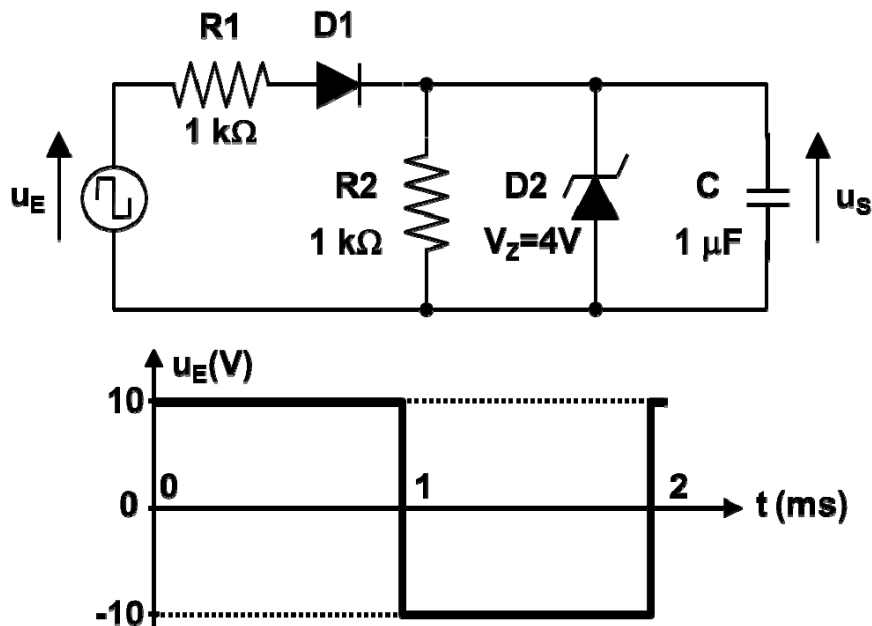


### EJERCICIO 1

En el circuito de la figura, y para la tensión de entrada que se muestra, se pide:

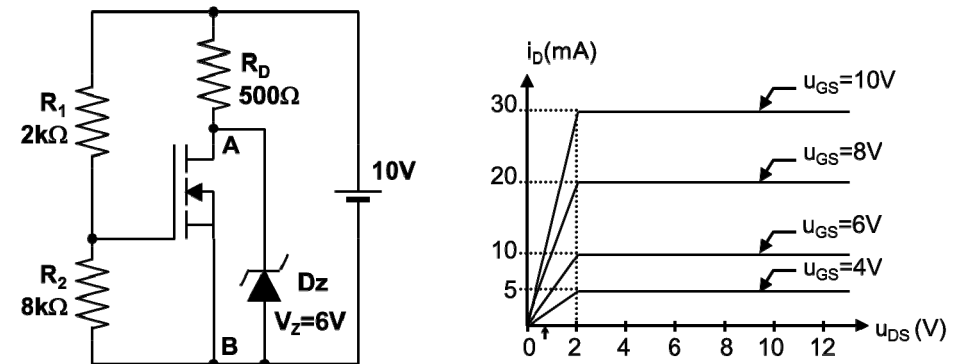
- Dibujar, justificadamente, la evolución de la tensión de salida ( $u_s$ ) durante el primer período, indicando los valores más notables.
- Obtener la(s) expresión(es) de la evolución de la tensión de salida, en los diferentes intervalos.

NOTA: El condensador está descargado en el instante inicial



### EJERCICIO 2

En el circuito de la figura, el MOSFET tiene las curvas características que se indican.

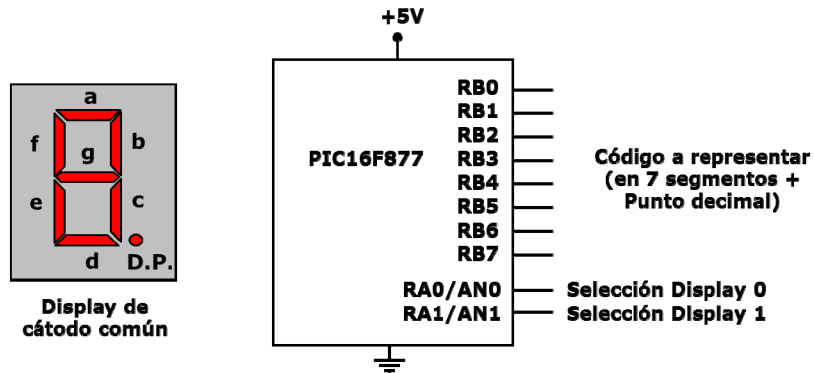


Se pide:

- Dibujar la curva característica sobre la que se sitúa el punto de funcionamiento del MOSFET, razonando la respuesta.
- Obtener y dibujar la recta de carga del circuito de drenador del MOSFET (equivalente que ve el MOSFET entre A y B) razonando su obtención
- Dibujar y calcular el punto de funcionamiento del MOSFET.
- Calcular el punto de funcionamiento del zéner

### EJERCICIO 3

Se quiere realizar la conexión de dos **displays de cátodo común** a los puertos de un microcontrolador PIC16F877. Concretamente, se utilizará el puerto B (líneas RB0 a RB7) para sacar el código a representar, y las dos líneas más bajas del puerto A (RA0 y RA1) para la selección de los displays



Se pide:

- Proponer un circuito que permita visualizar la información deseada en los displays, indicando qué valores se han de escribir en las líneas de los puertos (ceros o unos) para hacer lucir los displays correctamente
- Realizar el cálculo de los elementos del circuito anterior, si se dispone de resistencias de cualquier valor, y de transistores bipolares con  $\beta=10$ ,  $\beta=100$ ,  $\beta=500$  y  $\beta=1000$  (escoger el valor que se desee) que pueden considerarse ideales.

Las características de salida de los puertos del PIC son las siguientes:

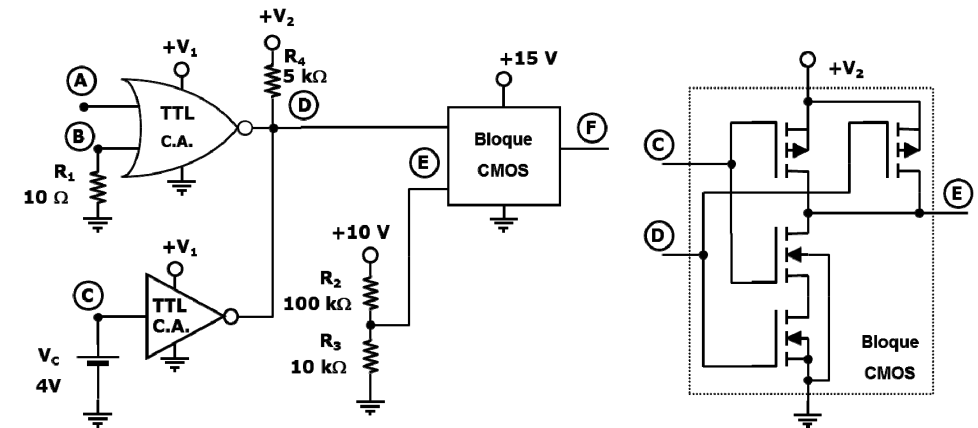
$i_{OL}=25$  (mA),  $i_{OH}=-25$  (mA),  $u_{OH}=5$  (V),  $u_{OL}=0$  (V).

### EJERCICIO 4

#### PARTE 1

En el circuito de la figura, se pide:

- Razonar los valores correctos de las tensiones  $V_1$  y  $V_2$
- Identificar, razonadamente, la función realizada por el bloque CMOS
- Niveles lógicos en A, B, C, D, E y F, justificando la respuesta



Características de entrada de las puertas TTL en colector abierto:

$i_{IL}=1,6$  (mA);  $i_{IH}=-40$  ( $\mu$ A);  $u_{IL}=0,8$  (V);  $u_{IH}=2,0$  (V)

#### PARTE 2

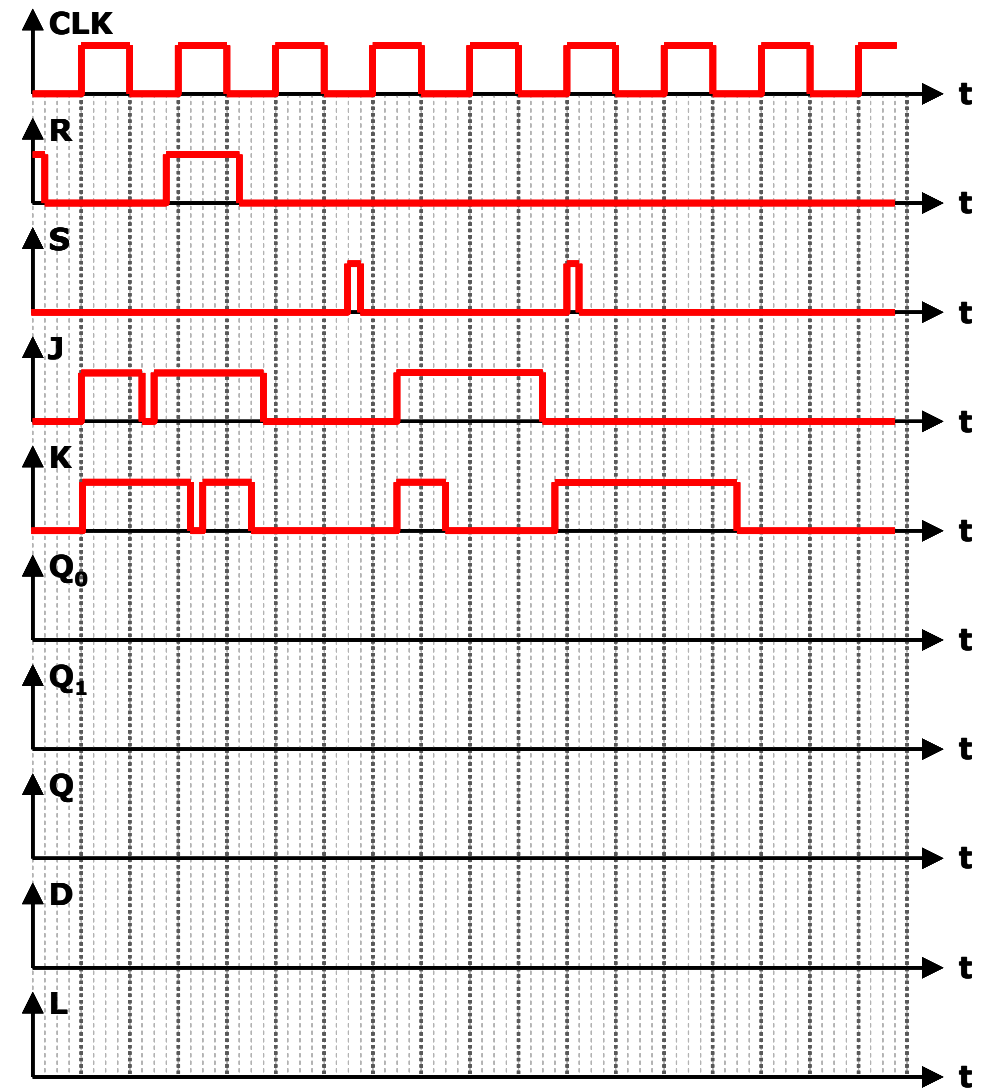
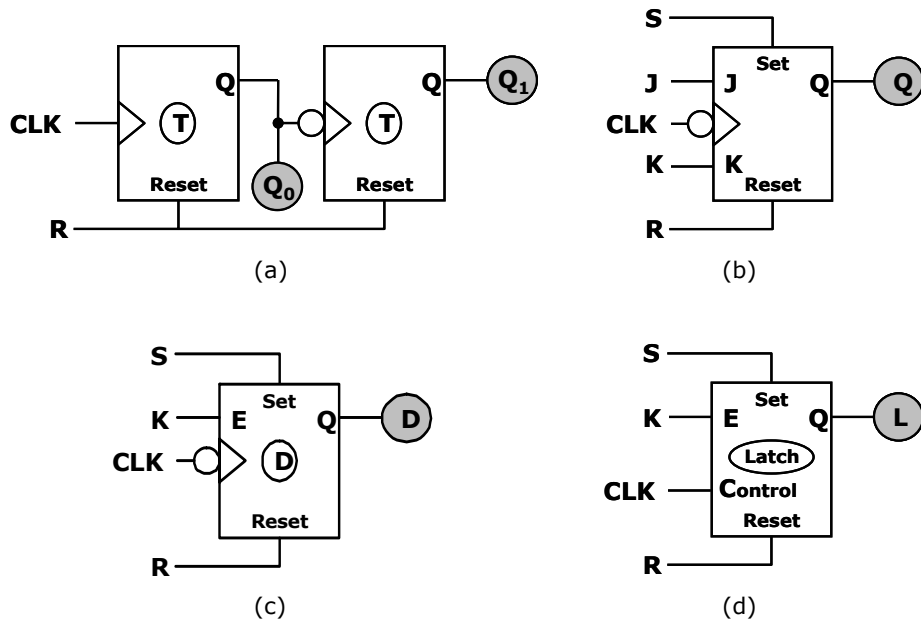
Sintetizar la función lógica  $f(A,B,C,D)$  cuya tabla de verdad se adjunta en la figura, utilizando:

- El mínimo número posible de puertas NAND
- Un decodificador 4 a 16 con salidas activas a nivel bajo y una puerta lógica apropiada con el número de entradas que sea preciso, indicando de qué puerta se trata

D	C	B	A	f
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	X
1	0	1	1	X
1	1	0	0	X
1	1	0	1	X
1	1	1	0	X
1	1	1	1	X

### EJERCICIO 5

Se pide, para los circuitos de las figuras (a), (b), (c) y (d), y dada la evolución de las entradas que se indica en la figura (e) completar el cronograma con la evolución de las salidas  $Q_0$ ,  $Q_1$ ,  $Q$ ,  $D$  y  $L$  que aparecen indicadas (Señaladas mediante los círculos sombreados)

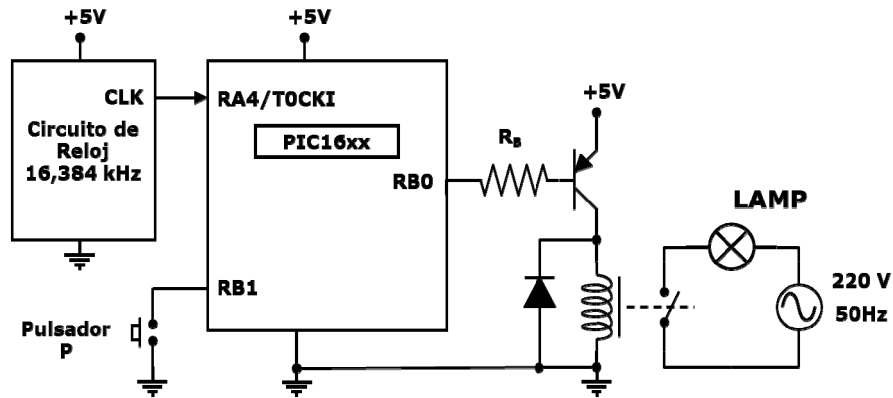


(e)

NOMBRE:

## EJERCICIO 6

Se quiere realizar un circuito para controlar el encendido temporizado de una luz de escalera utilizando un microcontrolador PIC16F877A. Se ha decidido utilizar el siguiente circuito:



El funcionamiento deseado es el siguiente:

- Al arrancar el circuito, la luz estará apagada
- Cuando se accione el pulsador, la lámpara deberá encenderse durante 60 segundos y luego apagarse

Para ello, nos han proporcionado el programa adjunto, pero al probarlo, el circuito no funciona correctamente.

Se pide:

a) ¿Cuál es el tiempo que se temporiza en la subrutina "Temporiza"? Justificar la respuesta. Si el tiempo no se corresponde con los 60 s pedidos, indicar los cambios a realizar en el programa para conseguir temporizar el tiempo correcto, justificando la respuesta.

b) Con la conexión del PIC que se indica, analizar si los valores que se escriben en los registros asociados a los puertos cumplen con el propósito del programa. De no ser así, indicar los errores cometidos y los cambios a realizar para conseguir un correcto funcionamiento, coherente con el esquema eléctrico.

c) En el caso de que exista algún error adicional, explicar en qué consiste y corregirlo. Tras revisar todos los errores escribir de nuevo el programa corregido

```
;***** luz_escalera.asm *****
LIST p=16F877A
INCLUDE <p16f877a.inc>
__CONFIG __XT_OSC & __WDT_OFF & __PWRTE_ON & __BODEN_ON & __LVP_OFF

CONT
EQU 0x20
ORG 0x00

Inicio
    clrf PORTB
    bsf STATUS,RP0
    movlw b'11111101'
    movwf TRISB
    movlw b'11111111'
    movwf TRISA
    movlw b'10000111'
    movwf OPTION_REG

Principal
    btfss PORTB, 1
    call Temporiza
    goto Principal

Temporiza
    bsf PORTB, 1
    movlw d'15'
    movwf CONT

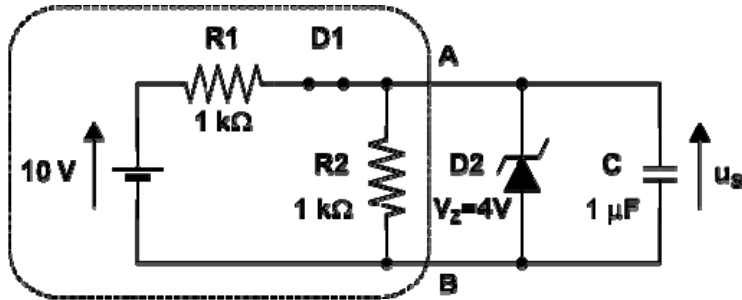
Tparcial
    bcf INTCON, T0IF
    movlw d'248'
    movwf TMR0

Espera
    btfss INTCON, T0IF
    goto Espera
    decfsz CONT
    goto Tparcial
    bcf PORTB, 0
    return
END
```

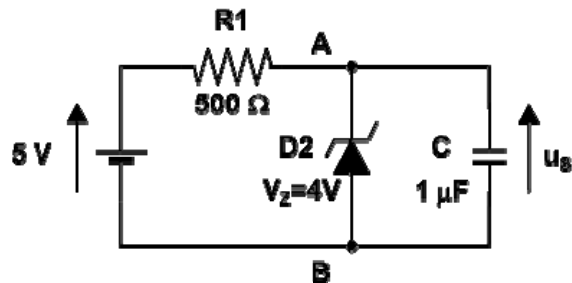
### EJERCICIO 1

#### Intervalo $0 < t < 1 \text{ ms}$

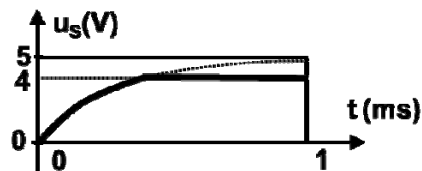
Puesto que la tensión de entrada es positiva y el condensador está inicialmente descargado, el diodo D1 conduce, el circuito equivalente es el de la figura y el condensador se carga.



Para calcular la carga del condensador, obtenemos primero el equivalente Thevenin entre A y B, resultando:



Si no hubiera zéner, el condensador se cargaría según una ley exponencial (circuito RC) hasta una tensión de 5 V (línea de trazos). Sin embargo, el zéner entra en conducción al llegar a 4 V, limitando la tensión. Dependiendo de la constante de tiempo, se alcanzará este punto o no dentro del intervalo.



Podemos escribir la ecuación de la tensión de salida (tensión en el condensador):

$$u_s(t) = u_s(\infty) - [u_s(\infty) - u_s(0)] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}},$$

siendo la constante de tiempo  $\tau = R \cdot C = 500 \, \Omega \cdot 1 \, \mu\text{F} = 500 \, \mu\text{s}$

En este caso  $u_s(\infty) = 5 \text{ V}$  y  $u_s(0) = 0$ , por lo que resulta:

$$u_s(t) = 5 - [5 - 0] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 5 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

El tiempo que tarda en llegar a 4 V es  $t_1$  tal que

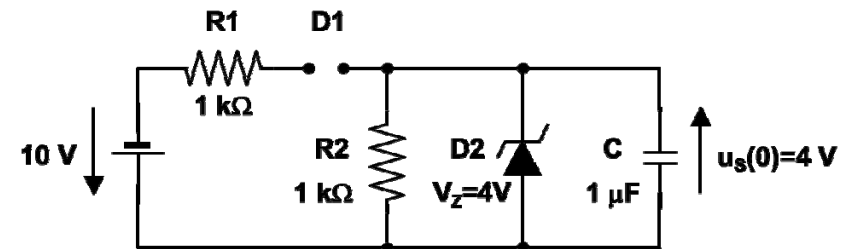
$$4 = 5 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}}\right) \Rightarrow \frac{4}{5} = 1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}} \Rightarrow e^{-\frac{t_1}{\tau}} = 1 - \frac{4}{5} \Rightarrow -\frac{t_1}{\tau} = \ln \frac{1}{5} \Rightarrow t_1 = -\tau \cdot \ln \frac{1}{5} = 804 \, \mu\text{s} = 0,8 \text{ ms}$$

Por tanto, se alcanza dentro del intervalo, y el zéner entra en conducción en  $t_1 = 0,8 \text{ ms}$

#### Intervalo $1 \text{ ms} < t < 2 \text{ ms}$

En el instante inicial, el condensador se mantiene cargado a 4V (tensión al final del intervalo anterior) ya que la tensión no puede variar bruscamente.

El circuito equivalente al comienzo del intervalo es:

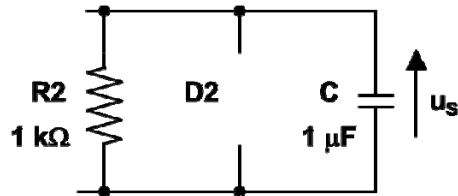


Puede verse que el diodo D1 queda polarizado inversamente, al soportar una tensión inversa de  $10 + 4 = 14 \text{ V}$ , por lo que no conduce.

Sin corriente por la rama de la entrada, el condensador tendería a descargarse, por lo que, en cuanto empiece a descargarse, su tensión es inferior a la tensión zéner, que deja de conducir, y se descarga por R2.

La tensión en el condensador tiende a cero en régimen permanente.

El circuito equivalente es:



La descarga sigue una ley exponencial que, si tomamos un nuevo origen de tiempos en  $t = 1\text{ms}$ , satisface:

$u_s(0) = 4\text{ V}$ , ya que la tensión en el condensador es la correspondiente al final del intervalo anterior, al no poder cambiar bruscamente

$u_s(\infty) = 0\text{ V}$ , ya que el condensador se descargaría totalmente en régimen permanente

Constante de tiempo del circuito:  $\tau = R \cdot C = 1\text{ k}\Omega \cdot 1\text{ }\mu\text{F} = 1\text{ ms}$

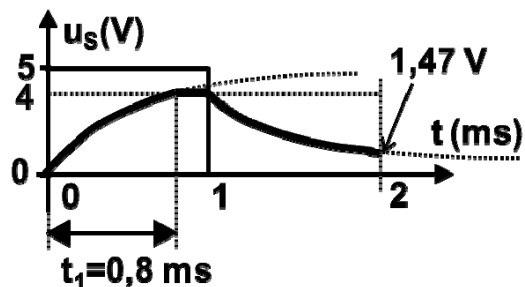
Por tanto:

$$u_s(t) = u_s(\infty) - [u_s(\infty) - u_s(0)] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 0 - [0 - 4] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 4 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Podemos calcular, como curiosidad, la tensión al final del intervalo ( $t_2 = 1\text{ms}$ ) para hacer la gráfica:

$$u_s(t_2) = 4 \cdot e^{-\frac{t_2}{\tau}} = 4 \cdot e^{-\frac{1\text{ms}}{1\text{ms}}} = 4 \cdot e^{-1} = 4 \cdot 0,368 = 1,47\text{ V}$$

Finalmente, podemos dibujar la evolución que nos piden, indicando los valores notables:

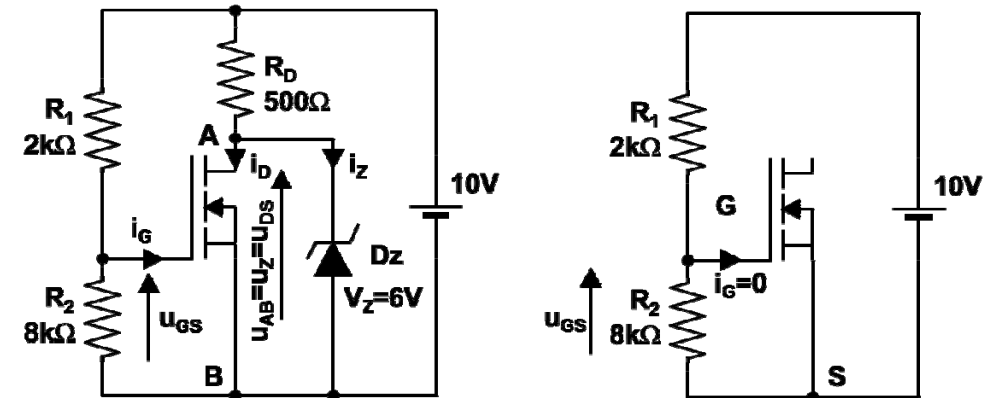


## EJERCICIO 2

Antes de empezar, dibujamos los sentidos de tensiones y corrientes que utilizaremos sobre el circuito (figura izquierda).

Obtenemos, en primer lugar, la tensión puerta-fuente.

Puesto que  $i_G = 0$ , el circuito de puerta es (figura derecha):



Se trata de un divisor resistivo:

$$u_{GS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot 10(\text{V}) = \frac{8\text{k}\Omega}{2\text{k}\Omega + 8\text{k}\Omega} \cdot 10(\text{V}) = 8(\text{V})$$

Luego la curva característica es la correspondiente a  $u_{GS} = 8\text{V}$

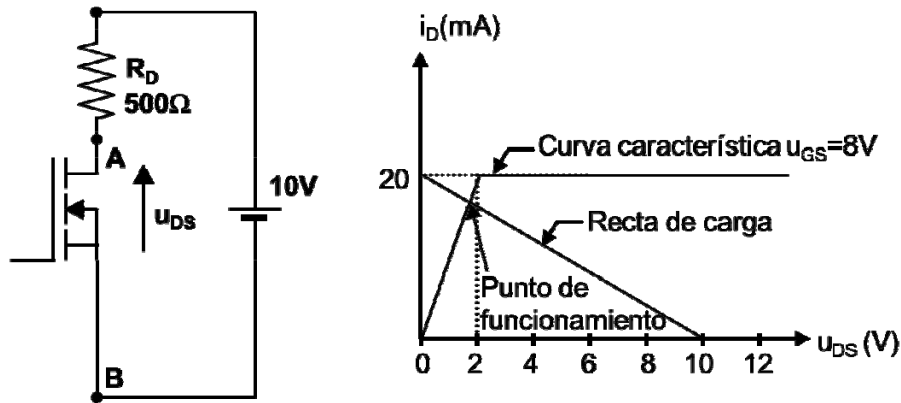
Para resolver el circuito de drenador, supongamos primero que el zéner no conduce. Si al resolver el circuito se obtuviera  $u_{DS} > V_Z$ , entonces el zéner conduciría, y volveríamos a realizar los cálculos.

El circuito de drenador es, entonces, el de la figura (izquierda).

La recta de carga del circuito de drenador es entonces tal que:

- Punto correspondiente a tensión en vacío:  $i_D = 0\text{ A}$ ,  $u_D = 10\text{ V}$  (pila)
- Punto correspondiente a cortocircuito:  $u_{CC} = 0\text{ V}$ ,  $i_{CC} = \frac{10(\text{V})}{500(\Omega)} = 20(\text{mA})$

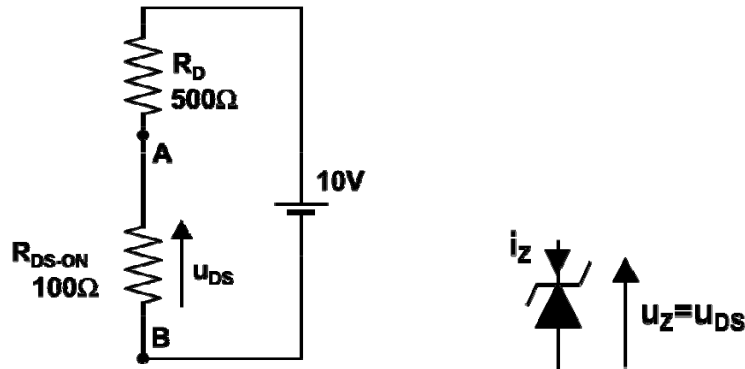
Tras representar la curva característica correspondiente a  $u_{GS} = 8\text{V}$  y la recta de carga, puede verse que el punto de funcionamiento (corte entre ambas) parece que está en la zona de comportamiento resistivo



Calculamos, finalmente, los valores exactos. Si suponemos que está en la zona de comportamiento resistivo (como parece) la resistencia equivalente del MOSFET entre drenador y fuente es (de la curva característica):

$$R_{DS-ON} = \frac{2(V)}{20(mA)} = 100(\Omega)$$

El circuito equivalente es, entonces:



Con lo que se obtiene, finalmente:

$$i_D = \frac{10V}{500\Omega + 100\Omega} = 16,67(mA) \quad y \quad u_{DS} = \frac{R_{DS-ON}}{R_{DS-ON} + R_D} \cdot 10(V) = \frac{100\Omega}{100\Omega + 500\Omega} \cdot 10(V) = 1,67(V)$$

Punto de funcionamiento del MOSFET:  $u_{GS}=0,8V$ ,  $u_{DS}=1,67V$   $i_D=16,67mA$

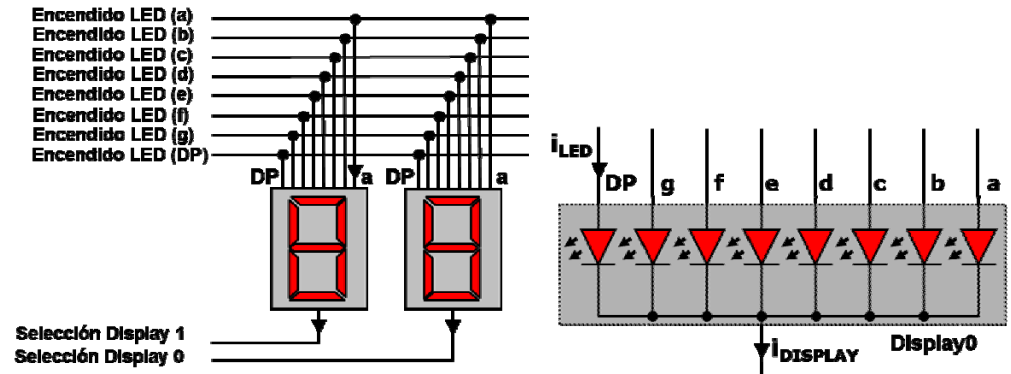
Finalmente, y puesto que el zéner efectivamente no conduce ( $u_{AB} < V_Z$ ), el

Punto de funcionamiento del zéner es  $i_Z=0$ ,  $u_Z=u_{DS}=u_{AB}=1,67V$

### EJERCICIO 3

Dadas las restricciones, habrá que realizar un barrido, encendiendo alternativamente los dos displays, y sacando respectivamente el código de cada uno cuando esté activo el display correspondiente.

En primer lugar, calculamos las corrientes necesarias (figura)



a) Corriente por cada LED. Puesto que cada LED de un display luce la mitad del tiempo, hay que multiplicar la corriente por dos para que luzca adecuadamente. Así, si  $n=2$  es el número de displays, y  $i_{LED-MEDIA}=10mA$  (dato) se tiene:

$$I_{LED-MAX} = n \cdot I_{LED-MED} = 2 \cdot 10mA = 20mA.$$

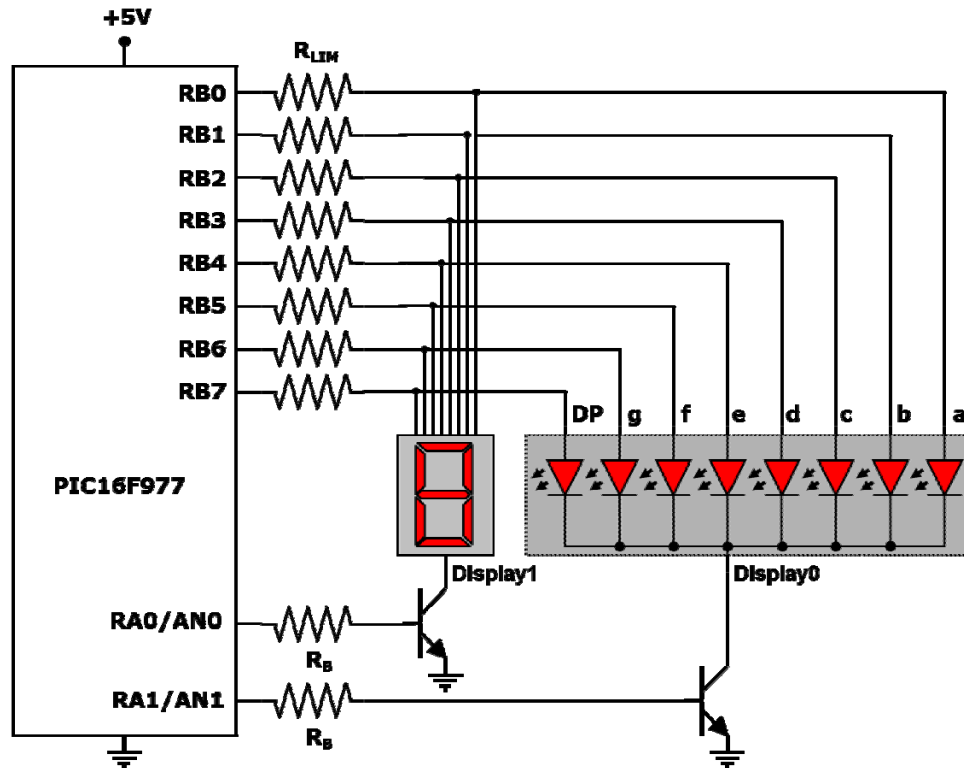
Puesto que esta corriente es inferior a los 25mA que proporciona/absorbe el PIC, la conexión se puede hacer directamente y no necesita transistores para la parte superior del display por la que se saca el código.

b) Corriente por cada display. En el peor caso, lucirán todos los LED. Si hay  $k$  LEDs/display (en este caso  $k=8$ ), la corriente total es:

$$I_{DISPLAY-MAX} = k \cdot I_{LED-MAX} = k \cdot 20mA = 8 \cdot 20mA = 160mA$$

Que es superior a los 25mA que proporciona el PIC. Utilizaremos pues transistores para la parte inferior, por la que se selecciona el display.

Por tanto, el circuito final a utilizar será el siguiente:



#### Niveles de activación

Puede verse que:

- El display se activa con un "1" en la salida RAi correspondiente (habrá que garantizar la saturación del transistor cuando circula corriente por la base para que la tensión en el cátodo del display sea 0 V)
- El LED correspondiente a cada barra luce cuando la salida RBi correspondiente esté también a "1", aplicando tensión al ánodo correspondiente.

#### Cálculo de los elementos del circuito

a) Resistencia limitadora. Nos dan como dato la caída directa del LED:  $V_D = 2 \text{ V}$ .

Si queremos que circule la corriente calculada  $I_{LED-MAX} = 20 \text{ mA}$ , se tiene:

$$I_{LED-MAX} = \frac{V_{CC} - V_D}{R_{LIM}} \Rightarrow R_{LIM} = \frac{V_{CC} - V_D}{I_{LED-MAX}} = \frac{5V - 2V}{20 \text{ mA}} = 150 \Omega$$

b) Con una corriente de base máxima  $i_B = 25 \text{ mA}$ , la corriente máxima que se puede manejar en el colector es  $i_C = \beta \cdot i_B$ , por lo que incluso si  $\beta = 10$  podríamos manejar 250 mA que es mayor que la corriente por el display (160 mA). Así que vale cualquier valor de  $\beta$ . Escogemos, por ejemplo  $\beta = 100$ .

Para que el circuito funcione correctamente, debemos garantizar la saturación del transistor en el peor caso, que correspondería a la máxima corriente de colector, que se da cuando lucen todos los LED.

En esas condiciones, se tiene que  $u_{CE} = 0$  y  $i_{COLECTOR} = i_{DISPLAY-MAX} = 160 \text{ mA}$  (ya calculado)

Para garantizar que el transistor se satura, ha de ser:

$$i_{COLECTOR} \leq \beta \cdot i_{BASE} \Rightarrow i_{BASE} \geq \frac{i_{COLECTOR}}{\beta} = \frac{160 \text{ mA}}{100} = 1,6 \text{ mA}$$

Por otra parte, si el transistor es ideal, se tiene que:

$$i_{BASE} = \frac{5V}{R_B}$$

Puesto que  $i_{BASE} \geq 1,6 \text{ mA}$ , se tiene:

$$1,6 \text{ mA} \leq i_{BASE} = \frac{5V}{R_B} \Rightarrow R_B \leq \frac{5V}{1,6 \text{ mA}} = 3125 \Omega$$

Escogemos, por ejemplo,  $R_B = 1 \text{ k}\Omega$ , con lo que:

$$i_{BASE} = \frac{5V}{1 \text{ k}\Omega} = 5 \text{ mA} \quad (\text{que es inferior a los } 25 \text{ mA que da el puerto})$$

Podemos comprobar que  $\beta \cdot i_{BASE} = 100 \cdot 5 \text{ mA} = 500 \text{ mA} \geq 160 \text{ mA} = i_{COLECTOR} = i_{DISPLAY-MAX}$

por lo que, en efecto, el transistor está saturado



#### EJERCICIO 4

##### PARTE 1

En el circuito de la figura, se pide:

a)  $V_1$  es la alimentación de un circuito TTL:  $+5V \pm 5\%$ . Por tanto  $4,75 \leq V_1 \leq 5,25$

En cuanto a  $V_2$ , para que el interfaz con el bloque C-MOS funcione correctamente, se ha de cumplir que funcione bien para el 0 y para el 1:

- Para el 0, sirve cualquier tensión: al saturar alguno de los transistores de salida del circuito TTL en colector abierto, la tensión es inferior al 30% de la alimentación de CMOS de 15 V, ya que el 30% de 15 V son 4,5 V
- Para el 1, las salidas de las puertas TTL en colector abierto son tales que los transistores están cortados. Por tanto, la tensión de salida es  $V_2$ , que debe ser mayor del 70% de la alimentación del bloque CMOS (10,5 V). Valdría cualquier tensión superior. Lógicamente, la tensión más cómoda a escoger sería la de +15 V, de la que ya se dispone para alimentar el bloque CMOS.

b) Cada entrada se conecta a las puertas de un par de MOSFET complementarios: uno de canal N (parte inferior) y otro de canal P (parte superior).

Si la entrada correspondiente es un 1, se tiene  $u_E = +V_{CC}$ .

Para el MOSFET de canal N:  $u_{GS} = u_E - 0 = +V_{CC}$ , y por tanto conduce

Para el MOSFET de canal P:  $u_{GS} = u_E - V_{CC} = +V_{CC} - V_{CC} = 0$ , y por tanto no conduce

Si la entrada correspondiente es un 0, se tiene  $u_E = 0$ .

Para el MOSFET de canal N:  $u_{GS} = 0 - 0 = 0$ , y por tanto no conduce

Para el MOSFET de canal P:  $u_{GS} = 0 - V_{CC} = -V_{CC}$ , y por tanto conduce

La única posibilidad de que la salida sea 0 es que los dos MOSFET de canal N estén conduciendo (lo que supone que ambas entradas están a 1). En esas condiciones, los dos MOSFET de canal P están cortados.

Se trata, por lo tanto de una puerta NAND.

Entrada 1	Entrada 2	Salida
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

c) Niveles lógicos en A, B, C, D, E y F.

Punto A. Se trata de una entrada al aire, por lo que el transistor de la entrada del circuito TTL no puede conducir. Por tanto es un 1 lógico

Punto B. Existe una resistencia muy pequeña conectada a masa. El transistor de entrada conducirá y en la entrada tendremos una tensión muy próxima a 0 V que se interpreta como un 0 lógico

Punto C. Hay una tensión de 4 V  $> u_{IH}$ . Por tanto se interpreta como un 1 lógico

Punto D. Existe un Wired-AND entre las salidas de las dos puertas TTL en colector abierto. Analizando cada una por separado, se tiene:

- Puerta NOR. Entradas A=1 y B=0. A NOR B = 1 NOR 0 = 0
- Puerta NOT. Entrada C=1. NOT C = 0
- Al hacer el Wired-AND: 0 AND 0 = 0. Por tanto en el punto D hay un 0

Punto E. Se trata de un divisor resistivo.

$$\text{La tensión en E es: } V_E = 10 \text{ V} \cdot \frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega} = 0,9 \text{ V} \leq 30\% (15 \text{ V}) = 4,5 \text{ V} = u_{IL}$$

Puesto que es inferior al máximo valor de tensión para el 0, es un 0

Punto F. Puesto que D=0 y E=0,  $F = 0 \text{ NAND } 0 = 1$

##### PARTE 2

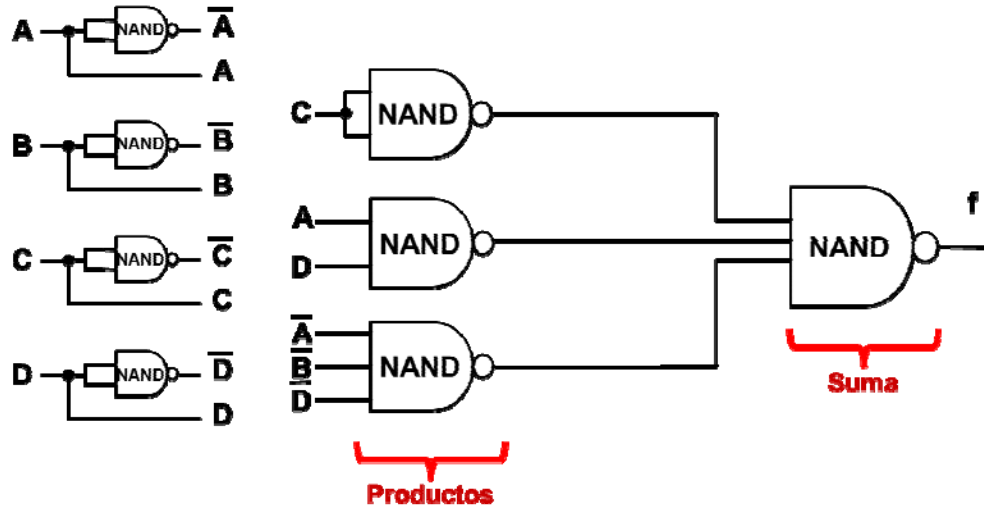
a) Realizamos el mapa de Karnaugh y agrupamos términos del mayor tamaño posible. La agrupación más eficiente, sería:

BA \ DC	00	01	11	10
00	1 <sup>1</sup>	1	X <sup>3</sup>	
01		1	X	1 <sup>2</sup>
11		1	X	X
10		1	X	X

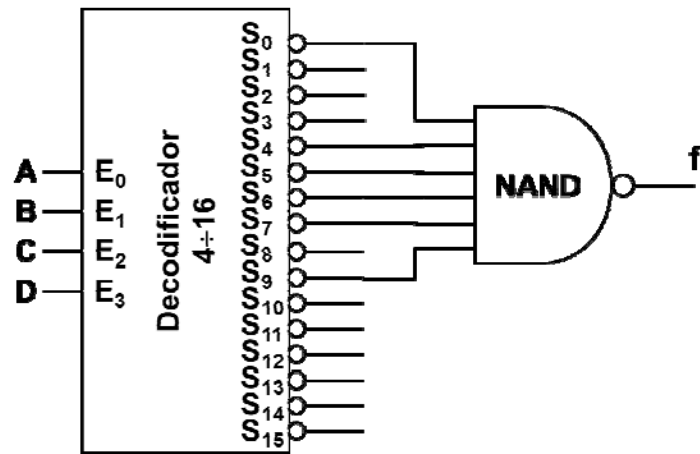
$$f = \bar{D} \cdot \bar{B} \cdot \bar{A} + D \cdot A + C$$

1
2
3

Cuya implementación con puertas NAND es:

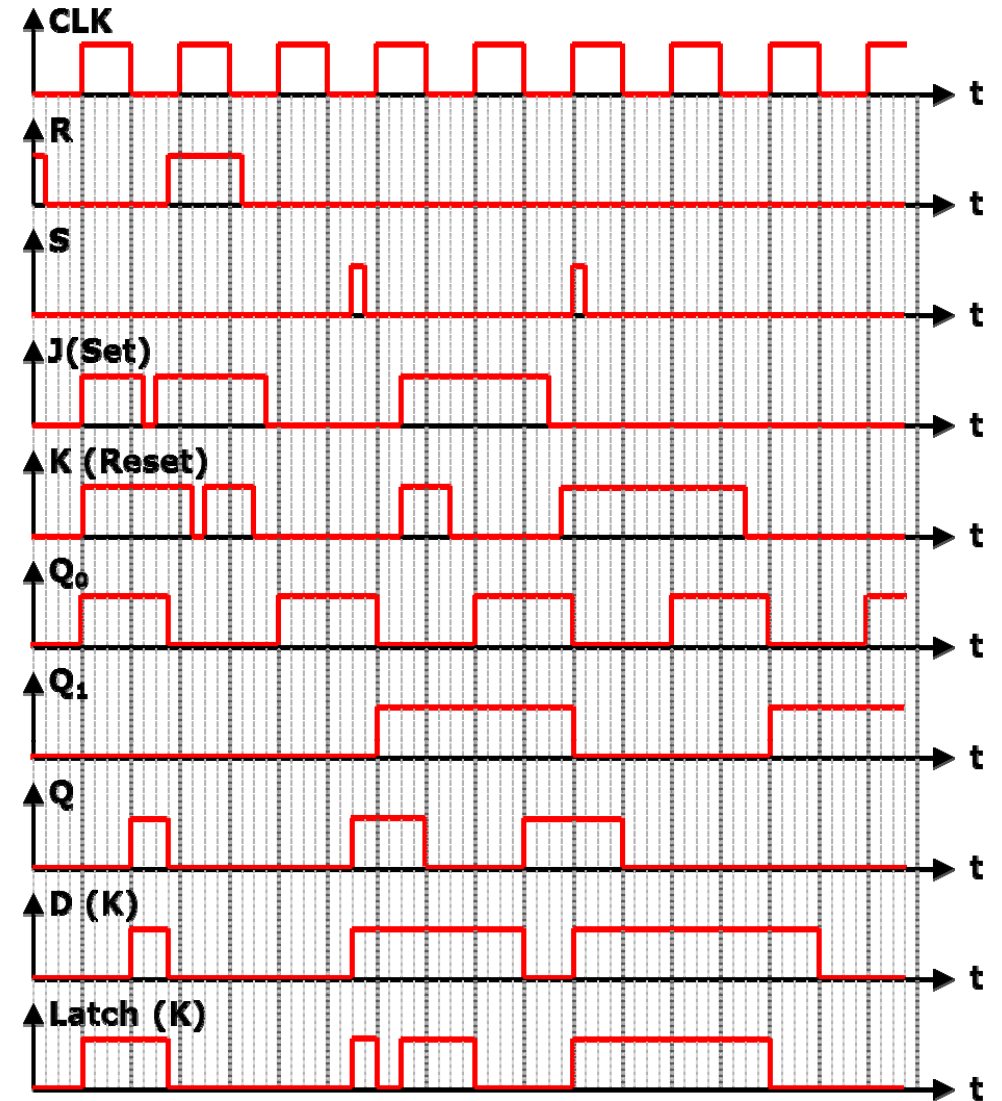


b)



### EJERCICIO 5

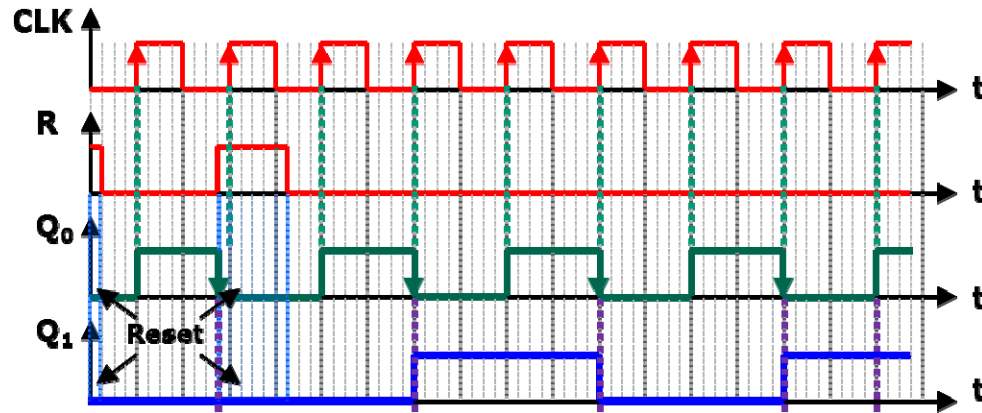
Solución completa:



Explicación:

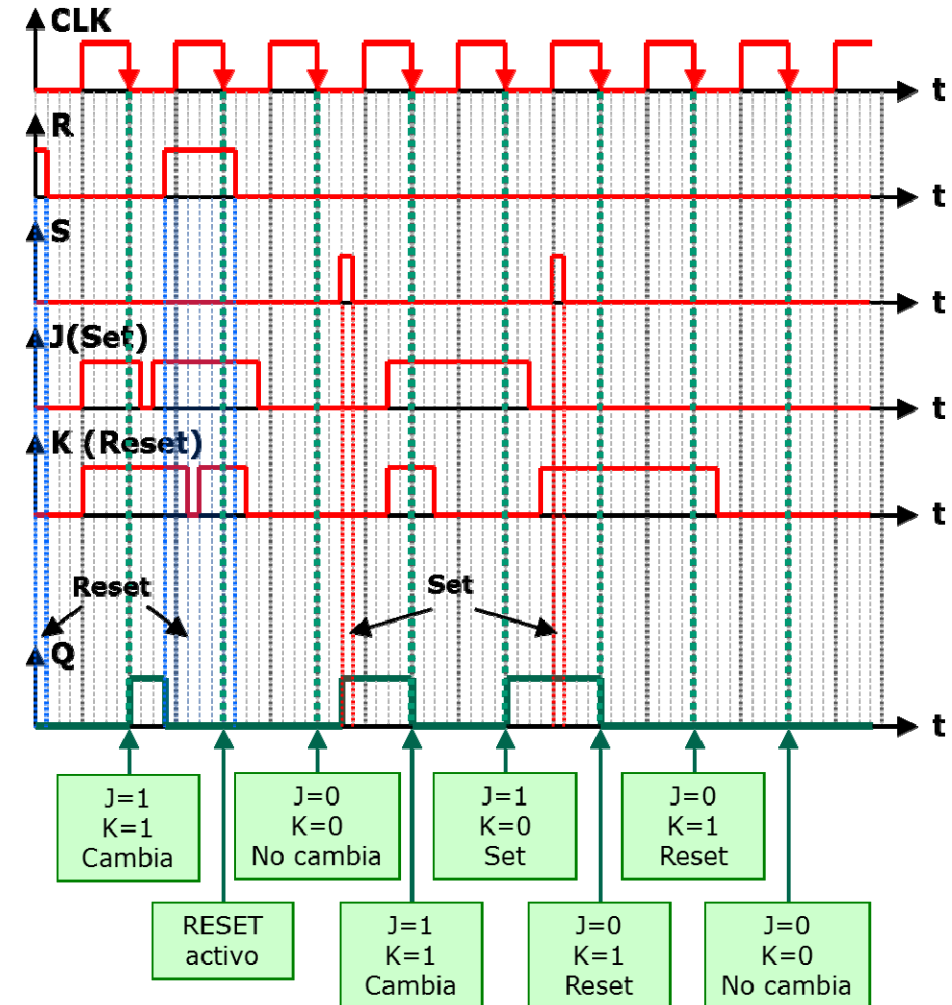
### Biestables T

- La franja azul indica la zona de activación del RESET (prioritaria) que fuerza el estado de las salidas  $Q_0$  y  $Q_1$  de los biestables a 0 (RESET) sea cual sea el estado de CLK
- Se han indicado los flancos activos de CLK para la entrada del primer biestable (los ascendentes) y que hacen que cambie su salida  $Q_0$ , siempre que no esté en RESET. Puede verse que el segundo flanco no hace cambiar la salida  $Q_0$  ya que está activo el RESET
- También se han indicado los flancos activos de  $Q_0$  para la entrada del segundo biestable (descendentes) y que hacen que cambie su salida  $Q_1$ , siempre que no esté en RESET. Puede verse que el segundo flanco no hace cambiar la salida  $Q_1$  ya que está activo el RESET



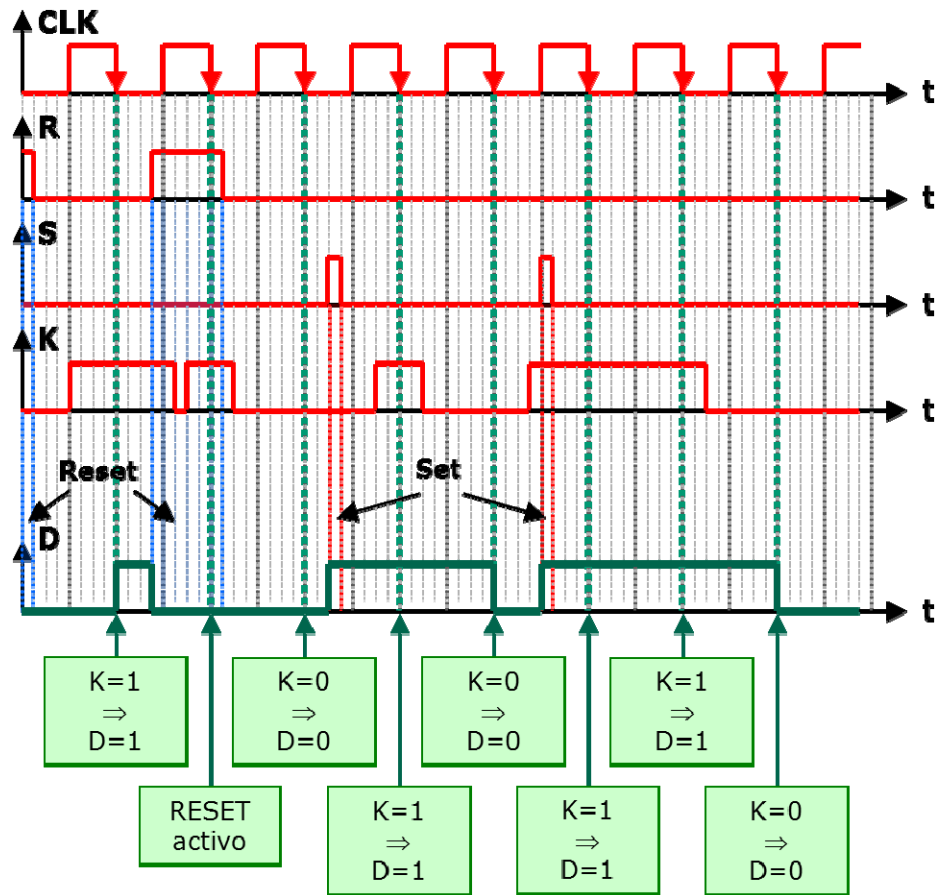
### Biestable J-K

- La franja azul indica la zona de activación del RESET (prioritaria) que fuerza el estado de la salida del biestable a 0 (RESET) sea cual sea el estado de CLK
- La franja roja indica la zona de activación del SET (prioritaria) que fuerza el estado de la salida del biestable a 1 (SET) sea cual sea el estado de CLK



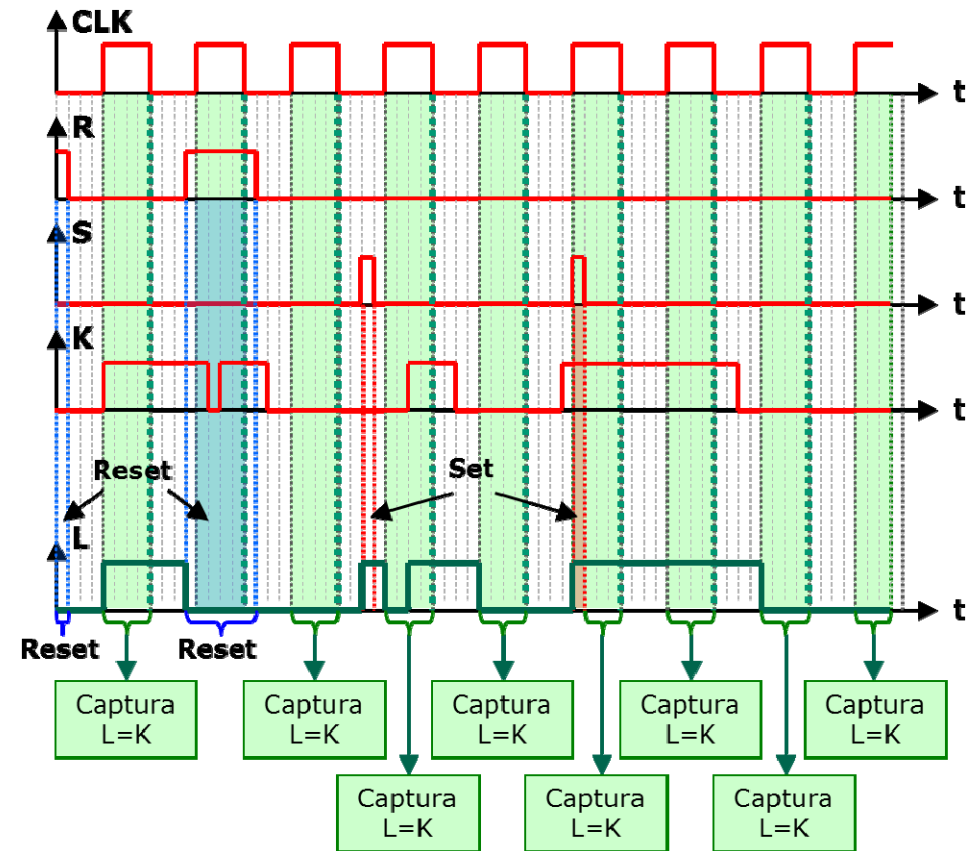
### Biastable D

- La franja azul indica la zona de activación del RESET (prioritaria) que fuerza el estado de la salida del biastable a 0 (RESET) sea cual sea el estado de CLK
- La franja roja indica la zona de activación del SET (prioritaria) que fuerza el estado de la salida del biastable a 1 (SET) sea cual sea el estado de CLK



### Biastable Latch

- La franja azul indica la zona de activación del RESET (prioritaria) que fuerza el estado de la salida del biastable a 0 (RESET) sea cual sea el estado de CLK
- La franja roja indica la zona de activación del SET (prioritaria) que fuerza el estado de la salida del biastable a 1 (SET) sea cual sea el estado de CLK
- La franja verde indica la zona en la que el latch está capturando la entrada, y por tanto  $Q=E$ , es decir  $L=K$ , salvo que estemos haciendo un SET o un RESET



## EJERCICIO 6

a) Tiempo temporizado.

La inicialización del temporizador se hace al escribir sobre el registro OPTION\_REG

Concretamente, se escribe OPTION\_REG=b'10000111'

Con ello, se tiene:

Bit 5. T0CS=0. Utiliza el ciclo de instrucción interno (y no conocemos la frecuencia del reloj interno)

Bit 4. T0SE=0. Usa la transición low-high para incrementarse

Bit 3. PSA=0. Prescaler asignado al Timer 0

Bits 2-0: 111. Divisor de frecuencia del prescaler 1:256

Puesto que la frecuencia del reloj interno es desconocida, no sería posible calcular nada.

Vamos a calcularlo, si suponemos un cristal de 4 MHz. Entonces se tendría:

$$T_{\text{INSTRUCCION}} = 4 \cdot T_{\text{CLK}} = \frac{4}{4 \text{ MHz}} = 1 \mu\text{s}$$

La subrutina de temporización realiza 15 temporizaciones, cargando el valor TMR0=d'248'.

El tiempo temporizado en cada una, sería:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo} &= [(256 - \text{Precarga}) \cdot \text{Prescaler} + 2] \cdot T_{\text{INSTRUCCION}} \\ \text{Tiempo} &= [(256 - 248) \cdot 256 + 2] \cdot 1 \mu\text{s} = 2046 \mu\text{s} = 2,046 \text{ ms} \end{aligned}$$

Por tanto, en total se temporizan  $15 \cdot 2,046 \text{ ms} = 30,69 \text{ ms}$

Para conseguir temporizar 60 s, con el esquema indicado, deberíamos usar el reloj externo. En ese caso, el tiempo temporizado en cada temporización sería:

$$\text{Tiempo} = [(256 - \text{Precarga}) \cdot \text{Prescaler} + 2] \cdot T_{\text{CLK\_EXTERNO}}$$

Con el reloj que nos proporcionan, se tiene:

$$T_{\text{CLK\_EXTERNO}} = \frac{1}{16,384 \text{ kHz}} = 61,035 \mu\text{s}$$

El máximo tiempo que se podría temporizar, es:

$$\text{Tiempo} = [(256 - 0) \cdot 256 + 2] \cdot T_{\text{CLK\_EXTERNO}} = [256 \cdot 256 + 2] \cdot \frac{1}{16384} = 4 \text{ s}$$

Hay que hacer varias temporizaciones. Podemos, por ejemplo, para que sea un cálculo cómodo, hacer 60 temporizaciones de 1s.

Si ajustamos el prescaler al máximo (256), el valor a precargar en el TMR0 sería:

$$1 \text{ s} = \text{Tiempo} = [(256 - \text{Precarga}) \cdot 256 + 2] \cdot T_{\text{CLK\_EXTERNO}} = [(256 - \text{Precarga}) \cdot 256 + 2] \cdot \frac{1}{16384}$$

$$(256 - \text{Precarga}) \cdot 256 + 2 = 16384 \Rightarrow (256 - \text{Precarga}) = \frac{16384 - 2}{256} \cong 64$$

Precarga=256-64=192, que sería el valor a precargar en TMR0 en cada temporización.

### Inicialización del temporizador:

Bit 5. T0CS=1. Utiliza el ciclo de reloj de la señal en RA4/T0CKI

Bit 4. T0SE=X. Es irrelevante la transición a utilizar low-high o high-low

Bit 3. PSA=0. Prescaler asignado al Timer 0

Bits 2-0: 111. Divisor de frecuencia del prescaler 1:256

Con lo que OPTION\_REG='xx1x0111'. Por ejemplo 'xx100111'

NOTA: Los bits 7 y 6 dependen del ajuste para el PORTB y se comentarán después.

La subrutina de temporización quedaría igual que antes, excepto en que:

- Se cargaría el valor d'60' en vez de d'15' en el registro/variable CONT
- Se cargaría el valor d'192' en vez de '248' en el registro TMR0

Conseguimos así 60 temporizaciones de 1 s.

b y c) Otros errores cometidos:

- Tras la inicialización, para lo cual pasamos al Banco 1, no se regresa al Banco 0, lo cual es necesario para poder utilizar PORTB. Habría que incluir una línea:

bcf STATUS, RP0



justo antes del comienzo del programa Principal

- Al inicializar PORTB, se escribe TRISB=b'11111101', lo que hace que sea RB1 salida y RB0 entrada. Es al revés, por lo que la inicialización correcta sería:

```
movlw b'11111110'
movwf TRISB
```

- Es necesario activar las resistencias de Pull-up del PORTB para que el pulsador trabaje correctamente. Para ello, el bit 7 (RBPu) del registro OPTION\_REG ha de ser 0. Este bit está mal ajustado en el programa que se presenta. El bit 6 es indiferente ya que no usamos la línea RB0. Con esto, el ajuste final del registro OPTION\_REG sería:

Para el temporizador: b'xx100111' ya visto antes

Para el uso de las resistencias de Pull-up del PORTB: b'0xxxxxxx'

Por ejemplo: OPTION\_REG=b'00100111'

- Los niveles utilizados en la salida RB0 para activar el relé son incorrectos.

De la observación del esquema, se aprecia que RB0=0 activa el relé, y RB0=1 lo desactiva.

En el programa se inicializa PORTB=0, lo cual encendería la lámpara. En la inicialización habría que poner a 1 RB0, con una instrucción como:

```
bsf PORTB, 0
```

Al inicio de la temporización, se pone a 1 el bit 1 de PORTB, se supone que para encender la lámpara. Está mal tanto el bit modificado como el nivel.

En vez de bsf PORTB, 1, habría que hacer bcf PORTB, 0

Y al final, hay que apagarla, poniéndola a 1.

En vez de bcf PORTB, 0, habría que hacer bsf PORTB, 0 (aquí el bit sí es era correcto)

Con todos los cambios, el programa quedaría, incluyendo comentarios:

```
***** luz_escalera.asm *****

LIST p=16F877A
INCLUDE <p16f877A.inc>
__CONFIG _XT_OSC & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _BODEN_ON & _LVP_OFF

CONT EQU 0x20           ;Define variable contador
ORG 0x00               ;Vector de RESET

Inicio bsf PORTB, 0      ;Prepara (set) la salida RB0 para inicio con lámpara apagada
        bsf STATUS,RP0   ;Pasa al Banco 1 para inicializaciones
        movlw b'11111110' ;Inicializa PORTB, siendo RB0 salida y RB1 entrada
        movwf TRISB       ;Resto de líneas son entradas por seguridad
        movlw b'11111111' ;Inicializa PORTA, RA4 entrada
        movwf TRISA       ;Resto de líneas son entradas por seguridad
        movlw b'00100111' ;Inicializa Temporizador y resistencias de Pull-up
        movwf OPTION_REG  ;Bit 7. RBPu=0 activa resistencias de Pull-up para pulsador
                                ;Bit 6. INTEDG=x Irrelevante al no usar entrada RB0
                                ;Bit 5. T0CS=1. Usa reloj externo señal en RA4/T0CKI
                                ;Bit 4. T0SE=x. No importa la transición a utilizar
                                ;Bit 3. PSA=0. Prescaler asignado al Timer 0
                                ;Bits 2-0: 111. Divisor de frecuencia del prescaler 1:256

Principal bcf STATUS,RP0   ;Vuelve al Banco 0 para usar los puertos en el programa
        btfss PORTB, 1    ;Mientras RB1=1 ignora la siguiente instrucción y espera
        call Temporiza    ;Si RB1=0 llama a la Subrutina de temporización
        goto Principal    ;Bucle de espera

Temporiza bcf PORTB, 0     ;Activa el relé, poniendo RB0=0
        movlw d'60'       ;Carga CONT=60
        movwf CONT        ;Son las temporizaciones de 1 segundo a realizar

Tparcial bcf INTCON, T0IF  ;Borra FLAG de desborde del TMR0
        movlw d'192'      ;Precarga para temporizar 1s
        movwf TMR0        ;Carga TMR0 y empieza la temporización

Espera btfss INTCON, T0IF  ;Espera por el desborde del TMR0
        goto Espera       ;Mientras no desborde, espera
        decfsz CONT        ;Al acabar la temporización de 1s, decrementa contador
        goto Tparcial     ;Si aún no es 0, lanza otra temporización
        bsf PORTB, 0      ;Apaga la lámpara
        return            ;Vuelve al programa principal
END                       ;Fin del programa
```