

Instituto Politécnico Nacional  
Escuela Superior de Computo  
“ESCOM”

**Unidad de Aprendizaje:**  
Instrumentación y control

**Grupo:** 5CV2

**Practica No. 7**  
**“CONVERTIDOR ANALÓGICO-DIGITAL”**

**Integrantes:**  
Ramírez Juárez Arturo Yamil  
Suárez López Diego Hipólito  
Zurita Cariño Emmanuel Einar

**Maestro:**  
Cervantes De Anda Ismael

**Fecha de entrega:**  
9/11/2023

# CONTENIDO

<b>MATERIAL</b> .....	3
<b>EQUIPO</b> .....	4
Datasheet ADC0804 .....	5
Datasheet LM35 .....	5
Datasheet LM358.....	5
<b>INTRODUCCIÓN TEÓRICA</b> .....	6
<b>DESARROLLO</b> .....	7
Circuito básico con ADC.....	7
Conexión del ADC con un circuito de acondicionamiento de señal de sensor .....	8
Modificación del voltaje de referencia del ADC.....	9
<b>CÁLCULOS</b> .....	9
Circuito básico con ADC.....	9
Conexión del ADC con un circuito de acondicionamiento de señal de sensor .....	10
Modificación del voltaje de referencia del ADC.....	10
<b>SIMULACIONES</b> .....	10
<b>CUESTIONARIO</b> .....	14
<b>CONCLUSIONES</b> .....	15

## OBJETIVO

Realizaremos un circuito que nos ayude a comprender mejor los conceptos básicos de un convertidor digital a analógico implementado con un arreglo R/2R. Procederemos a realizar un circuito que nos ayude a trabajar con los convertidores digitales a analógicos en circuitos integrados. Diferenciaremos la implementación de un convertidor digital a analógico con el arreglo R/2R y el implementado en un circuito integrado.

## MATERIAL

<b>ProtoBoard</b>	
<b>ADC0804</b>	
<b>Resistencia 10K <math>\Omega</math> a <math>\frac{1}{4}</math> W</b>	
<b>Resistencia de 390 <math>\Omega</math> a <math>\frac{1}{4}</math> W</b>	
<b>Led</b>	
<b>Capacitor de 150pF</b>	
<b>Capacitor de 10mF</b>	
<b>Capacitor de 0.1mF</b>	
<b>Lm35</b>	

**Lm358**



## **EQUIPO**

**Fuente de alimentación dual**



**Multímetro digital**



**Generador de funciones**






**Osciloscopio de propósito general**

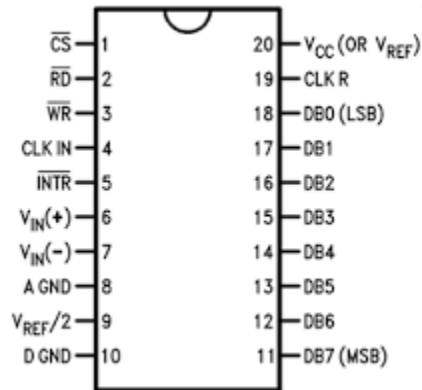


**Cables coaxiales con terminal BNC- Caimán**



<b>Cables caimán-caimán</b>	
<b>Cables banana-caimán</b>	
<b>Multímetro digital</b>	

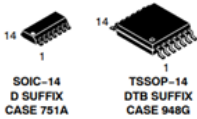
Datasheet ADC0804



Datasheet LM35

### Single Supply Quad Operational Amplifiers

**LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902**

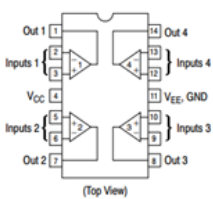


The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

#### Features

- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation

#### PIN CONNECTIONS



#### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

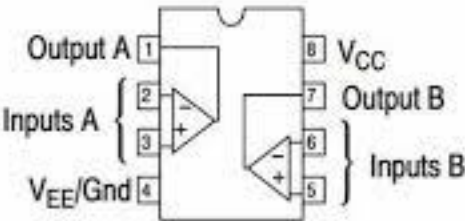
#### DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.

Datasheet LM358

**LM358**

**Pin configuration**



## INTRODUCCIÓN TEÓRICA

### LM358

El LM358 es un circuito integrado de 8 pines que contiene dos amplificadores operacionales independientes de alta ganancia con compensación de frecuencia interna. Este dispositivo está diseñado específicamente para operar mediante una única fuente de alimentación en un amplio rango de voltaje. También es posible su funcionamiento a partir de fuentes de alimentación divididas y la poca pérdida de corriente de alimentación es independiente de la magnitud del voltaje de alimentación.

El LM358 tiene una amplia utilidad en diversos campos de la Electrónica. Se utiliza para usos generales, tales como amplificadores, filtros de paso alto y bajo, filtros de paso de banda en frecuencia muy baja y sumadores analógicos. Además, puede ser configurado como un tampón con una ganancia de 1. Usualmente se usa como acondicionador de señales provenientes de transductores o sensores, como micrófonos, sondas de temperatura, etc.

### Sensor LM35

El LM35 es un sensor de temperatura. Sin embargo, no es resistivo como los termistores; en cambio, es un sensor de temperatura lineal con una salida de voltaje proporcional a la temperatura Celsius (Centígrada). Tiene varias ventajas sobre los sensores resistivos, como los termistores:

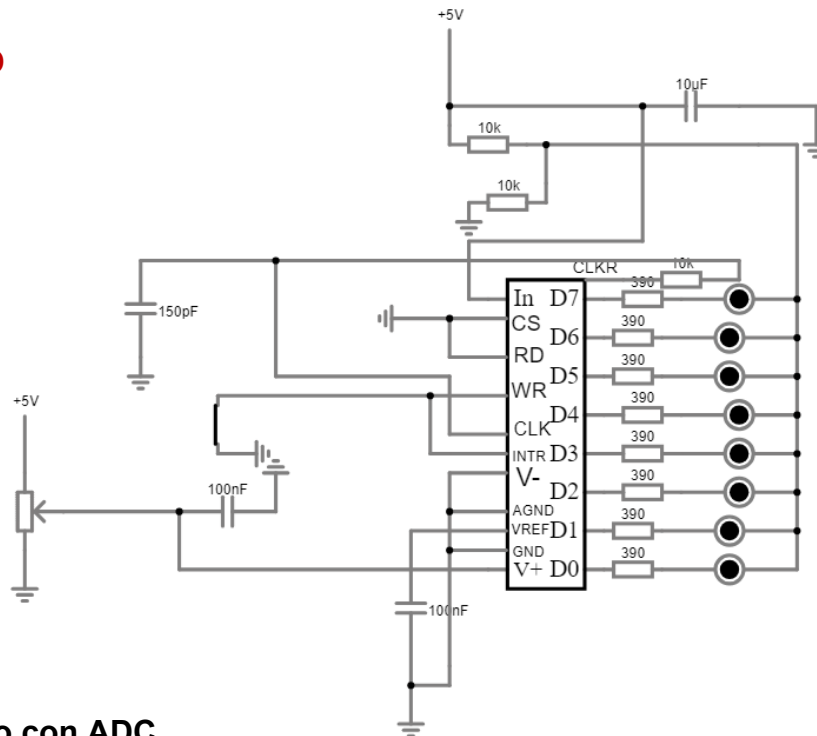
- Salida lineal: El LM35 produce una salida de voltaje que varía linealmente con la temperatura. Típicamente, tiene una sensibilidad de  $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ , lo que significa que por cada grado Celsius de aumento en la temperatura, la salida aumenta en 10 mV.
- No requiere calibración externa: Dado que su salida es lineal y calibrada en grados Celsius, el LM35 no necesita ningún tipo de calibración externa.
- Rango de operación: Por lo general, el LM35 puede medir temperaturas desde  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta  $150^{\circ}\text{C}$ , aunque existen versiones que pueden medir en otros rangos.
- Precisión: Dependiendo del modelo específico, el LM35 puede tener una precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  a temperatura ambiente.
- Bajo consumo de energía: A diferencia de algunos sensores resistivos que requieren corriente constante para operar, el LM35 tiene un consumo de corriente muy bajo, lo que lo hace adecuado para aplicaciones con baterías.

### ADC0804

El ADC0804 es un convertidor analógico a digital de 8 bits. Este dispositivo tiene una gran variedad de aplicaciones, ya que convierte las señales de forma analógica a digital. Estas señales digitalizadas se utilizan para el procesamiento de los procesadores digitales. Por ejemplo, encontramos una gran diversidad de sensores que convierten las características físicas del medio en señales analógicas.

El ADC0804 trabaja con un voltaje de entrada analógica de 0V a 5V. Trae una entrada analógica y las convierte a 8 salidas digitales. Además, este convertidor está diseñado para permitir el funcionamiento con el bus de control derivativo NSC800 e INS8080A con latches de salida Tri-State que dirigen directamente el bus de datos.

## DESARROLLO



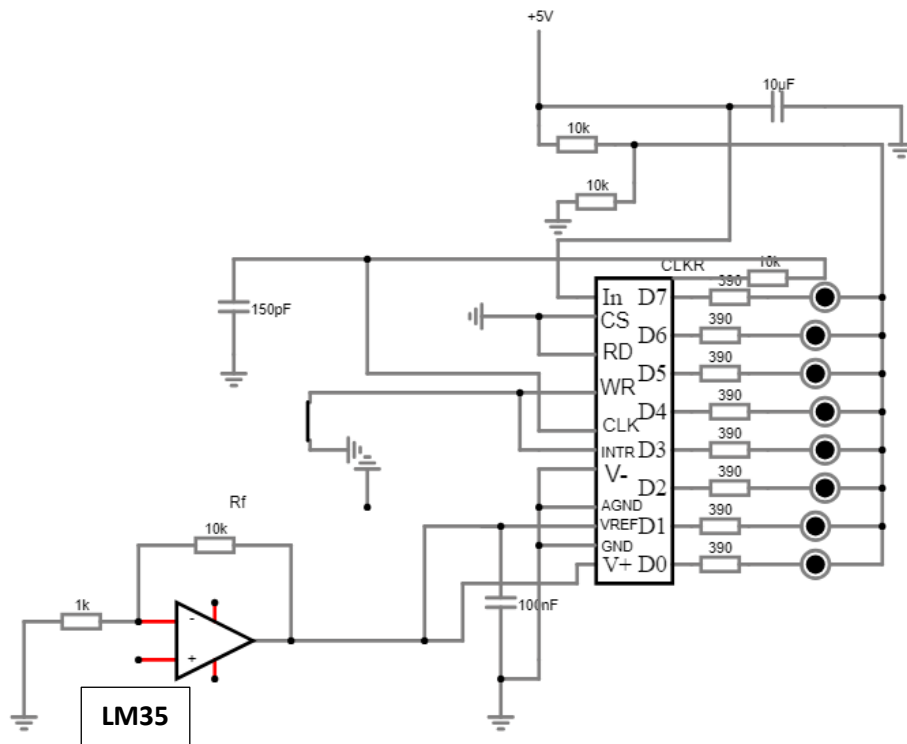
### Circuito básico con ADC

Esta parte de la práctica consiste en armar el siguiente circuito, en cuanto se energice este, el ADC comenzará a operar, en caso de no ser así, se presiona y suelta el push botón. Para verificar que el ADC se encuentra en funcionamiento, se tiene que observar que los leds encienden y apagan conforme se modifica el valor del potenciómetro.

Después de armar el circuito procedemos a calcular el voltaje de resolución con el que trabaja el ADC, en función del voltaje de referencia que se le está haciendo llegar, se llena la tabla 1:

Tabla 1 Funcionamiento del ADC

Voltaje Analógico $V_a$ Medido (V)	Combinación Binaria								Voltaje Analógico $V_a$ Calculado (V)
	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	1	1	0	1	0	0.5098
1.0	0	0	0	1	0	1	0	0	0.3921
1.5	0	0	0	0	1	1	1	1	0.2941
2.0	0	1	1	0	1	0	1	0	2.0784
2.5	1	0	0	0	0	0	1	1	2.5686
3.0	1	0	0	0	0	1	1	1	2.6470
3.5	1	0	1	1	1	1	1	1	3.7450
4.0	1	1	0	1	0	0	1	1	4.1372
4.5	1	1	1	1	0	0	0	1	4.7254
5.0	1	1	1	1	1	1	1	1	4.9999



## Conexión del ADC con un circuito de acondicionamiento de señal de sensor

Desconectamos el potenciómetro que se encuentra en el diagrama del primer circuito. A continuación se armó el circuito que se ilustra en la imagen del diagrama siguiente, y conectamos la terminal de salida del circuito acondicionador, a la terminal 6 del ADC.

Se calcularon los valores de R y Rf para que el circuito acondicionador, tenga un rango de voltaje que se encuentre entre el valor de 0 V y 5 V.

Anotamos el valor de la ganancia calculada en el espacio que se encuentra en la tabla 2:

Tabla 2 Valores del circuito de acondicionamiento

Av= 3.333 v									
Voltaje del sensor (V)	Combinación Binaria								Voltaje del circuito de acondicionamiento (V)
	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	
0.2569	0	0	1	0	1	0	1	0	0.822
0.2717	0	0	1	0	1	1	0	1	0.864
0.3142	0	0	1	1	0	1	0	0	1.004
0.3573	0	0	1	1	1	0	1	1	1.159
0.4202	0	1	0	0	1	0	0	0	1.292
0.6540	0	1	1	1	0	0	1	1	1.994
0.7754	1	0	0	0	0	1	1	1	2.989



0.8312	1	0	0	0	1	1	1	1	2.628
0.9075	1	0	0	1	1	0	1	0	2.859
1.0587	1	0	1	1	0	1	1	1	3.431
1.5475	1	1	1	1	1	1	1	1	3.582

## Modificación del voltaje de referencia del ADC

A continuación se modifica (calcula) el valor de los resistores R9 Y R10, de tal manera que el voltaje del rango de operación se encuentra con un valor de entre 0 V y 3 V.

Se vuelve a conectar el circuito anterior, al del ADC. Por último se llenan los espacios que se solicitan en la tabla 3:

Tabla 3

Av= 2v									
Voltaje del sensor (V)	Combinación Binaria								Voltaje del circuito de acondicionamiento (V)
	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	
0.2849	0	0	0	1	1	0	1	1	0.526
0.2938	0	0	0	1	1	1	1	1	0.554
0.3698	0	0	1	0	0	1	0	1	0.711
0.4276	0	0	1	0	1	0	1	0	0.821
0.4856	0	0	1	0	1	1	1	1	0.947
0.5672	0	0	1	1	1	0	0	1	1.099
0.6854	0	1	0	0	0	1	0	1	1.359
0.7852	0	1	0	1	0	0	0	0	1.575
0.8506	0	1	0	1	0	1	1	0	1.668
1.4462	1	0	1	1	0	1	1	1	0.786
1.7143	1	1	1	1	1	1	1	1	3.356

## CÁLCULOS

Se muestran a continuación los cálculos realizados para esta práctica:

### Circuito básico con ADC

$$V_{\text{resolución}} = \frac{5v-0v}{2^n-1} = \frac{5v}{255} = 19.6078mV$$

$$Va = (V_{\text{resolución}})(Dec)$$

$$0v \rightarrow Va = (19.6078mV)(0v) = 0V$$

$$0.5v \rightarrow Va = (19.6078mV)(26) = 0.5098V$$

$$1.0v \rightarrow Va = (19.6078mV)(20) = 0.3921V$$

$$1.5v \rightarrow Va = (19.6078mV)(15) = 0.2941V$$

$$\begin{aligned}
2.0v &\rightarrow V_a = (19.6078mV)(106) = 2.0784V \\
2.5v &\rightarrow V_a = (19.6078mV)(131) = 2.5686V \\
3.0v &\rightarrow V_a = (19.6078mV)(135) = 2.6470V \\
3.5v &\rightarrow V_a = (19.6078mV)(191) = 3.7450V \\
4.0v &\rightarrow V_a = (19.6078mV)(211) = 4.1372V \\
4.5v &\rightarrow V_a = (19.6078mV)(241) = 4.7254V \\
5.0v &\rightarrow V_a = (19.6078mV)(255) = 4.9999V
\end{aligned}$$

## Conexión del ADC con un circuito de acondicionamiento de señal de sensor

0v a 5v y del Lm35 tenemos 0v a 1.5v de 0°C a 150°C,  $A_v = \frac{5v}{1.5} = 3.333$

Proponemos  $R_f = 10k\Omega$

$$R_a = \frac{R_f}{A_v - 1} = \frac{10k\Omega}{3.33 - 1} = 4.2k\Omega$$

$\therefore R_f = 10k\Omega$  y  $R_a = 4.2k\Omega$

## Modificación del voltaje de referencia del ADC

0v a 3v y del Lm35 tenemos 0v a 1.5v de 0°C a 150°C,  $A_v = \frac{3v}{1.5} = 2$

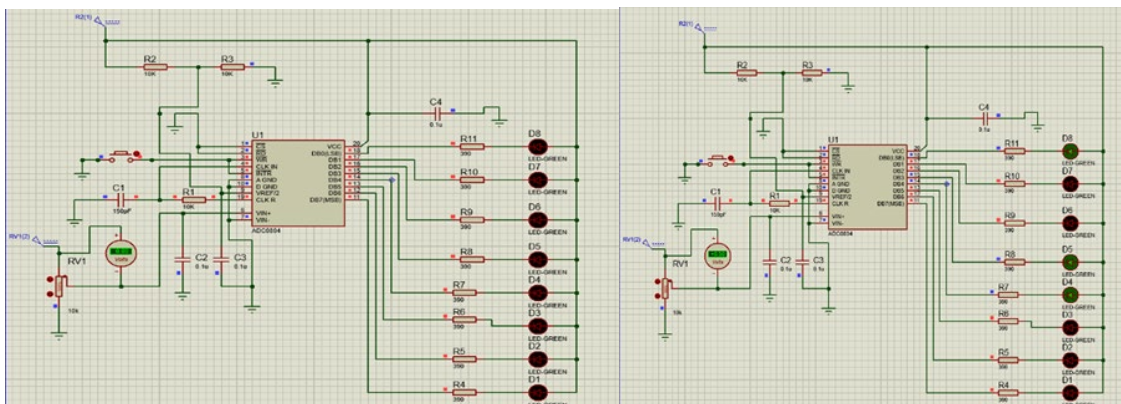
Proponemos  $R_f = 10k\Omega$

$$R_a = \frac{R_f}{A_v - 1} = \frac{10k\Omega}{2 - 1} = 10k\Omega$$

$\therefore R_f = 10k\Omega$  y  $R_a = 10k\Omega$

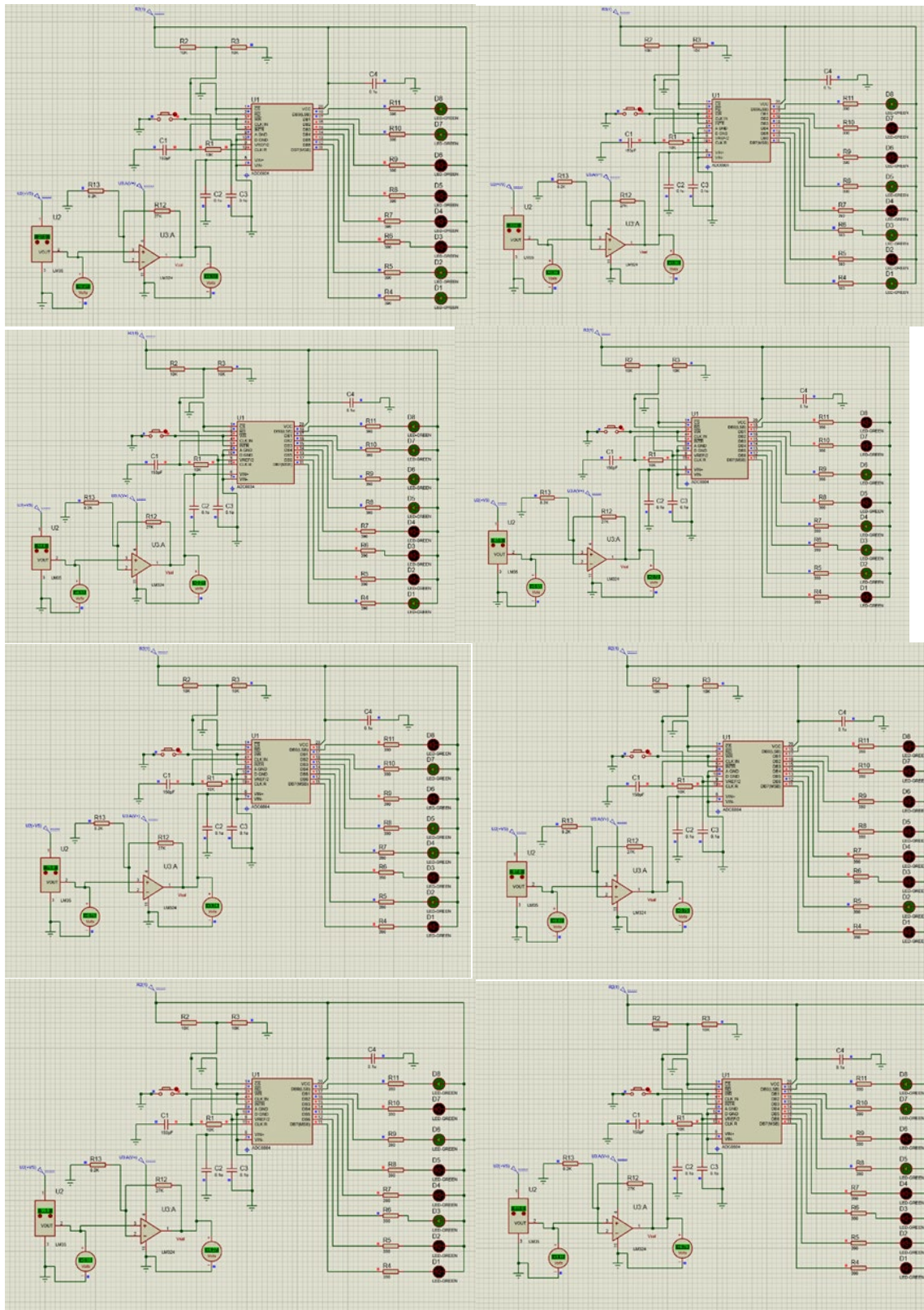
## SIMULACIONES

Se muestra a continuación las simulaciones realizadas para comprobar los resultados medidos y calculados.

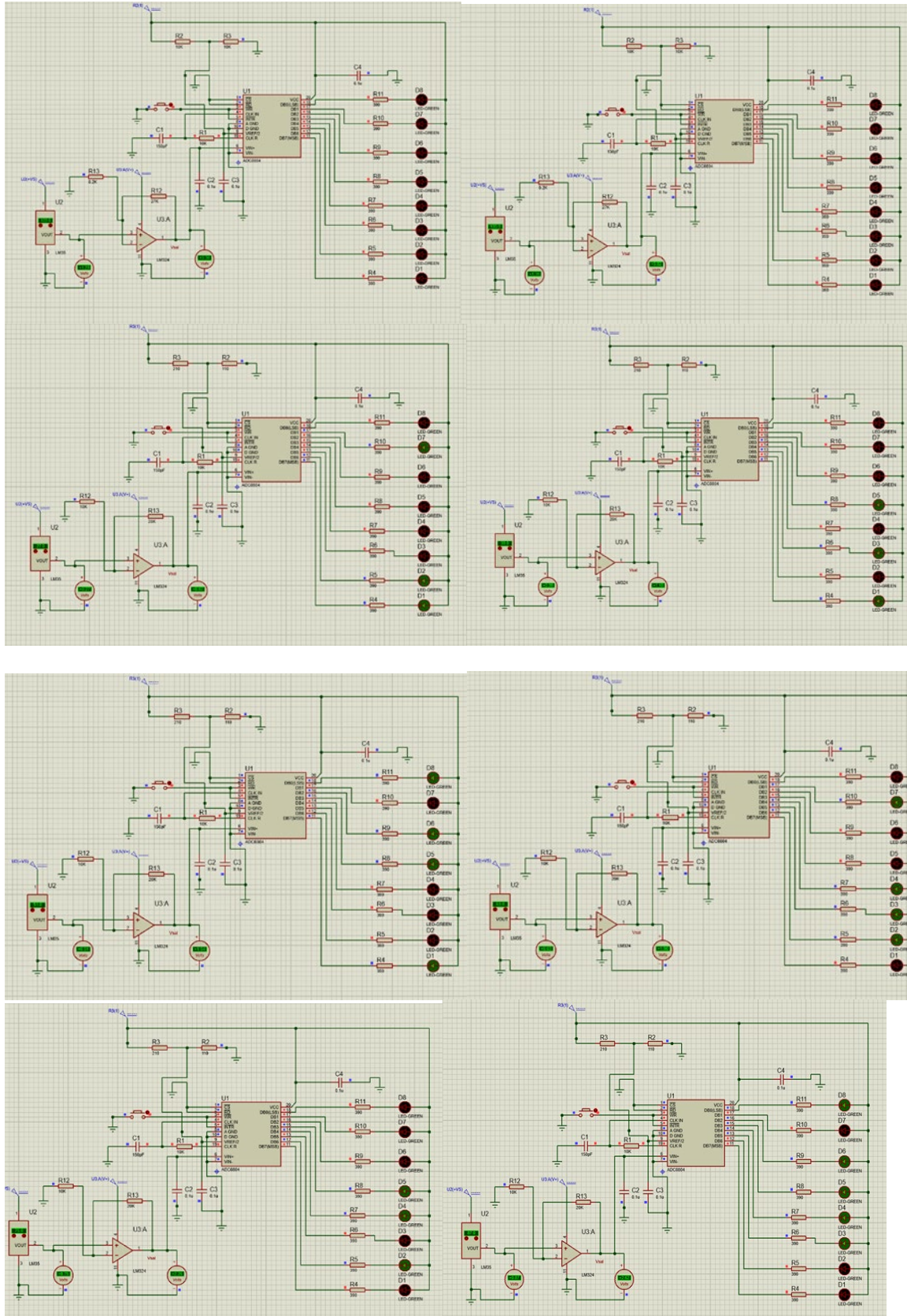


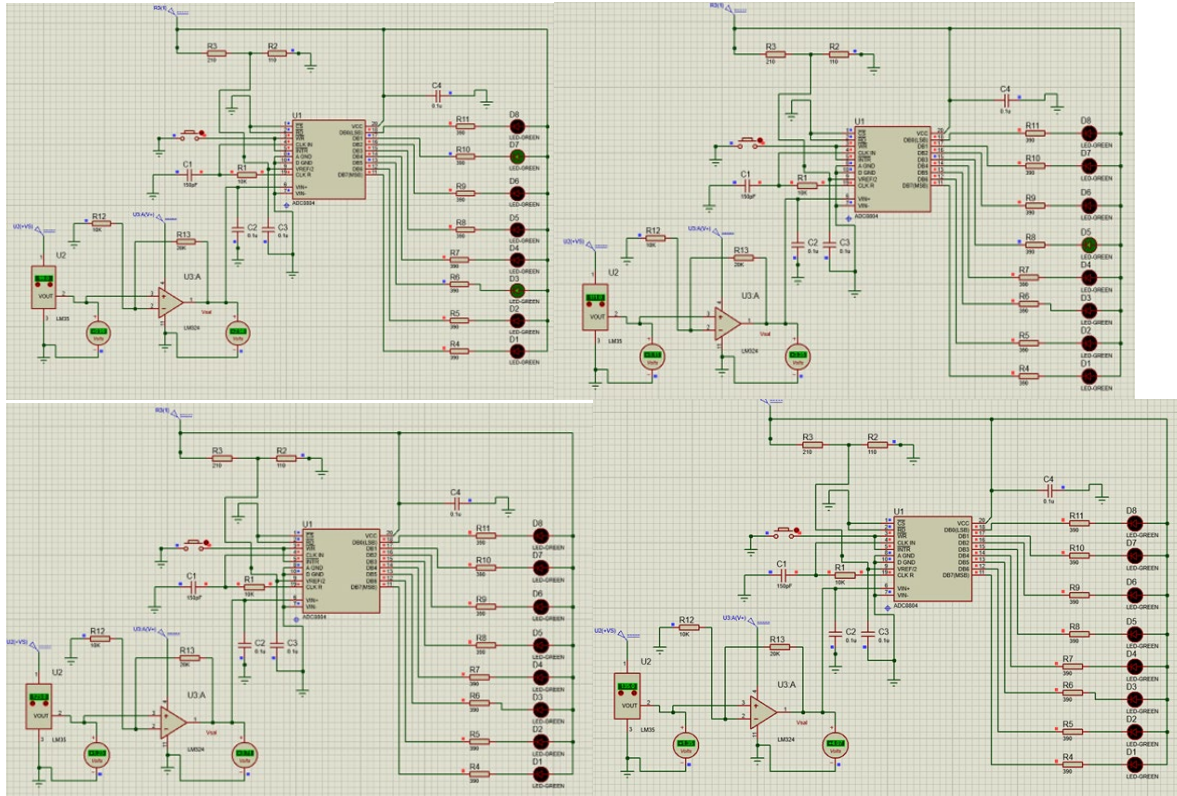












## CUESTIONARIO

1. ¿Qué representa el LSB y MSB?

*LSB (Least Significant Bit) y MSB (Most Significant Bit) representan el bit menos significativo y el bit más significativo, respectivamente.*

*En un número binario, el LSB es el bit que tiene el menor valor (el situado más a la derecha), mientras que el MSB es el bit que tiene el mayor valor (el situado más a la izquierda).*

2. ¿Cuáles son los circuitos más indicados para colocar el voltaje de referencia en el ADC?

*Los circuitos más indicados para colocar el voltaje de referencia en el ADC son aquellos que pueden proporcionar un voltaje de referencia estable. Un ejemplo es el uso de un regulador de voltaje de precisión. También es posible usar los pines Vref+ y Vref- cuando el voltaje de referencia no corresponde a 0 - 5 Voltios.*

3. Menciona 5 tipos diferentes de técnicas de conversión analógica a digital

- *Conversión por aproximaciones sucesivas: Esta técnica se basa en encontrar una raíz de una ecuación algebraica o trascendente mediante la modificación de esta y realizando un determinado número de iteraciones que indiquen que el sistema*



*tiende a converger. En cada iteración, se toma el nuevo valor de  $x$  dentro del polinomio.*

- *Conversión por integración o rampa: En este tipo de conversores se utiliza un integrador con un condensador que se carga a pendiente constante hasta alcanzar la tensión a convertir, instante en que cesa la integración. El tiempo requerido es proporcional a la tensión de entrada, y puede medirse con un contador que cuente ciclos de un reloj.*
- *Conversión por recuento o rampa digital: Este método también se conoce como método de Rampa digital o método contador. Se emplea un DAC y un contador binario para generar el valor digital correspondiente a una entrada analógica. A medida que el contador cuenta con cada pulso de reloj, el DAC emite un voltaje ligeramente más alto (más positivo).*
- *Conversión de doble rampa: El principio de funcionamiento de un convertidor A/D de doble rampa consiste en efectuar una primera integración de  $V_x$  durante un tiempo constante y efectuar después una segunda integración de una tensión de referencia, hasta alcanzar nuevamente el nivel inicial.*
- *Conversión flash o paralela: También llamado convertidor A/D paralelo, este circuito es el más simple de entender. Está formado por una serie de comparadores, cada uno comparando la señal de entrada con un voltaje de referencia único. Las salidas del comparador se conectan a las entradas de un circuito codificador de prioridad, que luego produce una salida binaria.*

4. ¿Qué diferencia existe entre el ADC0801 y el ADC0804?

*Tanto el ADC0801 como el ADC0804 son convertidores analógicos a digitales de 8 bits. Sin embargo, difieren en términos de error total. El ADC0801 tiene un error total ajustado con ajuste de escala completa de  $\pm 1/4$  LSB, mientras que el ADC0804 tiene un error total no ajustado de  $\pm 1$  LSB.*

## CONCLUSIONES

Esta práctica no solo proporciona una comprensión profunda de los componentes y circuitos involucrados, sino que también destaca la importancia del convertidor Analógico-Digital en sí.

Los componentes y circuitos utilizados en esta práctica son fundamentales para el funcionamiento del convertidor Analógico-Digital. Cada componente tiene un papel específico y su correcta implementación y funcionamiento aseguran la precisión y eficiencia del convertidor. Los circuitos integrados, por ejemplo, son esenciales para procesar las señales analógicas y convertirlas en señales digitales.

El convertidor Analógico-Digital es una pieza de tecnología vital en el mundo moderno. Convierte las señales analógicas, que son continuas en el tiempo y pueden tomar cualquier valor dentro de un rango específico, en señales digitales, que son discretas en el tiempo y pueden tomar solo un número limitado de valores. Esta conversión es esencial en una variedad de aplicaciones, desde la música digital hasta las telecomunicaciones y la medicina.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ¿Qué significan las siglas MSB y LSB? (2023). Recuperado de <https://pregunta.pe/que-significan-las-siglas-msb-y-lsb/>
- Reguladores de voltaje con circuito integrado (n.d.). Recuperado de <https://vogar.com.mx/blog/reguladores-de-voltaje-con-circuito-integrado>
- Conversión de analógico a digital (n.d.). Recuperado de LibreTexts Español.
- Hoja de datos de ADC0804-N, información de producto y soporte (n.d.). Recuperado de <https://www.ti.com/product/es-mx/ADC0804-N>
- ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit P Compatible A/D Converters (n.d.). Recuperado de <http://web.mit.edu/6.115/www/document/adc0801.pdf>
- ADC0804 Conversor Analógico a Digital (n.d.). Recuperado de <https://tdelectronica.com/producto/circuitos-integrados/compuertas-logicas/adc0804-conversor-analogico-a-digital/>