

## Clasificación de los Convertidores DAC

### Según las características de la señal de entrada digital

Codificación: Código:	Binario Natural BCD	
Signo	Positivo Positivo y negativo	Valor absoluto y signo Complemento a 1 Complemento a 2 Desplazamiento del cero
Formato:	Serie Paralelo	
Almacenamiento	Sin latch (cerrojo) Con latch	

### Según las características de la señal analógica de referencia

Referencia fija  
Referencia Variable (unipolar o bipolar).

Según la función de transferencia

Lineal  
 Logarítmica  
 Exponencial

Según el método de conversión

Directo	Red Lineal	
	Red ponderada	Simple Compuesta
	Red R-2R	Suma de corrientes Suma de Tensiones
Indirecto	Multiplicador de relación de impulsos	
	Convertidor con PCM	Mediante muestreo y retención (S&H) Mediante filtro paso-bajo

Según la señal obtenida en la salida

Tensión  
 Corriente

Parámetros importantes de un DAC: Rango de salida, Resolución (1 LSB), Tiempo de conversión.

## **Errores que se producen en el funcionamiento de un DAC**

Error de asimetría, o desplazamiento del cero.

Se debe principalmente a la utilización de operacionales con error de offset. Se puede corregir ajustando al mínimo el offset del operacional

Error de ganancia, o pendiente incorrecta.

En los DACs que emplean un operacional y una resistencia de realimentación para obtener la señal de salida, el problema se suele deber a un valor erróneo de dicha resistencia. El valor erróneo puede ser debido a utilizar una resistencia con excesiva tolerancia, o a la variación de su valor por cambios de temperatura y/o envejecimiento de la resistencia.

Error de linealidad.

En general, se produce por errores en los valores de las resistencias empleadas en el circuito, especialmente en las redes de resistencia. Se deben emplear resistencias con baja tolerancia y poca dependencia con la temperatura.

Es el más difícil de corregir.

## Convertidor DAC con multiplexor analógico y red lineal.

Inconvenientes:

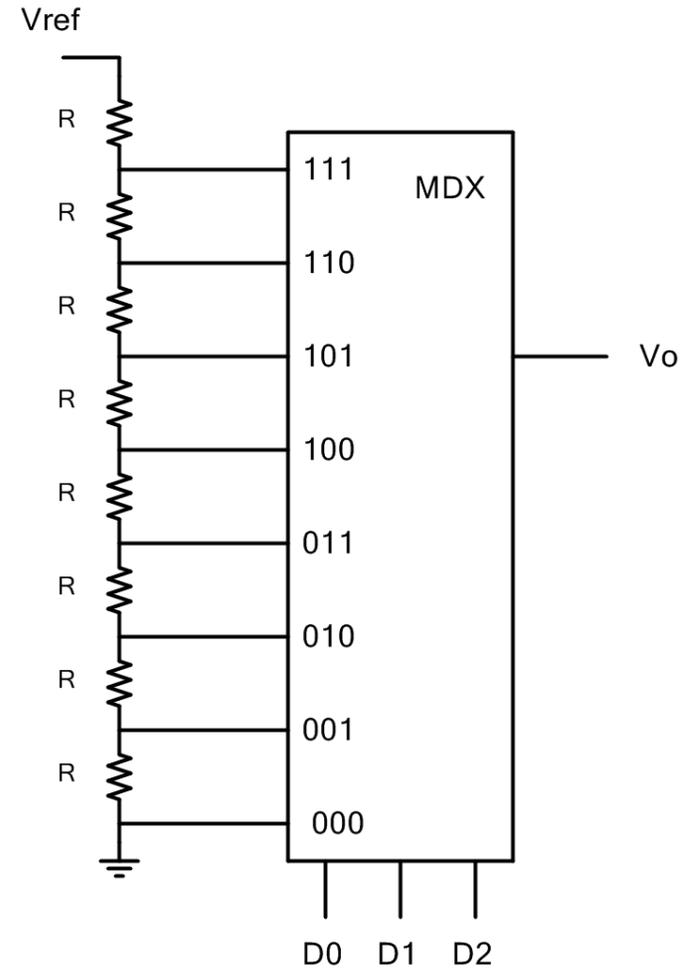
Gran número de resistencias, y multiplexor complejo

Ejemplo para 8 bits: 256 resistencias y un MDX con 256 entradas !

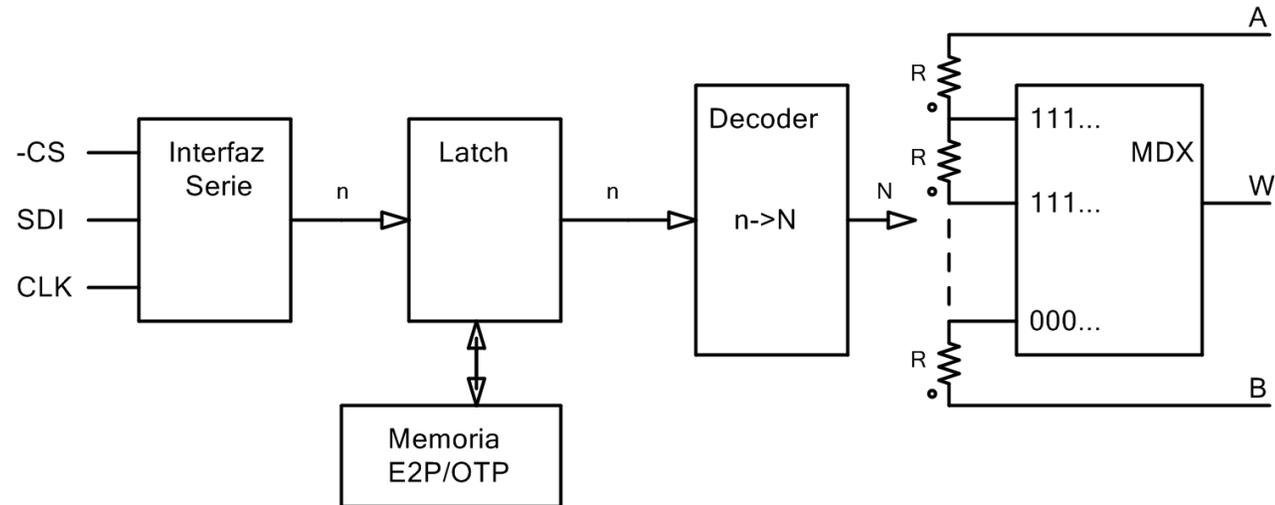
$$V_o = \frac{n \cdot V_{ref}}{2^N}$$

N indica el número de bits (3 en este ejemplo).

n es el valor numérico de entrada (D2 D1 D0).



## Potenciómetros digitales.



- 1) Reemplazan a los potenciómetros mecánicos en las aplicaciones de ajuste y calibración.
- 2) Se basan en el DAC con multiplexor analógico y red lineal.
- 3) Añaden una interfaz serie (I2C, SPI) y una memoria volátil o no volátil.
- 4) El valor numérico enviado al potenciómetro digital, define la “posición” del contacto móvil (wiper).

Ver: [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com) [www.analog.com](http://www.analog.com) [www.xicor.com](http://www.xicor.com)

## Convertidor DAC realizado con conmutadores analógicos y resistencias ponderadas:

Este ejemplo tiene 8 bits.

En general:

$$V_o = -\frac{n \cdot V_{ref}}{2^{N-1}}$$

N es el número de bits

n es el valor digital

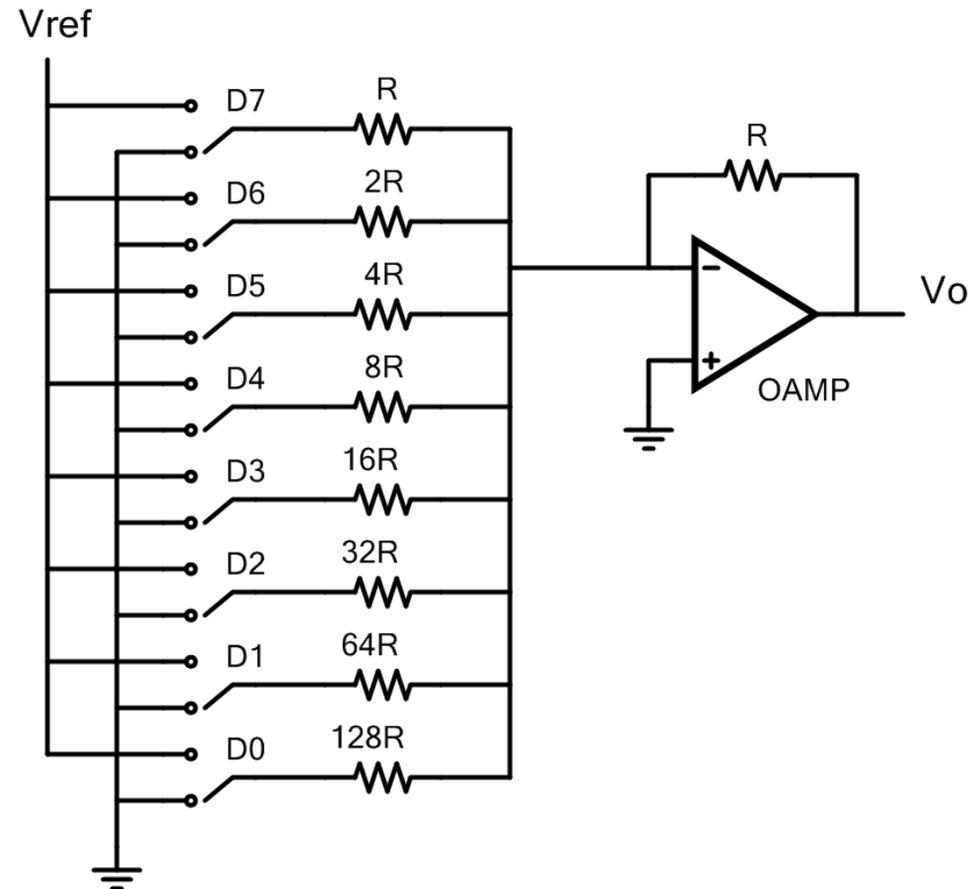
Ejemplo: N=8  $V_{ref} = -1$  V

Con n=0 ,  $V_o = 0$

Con n=64 ,  $V_o = 0,5$  V

Con n=128 ,  $V_o = 1$  V

Con n=255 ,  $V_o = 1,9921875$  V (casi 2 V)



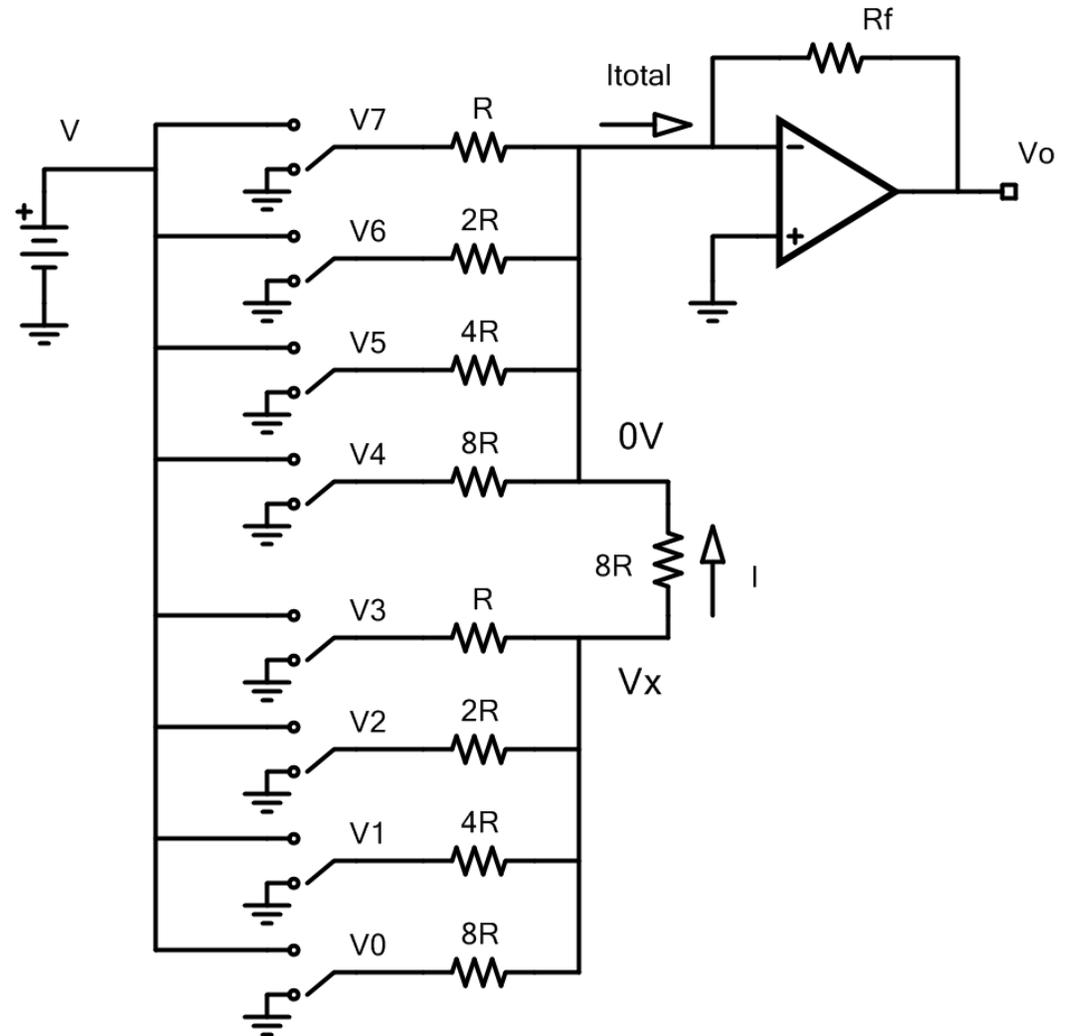
Inconvenientes:

Resistencias de valores muy dispares.

**Variante del anterior DAC, que no precisa grandes diferencias en los valores de las resistencias:**

Las tensiones  $V_7$ ,  $V_6$ ,  $V_5$ ,  $V_4$ ,  $V_3$ ,  $V_2$ ,  $V_1$ ,  $V_0$ , sólo pueden adoptar los valores 0 ó V.

$$I_{total} = \frac{V_7}{R} + \frac{V_6}{2R} + \frac{V_5}{4R} + \frac{V_4}{8R} + I$$

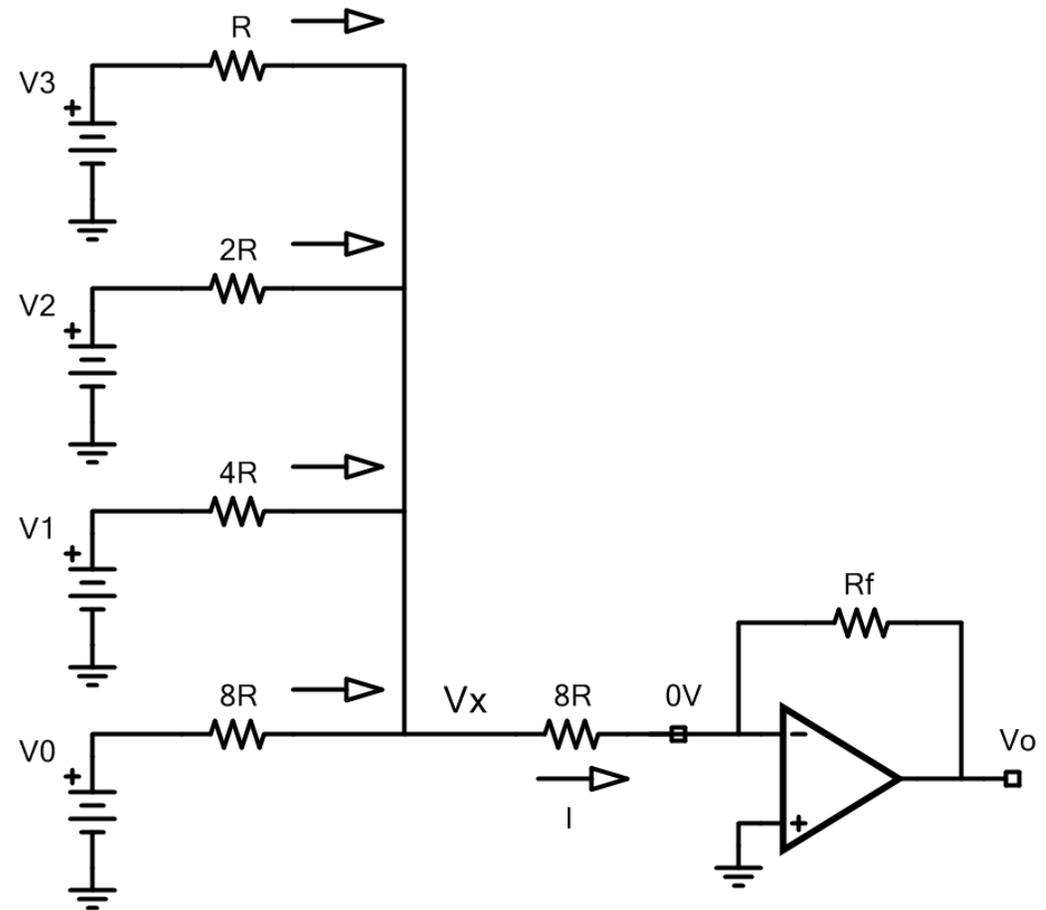


## El circuito se puede dividir en dos bloques:

El primer bloque incluye las 4 resistencias  $R$ ,  $2R$ ,  $4R$  y  $8R$  de la parte superior,  $R_f$ , y el operacional.

El segundo bloque incluye las 4 resistencias  $R$ ,  $2R$ ,  $4R$  y  $8R$  de la parte inferior, y la resistencia  $8R$  desplazada a la derecha.

El primer bloque es similar al del DAC estándar con resistencias ponderadas. Por lo tanto, se centra el estudio sobre el segundo bloque. El siguiente esquema facilita el cálculo de  $I$ .



La corriente  $I$  se puede expresar en función de  $V_x$  y  $R$  (ley de Ohm en la resistencia  $8R$ ):

$$I = \frac{V_x}{8R} \quad \text{o bien} \quad \frac{V_x}{R} = 8I \quad (\text{expresión 1})$$

La corriente  $I$  también se puede expresar como suma de las corrientes parciales:

$$I = \frac{V_3 - V_x}{R} + \frac{V_2 - V_x}{2R} + \frac{V_1 - V_x}{4R} + \frac{V_0 - V_x}{8R}$$

La expresión anterior se puede mostrar agrupando la dependencia de  $V_x$  al final:

$$I = \frac{V_3}{R} + \frac{V_2}{2R} + \frac{V_1}{4R} + \frac{V_0}{8R} - \frac{V_x}{R} - \frac{V_x}{2R} - \frac{V_x}{4R} - \frac{V_x}{8R}$$

Utilizando la expresión 1, el bloque B queda como:

$$-8I - 4I - 2I - I \quad \text{o simplemente} \quad -15I$$

Con lo que queda:

(bloque A)      (bloque B)

$$I = \frac{V_3}{R} + \frac{V_2}{2R} + \frac{V_1}{4R} + \frac{V_0}{8R} - 15I$$

Agrupando los términos en I:

$$16I = \frac{V_3}{R} + \frac{V_2}{2R} + \frac{V_1}{4R} + \frac{V_0}{8R}$$

y despejando I:

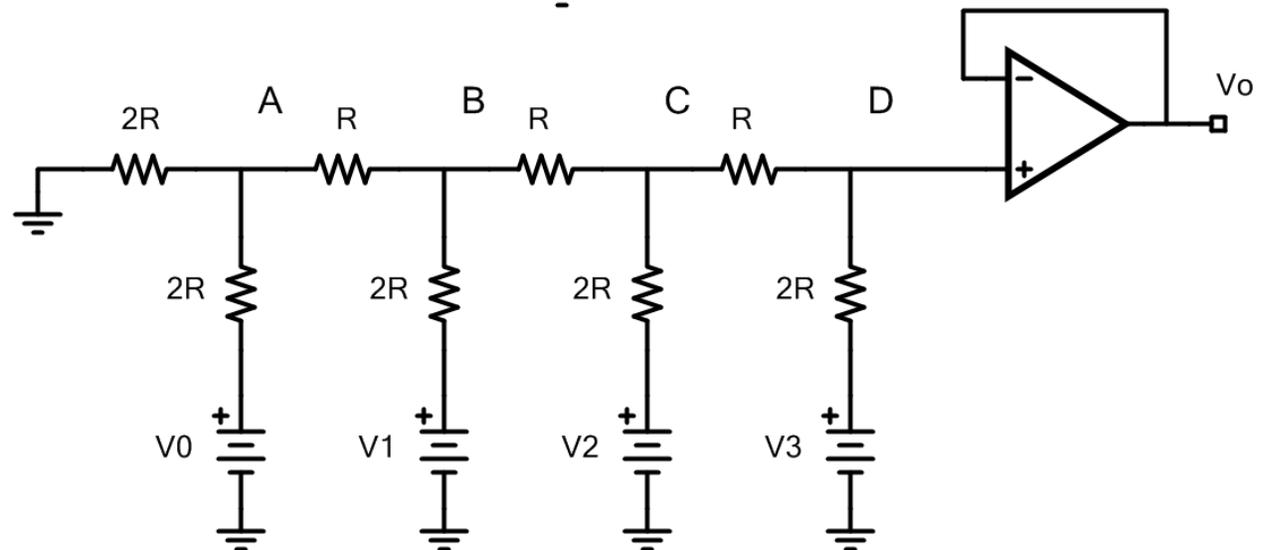
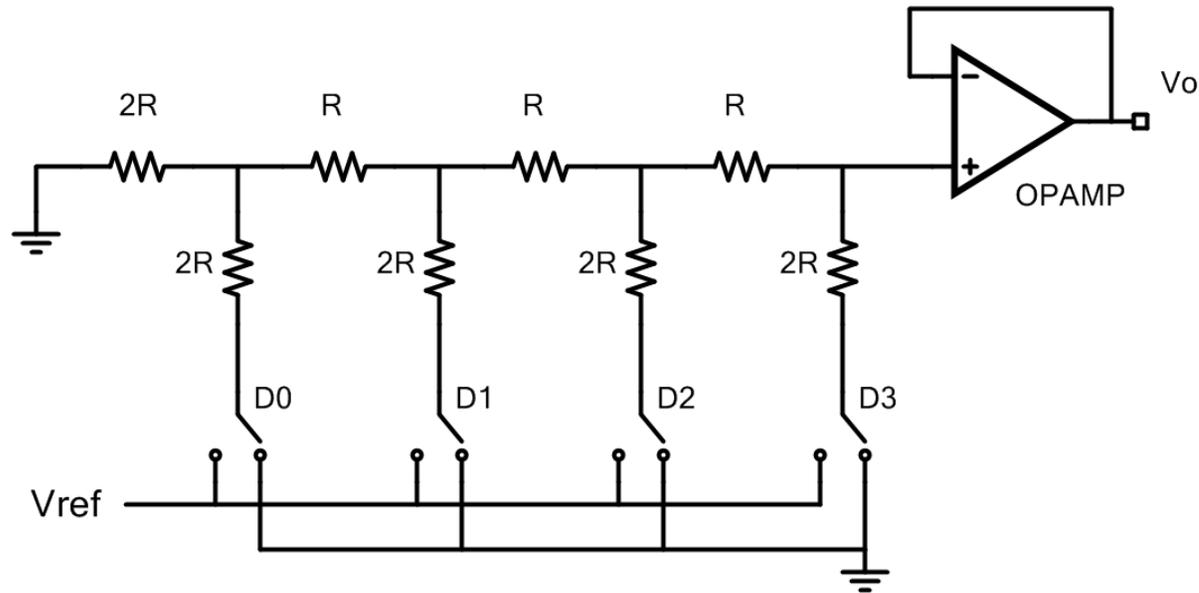
$$I = \frac{V_3}{16R} + \frac{V_2}{32R} + \frac{V_1}{64R} + \frac{V_0}{128R}$$

que es el resultado del segundo bloque.

Completando con el primer bloque:

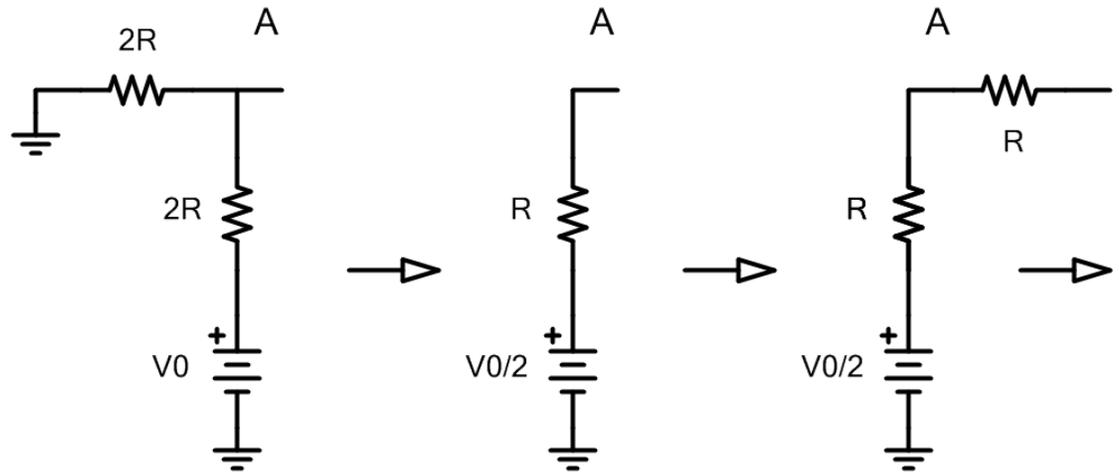
$$I_{total} = \frac{V_7}{R} + \frac{V_6}{2R} + \frac{V_5}{4R} + \frac{V_4}{8R} + \frac{V_3}{16R} + \frac{V_2}{32R} + \frac{V_1}{64R} + \frac{V_0}{128R}$$

## DAC con red R-2R utilizando el método de suma de tensiones:

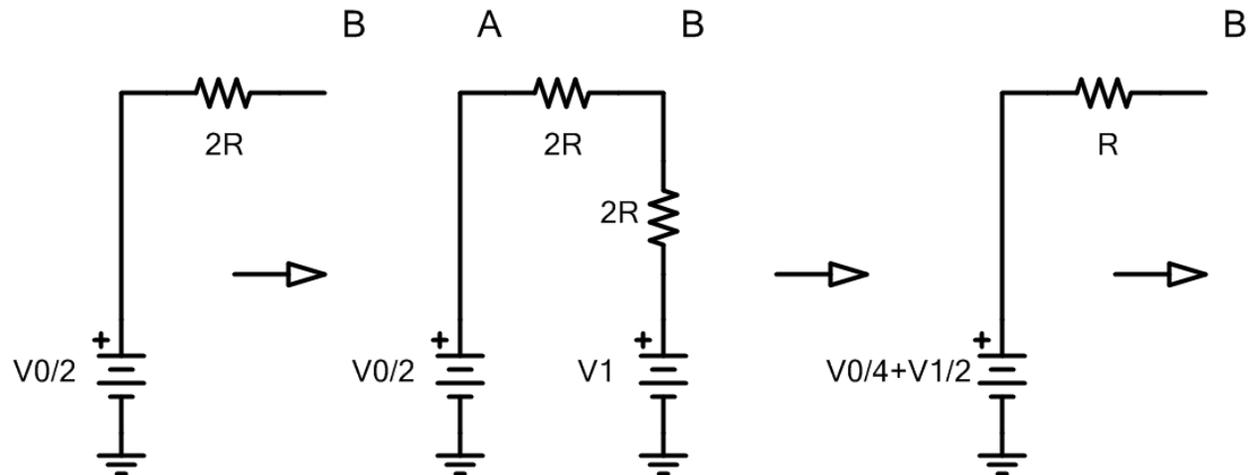


El DAC se puede representar de la siguiente forma, donde los generadores  $V_0$ ,  $V_1$ , etc. sustituyen a los conmutadores.

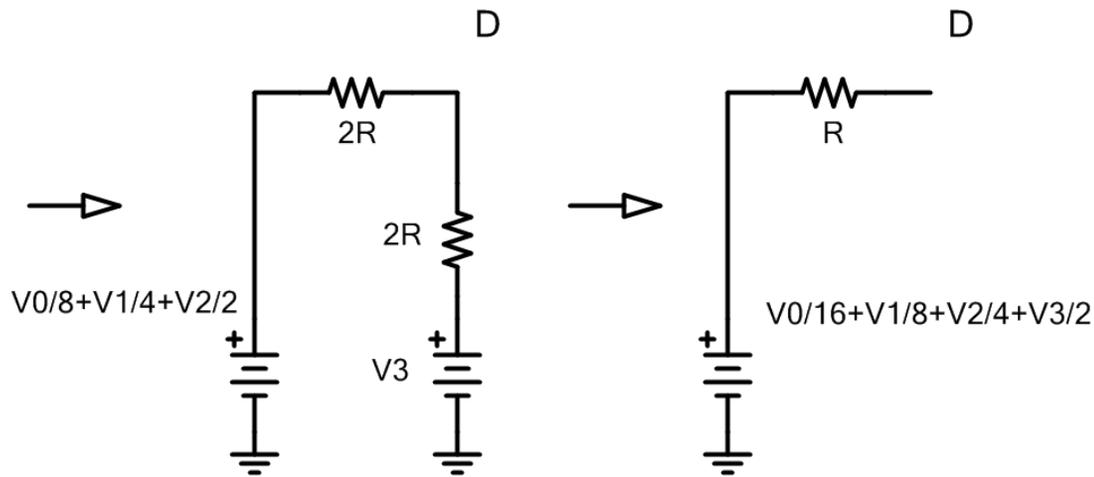
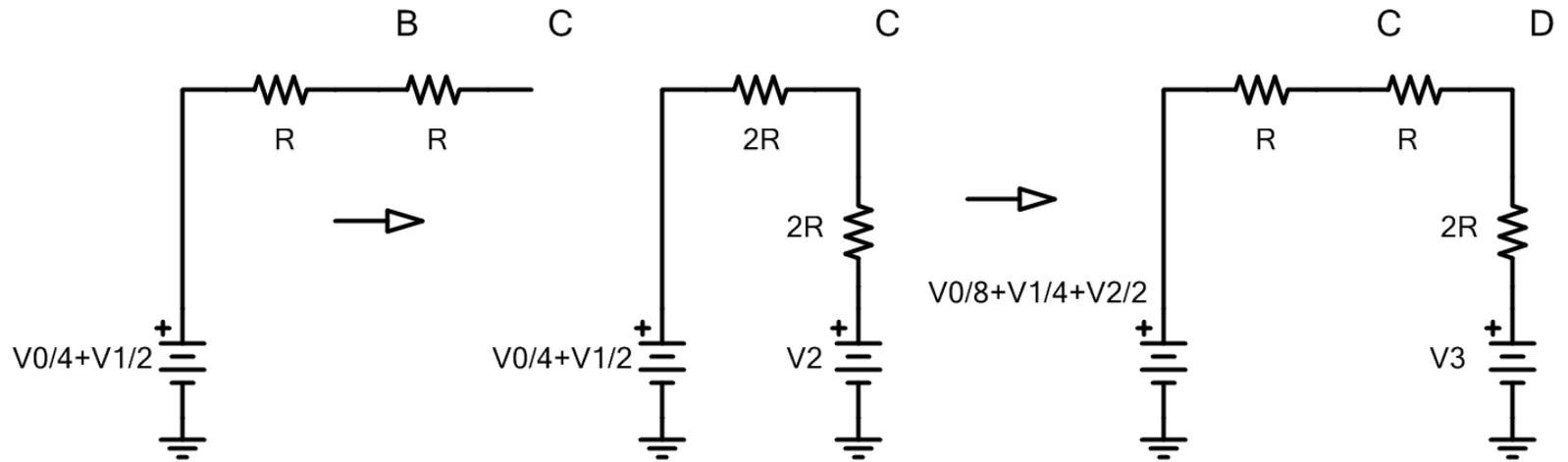
El bloque de la izquierda se puede simplificar utilizando Thevenin, quedando como el central. A continuación se añade la siguiente R en serie:



El proceso sigue así, siguiendo la flecha:



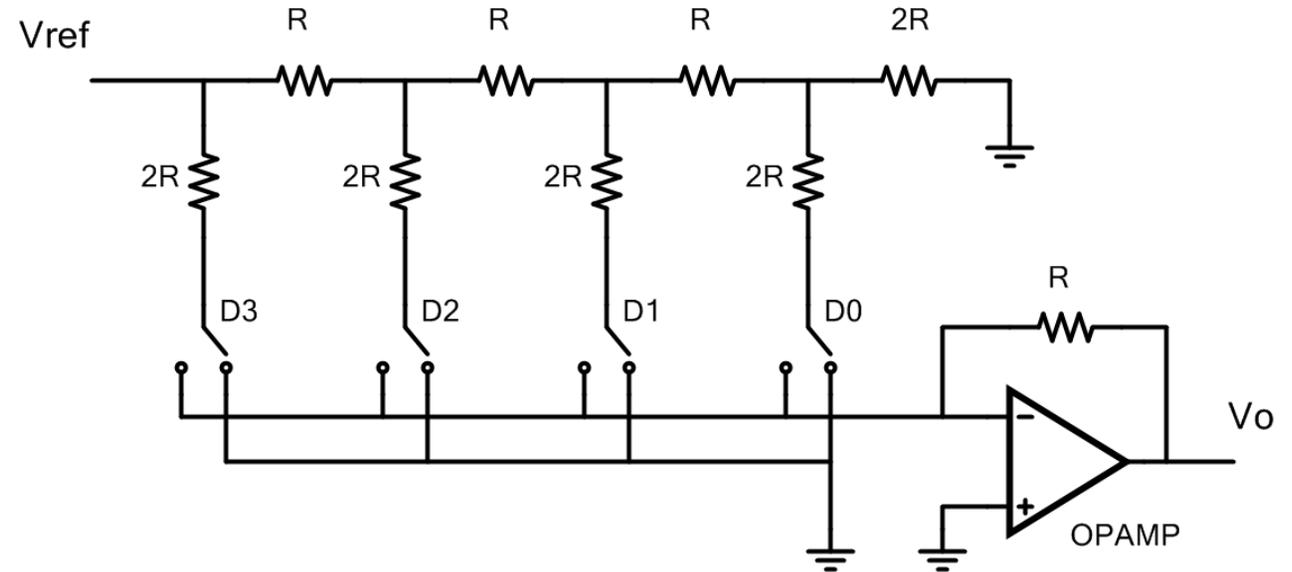
Y sigue...



Se obtiene la expresión de la tensión de salida en función de los valores de  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$ .

Los pesos son los correctos.

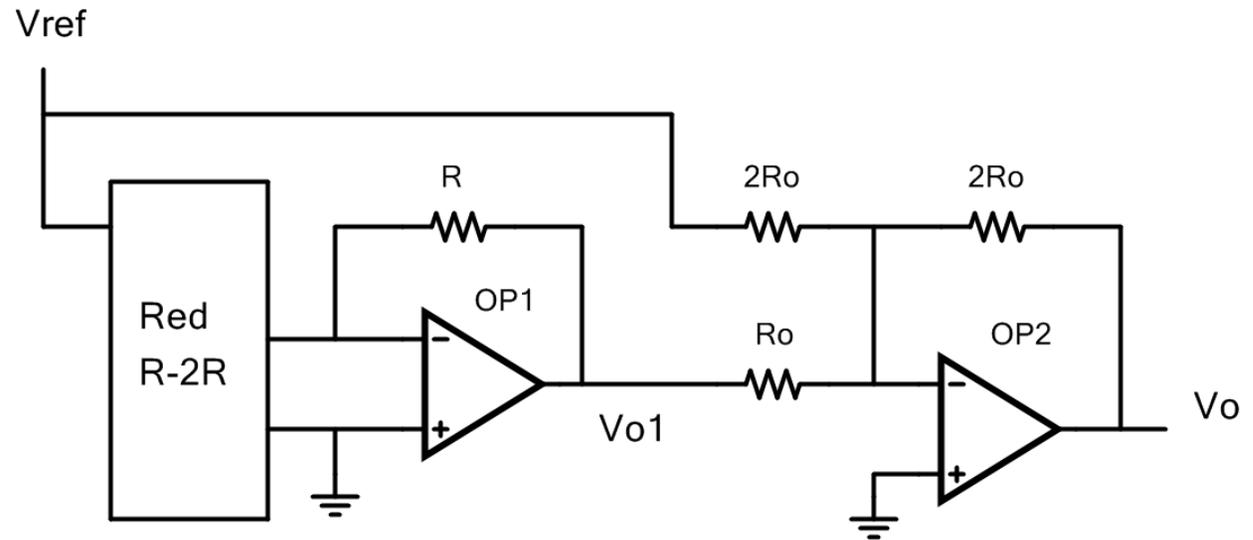
## DAC con red R-2R en el modo de suma de corrientes:



$$V_o = -n \cdot \frac{V_{ref}}{2^N}$$

## Modificación del DAC anterior, para poderlo utilizar en modo bipolar:

Ejemplo,  $N=3$  y  $V_{ref}=4V$ ,  
 $n$  va de 0 a 7  
 $n=0$ ,  $V_o=-4$   
 $n=4$ ,  $V_o= 0$   
 $n=7$ ,  $V_o= +3$



$$V_{o1} = -n \cdot \frac{V_{ref}}{2^N}$$

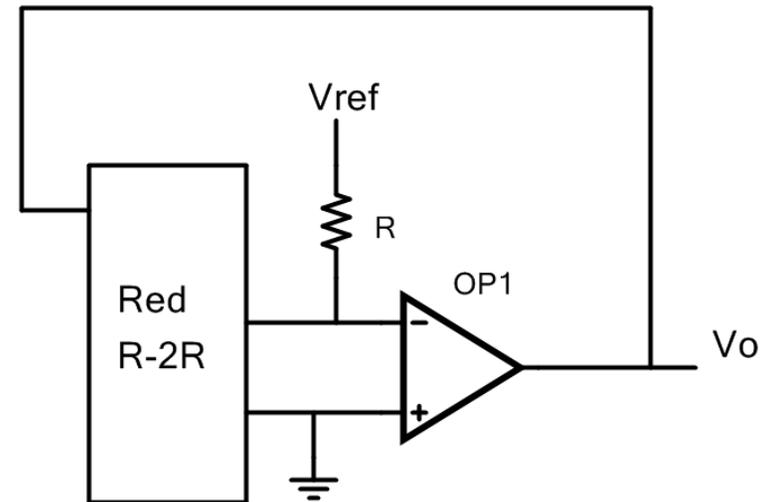
tomado de  $V_o$  de la página anterior

$$V_o = -V_{ref} - 2 \cdot V_{o1} = V_{ref} \left( \frac{n}{2^{N-1}} - 1 \right)$$

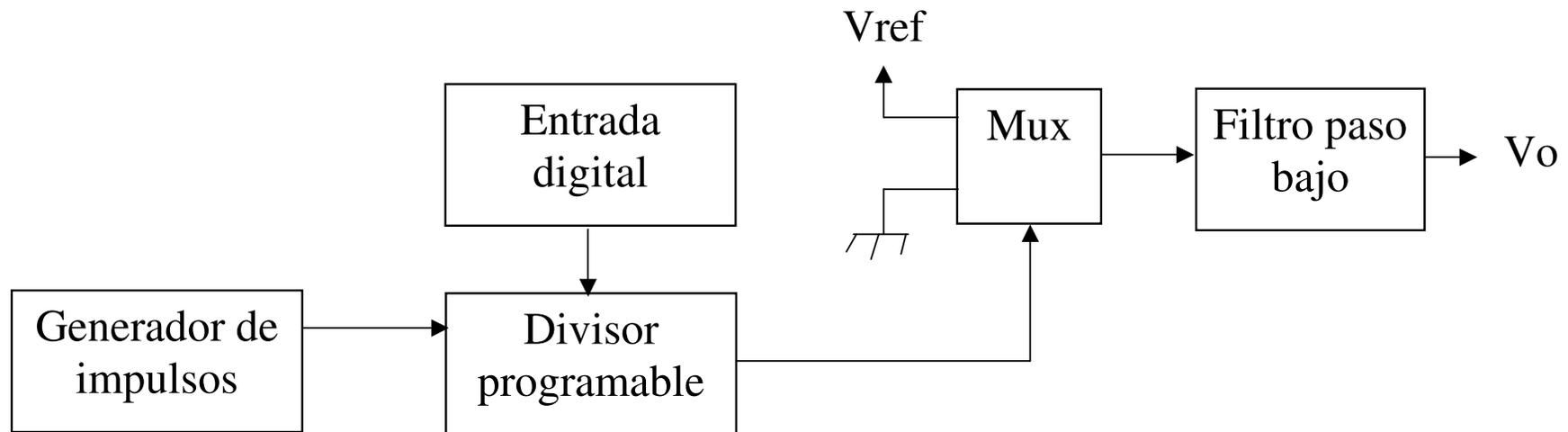
$n$  = valor digital       $N$  = número de bits

**Modificación del DAC unipolar anterior para obtener una conversión divisiva:**

$$V_o = -\frac{2^N \cdot V_{ref}}{n}$$



## Convertidor DAC mediante conversión indirecta de frecuencia variable

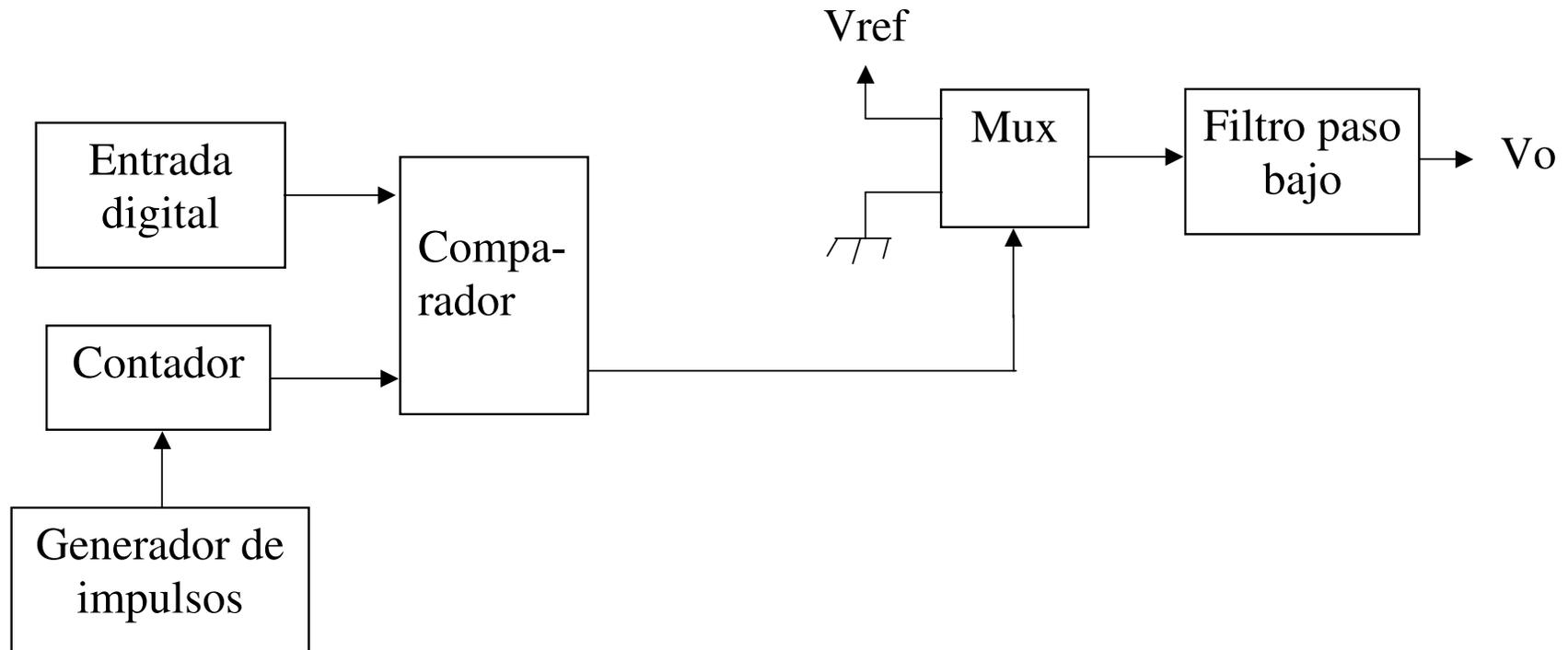


El generador de impulsos genera una onda cuadrada de reloj.

El divisor programable digitalmente elimina ciertos pulsos del reloj.

El filtro paso bajo recibe una cadena de impulsos (incompletos) que se repiten cíclicamente. Los impulsos tienen un nivel alto  $V_{ref}$  y un nivel bajo de valor cero. La salida del filtro ( $V_o$ ) es prácticamente un nivel de continua, aunque existe un pequeño "rizado". El valor de  $V_o$  es proporcional a la entrada digital.

## Convertidor DAC mediante conversión indirecta de ancho de impulso variable



El comparador digital activa la entrada  $V_{ref}$  mientras el contador no supera a la entrada digital.

Cuando el contador supera a la entrada digital, el Mux conmuta al nivel cero.

En  $V_o$  se obtiene un nivel de continua proporcional a la entrada digital, con un pequeño "rizado".

## Tabla comparativa de convertidores DAC

Tipo de convertidor	Precisión (LSB)	Velocidad (orientativa)
Resistencias ponderadas	Baja	10 ns
R-2R , MUX analógico	Alta	100 ns
Métodos indirectos	Media-alta	1 ms