

TEMA 5: Circuitos combinacionales**OBJETIVOS**

Trabajar de forma práctica con algunos circuitos combinacionales como son los decodificadores, con diferentes configuraciones, los codificadores, los multiplexores y demultiplexores.

RELACIÓN DE MATERIALES

- Entrenador Universal Trainer o plataforma equivalente para experimentación de circuitos digitales; cables de conexión.
- C. Integrados: 1 x 74xxx04, 1 x 74xxx08; 1 x 74xxx32; 1 x 74xxx42; 1 x 74xx47; 1 x 74xxx139; 1 x 74xxx148; 1 x 74xxx157;

INDICE GENERAL**P1: DECODIFICADORES**

- P1-1 Decodificador/selector de 2x4
- P1-2 Decodificador/selector 74xxx139 de 2x4
- P1-3 Decodificador BCD a decimal 74xxx42
- P1-4 El display de 7 segmentos
- P1-5 Decodificador BCD a 7 segmentos 74xxx47

P2: CODIFICADORES

- P2-1 Codificador de 4 a 2
- P2-2 Codificador 74xxx148 de 8 a 3 con prioridad

P3: MULTIPLEXORES

- P3-1 Multiplexor de 2 a 1
- P3-2 Cuádruple multiplexor de 2 a 1; el 74xxx157
- P3-3 Decodificación multiplexada

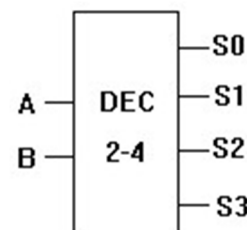
P4: DEMULTIPLEXORES

- P4-1 Demultiplexor 1 a 2

TEMA 5: Circuitos combinacionales

P1: DECODIFICADORES

Por definición un decodificador es un circuito que recibe una información en forma de código (binario puro, BCD, GRAY, ASCII, etc...) y genera a su salida una información binaria sin codificar. En la imagen tienes el esquema por bloques de lo que sería un decodificador/selector de 2x4. Por cada código de entrada se activa una de sus cuatro salidas. En general se puede decir que el N° de salidas es igual a 2^n entradas. Por ejemplo, con 2 entradas tenemos 4 salidas (2^2), con 3 entradas tenemos 8 salidas (2^3), con 4 entradas 16 salidas (2^4), etc...



P1-1 Decodificador/selector de 2x4

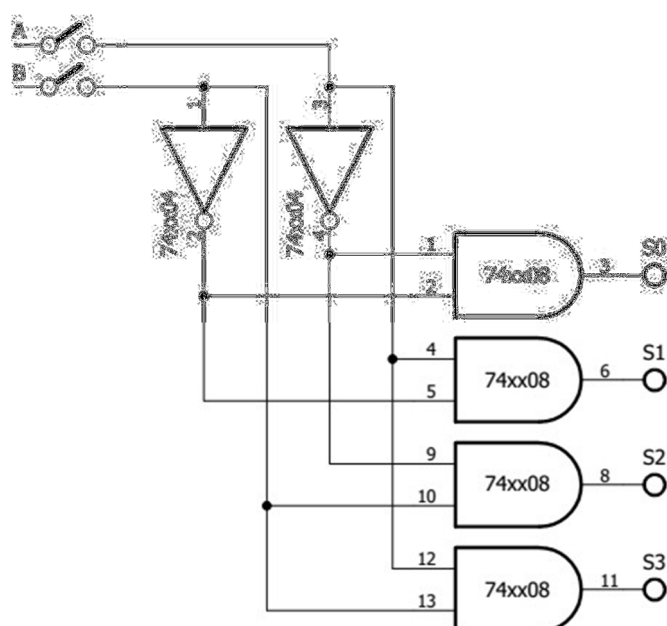
ENTRADAS		SALIDAS			
B	A	S3	S2	S1	S0
0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0

Su circuito es muy sencillo y fácil de implementar. Vamos a montar un decodificador de 2x4 usando puertas lógicas convencionales. Como ya hemos hecho en otras ocasiones, empezamos desarrollando la tabla de la verdad y las ecuaciones correspondientes.

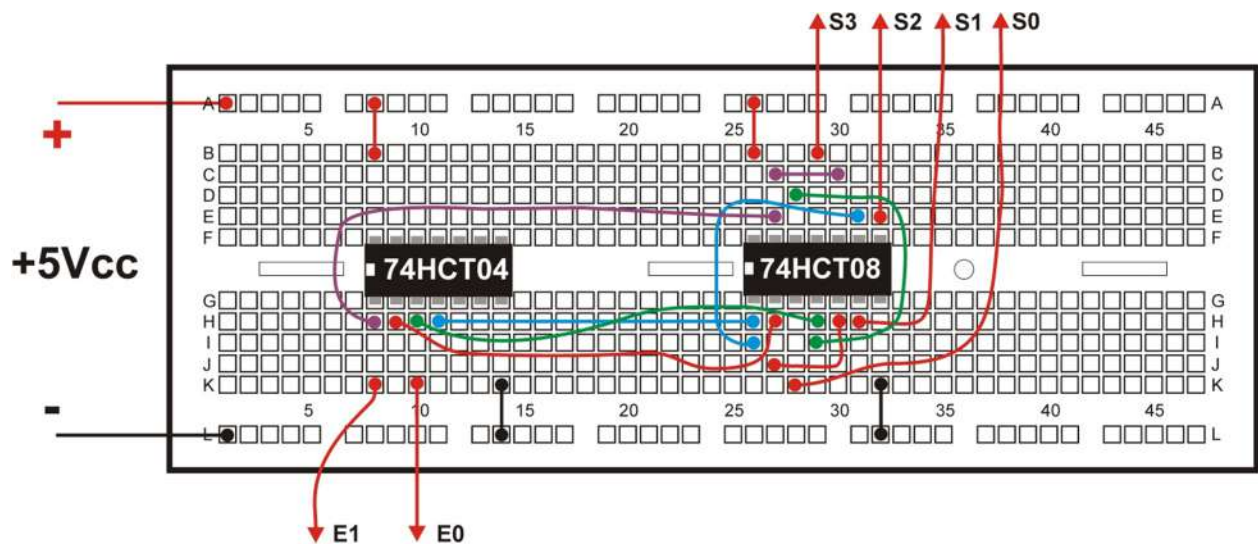
$$S0 = \bar{B} \cdot \bar{A}; S1 = B \cdot \bar{A}; S2 = \bar{B} \cdot A; S3 = B \cdot A$$

Puedes comprobar que realmente no hay novedades. Empleamos puertas AND para resolver los productos lógicos de las ecuaciones, y puertas NOT para las negaciones.

A estas alturas ya debes de saber que cada circuito integrado necesita ser alimentado. En este caso tanto el 74xx04 como el 74xx08 se alimentan desde la patilla 14 (+5 V) y la 7 (GND).

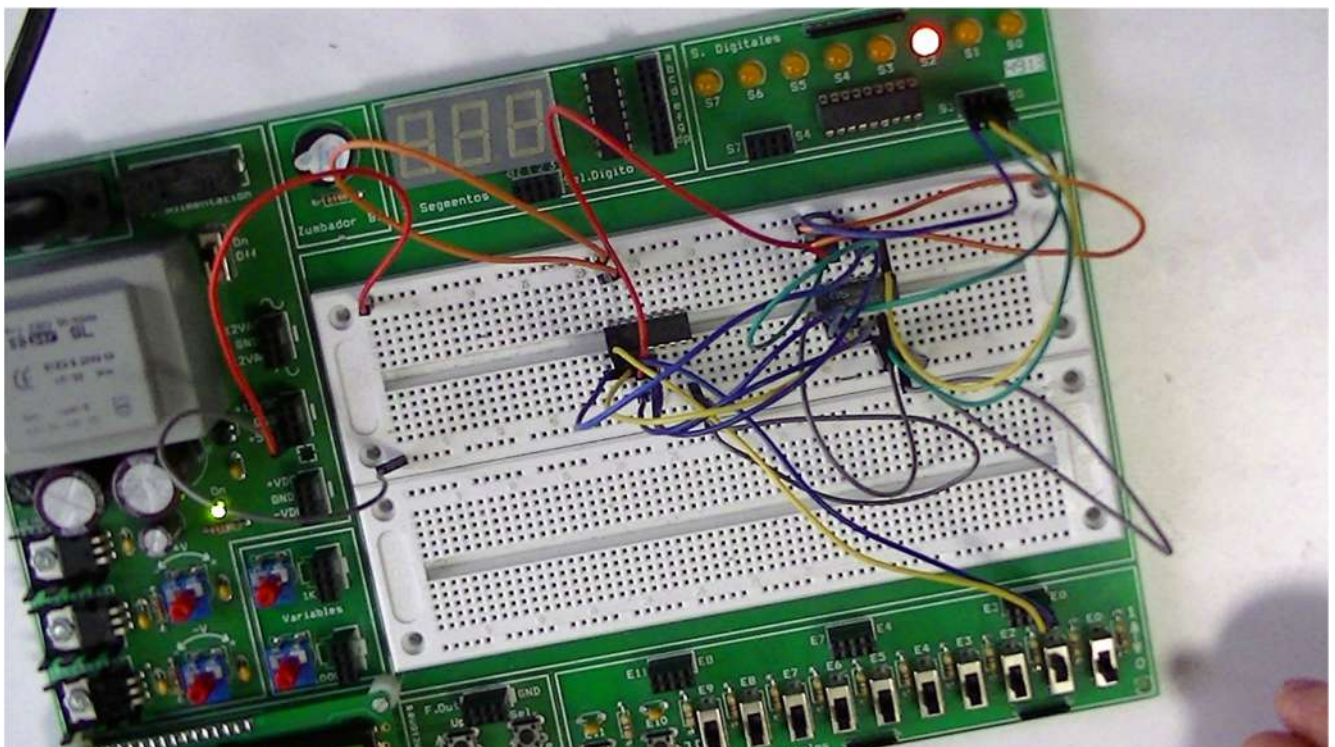


En la imagen tienes el montaje realizado sobre un módulo board estándar.



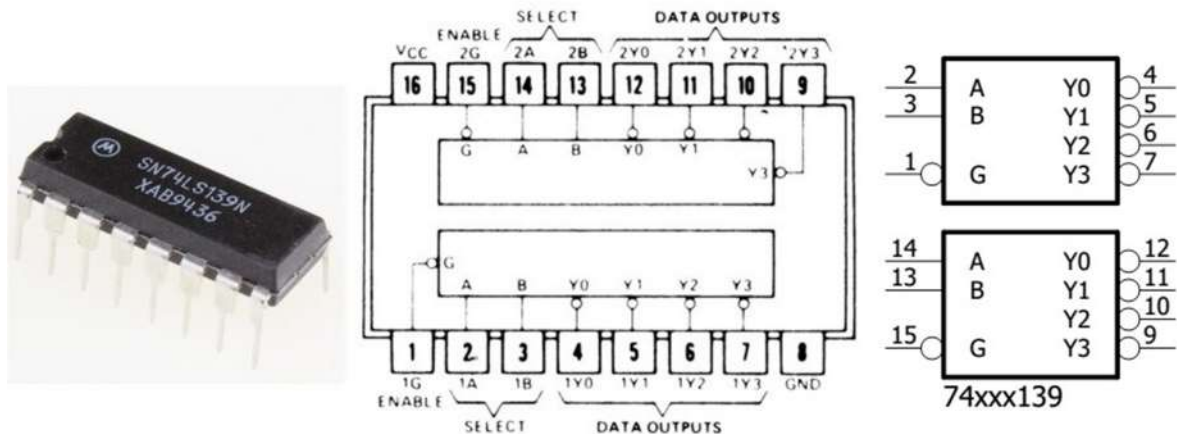
Para desarrollar la práctica lo único que se me ocurre es que completes la tabla de la verdad una vez que montes el circuito. Observa que por cada combinación binaria de entrada se activa una y solo una de las cuatro salidas.

ENTRADAS		SALIDAS			
B	A	S3	S2	S1	S0
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

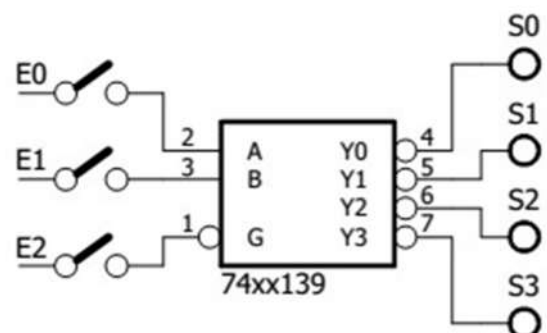


P1-2 Decodificador/selector 74xxx139 de 2x4

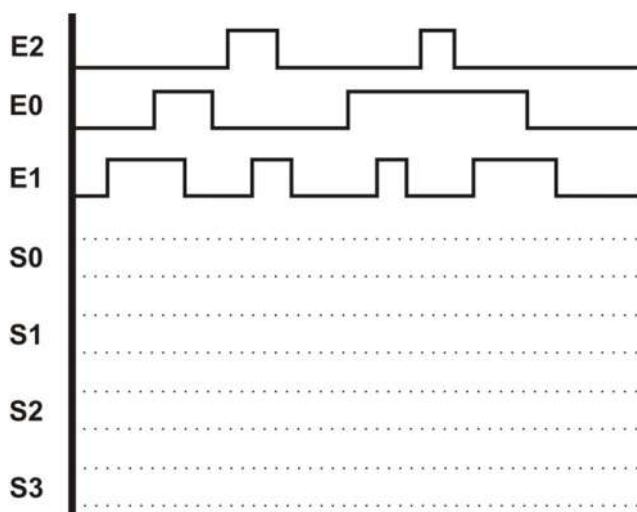
En esta ocasión vamos a emplear un circuito integrado comercial en cuyo interior dispone de dos decodificadores de 2x4 totalmente independientes entre sí. Estamos hablando del 74xxx139 cuyo patillaje y distribución interna puedes ver en la figura.



Observa que tiene una señal de habilitación activa por nivel "0", y las salidas son activas también por nivel "0". Pues bien, como ambos decodificadores son idénticos, vamos a usar uno de ellos, el primero. Realiza el montaje de la figura. Se usan los interruptores E0-E2 como señales de entrada y los leds S0-S3 para representar el estado de las salidas.



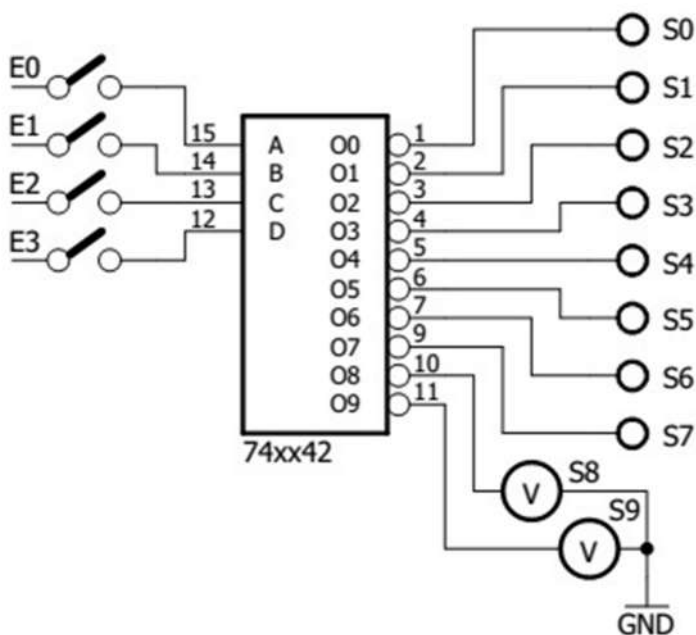
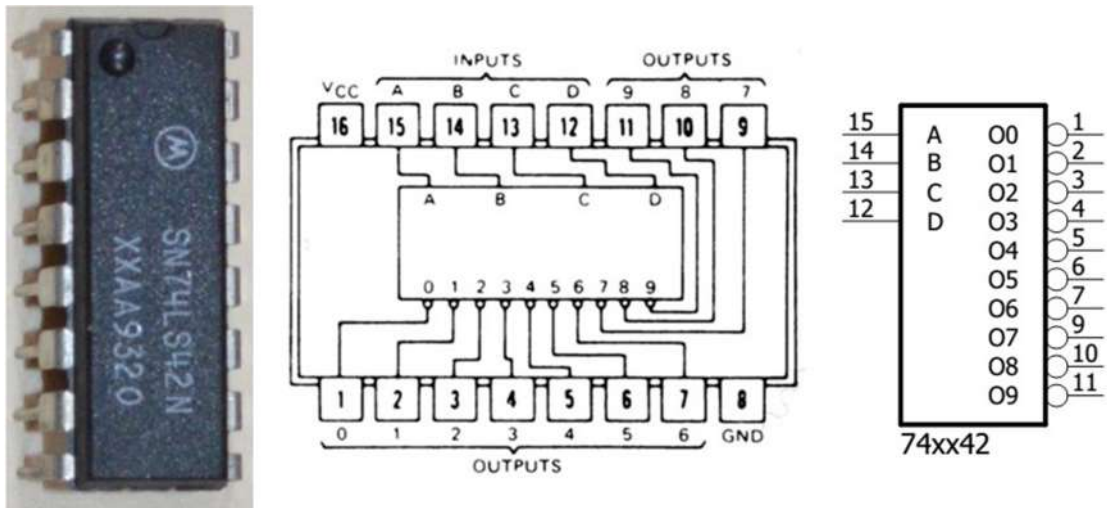
Completa la tabla de la verdad y el diagrama de tiempos de la figura, ¿te atreves?



ENTRADAS			SALIDAS			
E2(G)	E1(B)	E2(A)	S3	S2	S1	S0
0	0	0				
0	0	1				
0	1	0				
0	1	1				
1	X	X				

P1-3 Decodificador BCD a decimal 74xx42

Otro clásico de entre los circuitos decodificadores, el 74xx42. Se trata de un decodificador BCD a decimal. Mira su patillaje y distribución interna.



Realiza el montaje práctico sobre el entrenador Universal Trainer o plataforma similar, según el esquema.

Los interruptores E3-E0 introducen un código BCD según el cual se activa la salida correspondiente.

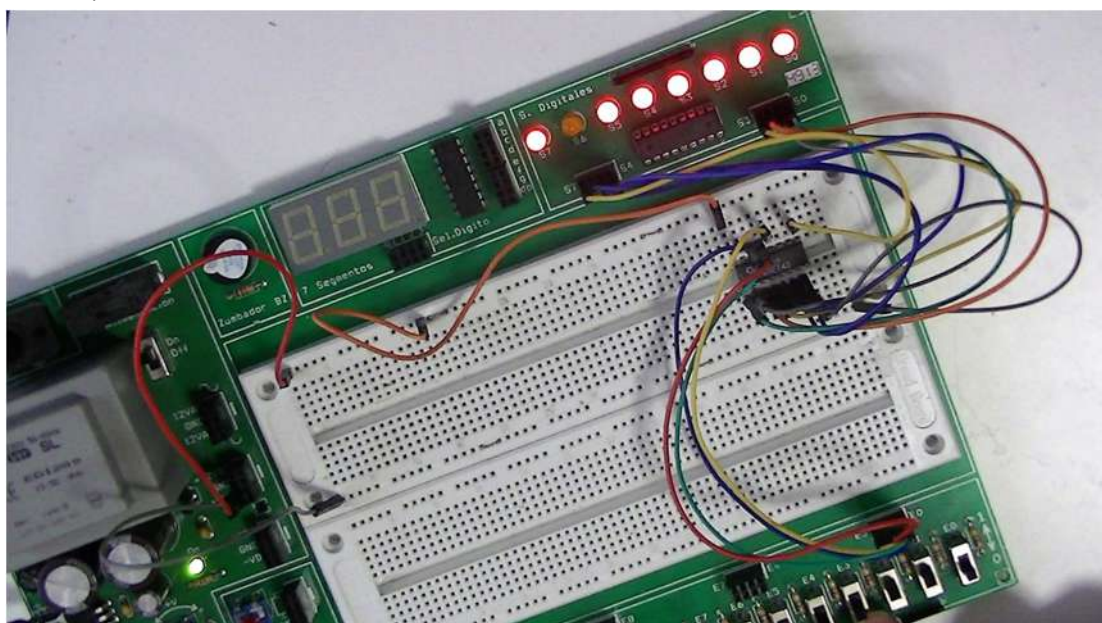
Observa que las salidas son activas por nivel "0". Por otra parte, el entrenador Universal Trainer solo dispone de 8 leds para visualizar otras tantas señales digitales. En caso de que no dispongas de una sonda lógica te recomiendo que

utilices un sencillo voltímetro para medir la tensión de las señales en las salidas S8 y S9 (patillas 10 y 11). Recuerda, si hay tensión la señal es de nivel "1" (salida desactivada) y si la tensión es de 0 V la señal es de nivel lógico será "0" (salida activada).

Completa la tabla de la verdad con especial atención. Como hay 4 señales de entrada (E3-E0) las combinaciones posibles son 16 (2^4). Analiza y explica qué pasa con las 6 últimas.

ENTRADAS				SALIDAS									
E3	E2	E1	E0	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0
0	0	0	0										
0	0	0	1										
0	0	1	0										
0	0	1	1										
0	1	0	0										
0	1	0	1										
0	1	1	0										
0	1	1	1										
1	0	0	0										
1	0	0	1										
1	0	1	0										
1	0	1	1										
1	1	0	0										
1	1	0	1										
1	1	1	0										
1	1	1	1										

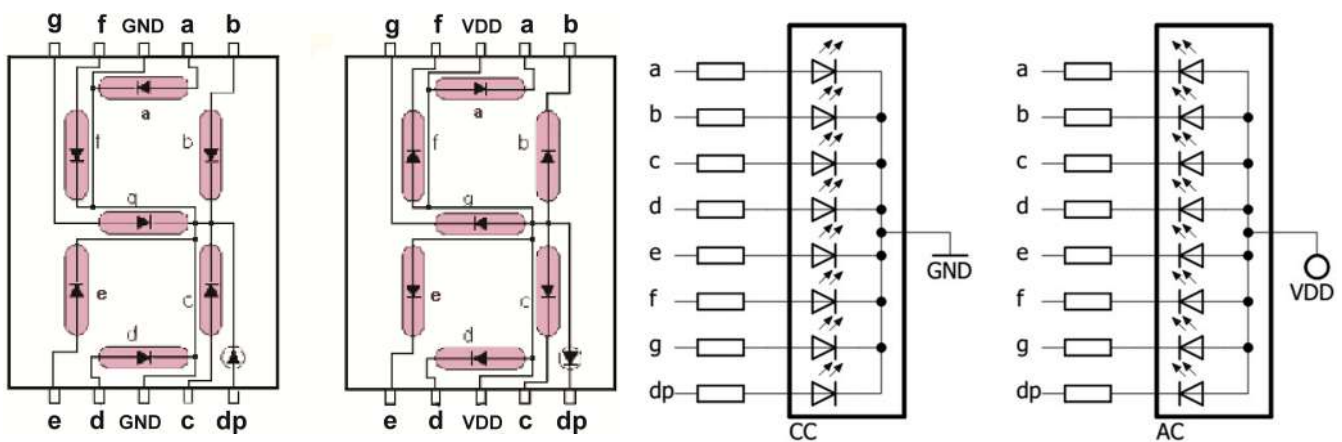
Una vez completado el montaje y la tabla de la verdad, te invito a que desarrolles las ecuaciones para cada una de las salidas (siempre y cuando no tengas nada mejor que hacer 😊 😊 😊).



P1-4 El display de 7 segmentos

Antes de seguir adelante vamos a hacer un sencillo repaso de lo que son los displays de 7 segmentos en general y los que tiene el entrenador Universal Trainer en particular.

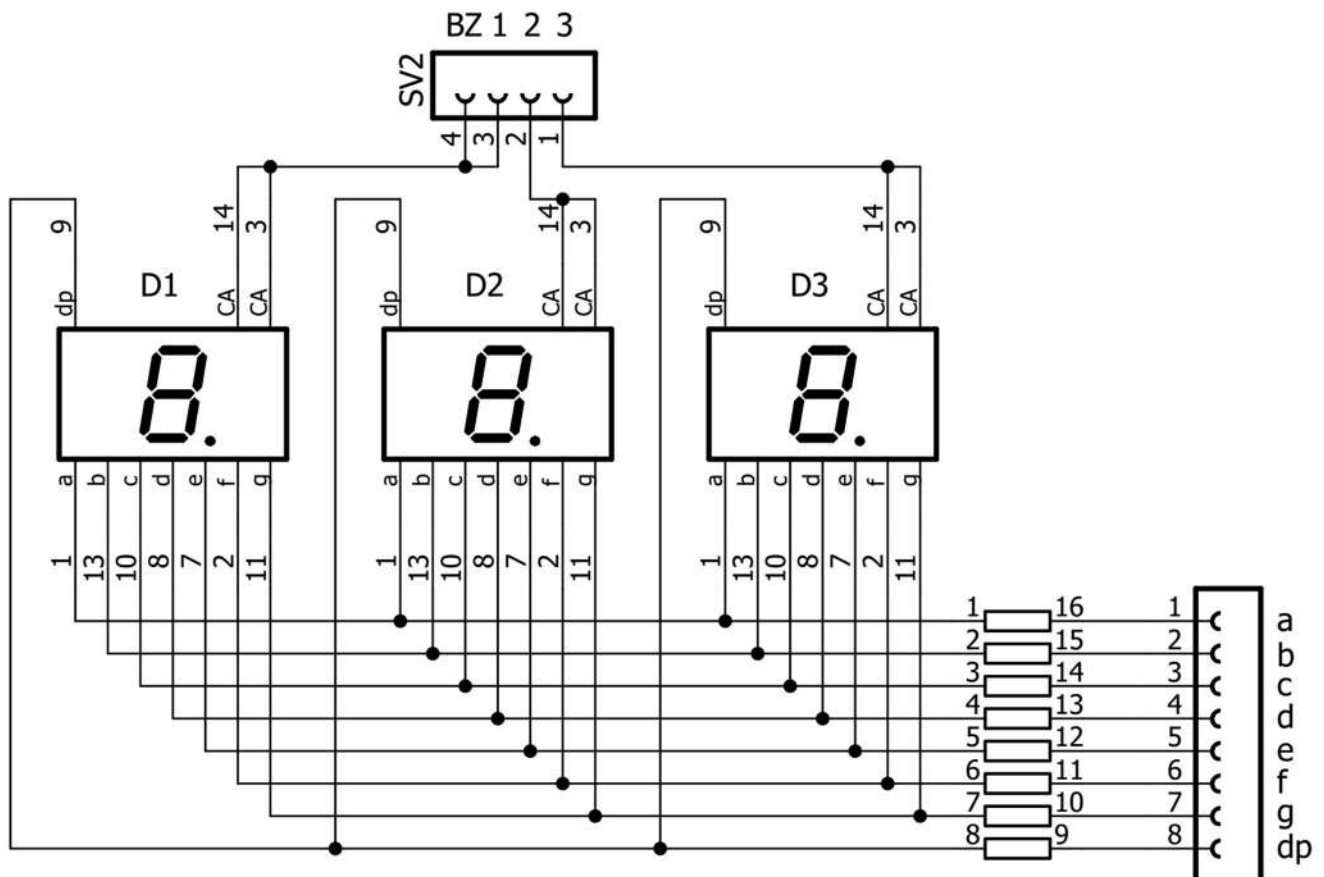
Un display de 7 segmentos no es ni más ni menos que un conjunto de diodos, en forma de segmento o línea, y que están unidos por el cátodo o por el ánodo, formando así displays de cátodo común (CC) o de ánodo común (AC). Mira la figura.



Los displays de cátodo común (CC) necesitan de una tensión positiva o de nivel "1" en los ánodos de los segmentos que quieras iluminar. Los de ánodo común (AC) al contrario. Necesitan de un nivel "0" en aquellos cátodos cuyos segmentos vayas a iluminar.

En el esquema siguiente tienes las conexiones de los tres displays del entrenador Universal Trainer. Aunque los segmentos de los tres están conectados en paralelo, cada display se controla individualmente mediante su correspondiente ánodo: D1 (centenas), D2 (decenas) y D3 (unidades). Al ser de ánodo común (AC) cada ánodo se conecta con una tensión positiva respecto a los cátodos.

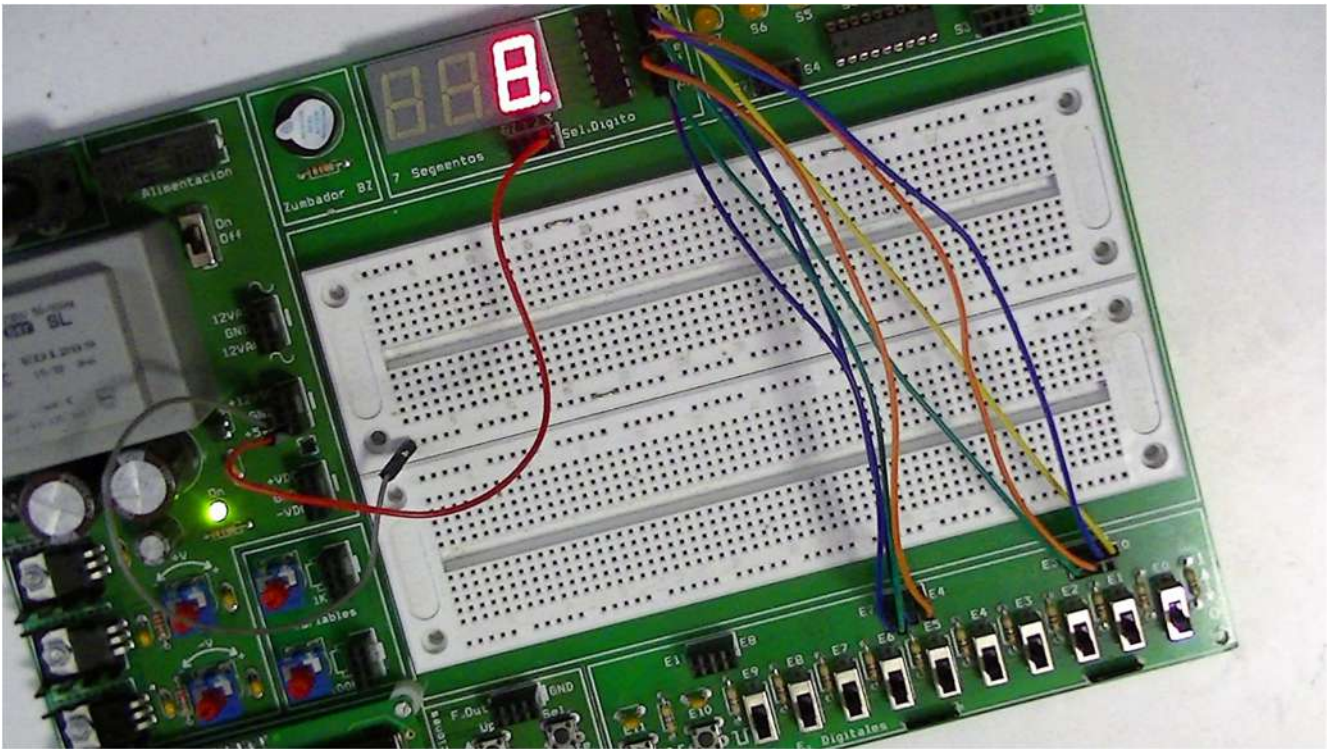
Para experimentar de forma sencilla con ellos te propongo que conectes los interruptores E7-E0 del entrenador con los segmentos dp - a de los displays. Como estos segmentos se corresponden con los cátodos, debes orientar hacia abajo, nivel "0", el interruptor cuyo segmento desees iluminar para aplicar así una tensión negativa respecto al ánodo. El ánodo común del display con el que vayas a experimentar (D1, D2 o D3) lo debes conectar con la tensión positiva de +5V.



Con ayuda de los interruptores combina el encendido/apagado (ON/OFF) de los segmentos de cualquiera de los tres displays para que muestre los símbolos propuestos en esta tabla.

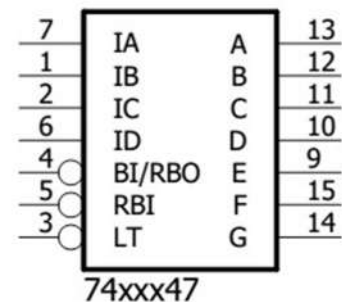
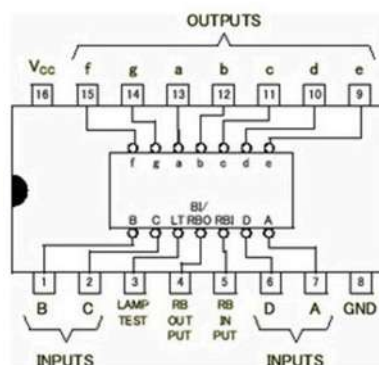
SIMBOLO	INTERRUPTORES / SEGMENTOS							
	E7 (dp)	E6 (g)	E5 (f)	E4 (e)	E3 (d)	E2 (c)	E1 (b)	E0 (a)
4								
A								
8								
6								
b								
1								
3								
9								
-								
o								
c								
?								

Mira el montaje práctico...

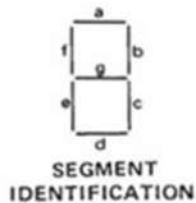


P1-5 Decodificador BCD a 7 segmentos 74xx47

Esta es una de las prácticas que no puede faltar. En lugar de tener que ir averiguando qué segmentos debo activar para visualizar un número ¿no sería más fácil introducir simplemente su código BCD? Esto es lo que nos permite precisamente un decodificador BCD a 7 segmentos como el que integra el veterano modelo de circuito integrado 74xx47.

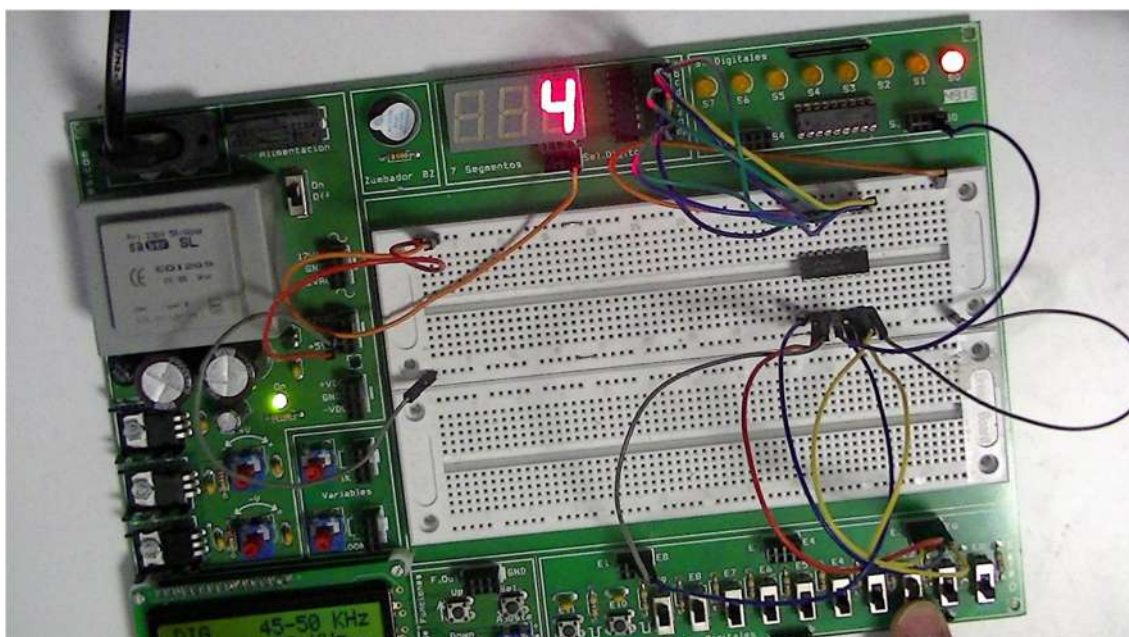
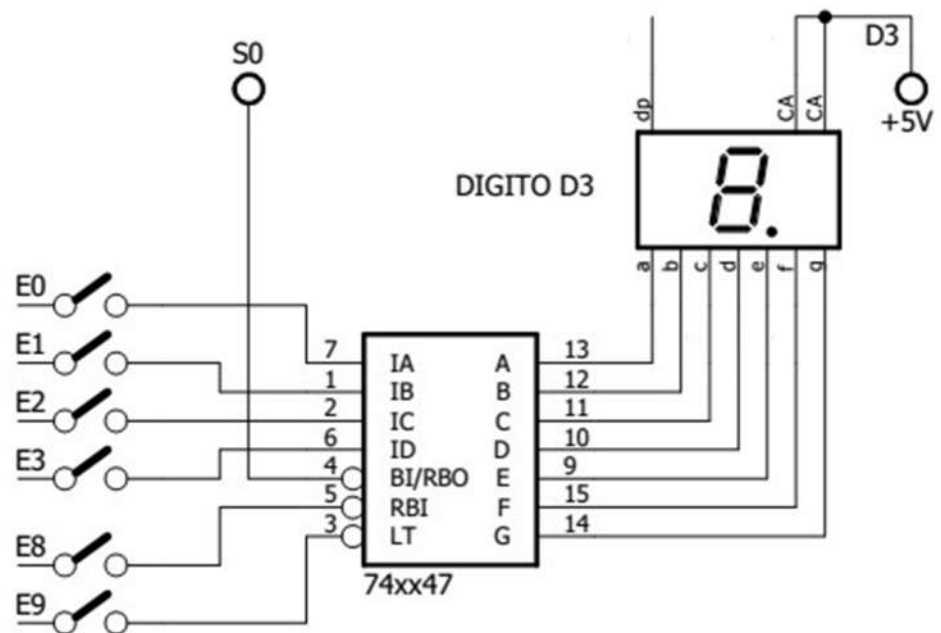


Según su fabricante estos son los símbolos que este decodificador es capaz de visualizar sobre un display, por cada una de las 16 combinaciones que se pueden aplicar en sus cuatro entradas D,C,B y A (2^4)



El circuito práctico propuesto es el siguiente. Móntalo con cuidado.

Los interruptores E3-E0 introducen el código BCD. E8 activa la función RBI que se refleja en la salida S0 (RBO). Finalmente, con la entrada E9 (LT) se activa la función "Lamp Test."



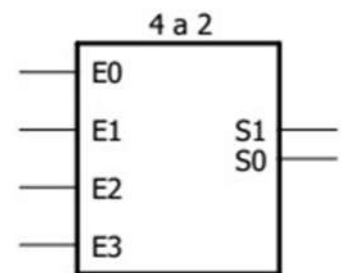
¡Manos a la obra! Una vez montado el circuito comprueba qué dígito aparece por cada código BCD de entrada. Verifica que corresponde con los símbolos de la figura anterior

ENTRADAS						SALIDAS	
LT	RBI	D	C	B	A	SÍMBOLO	SO
1	1	0	0	0	1		
1	1	1	0	0	0		
1	1	0	0	1	0		
1	1	1	0	0	1		
1	1	0	0	1	1		
1	1	0	1	0	1		
1	1	0	1	0	0		
1	1	0	0	0	0		
1	1	0	1	1	0		
1	1	0	1	1	1		
1	1	1	0	1	0		
1	1	1	0	1	1		
1	1	1	1	1	1		
1	1	1	1	0	0		
1	1	1	1	0	1		
1	1	1	1	1	0		
0	X	X	X	X	X		
1	0	0	1	1	0		
1	0	0	0	0	0		
1	0	0	0	1	1		
1	0	0	1	1	1		
1	1	0	0	0	0		

¿Puedes describir el funcionamiento de las señales RBI y RBO?

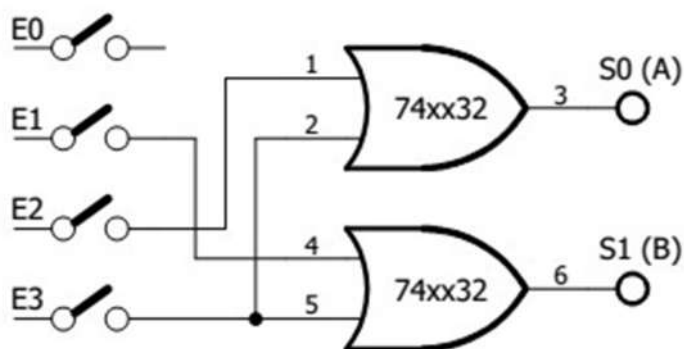
P2: CODIFICADORES

Por definición un codificador sería lo contrario que un decodificador. Recibe una información de entrada sin codificar y genera una información codificada de salida. A modo de ejemplo en la imagen tienes un codificador de 4 a 2. Tiene 4 entradas sin codificar. Por cada una de ellas que se active el circuito responde con un código binario puro de 2 bits ($2^2 = 4$ entradas).



Puedes encontrarte con codificadores de 8 a 3, 16 a 4, decimal a BCD, etc.... Además, las entradas pueden ser negadas, activas por nivel "0", y las salidas pueden estar complementadas.

P2-1 Codificador de 4 a 2



En la imagen tienes un esquema muy básico de lo que podría ser un codificador de 4 a 2. Únicamente se ha necesitado emplear dos puertas OR contenidas en el circuito integrado 74xx32. Una vez que lo montes completa su tabla de la verdad. También puedes ver las ecuaciones

lógicas a las que responde cada salida.

$$S0 = E2 + E3; S1 = E1 + E3$$

ENTRADAS				SALIDAS	
E3	E2	E1	E0	S1 (B)	S0 (A)
0	0	0	0		
0	0	0	1		
0	0	1	0		
0	1	0	0		
1	0	0	0		
1	1	0	0		
1	0	1	0		
1	0	0	1		
0	1	1	1		
0	0	1	1		
1	1	1	1		

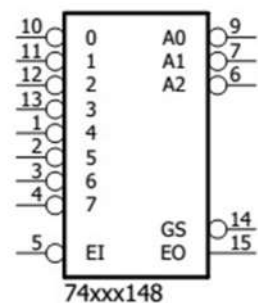
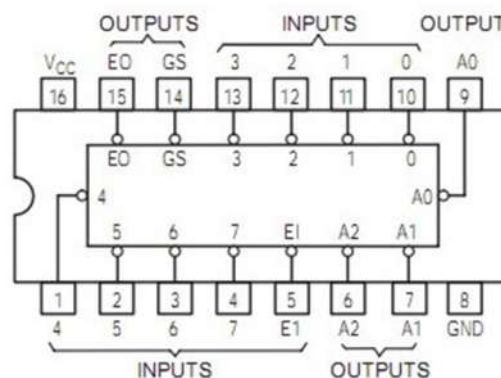
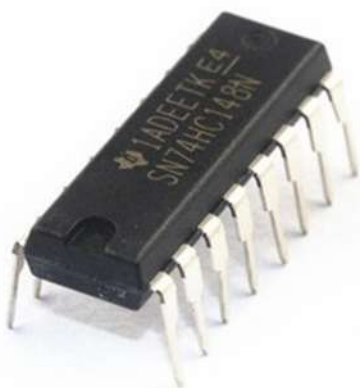
Ahora analízala para comprobar un par de problemas que presenta este circuito tan simple:

1. ¿Qué pasa cuando no hay ninguna entrada activada? ¿Cuál es el código de salida? ¿Esto es correcto?

2. ¿Qué pasa cuando se activan dos o más entradas? ¿Los códigos de salida son correctos?

P2-2 Codificador 74xxx148 de 8 a 3 con prioridad

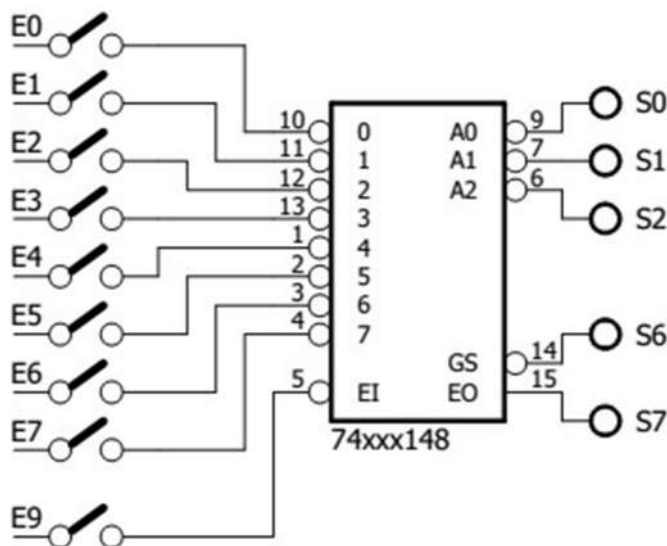
Esos problemas quedan resueltos con el codificador integrado en el dispositivo 74xxx148 que vamos a usar en esta práctica y que tienes en la imagen.



Analicemos el circuito:

- En primer lugar las entradas 0 a 7 son activas por nivel "0".
- El de salida es un código en binario puro y está complementado en las señales A2, A1 y A0.

- Dispone entrada de habilitación EI activa por nivel "0".
- Dispone de salida EO para indicar que hay alguna entrada activada.
- Dispone de salida GS, activa por "0", que valida el código de salida.
- **¡IMPORTANTE.** Es un codificador con prioridad de nivel alto. Si se activan varias entradas el código de salida es el de aquella entrada que sea de mayor peso.



Para experimentar con este circuito te propongo el siguiente montaje.

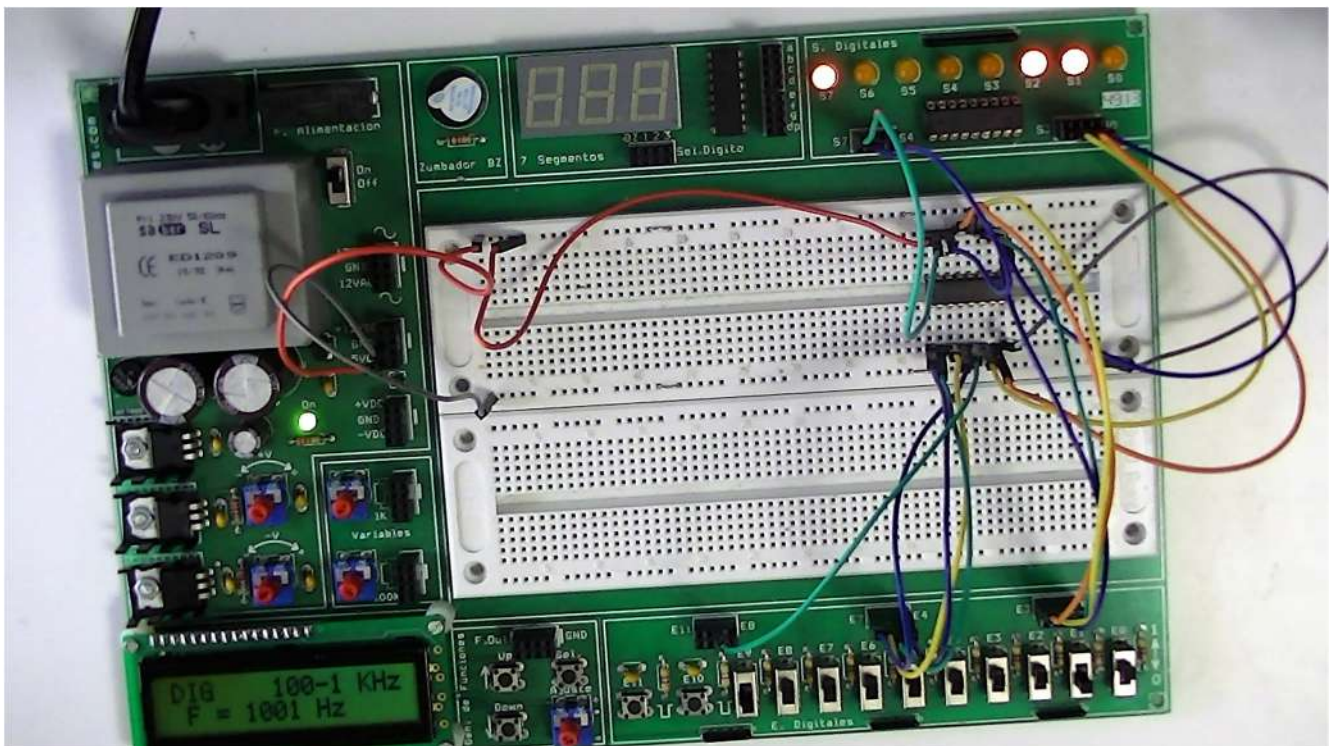
Las entradas al codificador se conectan con los interruptores E7-E0 mientras que las salidas se conectan con los leds S2-S0 del entrenador Universal Trainer.

Conectamos la entrada de habilitación EI con E9 y las salidas GS y EO con los leds S6 y S7 respectivamente.

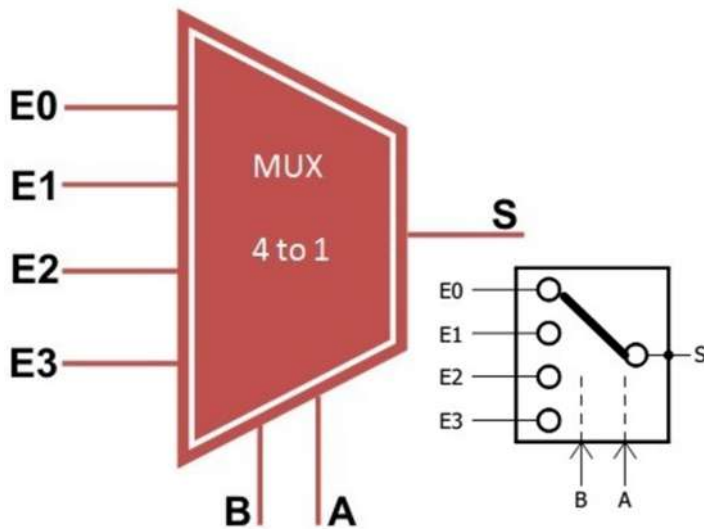
ENTRADAS									SALIDAS				
EI	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0	S2	S1	S0	GS	EO
1	X	X	X	X	X	X	X	X					
0	1	1	1	1	1	1	1	1					
0	1	1	1	1	1	1	1	0					
0	1	1	1	1	1	1	0	1					
0	1	1	1	1	0	1	1	1					
0	1	1	1	0	1	1	1	1					
0	1	1	0	1	1	1	1	1					
0	1	0	1	1	1	1	1	1					
0	0	1	1	1	1	1	1	1					
0	0	1	1	0	1	1	1	1					
0	1	1	1	0	0	1	1	1					
0	1	1	0	1	1	1	1	0					
0	1	1	0	1	0	0	0	1					
0	1	1	1	1	1	0	0	1					
0	1	0	0	1	1	1	1	0					

¿Porque no haces una descripción de lo que ocurre en las últimas combinaciones de las entradas, las enmarcadas en rojo?

En la fotografía tienes el montaje práctico del codificador de 8 a 3 con el circuito integrado 74xxx148, sobre el laboratorio Universal Trainer.



P3: MULTIPLEXORES

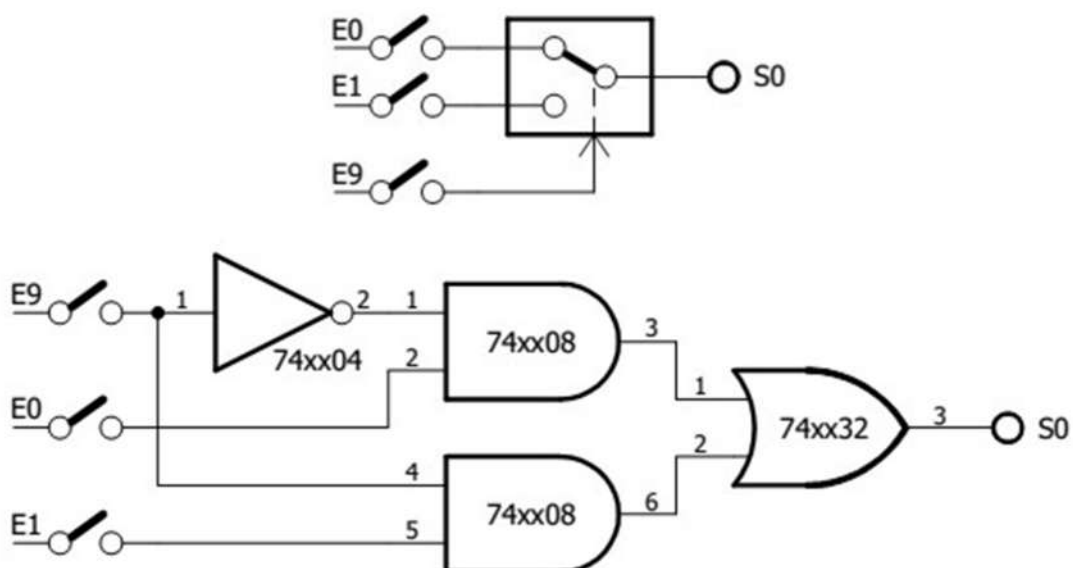


Son circuitos con múltiples entradas cuya información se canaliza sobre una única salida. En la figura tienes un multiplexor de 4 a 1. Tiene 4 entradas E3-E0, una salida S y dos señales de selección, B y A, que permiten elegir la entrada cuya información deseas que aparezca en la salida. Para que te hagas una idea, equivale a un conmutador eléctrico de 4 posiciones

Como viene siendo habitual los puedes encontrar con diferentes configuraciones: 2 a 1, 4 a 1, 8 a 1, 16 a 1, etc... También pueden disponer de señales de habilitación que pueden ser activas por nivel "0" o por nivel "1", y la información de salida puede estar complementada respecto a la de la entrada seleccionada.

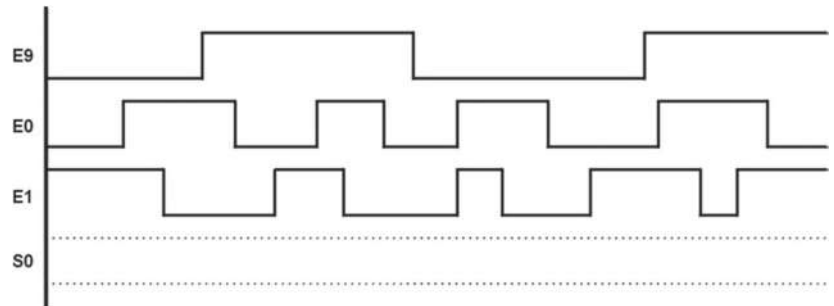
P3-1 Multiplexor de 2 a 1

Se trata de un circuito muy sencillo. En este ejemplo te propongo que lo construyas con puertas convencionales según el esquema de la figura. Equivaldría a un conmutador eléctrico de dos posiciones.



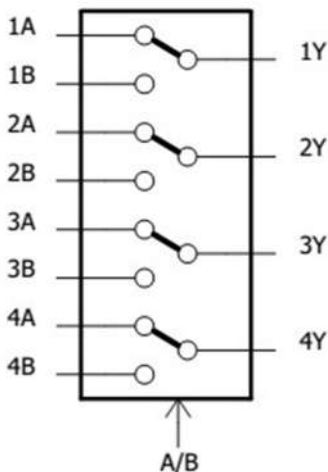
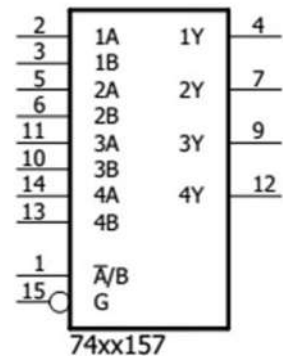
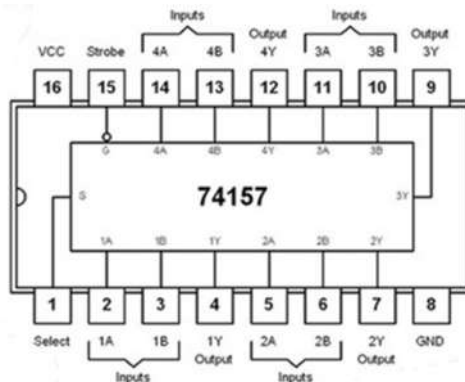
Realiza el montaje y completa la tabla de la verdad. Para que no se te olvide cómo se hace, también te invito a dibujar el diagrama de tiempos. Aunque de momento no los estamos usando demasiado, que sepas que son importantes.

ENTRADAS			SALIDA
E9	E1	E0	S0
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

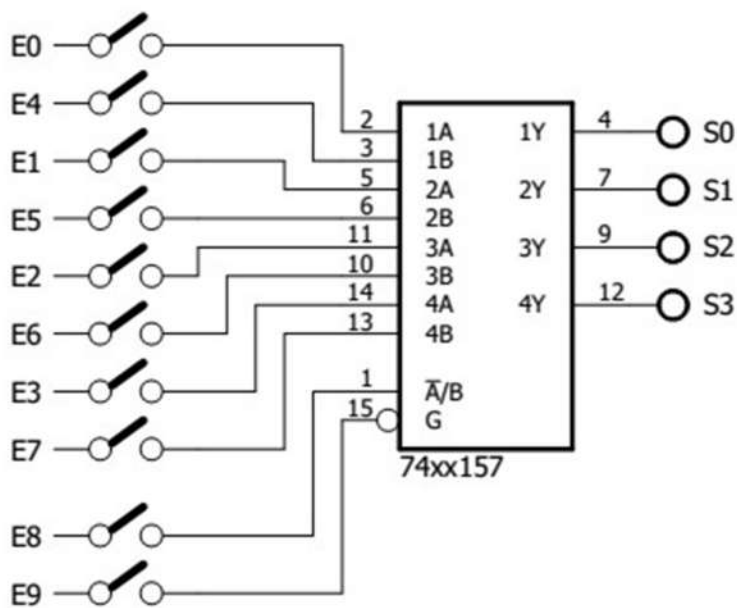


P3-2 Cuádruple multiplexor de 2 a 1; el 74xxx157

Se trata de un circuito integrado comercial que contiene 4 multiplexores de 2 a 1 gobernados con una misma señal de control o selección, y señal de habilitación activa por nivel "0".



Eléctricamente equivale a 4 conmutadores de doble posición como puedes ver en la imagen. La señal de control A/B "mueve" los contactos. Cuando vale nivel "0" los contactos se posicionan en las entradas 1A-4A y su información binaria aparecerá en las salidas 1Y-4Y. Cuando la señal de control vale nivel "1" los contactos se posicionan en las entradas 1B-4B.



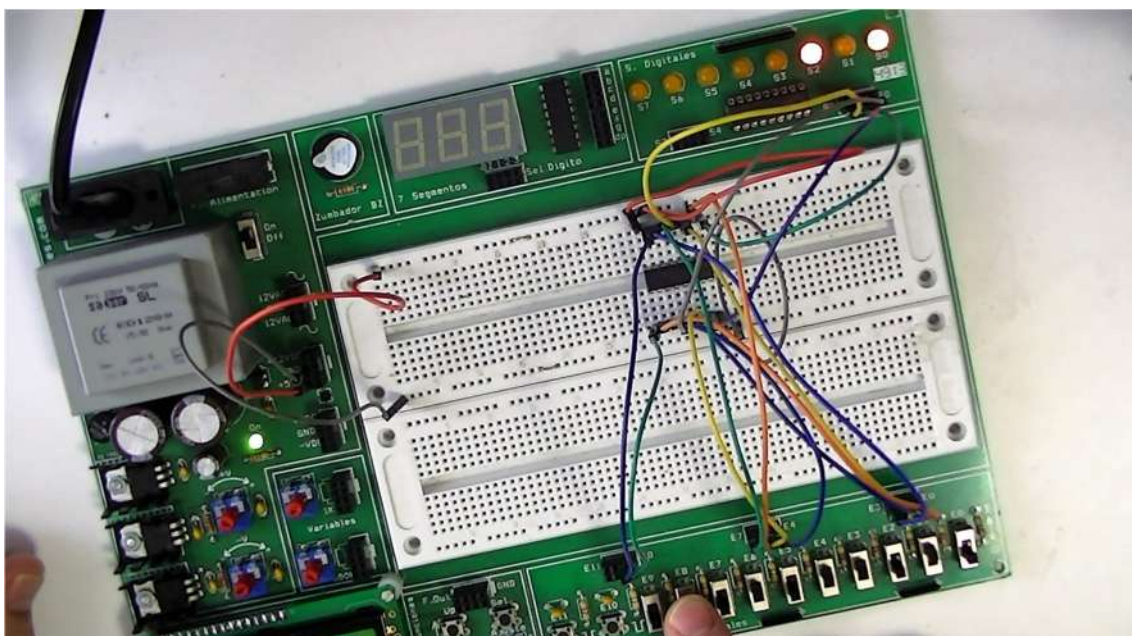
Como montaje práctico de experimentación te propongo el del siguiente esquema.

Cuando la entrada de control A/B está a nivel "0", las salidas S0-S3 muestran la información presente en las entradas E0, E1, E2 y E3. En caso contrario las salidas muestran el estado de las entradas E4, E5, E6 y E7.

Si la señal G de habilitación está a nivel "1", las salidas del multiplexor se ponen a nivel "0", independientemente de la entrada seleccionada y del estado que esta tenga. Todo ello lo puedes comprobar completando la siguiente tabla de la verdad.

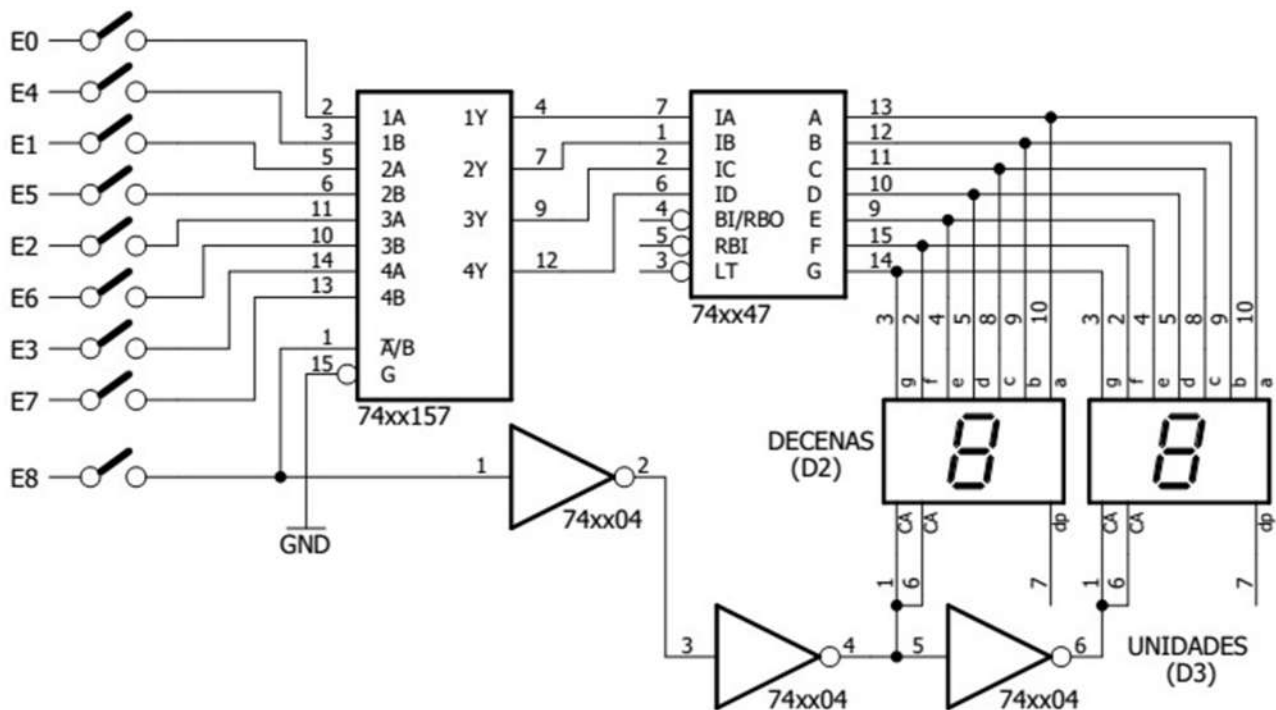
G	A/B (E8)	nB (E7-E4)	nA (E3-E0)	nY (S3-S0)
1	X	X	X	
0	0	X	0	
0	0	X	1	
0	1	0	X	
0	1	1	X	

Aquí tienes una imagen con el montaje realizado sobre el entrenador Universal Trainer.



P3-3 Decodificación multiplexada

Este sí que es un buen ejemplo de aplicación práctica. En él vamos a combinar lo que ya sabemos sobre displays, decodificadores de BCD a 7 segmentos y multiplexores. Mira este esquema.



No es muy complicado. Mediante dos displays vamos a visualizar el código BCD que introducimos con los interruptores E7-E4 y E3-E0. Cuando la señal E8 (A/B) está a nivel "0" el multiplexor 74xx157 deja pasar al decodificador 74xx47 el código BCD presente en E3-E0. Al mismo tiempo, gracias a los inversores, se activa el ánodo común del display de las unidades (D3) que visualiza el dígito correspondiente a ese código BCD. El ánodo común del dígito de las decenas (D2) ahora está a nivel "0" y por lo tanto desactivado.

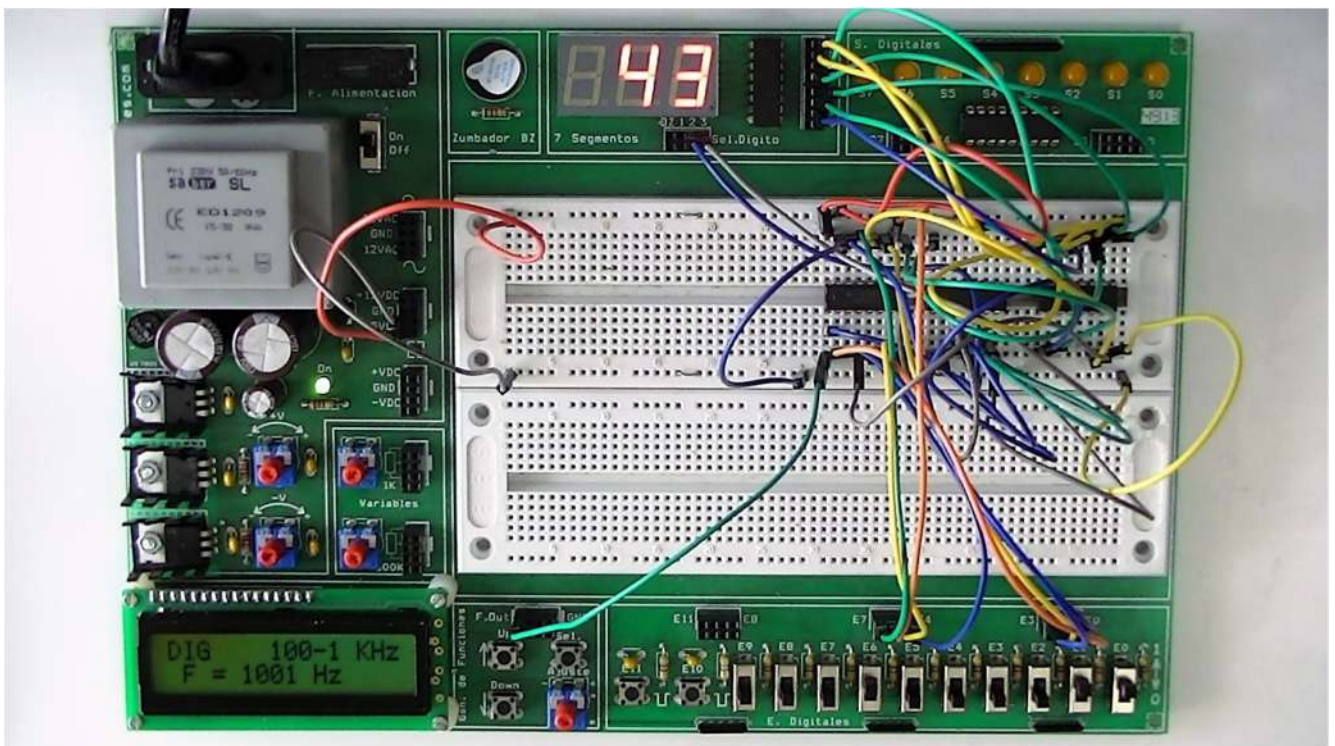
Si la señal E8 (A/B) la ponemos a nivel "1", el multiplexor deja pasar al decodificador el código BCD presente en los interruptores E7-E4. El ánodo común del display de las decenas (D2) está a nivel "1" y por lo tanto activado. Visualiza el dígito correspondiente a ese código BCD. Por el contrario el ánodo común del dígito de las unidades (D3) está a nivel "0" y por lo tanto desactivado.



En otras palabras, el display de las unidades (D3) visualiza el código BCD presente en los interruptores E3-E0 y el de las decenas (D2) el código presente en E7-E4, pero **NO** al mismo tiempo. Primero uno y luego el otro, de forma secuencial. A esta técnica se le conoce como "barrido" o "multiplexado" de los displays. Todos los segmentos se conectan en paralelo a un único decodificador. Basta con ir activando a cada display en el momento oportuno.

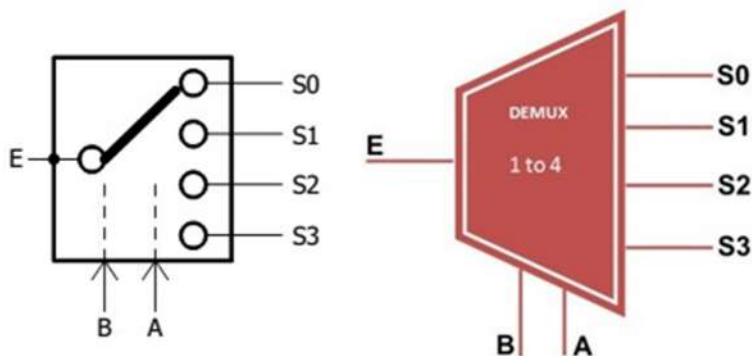
iiUna idea!! Desconecta la señal de control del interruptor E8 y la conectas con la salida del generador del entrenador. Para empezar selecciona una frecuencia digital de 1 Hz para luego ir poco a poco aumentándola. Describe aquí qué es lo que ves.

Aunque no se ve gran cosa debido a la maraña de cables que tiene este montaje, te dejo una fotografía del mismo por si puede servirte de ayuda.



P4: DEMULTIPLEXORES

Vamos a acabar este tema 5 con el último de los circuitos combinacionales previstos, el



demultiplexor. Se puede considerar que es lo contrario de un multiplexor. Dispone de una única entrada de datos que se puede distribuir por diferentes salidas. En la imagen tienes un multiplexor de 1 a 4 y su equivalente eléctrico mediante un conmutador de 4 posiciones.

Hay una única entrada de datos, la E, cuya información se puede distribuir por una de las cuatro salidas S0, S1, S2 y S3. Las señales de control B y A permiten seleccionar la salida deseada. Al igual que con los multiplexores, puedes encontrar demultiplexores con diferentes configuraciones: 1 a 2, 1 a 4, 1 a 8, 1 a 16, etc... Además pueden tener señales de habilitación activas por "0" o por "1", y las salidas pueden estar invertidas respecto a la entrada.

P4-1 Demultiplexor 1 a 2

Te propongo que montes un sencillo demultiplexor de 1 a 2 empleando puertas convencionales. Si investigas por ahí seguro que encontrarás varios modelos de circuitos integrados comerciales.

E0 es la entrada de datos cuya información puede distribuirse por la salida S0 o la S1, dependiendo del estado de la señal de control E9. Completa la tabla de la verdad.

E9	E0	S1	S0
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

