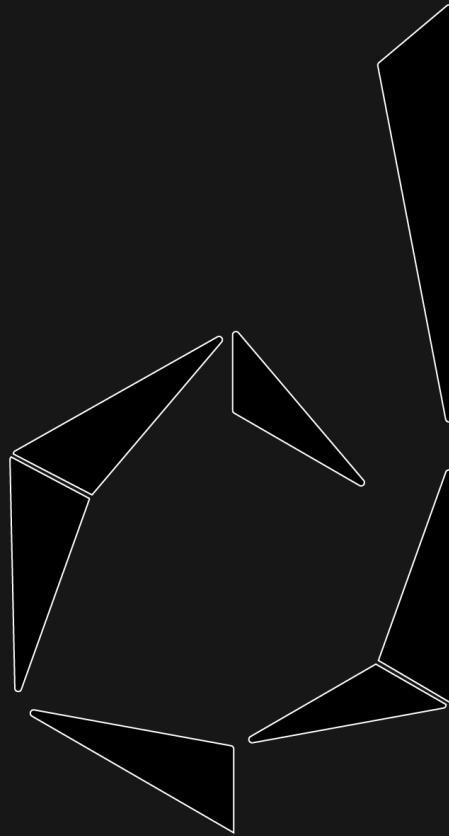


INGENIERÍA MECATRÓNICA



DI\_CERO

DIEGO CERVANTES RODRÍGUEZ

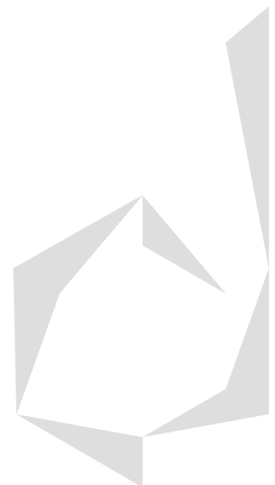
ELECTRÓNICA DE POTENCIA

CAPTURE CIS LITE

Convertidores Analógico Digital  
(ADC)

## Contenido

COMPETENCIA/OBJETIVO .....	2
PALABRAS CLAVE .....	2
TRABAJO PREVIO.....	2
DEFINICIÓN DE ADC: .....	2
TIPOS DE ADC:.....	3
TABLA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USAR ADC DISCRETOS VS INTEGRADOS EN UN MICROCONTROLADOR:.....	5
EXPERIMENTOS .....	5
EXPERIMENTO 1. ADC FLASH DE 8 NIVELES.....	5
EXPERIMENTO 2. CONVERTIDOR ANALÓGICO/DIGITAL CON CI ADC0804.....	8
[REFERENCIAS] .....	10



## COMPETENCIA/OBJETIVO

Identificar los parámetros técnicos de los convertidores analógico digital por medio de pruebas fundamentales a convertidores tipo Flash y de aproximaciones sucesivas.

## PALABRAS CLAVE

- Convertidor.
- Analógico/ Digital.
- Flip Flop tipo D 74HC273.
- CLK.
- ADC0804.

## TRABAJO PREVIO

A continuación, se muestra una tabla de ventajas y desventajas al utilizar ADC discretos e integrados con microcontrolador. Haciendo hincapié en los bloques que conforman los convertidores A/D de tipo Flash y de aproximaciones sucesivas.

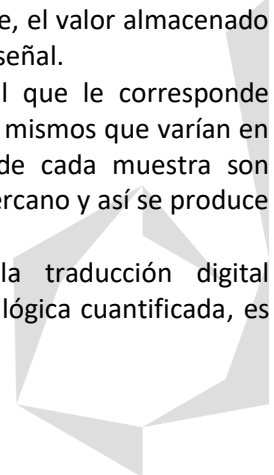
## DEFINICIÓN DE ADC:

Cuando un ADC observa una tensión analógica, su trabajo es convertir la tensión analógica en un código binario en un determinado período de tiempo. Esto significa que el ADC realiza una muestra de la tensión analógica en un instante, y luego determina cuál sería el valor en binario en el lado de salida del ADC. La cantidad de muestras que el dispositivo toma cada segundo será mencionada en su documentación.

Un ejemplo de esto sería el CI MAX1118EKA+T de Maxim Integrated. Este dispositivo tiene una velocidad de muestreo de 100 kHz para que pueda probar la tensión analógica en su lado de entrada 100.000 veces por segundo. Al ser capaz de tomar muchas muestras en un segundo, es posible registrar con precisión cómo se vería la tensión analógica mediante una interpretación binaria.

Los convertidores se componen de 3 etapas fundamentales:

- **Circuito de muestreo:** Después del filtro pasa bajas inicial en el convertidor y antes del circuito de conversión, se coloca el circuito de muestreo; conocido en inglés como: sample-and-hold, donde la frecuencia de muestreo es definida. La señal física existente es muestreada por un instante al cerrarse un interruptor y permitir que se cargue un capacitor. Este valor de tensión será mantenido por el capacitor cuando el interruptor se abra. Finalmente, el valor almacenado se transfiere a la salida del circuito mediante un reforzador o seguidor de señal.
- **Circuito de cuantización:** El cuantificador o quantizer es el bloque al que le corresponde convertir la tensión analógica de entrada al formato de valores discretos, mismos que varían en incrementos fijos dentro su intervalo de operación, donde los bits de cada muestra son definidos. A cada valor de entrada se le asigna el valor discreto fijo más cercano y así se produce el valor de salida.
- **Circuito de codificación:** El codificador o Encoder proporciona la traducción digital generalmente en formato hexadecimal correspondiente a la tensión analógica cuantificada, es donde se crea la señal digital.

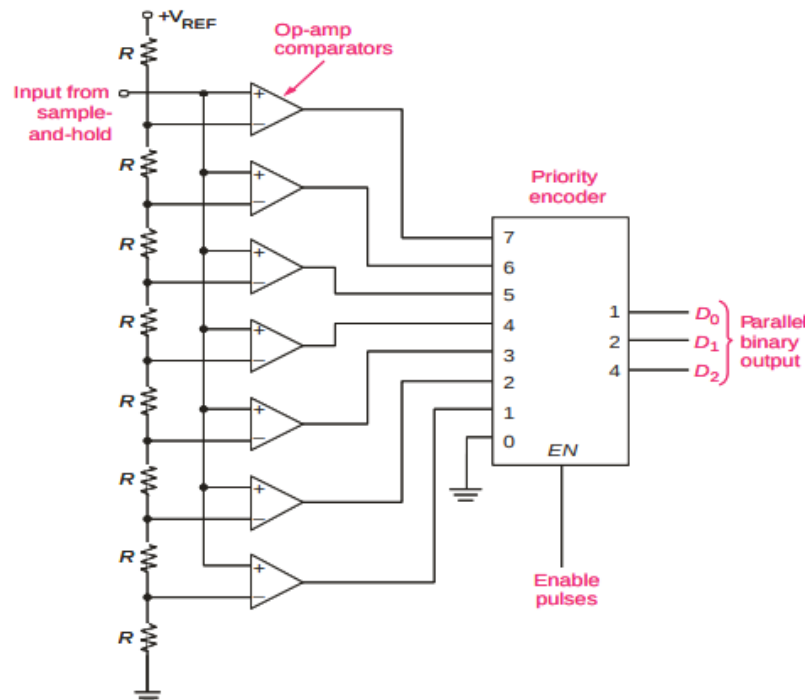


## TIPOS DE ADC:

Los distintos tipos de convertidores analógico digital (ADC) son descritos a continuación:

- **Simultáneo o de tipo Flash:** Consta de una serie de comparadores, cada uno hace una comparación de la señal de entrada con un voltaje de referencia único, a medida que la tensión de entrada analógica excede la tensión de referencia en cada comparador, las salidas del comparador se saturan secuencialmente. Las salidas del comparador se conectan a las entradas de un circuito codificador de prioridad, que produce una salida binaria basado en la entrada activa de orden más alto, haciendo caso omiso de todas las demás entradas activas.
  - El ADC tipo flash utiliza una serie de comparadores de alta velocidad junto al codificador que proporciona las combinaciones binarias únicas para cada estado.
  - El diseño de este circuito es bastante sencillo. Consta de  $2^{n-1}$  amplificadores operacionales funcionando como comparadores, donde n es el número de bits de salida.
  - EJEMPLO: Si el intervalo de tensión analógica de entrada va de 0 a 3 VDC y si el valor de n se escoge igual a 3 bits, el escalón cuántico tiene el valor de:

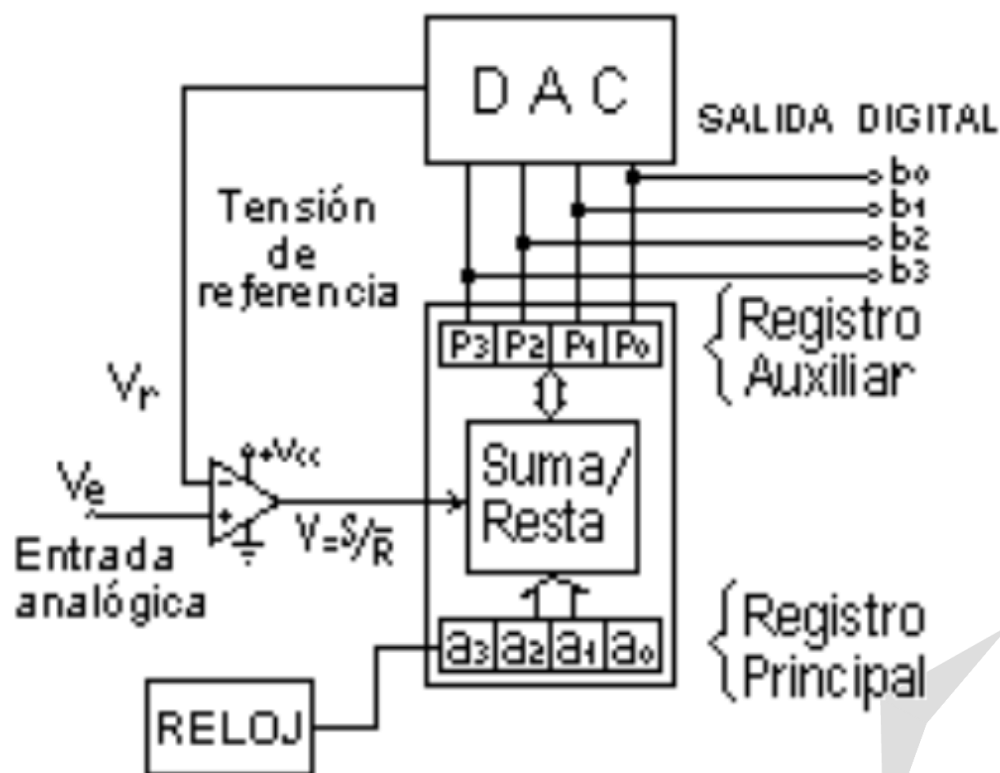
$$a = \frac{V_{e_{max}} - V_{e_{min}}}{2^n} = \frac{3 - 0}{2^3} = 0.375 \text{ V}$$



CONDICIONES DE COMPARACION	LINEAS DE CUANTIFICACION							SALIDAS		
	C <sub>7</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>
0,375 V ≥ Ve > 0 V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,750 V ≥ Ve > 0,375 V	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1,125 V ≥ Ve > 0,750 V	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
1,500 V ≥ Ve > 1,125 V	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
1,875 V ≥ Ve > 1,500 V	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
2,250 V ≥ Ve > 1,875 V	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
2,625 V ≥ Ve > 2,250 V	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
3,000 V ≥ Ve > 2,625 V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Ventajas	Desventajas
Operación simple y sencilla de implementar.	Baja resolución.
Es el CI más rápido, limitado sólo por los retardos de propagación de los comparadores y compuertas lógicas.	Altos costos para aquellos de alta resolución.
	Para cada bit adicional el número de comparadores se dobla (i.e. para 8 bits, se requieren 255 comparadores).

- De aproximaciones sucesivas (SAR):** Este convertidor es uno más complejo, el cual incluye un registro de aproximación sucesiva llamado Successive Approximation Register (SAR). Con este registro se aproxima al valor deseado modificando, de uno por uno, cada bit del DAC empezando por el bit más significativo. El registro verifica la salida de los comparadores para ver si la cuenta binaria es mayor o menor que la entrada de señal analógica y ajusta los bits en consecuencia.
  - Para realizar el funcionamiento del SAR el sistema se reinicia y el bit más significativo del registro se establece igual a 1.
  - El convertidor DAC convierte los dígitos binarios, generando el voltaje  $V_r$  que va al comparador.
  - Con relación al resultado del comparador:
    - Si  $V_e > V_r$  este dígito se deja como 1.
    - Si  $V_e < V_r$  el dígito se cambia a 0.
  - Continúa con el siguiente bit más significativo haciéndolo igual a 1.
  - El proceso continúa con el paso b hasta comprobar el último bit.



Ventajas	Desventajas
Confiable y capaz de medias velocidades (~4Msps).	Lento para conversiones de alta resolución.
Exactitud media (8-18 bits) en comparación con otros tipos de ADC.	Velocidad limitada a menos de 5Msps.
Buen compromiso entre costo y desempeño.	
Fácil implementación de salida de datos en formato serial (1 bit a la vez).	

#### TABLA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USAR ADC DISCRETOS VS INTEGRADOS EN UN MICROCONTROLADOR:

Las ventajas y desventajas de usar un convertidor analógico digital discreto, osea uno que tiene su circuito integrado aparte de un microcontrolador contra usar uno integrado dentro del microcontrolador son descritas a continuación en la siguiente tabla:

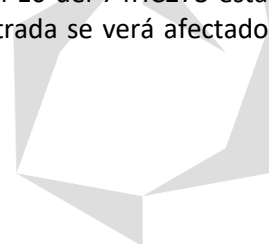
Ventajas ADC CI VS ACD Micro	Desventajas ADC CI VS ACD Micro
Características variables, dependiendo del tipo de ADC que se escoja.	Resolución programable dentro del código del mismo controlador.
Mayor costo.	Costo incluido en el del microcontrolador.
Implementación externa, que puede significar pérdida de datos por acoplamiento de impedancias entre el CI y el microcontrolador.	Inclusión y acoplamiento previo del CI con el circuito del microcontrolador.

## EXPERIMENTOS

### EXPERIMENTO 1. ADC FLASH DE 8 NIVELES

Construiremos el ADC Flash de 8 niveles que se muestra en el esquema de figura 1, utilizando el Flip-Flop tipo Octal D 74HC273 (figura 2), alternatively, se podría construir un ADC de 7 niveles a partir del inversor hexadecimal 74HC04 utilizado anteriormente.

Un arreglo de resistencias de entrada está formado por 7 resistencias de igual valor (50  $\Omega$  o similar), R2-R8. Cada entrada CMOS está conectada a una derivación diferente de la escalera de resistencias. Los transistores Q1 y Q2 forman una fuente de corriente constante para polarizar la escalera de resistencias. R9 se elige de manera que el voltaje desde la parte superior de la escalera hasta la parte inferior de la escalera sea de aproximadamente 2 voltios. Una corriente de aproximadamente 5mA o 4.3V/860 $\Omega$  debería ser adecuada. Conecte el generador en CA-V del circuito. Cada una de las salidas digitales de los FF activa un LED (D1 – D8). La entrada MR (pin 1), debe conectarse a +5V. El pin 10 del 74HC273 está conectado a GND y el pin 20 a VCC (se puede conectar a +5V). El umbral de entrada se verá afectado según el voltaje de alimentación que se utilice.



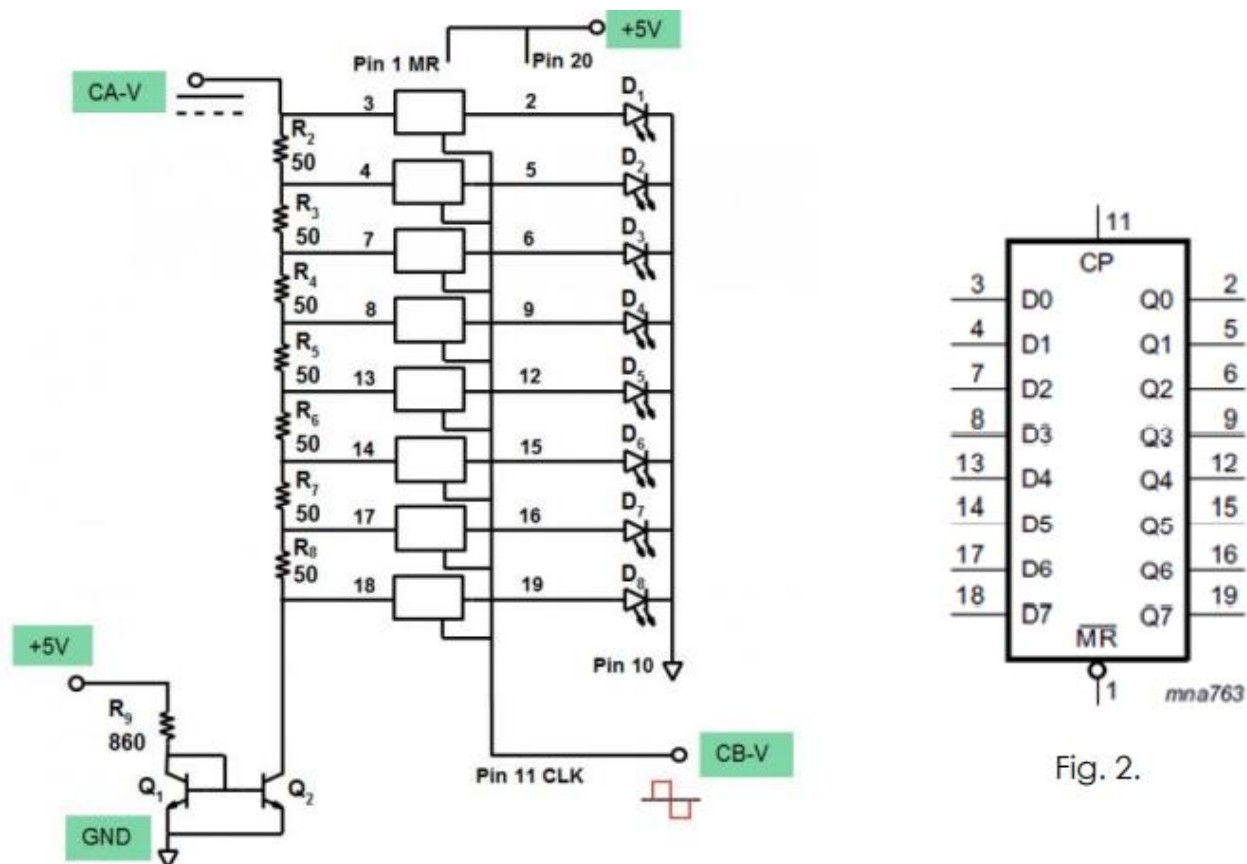


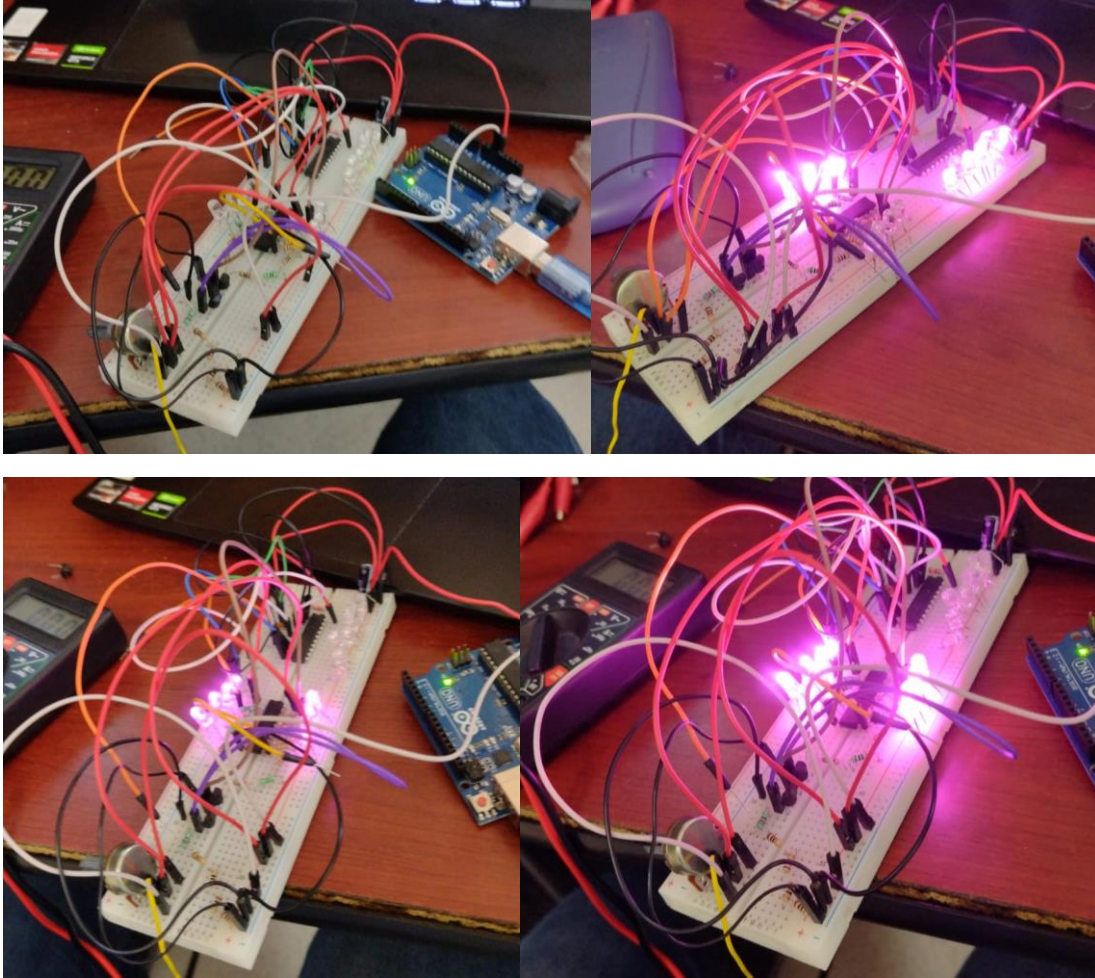
Fig. 1

En modo DC del generador de funciones, encuentre el valor máximo que produce que todos los LEDs estén apagados. Marque ese valor como voltaje negativo a plena escala (VFL-) A continuación, ajuste el generador, de modo que la mitad de los LEDs estén encendidos (D1-4) y la otra mitad estén apagados (D5-8). Marque ese valor como voltaje medio. A continuación, ajuste el generador, de modo que todos los LEDs estén encendidos (D1-8). Marque ese valor como voltaje positivo a plena escala (VFL+). El valor que encontró para la escala media debe estar a mitad entre el voltaje negativos y positivos de la escala completa. Establezca la forma en Triangular, frecuencia en 100 Hz, con voltaje positivo y negativo obtenidos anteriormente. Coloque en CB-V señal cuadrada de 0 a 5V, frecuencia de 10KHz (la frecuencia realmente no importa siempre que sea mucho más alta que la frecuencia de la señal analógica en la entrada del ADC).

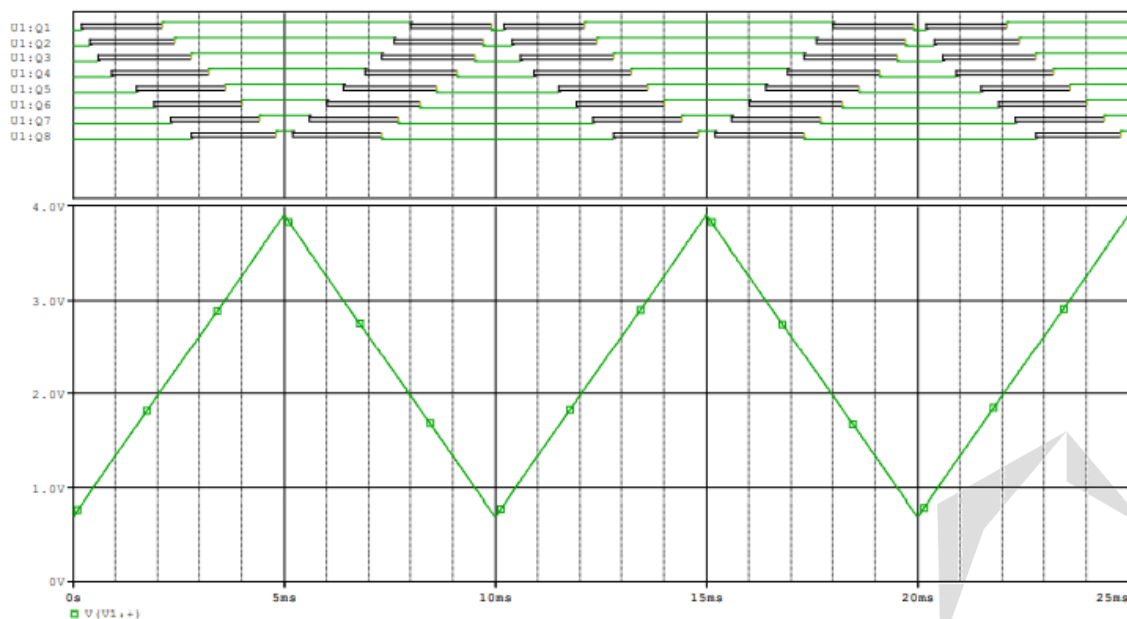
Visualice la secuencia de LEDs e identifique el código presente para los siguientes valores de entrada (La figura 3 muestra un ejemplo de secuencia de salida):

Tensión analógica	Código digital
VFL <sup>+</sup>	5 V
VFL <sup>-</sup>	2.25 V
$(VFL^- - VFL^+) / 2$	
$(VFL^- - VFL^+) / 4$	
$3 * (VFL^- - VFL^+) / 4$	





¿Cuál es la frecuencia máxima de reloj permitida? Verifíquelo experimentalmente. Proponga una estrategia para medir la frecuencia máxima permitida de la señal de entrada.





## EXPERIMENTO 2. CONVERTIDOR ANALÓGICO/DIGITAL CON CI ADC0804

El ADC0804 es un convertidor de señal analógica a digital de 8 bits, se muestra en la figura 4. Este ADC0804 cuenta con un solo canal de entrada analógica con una salida digital de ocho bits que puede mostrar 256 valores. El tamaño de paso se ajusta mediante el establecimiento de la tensión de referencia en pin 9 la entrada de referencia de voltaje puede ser ajustado para permitir que codificar cualquiera rango de tensión analógica más pequeña para la totalidad de 8 bits de resolución. Cuando en el ADC0804 no se conecta el pin tensión de referencia, la tensión de referencia por defecto es la tensión de funcionamiento, es decir, Vcc. El tamaño del paso a 5V es 19.53mV ( $5V/255$ ), es decir, por cada aumento de 19.53mV en la entrada analógica, la salida varía por 1 unidad. Para establecer un nivel de tensión determinado como valor de referencia, esta terminal está conectada a la mitad de la tensión. Por ejemplo, para establecer una referencia de 2V ( $V_{ref}$ ), pin9 está conectado a 1V ( $V_{ref} / 2$ ), reduciendo de este modo el tamaño del paso a 7.84mV ( $2V/255$ ).

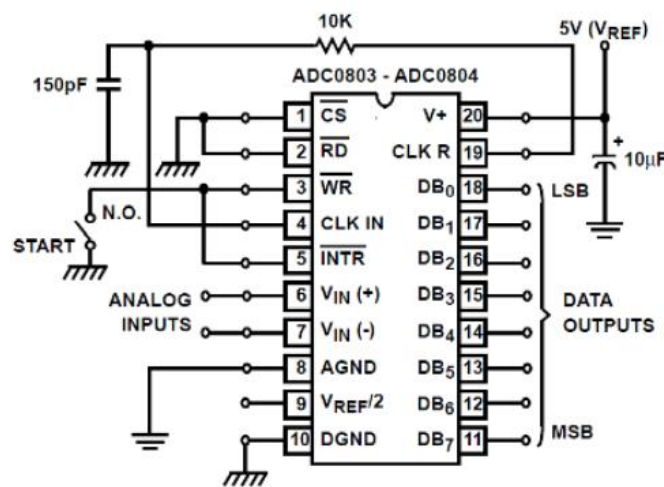


Fig. 4. ADC0804 y su conexión de carrera libre.

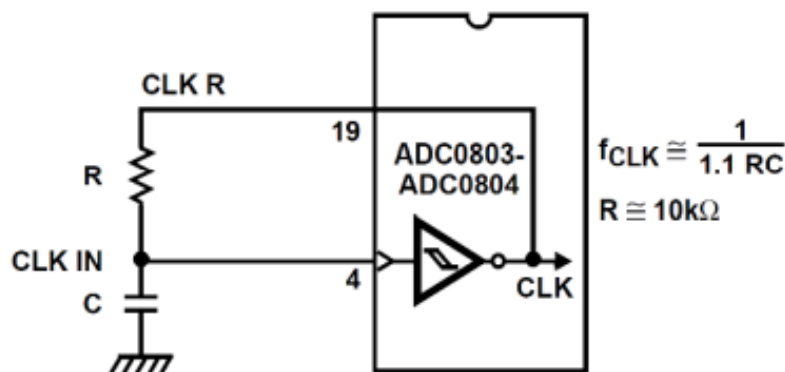
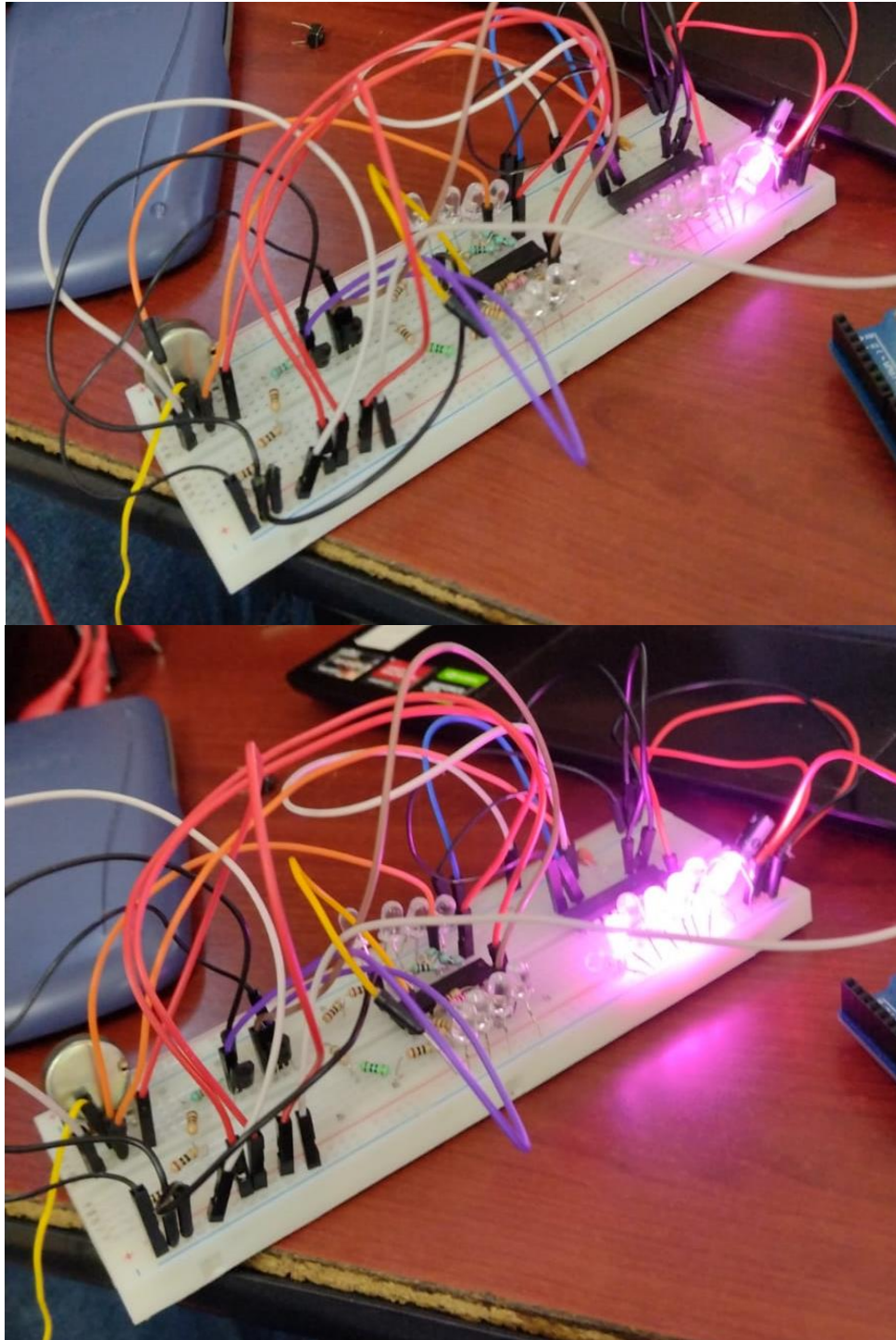


Fig. 5. Conexión de reloj para ADC0804

El reloj para el A/D se puede derivar de una fuente externa como el reloj de la CPU o una red RC externa pueden ser añadirse para proporcionar el reloj interno. El CLK IN (pin 4) hace el uso de un disparador de Schmitt, como se muestra en la figura 5.

Debe evitarse una alta carga capacitiva o alta carga DC del R pin CLK ya que esto perturba el funcionamiento normal del convertidor.

Ponga a prueba el ADC0804. En primer lugar, construya un circuito de carrera libre, con reloj RC como se muestra en la Fig. 4. Coloque un potenciómetro como fuente de señal analógica, posteriormente realice pruebas cambiando el potenciómetro por fuente de señal analógica, similar a las pruebas realizadas en <https://www.youtube.com/watch?v=mIJKMRebqa8>.



## [REFERENCIAS]

Electrónica: Teoría de los circuitos y dispositivos electrónicos, 10 Ed., Robert L. Boylestad Louis Nashelsky, 2009.

Microcontroladores: Convertidores ADC y DAC.,

[http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectronica/archivos\\_contenido/Apuntes%20de%20materias/ETD1022\\_Microcontroladores/3\\_Convertidores\\_AD.pdf](http://www.itq.edu.mx/carreras/IngElectronica/archivos_contenido/Apuntes%20de%20materias/ETD1022_Microcontroladores/3_Convertidores_AD.pdf)

