

# TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA DE COMPUTADORES

2º Curso – GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA  
EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

*Tema 6. Circuitos electrónicos combinacionales.  
Puertas y bloques MSI combinacionales*

*Lección 10. Circuitos combinacionales MSI*

## Lección 10. Circuitos digitales combinacionales

**10.1 Decodificadores, codificadores y convertidores de código**

**10.2 Multiplexores y demultiplexores**

**10.3 Síntesis de circuitos combinacionales con decodificadores**

**10.4 Síntesis de circuitos combinacionales con multiplexores**

**10.5 Aplicaciones de los circuitos combinacionales MSI**

## Bibliografía de la lección

### Lectura clave:

Thomas L.Floyd. Fundamentos de sistemas digitales.

Ed. Prentice Hall – Pearson Education.

Tema 6. Funciones de la logica combinatorial. Apartados 6.5. a 6.10.

### Otros:

Enlaces a características de circuitos integrados digitales de vendedores o fabricantes

Ejemplos:

- Serie 74xxx <http://www.futurlec.com/IC74Series.shtml>
- Serie 40xxx <http://www.futurlec.com/IC4000Series.shtml>
- NXP Serie 74HC/T: <http://ics.nxp.com/products/hc/all/>

## CIRCUITOS COMBINACIONALES

Definición: Son circuitos en los que la salida solo depende en cada momento del valor que toman las variables de entrada

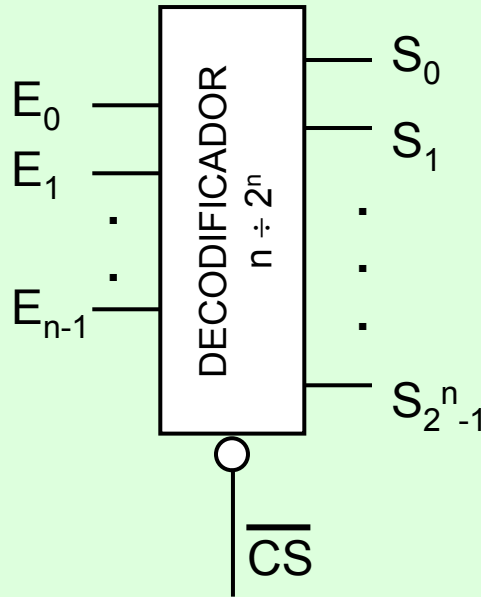
Clasificación {

- SSI: 1 a 12 puertas lógicas
- MSI: 13 a 99 puertas lógicas
- LSI: 100 transistores/mm<sup>2</sup>
- VLSI: 1000 transistores/mm<sup>2</sup>

Existen funciones que se repiten de forma habitual:  
CIRCUITOS SSI y MSI

## 10.1 Decodificadores, codificadores y convertidores de código

### Decodificadores



CS= Chip Select

*Entrada adicional que  
habilita/deshabilita el  
dispositivo*

Circuitos con “n” entradas y “2<sup>n</sup>” salidas

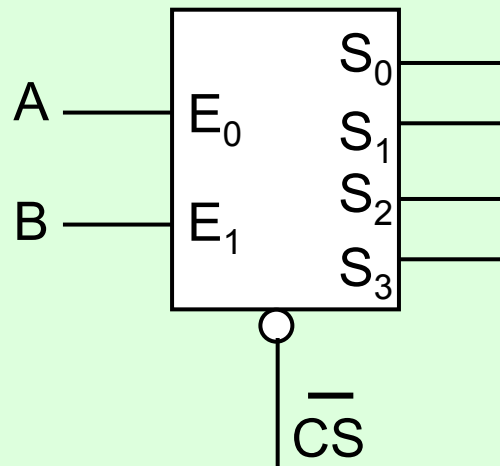
Función: Al introducir una combinación en la entrada se activa únicamente la salida cuyo número se corresponde con dicha combinación.

Aplicaciones: Selección de dispositivos, realización de circuitos combinatoriales, utilización conjunta con codificadores...

**LAS ENTRADAS Y SALIDAS PUEDEN SER ACTIVAS A NIVEL ALTO O BAJO**

**Ejemplo:**

Decodificador 2÷4 con entradas y salidas activas a nivel alto, y con entrada de selección activa a nivel bajo



$\overline{CS}$	B	A	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0
0	1	1	0	0	0	1
1	X	X	0	0	0	0

**Ejercicio:**

¿Cómo sería la tabla de verdad de un decodificador 3÷8 con entradas y salidas activas a nivel bajo, y con entrada de selección activa a nivel alto?

## Obtención de decodificadores de orden superior

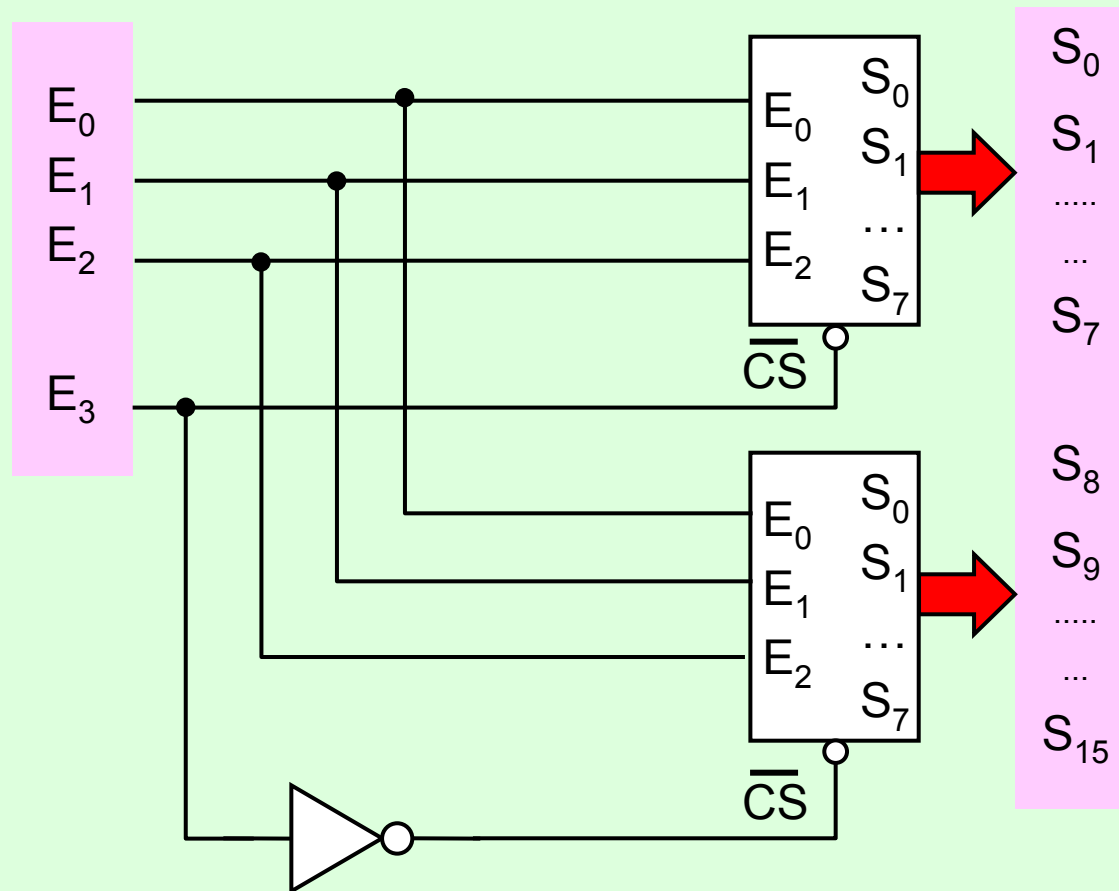
¿Cómo se construiría un decodificador 3÷8 a partir de decodificadores 2÷4 con entrada de habilitación?

La entrada de mayor peso permite seleccionar la salida del decodificador adecuado.

$E_2$	$E_1$	$E_0$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

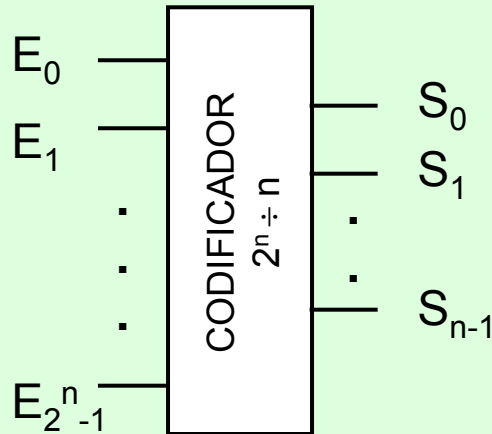
**Ejemplo:**

Obtención de un decodificador 4÷16 a partir de dos decodificadores 3÷8.





## Codificadores



Circuito con " $2^n$ " entradas y " $n$ " salidas

Función: En las salidas se muestra el código binario del número de la entrada activada

Aplicaciones: Detección de niveles, transmisión de datos (en conjunción con un decodificador), etc.

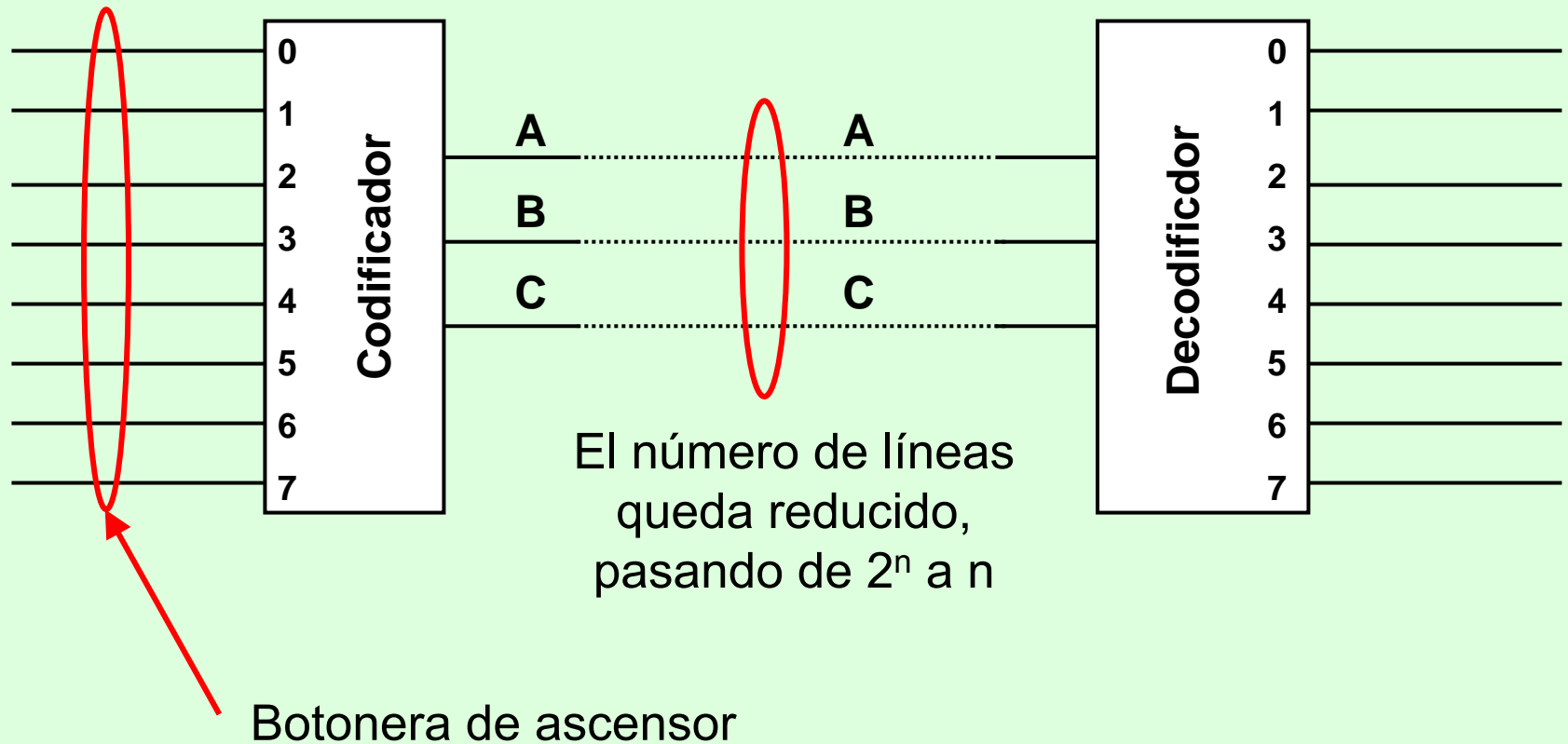
Puede haber alguna, ninguna, o más de una entrada activa:

¿ Que ocurre si hay más de una entrada activada ?

- a) Los codificadores suelen ser prioritarios (tiene prioridad la entrada de mayor número)
- b) Existen señales adicionales de validación de salidas para saber si hay alguna entrada activa

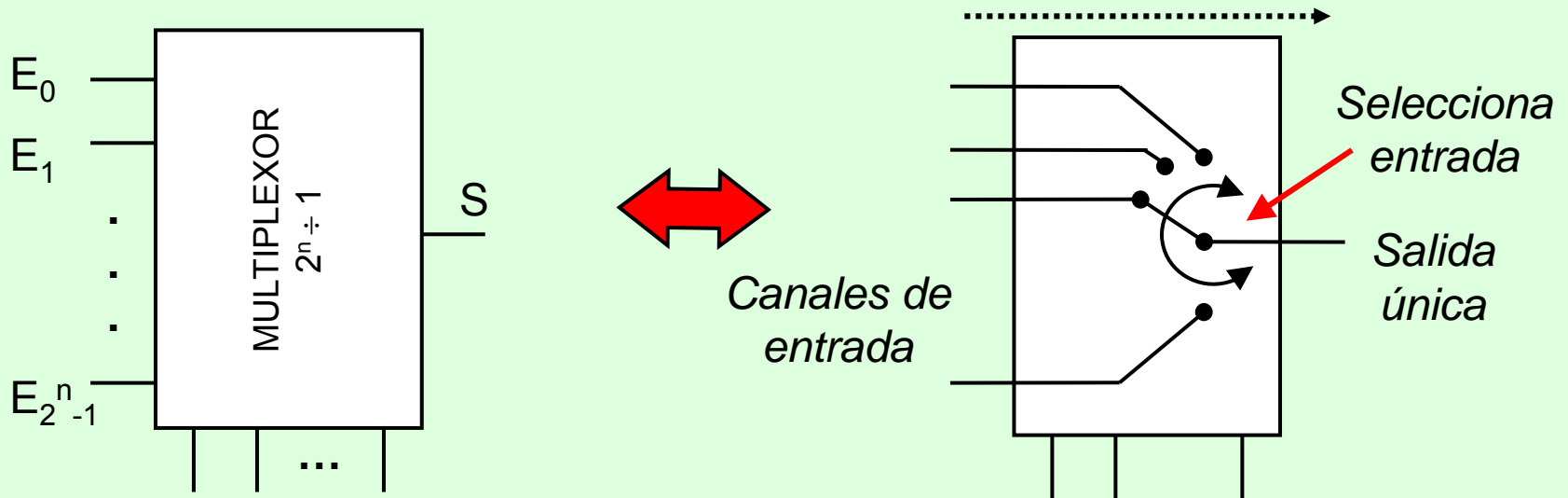
## Ejemplo de aplicación:

Reducción del número de cables



## 10.2 Multiplexores y demultiplexores

### Multiplexores (MPX)



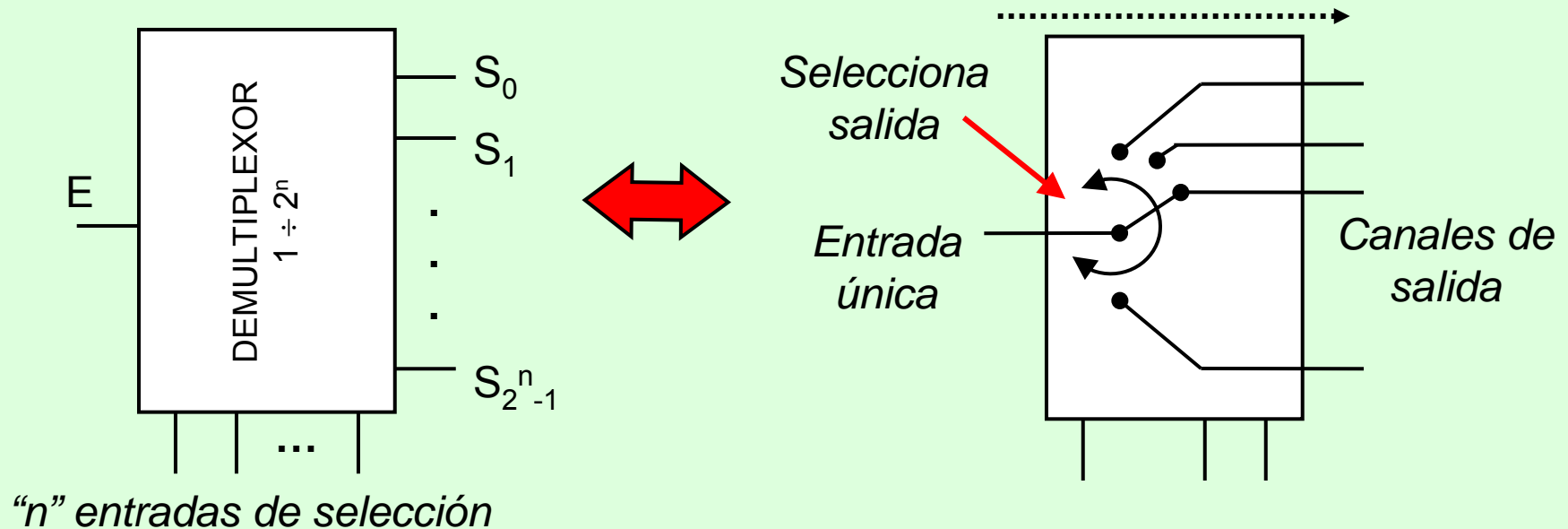
*“n” entradas de selección*

Circuito con  $2^n$  entradas (canales), una salida y “n” líneas de selección.

La salida toma el valor del canal de entrada seleccionado mediante las “n” líneas de selección.

Aplicaciones: Como conmutador de líneas, en conjunción con el demultiplexor, realización de funciones lógicas, etc

## Demultiplexores (DMPX)

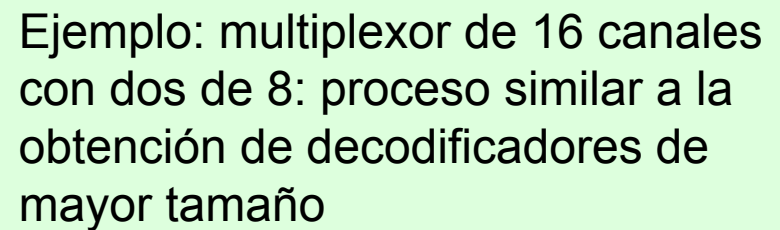


Circuito con una entrada,  $2^n$  salidas y '*n*' líneas de selección.

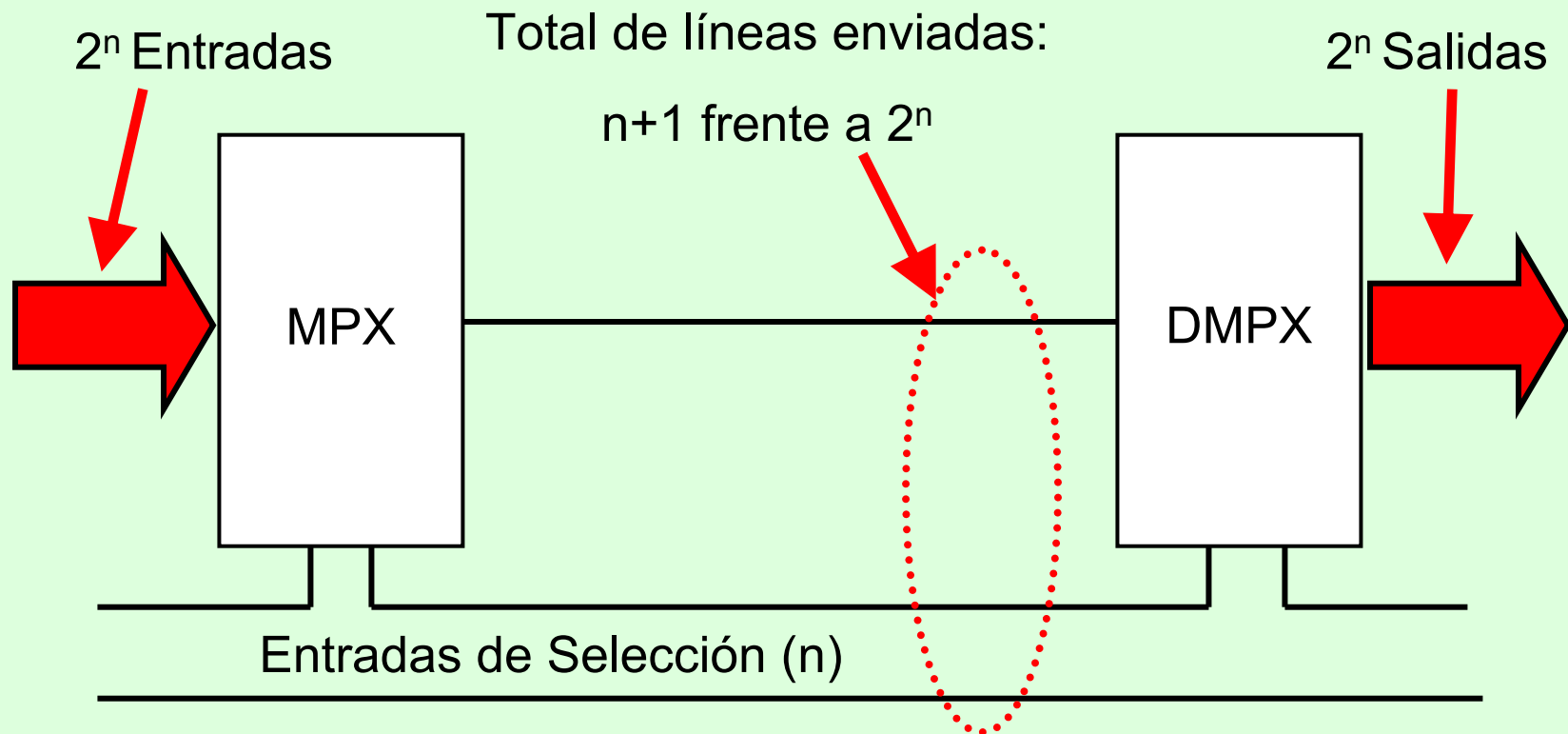
El valor de la entrada se transmite a la salida seleccionada por las líneas de selección.

Aplicaciones: Como conmutador de líneas, en conjunción con el MPX, etc

## Obtención de multiplexores de mayor orden



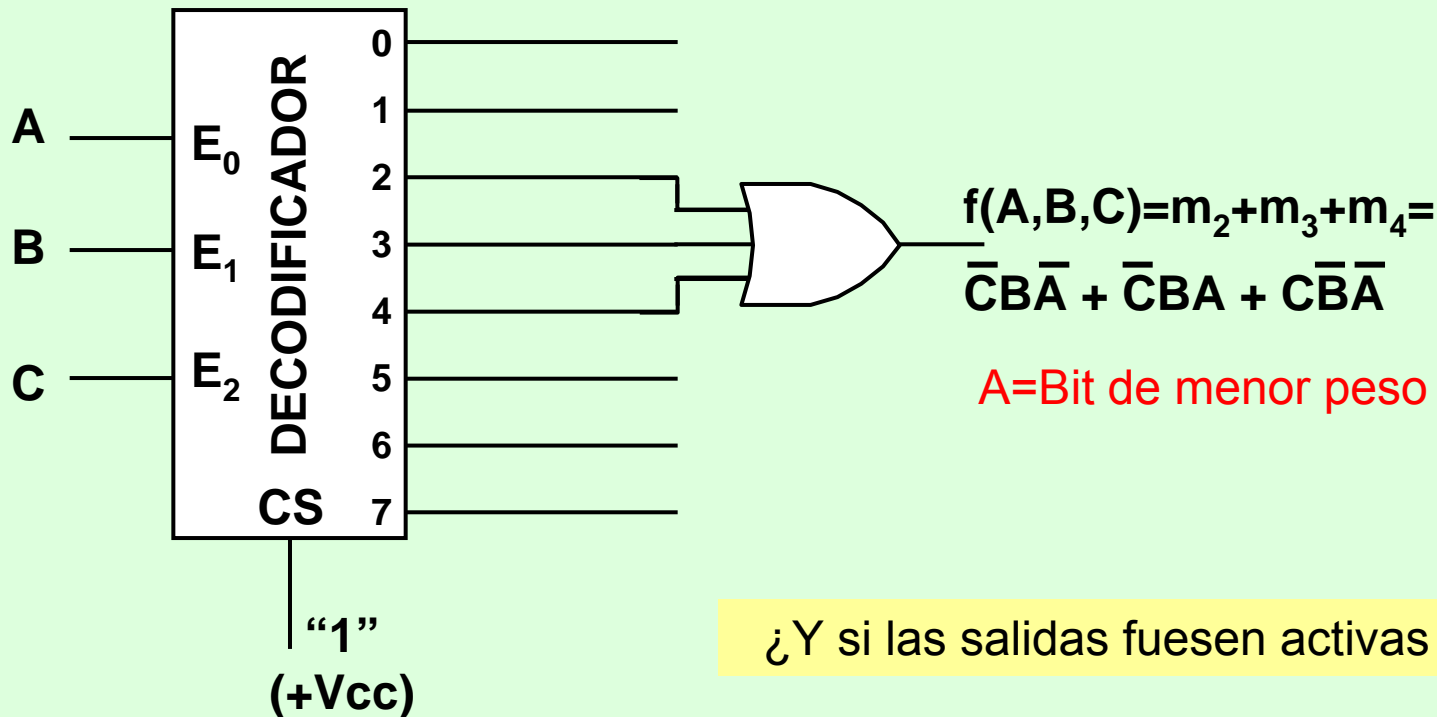
## Aplicaciones de los DMPX y MPX



## 10.3 Síntesis de circuitos combinacionales con decodificadores

### Aplicación: realización de funciones lógicas con decodificadores

- Salidas activas a nivel alto: se suman las salidas que aparecen en la primera forma canónica: cualquier uno en la tabla de verdad hace que  $f=1$ .

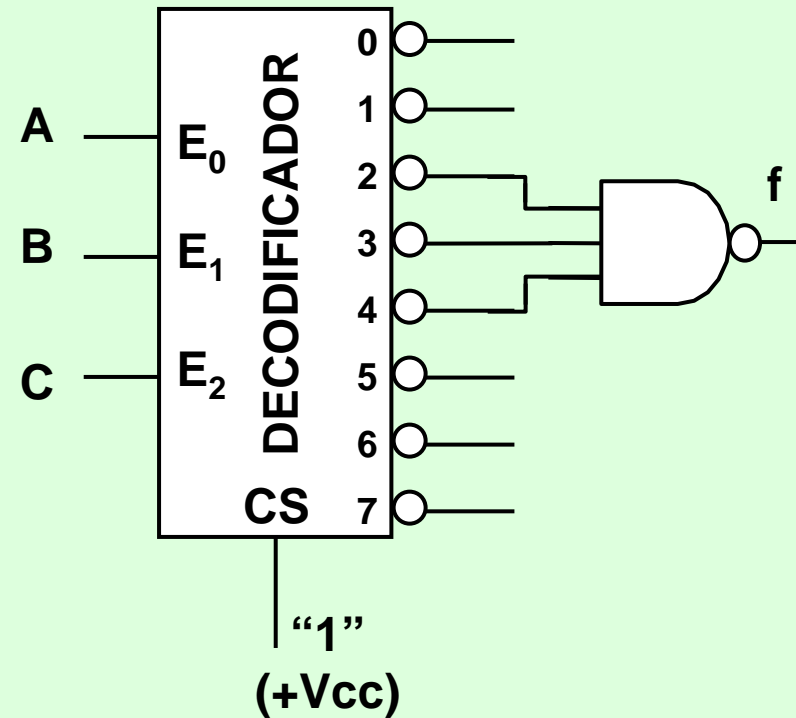
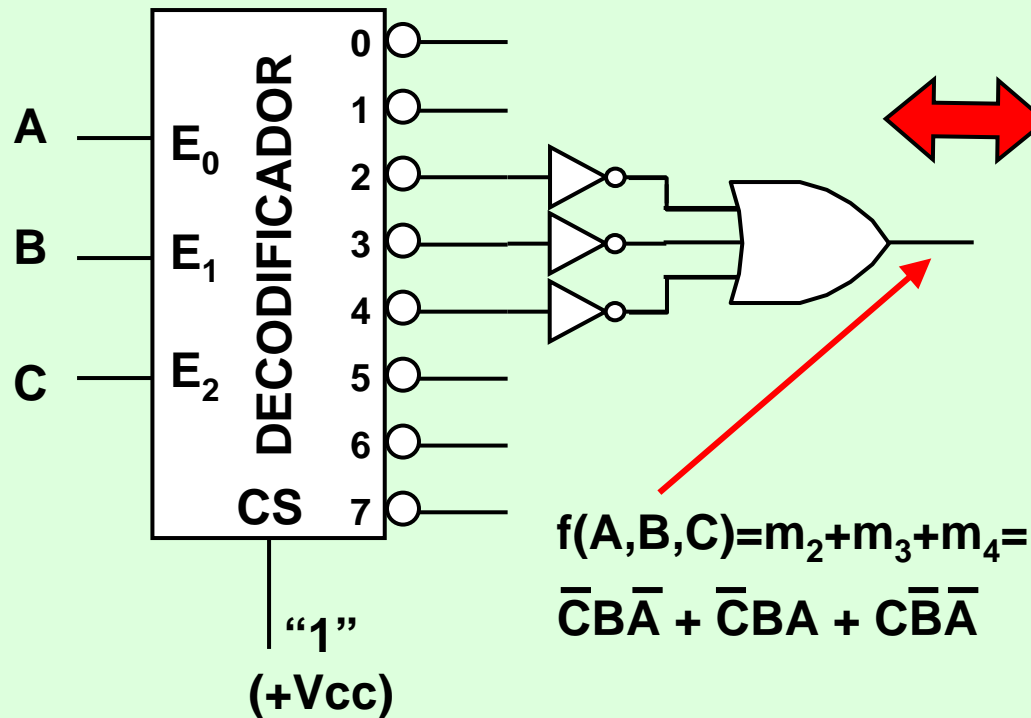


¿Y si las salidas fuesen activas a nivel bajo?

## Aplicación: realización de funciones lógicas con decodificadores

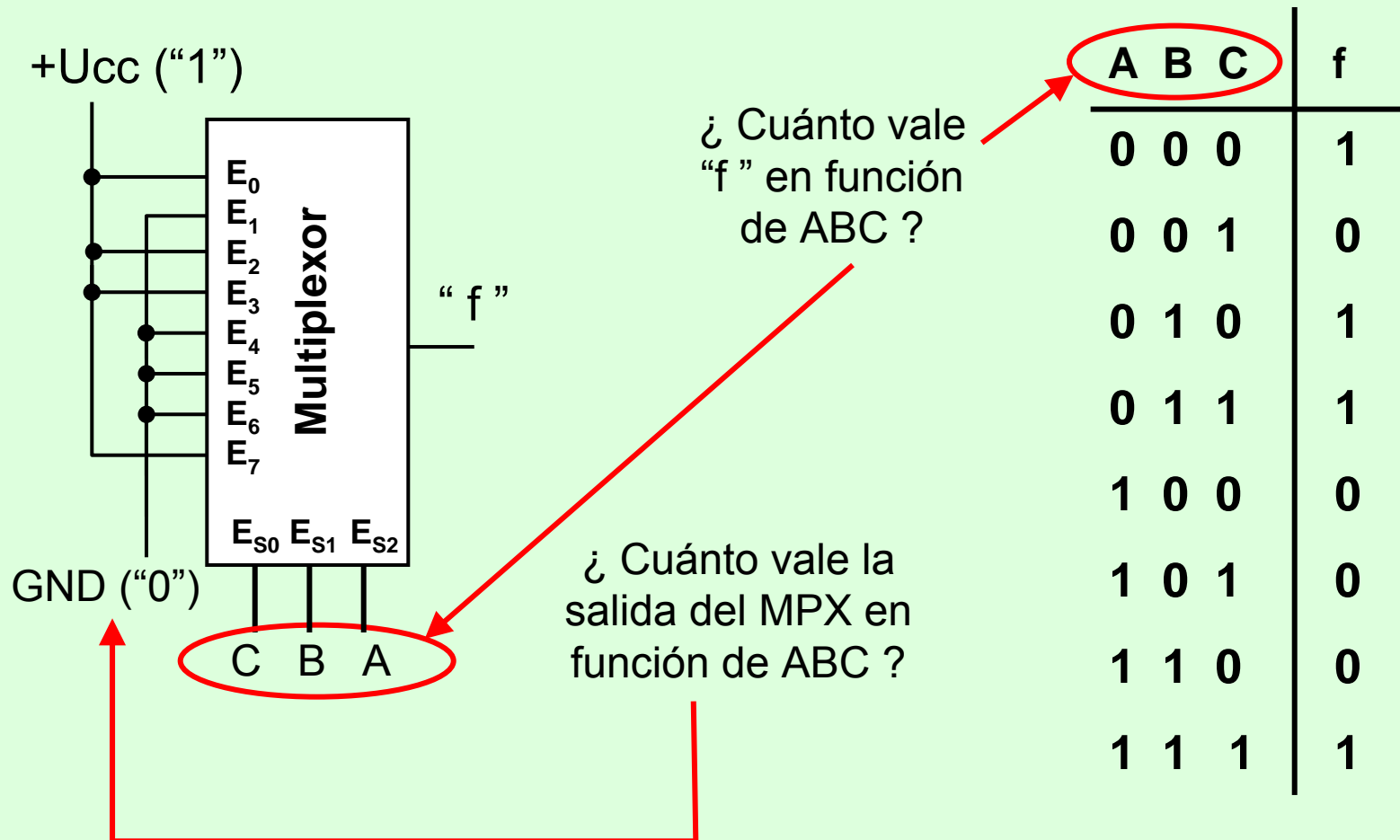
- Salidas activas a nivel bajo: habría que complementar las salidas antes de sumar.

Por de Morgan:  $\overline{\overline{A+B+C}} = \overline{\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}} = \overline{\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}}$





## 10.4 Síntesis de circuitos combinacionales con multiplexadores



Puede utilizarse un MPX menor (con menor número de canales de entrada)

- Separamos una variable (que se utilizará para las entradas, junto al 0 y el 1)
- Usamos las demás para seleccionar: en la entrada correspondiente, habrá que introducir la variable apartada, su negada, un uno o un cero lógico, según la tabla de verdad deseada

¡ OJO ! No es un mapa de Karnaugh

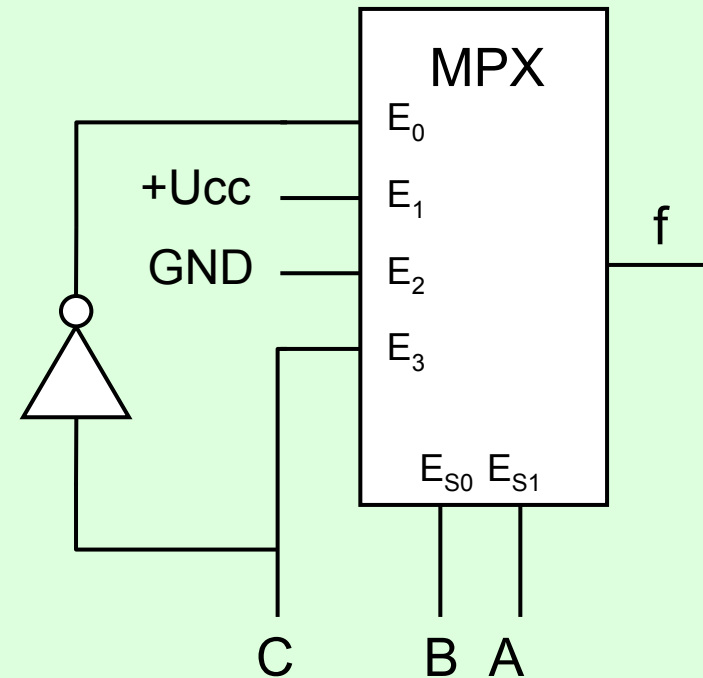
$\begin{matrix} \text{AB} \\ \text{C} \end{matrix}$	00	01	10	11
0	1	1	0	0
1	0	1	0	1

Es igual a  $\bar{C}$

Siempre es "1"

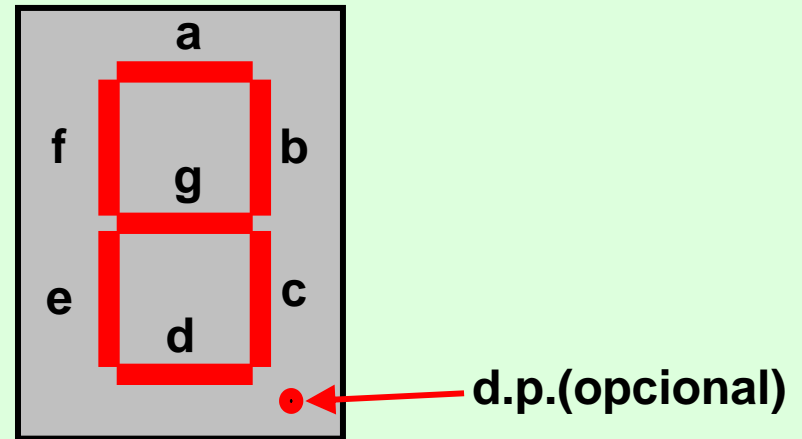
Es igual a C

Siempre es "0"



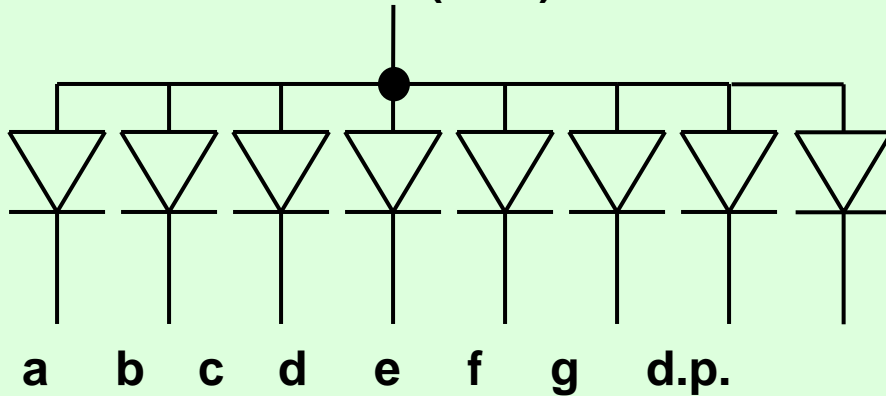
## 10.5 Aplicaciones de los circuitos combinacionales MSI

### Uso de Displays de 7 segmentos

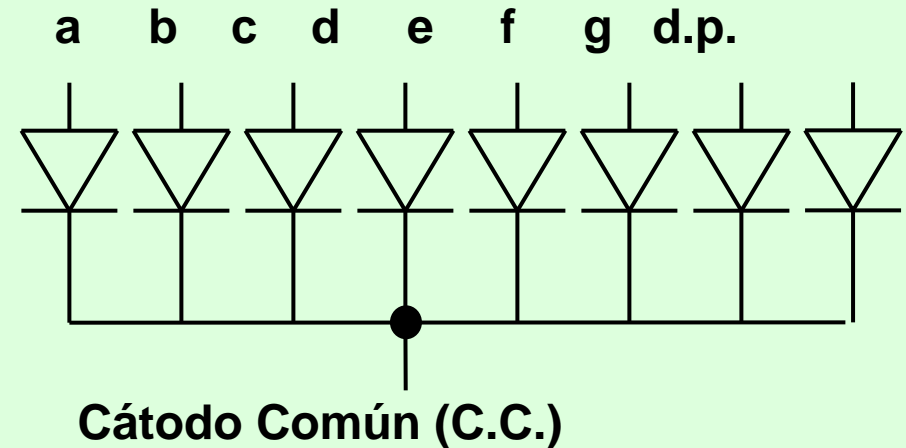


Display de Ánodo Común

Anodo Común (A.C.)



Display de Cátodo Común



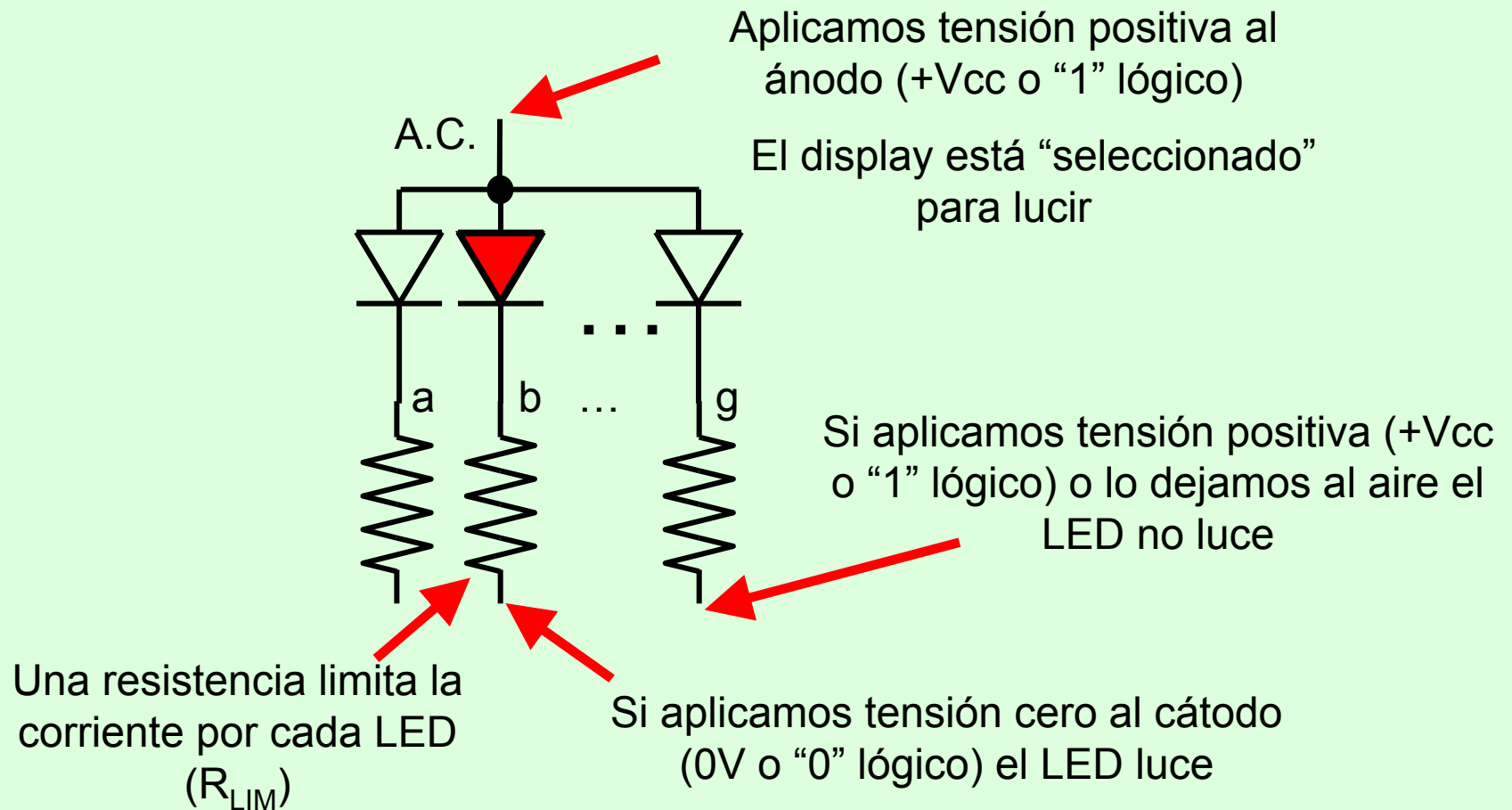
## Uso de displays de 7 segmentos

Características de los circuitos con displays:

- a) Número de conexiones elevado (cada display tiene una línea común más 7 u 8 líneas correspondientes a cada diodo)
- b) Típicamente hay varios displays en un circuito, ya que se representan varios dígitos
- c) El control de cuándo debe lucir cada LED procede de las salidas de circuitos digitales
- d) Es usual que las salidas de los circuitos no proporcionen directamente suficiente corriente para hacer lucir los LED, por lo que hay que amplificar la corriente
- e) Diferentes soluciones permiten reducir el número de salidas a utilizar

## ¿Cómo conseguir hacer lucir un LED de un display?

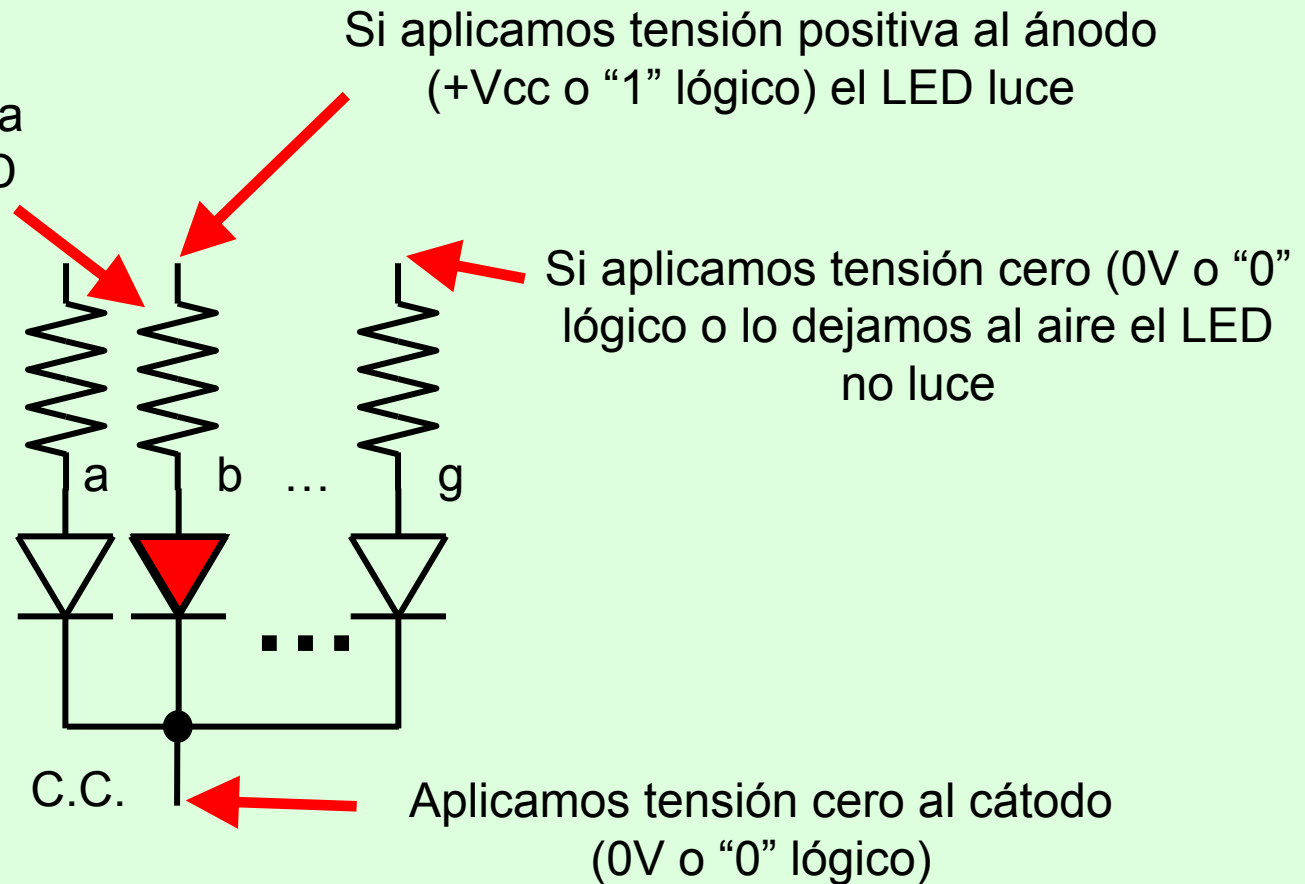
### Display de Ánodo Común



## ¿Cómo conseguir hacer lucir un LED de un display?

### Display de Cátodo Común

Una resistencia limita la corriente por cada LED ( $R_{LIM}$ )



El display está “seleccionado” para lucir

## Problemas asociados al control de displays desde circuitos digitales

Problema 1: Reducir el número de líneas de control para los displays.

Soluciones:

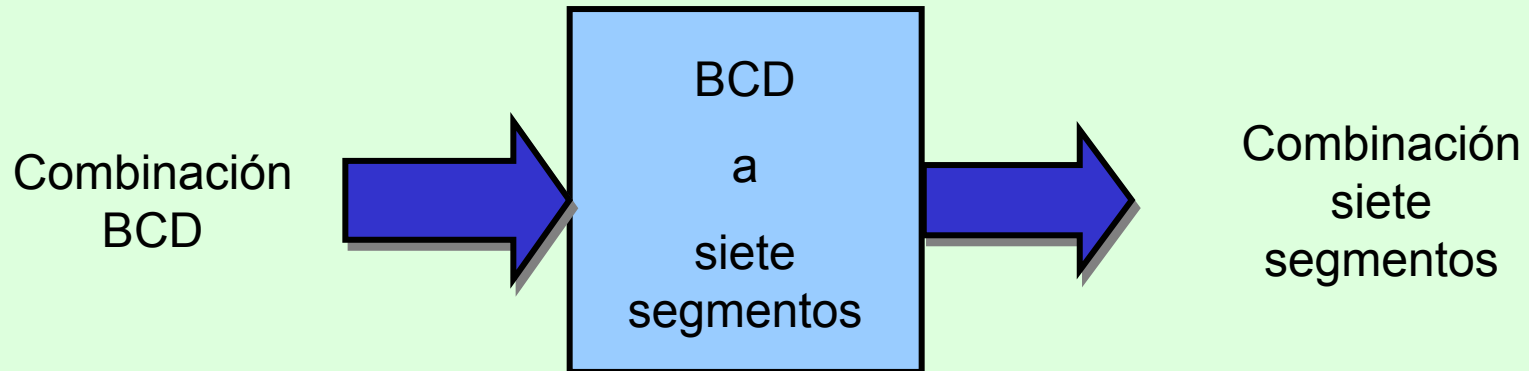
- Convertidores de código BCD-7segmentos
- Barrido de displays (uso de decodificadores para la activación)

Problema 2: Limitación en las corrientes de salida de los circuitos digitales.

Soluciones:

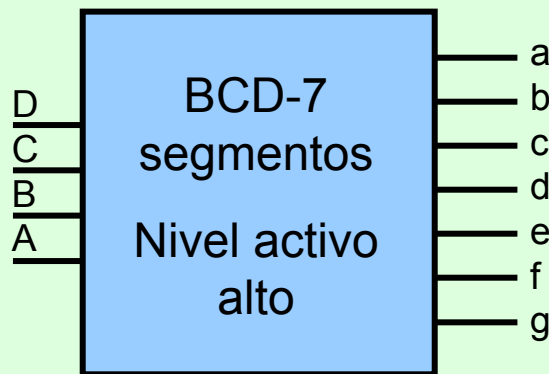
- Uso de “drivers”: circuitos amplificadores de corriente específicos. Sólo válido para aumentos moderados de corriente
- Uso de transistores: válido para cualquier valor de corriente

## Convertidores de código BCD a 7 segmentos



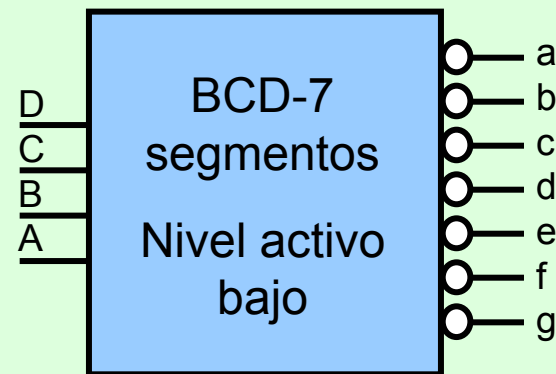
### ATENCIÓN A LOS NIVELES ACTIVOS DE LA SALIDA

Activo a nivel alto



1=LED encendido 0=LED apagado

Activo a nivel bajo



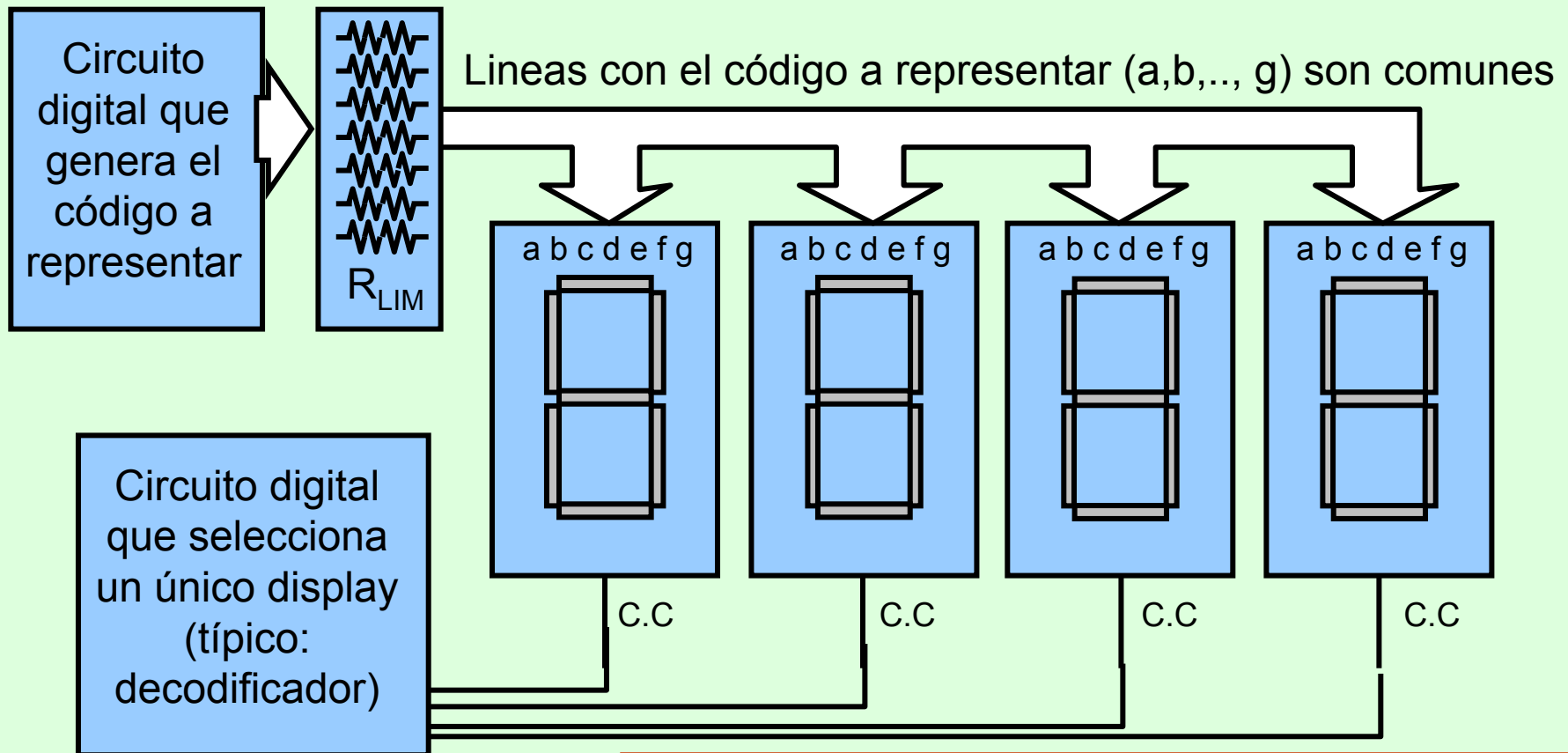
0=LED encendido 1=LED apagado



## Barrido secuencial (Displays de cátodo común)

Barrido secuencial:

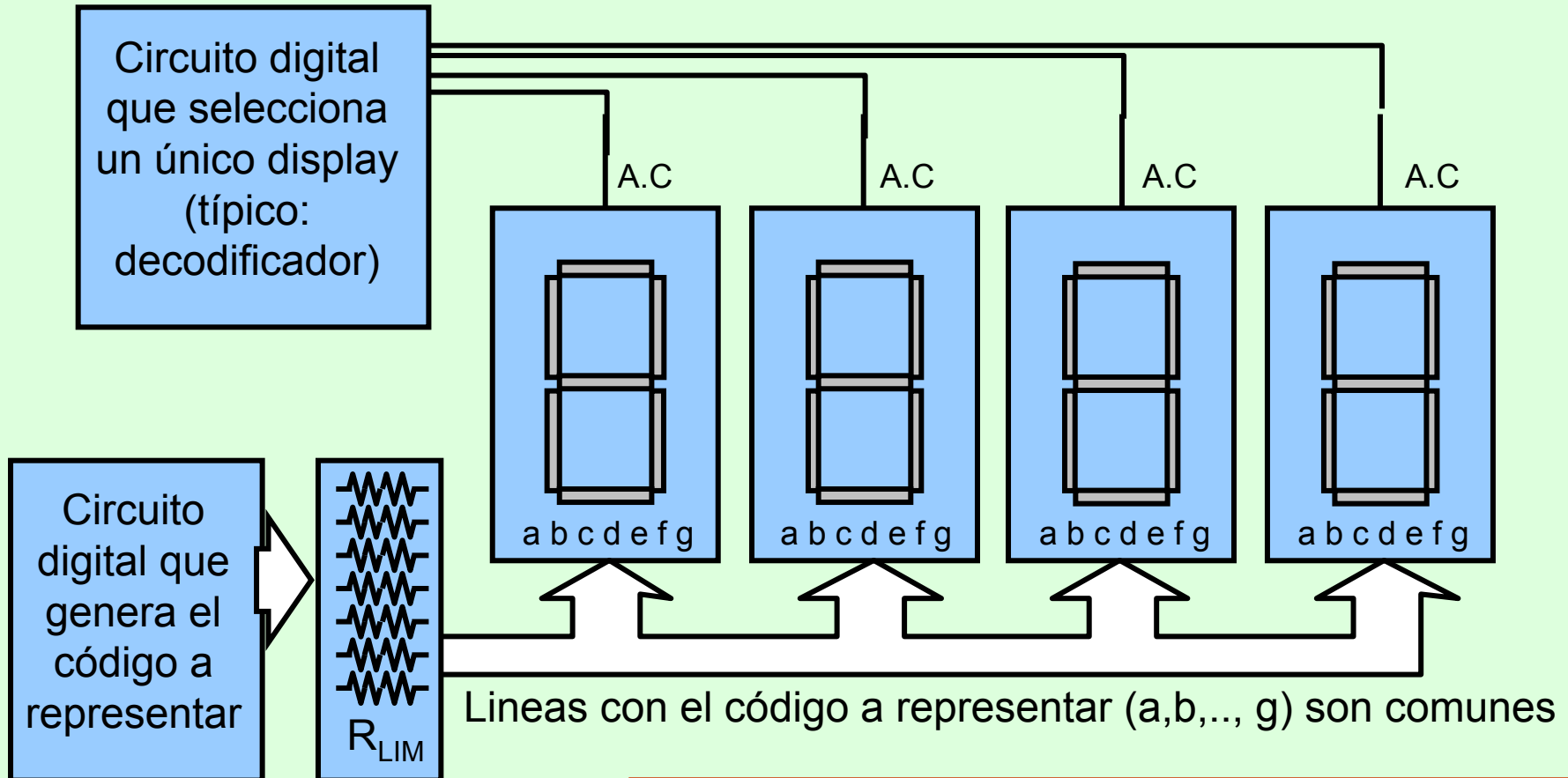
- En cada instante, hay un solo display activado (que puede lucir)
- El código de ese display es el que sale por las líneas comunes
- Si el proceso se realiza a frecuencia elevada, parece que lucen todos



## Barrido secuencial (Displays de ánodo común)

Barrido secuencial:

- En cada instante, hay un solo display activado (que puede lucir)
- El código de ese display es el que sale por las líneas comunes
- Si el proceso se realiza a frecuencia elevada, parece que lucen todos



## Barrido secuencial (Displays de ánodo común)



Barrido secuencial:

- En cada instante, hay un solo display activado (que puede lucir)
- El código de ese display es el que sale por las líneas comunes
- Si el proceso se realiza a frecuencia elevada, parece que lucen todos

Se debe realizar un barrido completo (con sus tiempos muertos, cuya duración es despreciable) a una frecuencia superior a 50 Hz, para que no se advierta parpadeo

El uso del barrido hace que aumenten las exigencias de corriente proporcionada por los circuitos.

## Cálculo de las corrientes en displays

- Premisa: se debe garantizar, para que el LED luzca bien, que la corriente MEDIA por cada LED del display sea la recomendada por el fabricante
- El valor típico de corriente media por un LED es de 10 mA

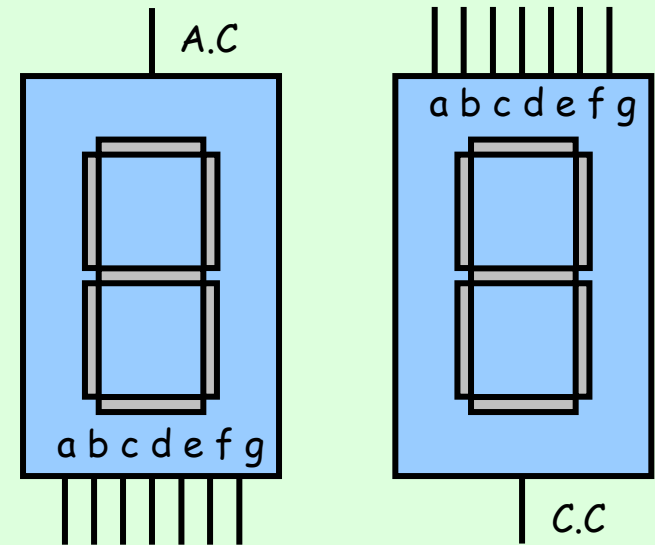
Casos:

- Un solo display
- Varios displays con barrido

## Corrientes para el caso de un solo display

- Por las patillas no comunes circula  $I_{LED}$  (típico: 10 mA) cuando luce
- Por la patilla común circula la suma de todos los LEDs. En el peor caso, es el valor anterior multiplicado por el número de LEDs (siete para un display típico, u ocho si incluye punto decimal):

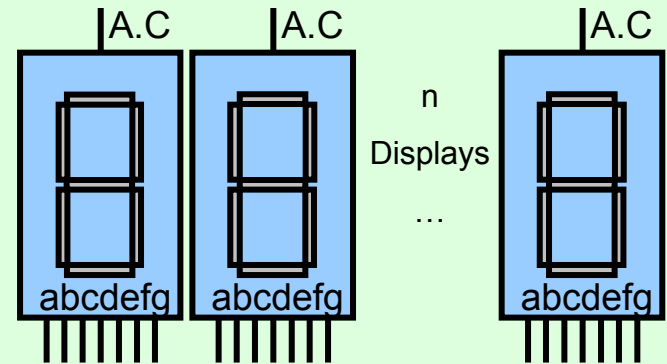
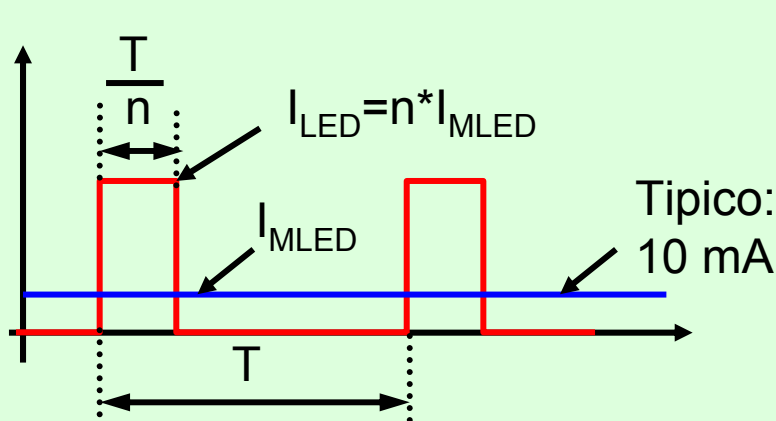
$k \cdot I_{LED}$  siendo  $k$ =número de LEDs del display



## Cálculo de las corrientes en displays

### Corrientes para el caso de varios displays (barrido)

- Si tenemos  $n$  displays, cada display sólo luce una fracción  $n$  del periodo de barrido.



- Por las patillas no comunes circula (si el LED luce)  $n * I_{MLED}$  (típico:  $n * 10$  mA), siendo  $I_{MLED}$  = Corriente media por el LED

- Por la patilla común circulará, en el peor caso, este valor multiplicado por el número de LEDs:  $n * k * I_{MLED}$  siendo

$k$  = número de LEDs del display (típico 7 u 8)

$n$  = número de displays

## Amplificación de la corriente de salida

- Usualmente los circuitos digitales no permiten alimentar directamente los displays, salvo en casos muy particulares.

- Ejemplos:

### 1) Salida TTL

A nivel alto: corriente de 400  $\mu$ A: no puede alimentar ni un LED

A nivel bajo: corriente de 16 mA: puede conectarse a un solo LED (sólo del lado no común)

### 2) Salida CMOS

A nivel alto y bajo: corriente de unos 2 mA (depende de la serie): no puede alimentar ni un LED

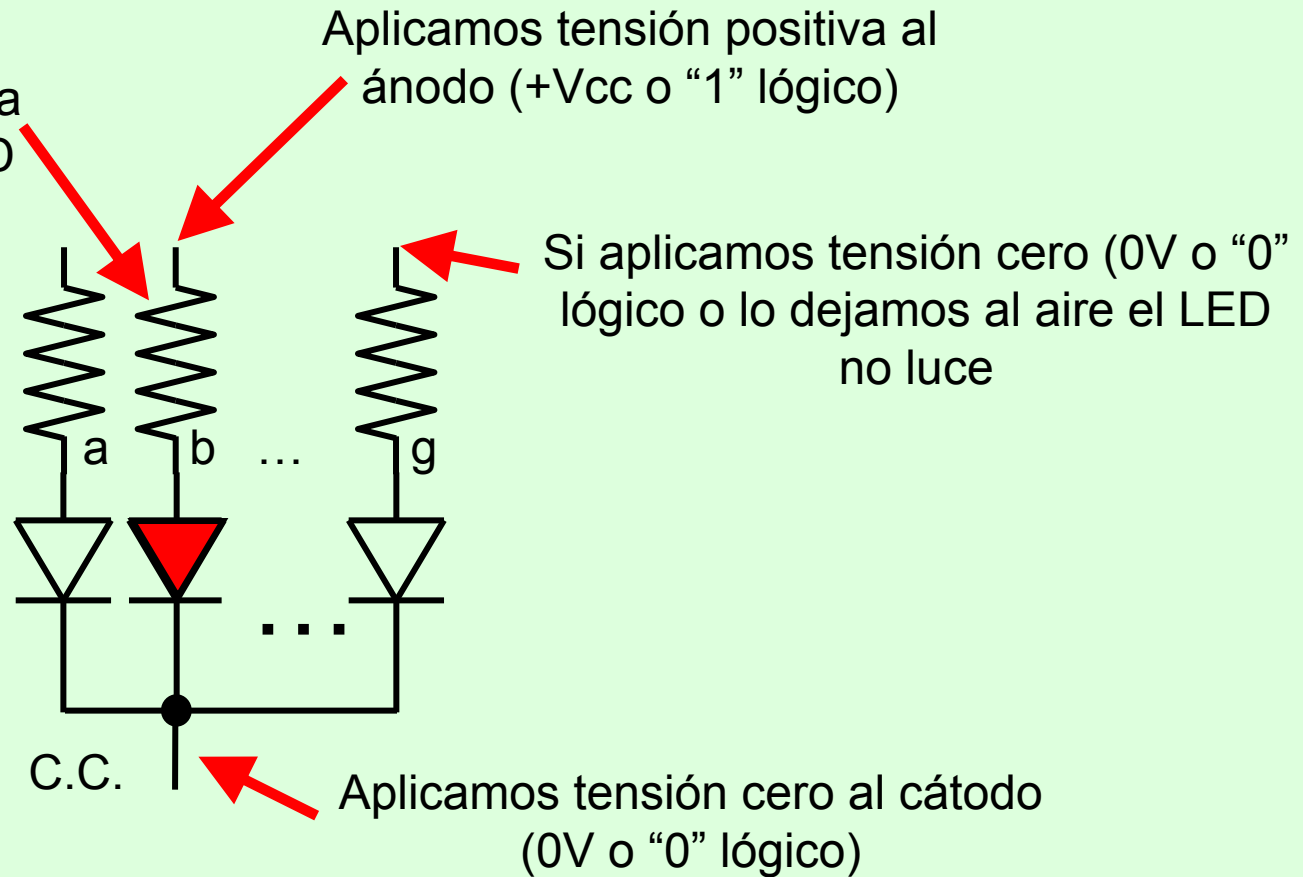
## Soluciones:

- Uso de “drivers”: circuitos amplificadores de corriente específicos. Sólo válido para aumentos moderados de corriente (Típico hasta 1A)
- Uso de transistores: válido para cualquier valor de corriente

## Amplificación de la corriente de salida: uso de transistores

### Ejemplo: Display de Cátodo Común

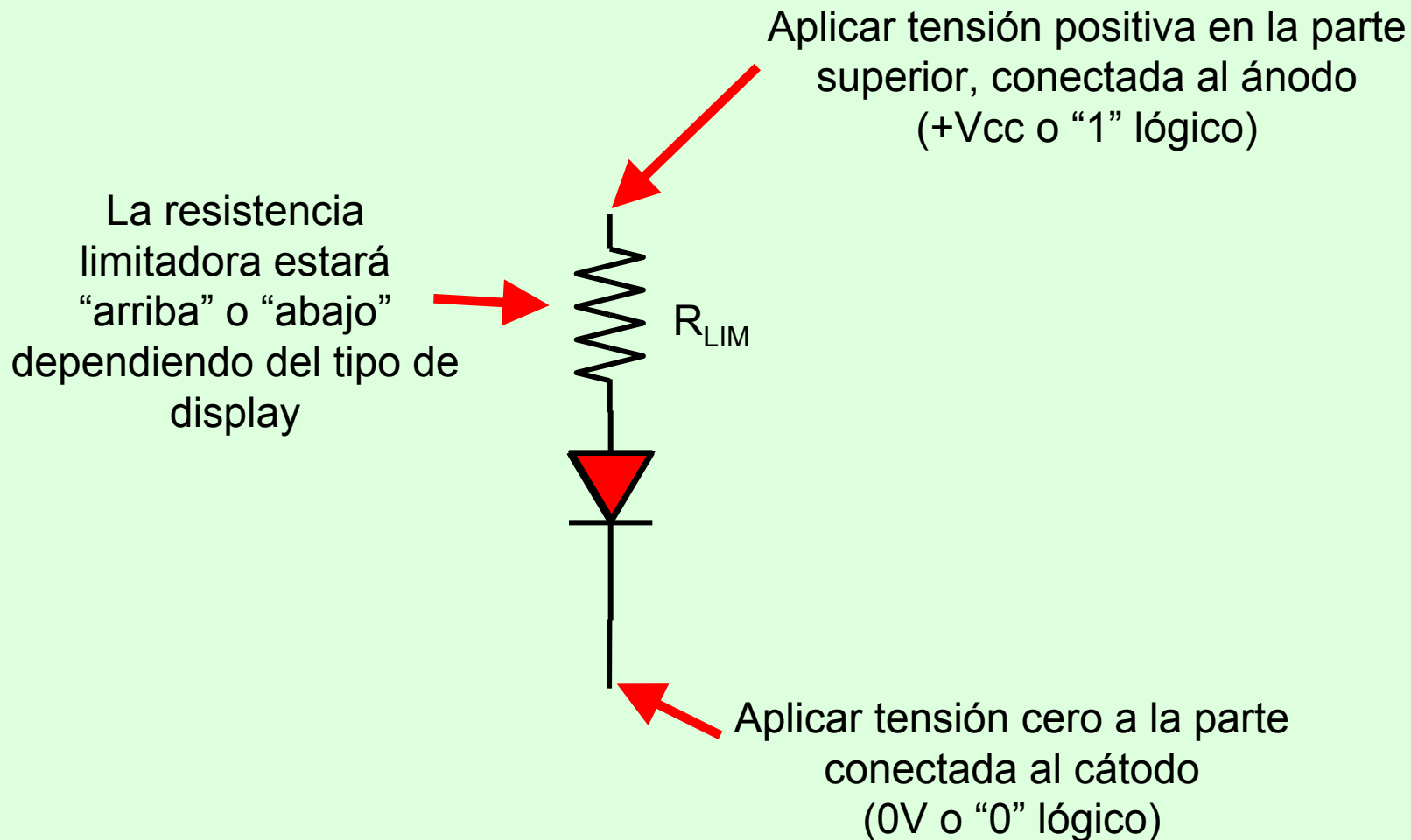
Una resistencia limita la corriente por cada LED ( $R_{LIM}$ )



El display está “seleccionado” para lucir

## Amplificación de la corriente de salida

El problema se reduce a:



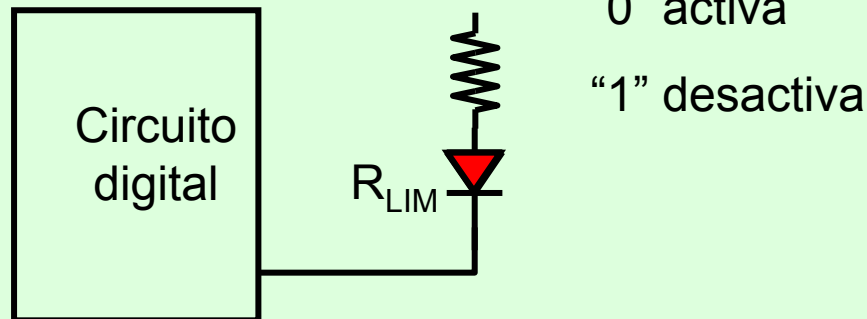


## Amplificación de la corriente de salida

### Conexión hacia el cátodo (parte inferior)

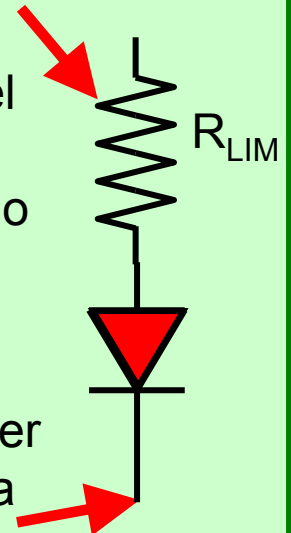
Posibilidades:

a) Si el circuito digital proporciona suficiente corriente a nivel bajo, se puede conectar directamente



La resistencia estará del lado del ánodo o del cátodo dependiendo del tipo de display

Hay que poner este punto a "0" (0V)



b) Si el circuito digital no puede conducir suficiente corriente a nivel bajo, hay que introducir un transistor, que trabaje entre corte (interruptor abierto) y saturación (interruptor cerrado).

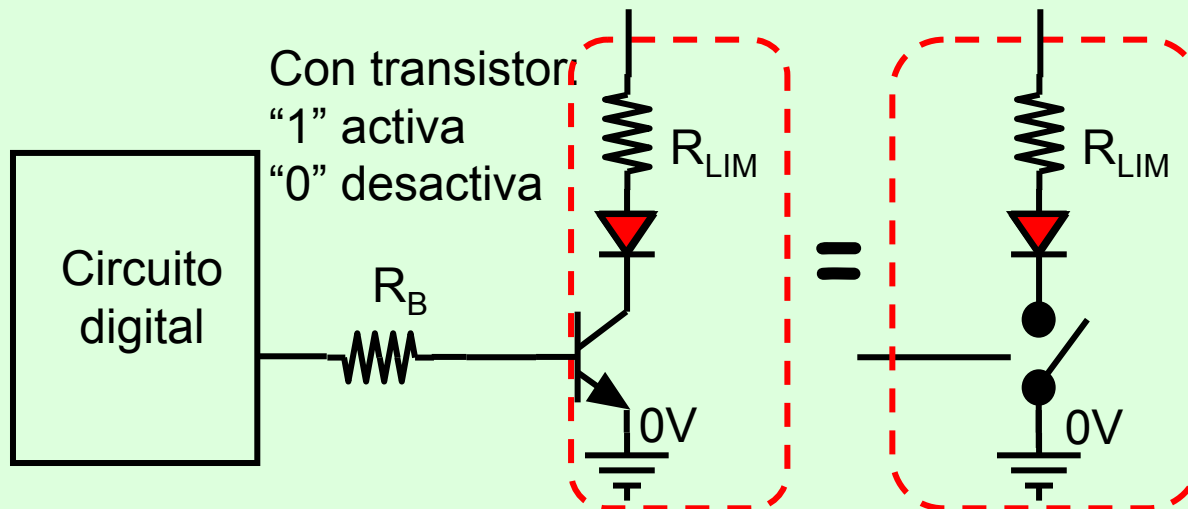
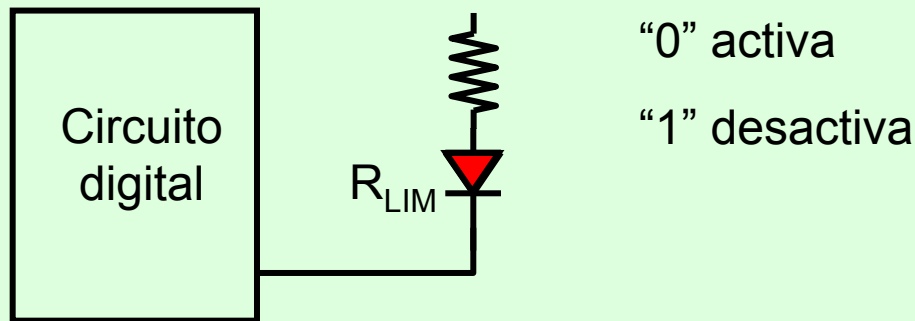
Es recomendable el uso de un NPN, ya que facilita el cálculo (sigue).

## Amplificación de la corriente de salida

### Conexión hacia el cátodo (parte inferior)

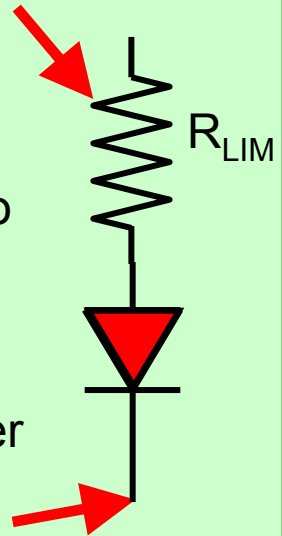
b) Uso de un NPN como interruptor:

Requiere cambiar la lógica:



La resistencia  
estará del  
lado del  
ánodo o del  
cátodo  
dependiendo  
del tipo de  
display

Hay que poner  
este punto a  
"0" (0V)

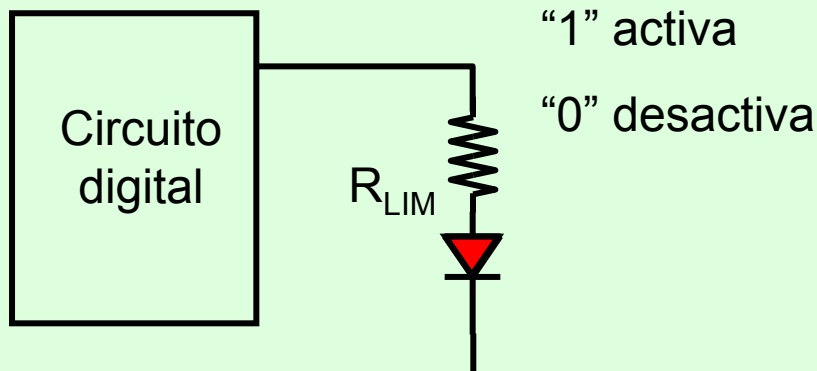


## Amplificación de la corriente de salida

### Conexión hacia el ánodo (parte superior)

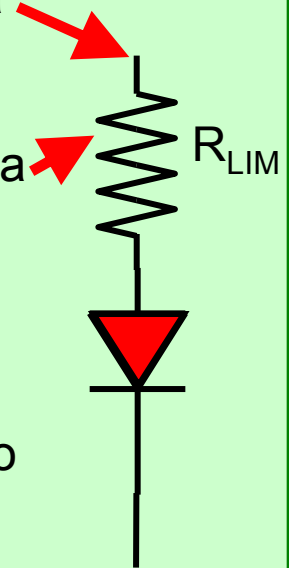
Posibilidades:

a) Si el circuito digital proporciona suficiente corriente a nivel alto, se puede conectar directamente



Hay que poner este punto a "1" (+Vcc)

La resistencia estará del lado del ánodo o del cátodo dependiendo del tipo de display



b) Si el circuito digital no proporciona suficiente corriente a nivel alto, hay que introducir un transistor, que trabaje entre corte (interruptor abierto) y saturación (interruptor cerrado).

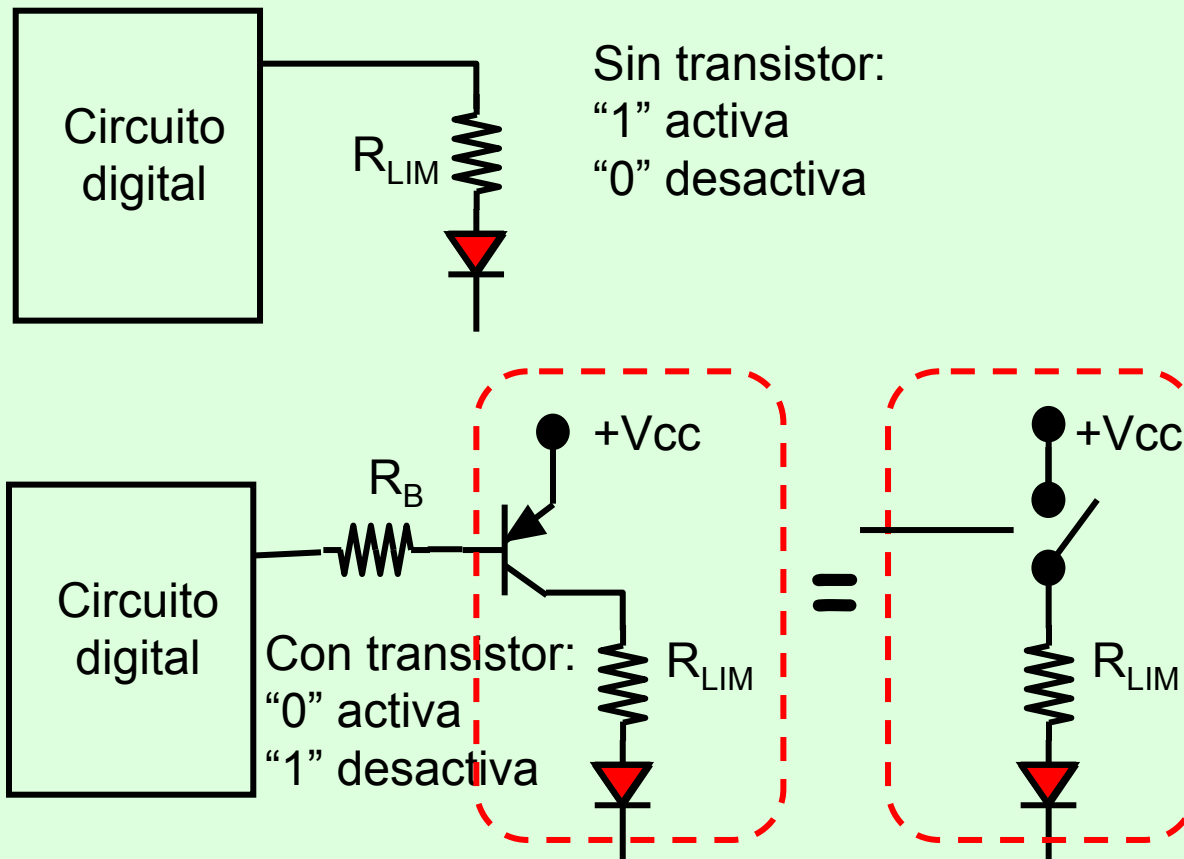
Es recomendable el uso de un PNP, ya que facilita el cálculo (sigue).

## Amplificación de la corriente de salida

### Conexión hacia el ánodo (parte superior)

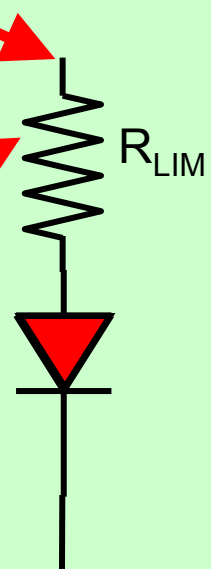
b) Uso de un PNP como interruptor:

Requiere cambiar la lógica:



Hay que poner  
este punto a  
"1" ( $+V_{CC}$ )

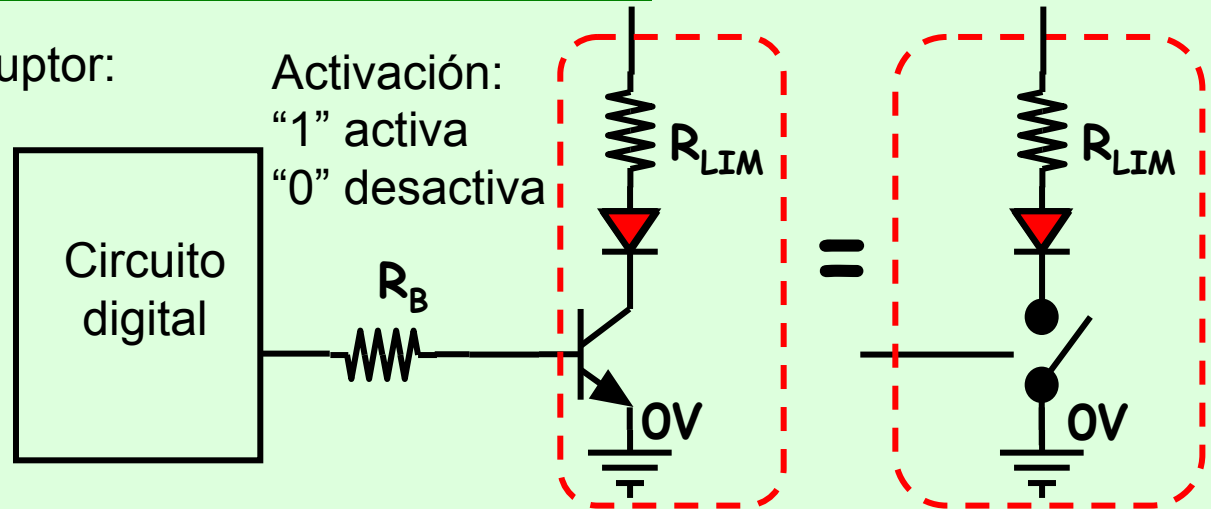
La resistencia  
estará del  
lado del  
ánodo o del  
cátodo  
dependiendo  
del tipo de  
display



## Amplificación de la corriente de salida

### Cálculo del circuito con NPN

Uso de un NPN como interruptor:



Parte1: Cálculo de la resistencia limitadora  $R_{LIM}$ :

- Se calcula como:

$$R_{LIM} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_C}$$

Caída de tensión en el LED: unos 2V

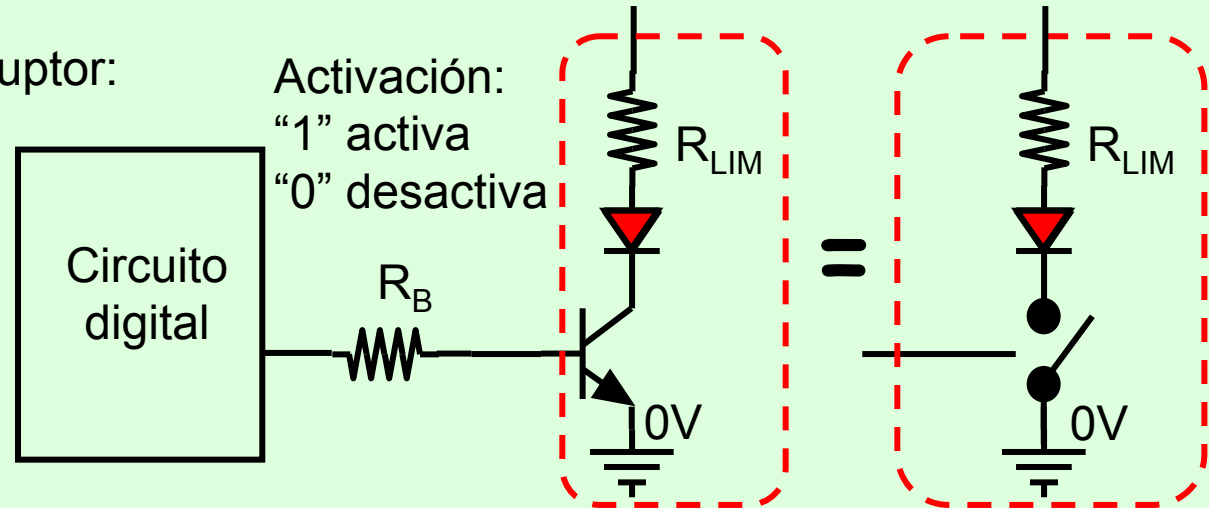
Corriente de colector

- La corriente de colector es conocida a partir del montaje.

## Amplificación de la corriente de salida

### Cálculo del circuito con NPN

Uso de un NPN como interruptor:



Corriente de colector

- Sin barrido:

Del lado no común  $I_{LED} = 10 \text{ mA}$ , o dato del fabricante del diodo

Del lado común  $k \cdot I_{LED}$ , siendo  $k = n^\circ$  LEDs por display

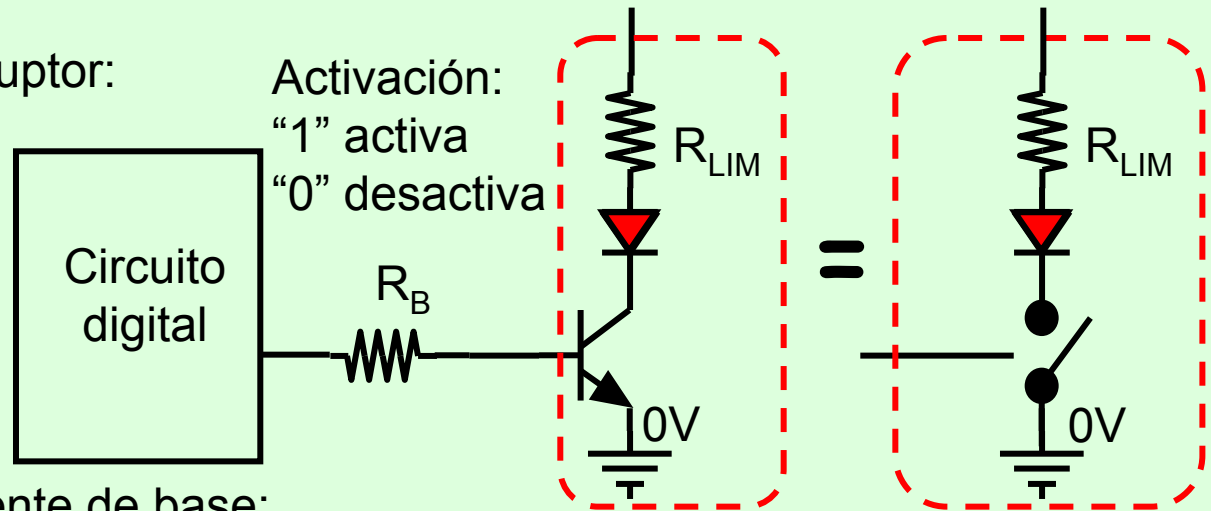
- Con barrido:

Del lado no común:  $n \cdot I_{MLED}$ , con  $I_{MLED} = 10 \text{ mA}$ , o dato del fabricante, y  $n = n^\circ$  de displays barridos

Del lado común:  $n \cdot k \cdot I_{MLED}$ , siendo  $n = n^\circ$  de displays barridos y  $k = n^\circ$  LEDs por display

Amplificación de la corriente de salidaCálculo del circuito con NPN

Uso de un NPN como interruptor:



Parte2: Cálculo de la corriente de base:

- Hay que garantizar que el transistor se satura, es decir:

- Se calcula como: Corriente de base

Condición de saturación:  $\beta \cdot I_B \geq I_C \Rightarrow I_B \geq \frac{I_C}{\beta}$

Corriente de base:

(suponiendo que la salida es +Vcc cuando está a "1")

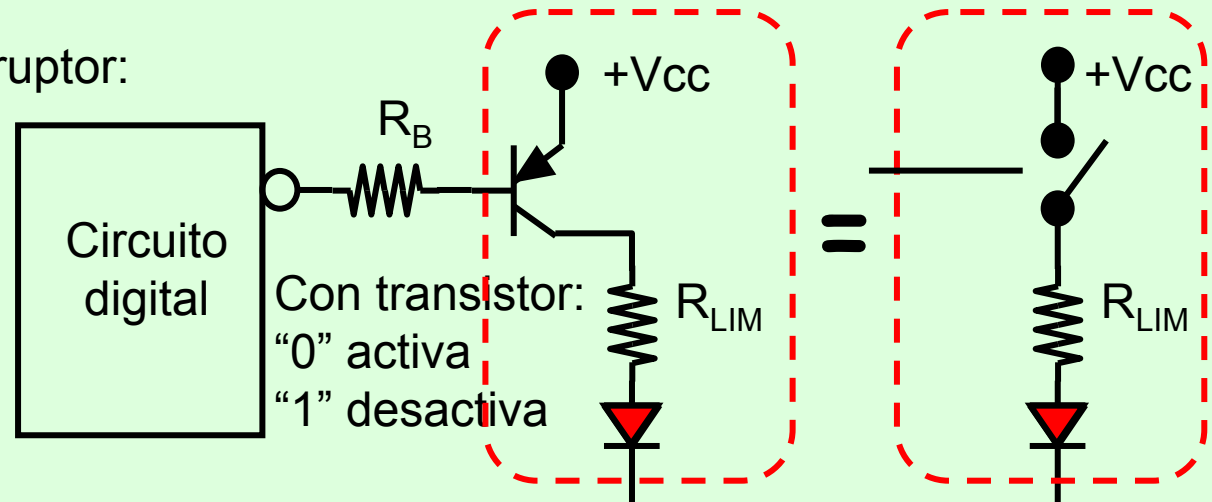
$$I_B = \frac{V_{CC}}{R_B}$$

$$\Rightarrow R_B \leq \frac{V_{CC} \cdot \beta}{I_C}$$

## Amplificación de la corriente de salida

### Cálculo del circuito con PNP

Uso de un PNP como interruptor:



Parte1: Cálculo de la resistencia limitadora  $R_{LIM}$ :

- Se calcula como:

$$R_{LIM} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_C}$$

Caída de tensión en el LED: unos 2V

Corriente de colector

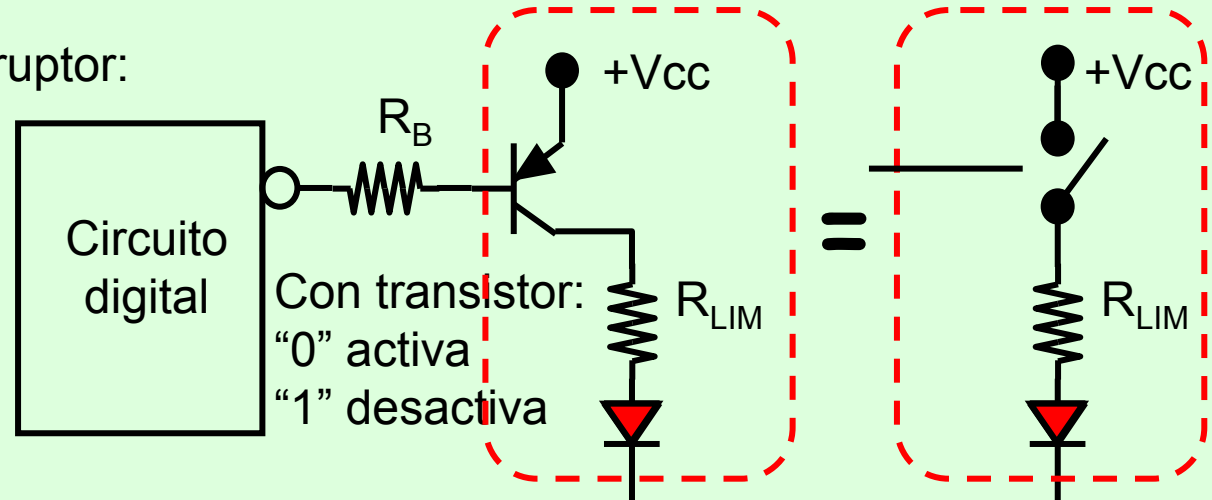
- La corriente de colector es conocida a partir del montaje.



## Amplificación de la corriente de salida

### Cálculo del circuito con PNP

Uso de un PNP como interruptor:



#### Corriente de colector

- Sin barrido:

Del lado no común  $I_{LED} = 10 \text{ mA}$ , o dato del fabricante del diodo

Del lado común  $k \cdot I_{LED}$ , siendo  $k = n^\circ$  LEDs por display

- Con barrido:

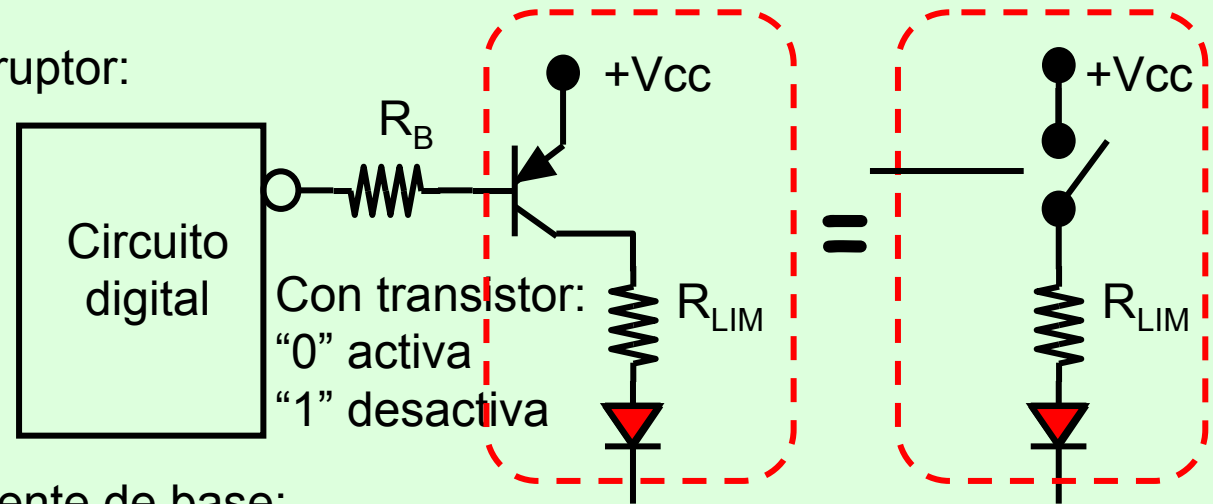
Del lado no común:  $n \cdot I_{MLED}$ , con  $I_{MLED} = 10 \text{ mA}$ , o dato del fabricante, y  $n = n^\circ$  de displays barridos

Del lado común:  $n \cdot k \cdot I_{MLED}$ , siendo  $n = n^\circ$  de displays barridos y  $k = n^\circ$  LEDs por display

## Amplificación de la corriente de salida

### Cálculo del circuito con PNP

Uso de un PNP como interruptor:



Parte2: Cálculo de la corriente de base:

- Hay que garantizar que el transistor se satura, es decir:

- Se calcula como: Corriente de base

Condición de saturación:  $\beta \cdot I_B \geq I_C \Rightarrow I_B \geq \frac{I_C}{\beta}$

Corriente de base:  $I_B = \frac{V_{CC}}{R_B}$

(suponiendo que la salida es 0V cuando está a "0")

$$\Rightarrow R_B \leq \frac{V_{CC} \cdot \beta}{I_C}$$