado la tercera versión, consiste en que el número que entra por el BUSX no puede ser cero, pues de lo contrario el resultado de la multiplicación es erróneo.

Si le sobra tiempo, entre en la UNIDAD DE CONTROL del SISTEMA DIGITAL MODULAR y modifíquela para que implemente los cambios mostrados en la carta ASM de la última página (Cuarta versión), que hacen que hacen que no exista limitación alguna.

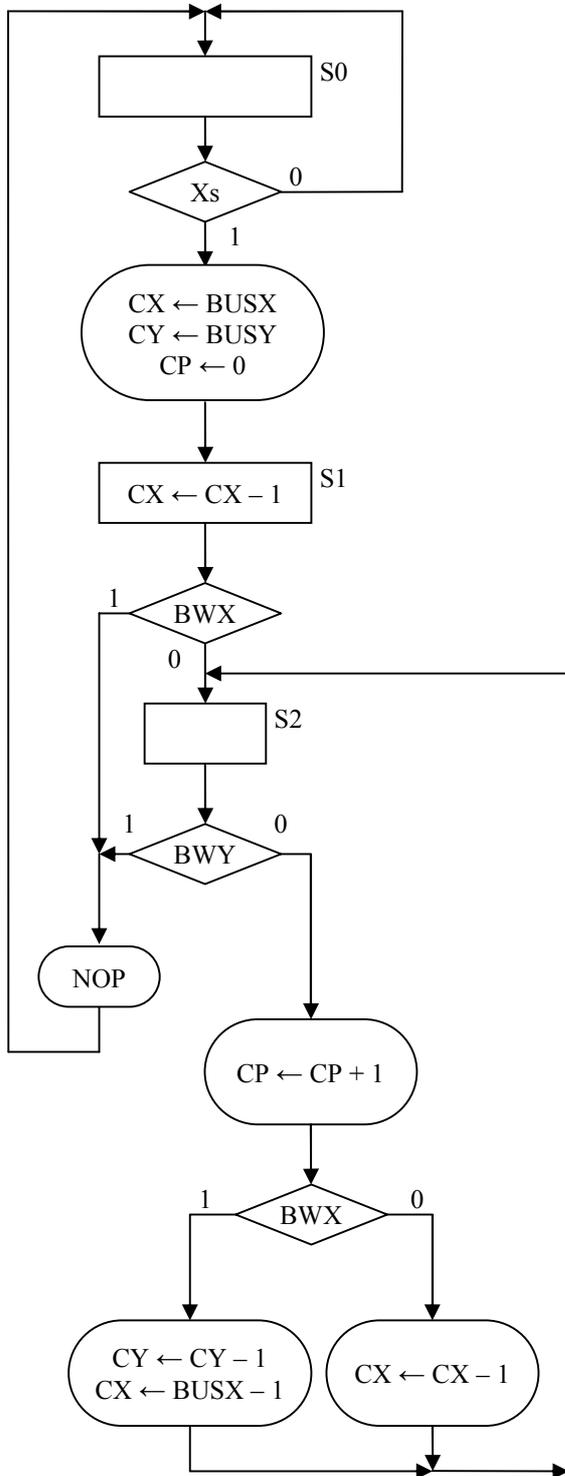


Carta ASM de Procesado

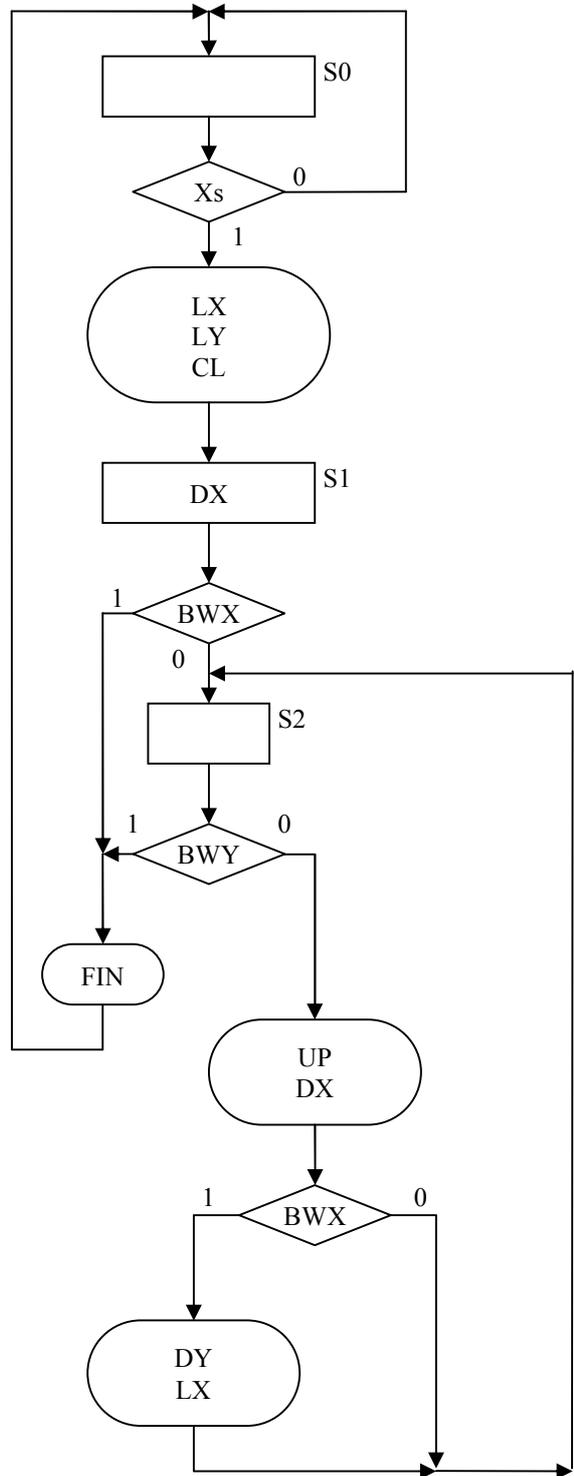


Carta ASM de Control

Carta ASM del MULTIPLICADOR (Tercera versión)



Carta ASM de Procesado



Carta ASM de Control

Carta ASM del MULTIPLICADOR (Cuarta versión)