



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE COMPUTO**  
**ING. SISTEMAS COMPUTACIONALES**



**ALUMNOS:**

AGUILAR CABADAS BRANDON DAVID  
MUNIVE HERNÁNDEZ ERIKA NATALIA  
TORRES HERRERA OSCAR ANTONIO

**UNIDAD DE APRENDIZAJE:**

ELECTRÓNICA ANALÓGICA

**GRUPO: 4CM3**

**FECHA: 21/06/2024**

**PROFESOR:**

MARTÍNEZ DIAZ JUAN CARLOS

**TEMA:**

“SENSOR DE TEMPERATURA - EXPOESCOM”

## Índice

1. Objetivo. ....	1
2. Introducción.....	2
3. Marco teórico. ....	3
3.1 Sensor LM335. ....	3
3.2 Amplificadores operacionales: 741.....	4
3.3 Amplificador inversor. ....	5
3.4 Seguidor de voltaje.....	6
3.5 Sumador inversor.....	6
3.6 Convertidor ADC0804. ....	7
4. Arduino UNO .....	8
5. Planteamiento del problema. ....	10
6. Solución.....	11
6.1 Bloque 1. ....	12
6.2 Bloque 2. ....	17
6.3 Bloque 3. ....	22
A) ADC0804.....	22
B) Arduino .....	26
7. Diagrama a bloques (completado) .....	30
8. Conclusiones. ....	32
8.1 Torres herrera Oscar Antonio:.....	32
8.2 Aguilar Cabadas Brandon David.....	33
8.3 Munive Hernandez Erika Natalia .....	34

## 1. Objetivo.

Diseñar un termómetro utilizando el sensor LM335 y amplificadores operacionales, aplicando los conocimientos adquiridos en clase, el diseño debe incluir:

- Un convertidor Analógico-Digital para permitir una medición precisa de la temperatura.
- Representación mediante diagramas a bloques que detallen la interconexión de los componentes, reflejando la comprensión de los principios fundamentales de los amplificadores operacionales y convertidores Analógico-Digitales.

El sensor LM335 mide temperaturas de 0 a 50°C, con una salida que varía de 2.73V a 3.23V respectivamente, esta señal se pasará a través de un bloque de amplificadores operacionales para escalarla de 0 a 5V. Posteriormente, la señal escalada se enviará al convertidor ADC0804, que proporcionará una salida binaria de 8 bits.

## 2. Introducción.

En la electrónica moderna, la medición precisa de la temperatura es crucial para una amplia variedad de aplicaciones, desde la gestión ambiental en sistemas HVAC hasta la monitorización de procesos industriales, un termómetro electrónico eficiente y preciso es esencial para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad de estos sistemas.

El primer bloque consiste en un sensor LM335, conocido por su fiabilidad y precisión, es una excelente elección para medir temperaturas en un rango de 0 a 50°C, el cual produce una salida de voltaje linealmente proporcional a la temperatura medida, variando de 2.73V a 3.23V en dicho rango.

En el segundo bloque “CAS”, usamos amplificadores operacionales para transformar el voltaje proveniente del bloque 1. Para transformar esta señal en una lectura digital útil, es necesario utilizar un convertidor Analógico-Digital (ADC), el cual consiste en el tercer bloque.

Este proyecto se centra en el diseño de un termómetro que incorpora el sensor LM335 y amplificadores operacionales, aplicando los conocimientos adquiridos en clase. El objetivo es escalar la salida del sensor de 0 a 5V utilizando un bloque de amplificadores operacionales, y luego convertir esta señal analógica a una salida digital binaria de 8 bits mediante el ADC0804.

### 3. Marco teórico.

#### 3.1 Sensor LM335.

El sensor LM335 es un sensor de temperatura de precisión cuya salida es proporcional a la temperatura absoluta en Kelvin, es un dispositivo fácil de usar y proporciona una salida de voltaje lineal que varía con la temperatura, el cual está calibrado a una temperatura promedio de 25°C.

Características Principales:

- Rango de temperatura: -40°C a +100°C
- Salida: 10 mV/K (0.01 V/K)
- Precisión:  $\pm 1^\circ\text{C}$  típica después de la calibración
- Corriente de operación: Típicamente 1 mA, máximo 5 mA
- Voltaje de operación: 2.98V a 30V
- Estabilidad a largo plazo:  $<0.1^\circ\text{C}/1000$  horas
- Factor de calibración: Se puede calibrar para mejorar la precisión
- Configuración: Puede configurarse como un sensor de temperatura directa o una referencia de voltaje

Su símbolo y salida es:

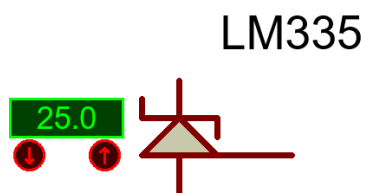


Figura 1. Sensor LM335

No.	Nombre	Descripción
1	Emisor	terminal por el cual salen los portadores de carga.
2	Base	terminal que regula el paso de corriente a través del transistor
3	Colector	terminal por donde entran los portadores de carga

### 3.2 Amplificadores operacionales: 741.

Un amplificador operacional es un circuito integrado con tres terminales: dos entradas denominadas inversora y no inversora, y una salida de voltaje que es proporcional a la diferencia de los voltajes de entrada.

El 741 es uno de los amplificadores operacionales más populares y ampliamente utilizados, este es un amplificador operacional general de propósito con características estándar. Características Principales:

- Ganancia de voltaje: 200,000 (110 dB)
- Rango de entrada diferencial:  $\pm 30V$
- Rango de voltaje de suministro:  $\pm 10V$  a  $\pm 18V$
- Corriente de polarización de entrada: 80 nA (típico)
- Impedancia de entrada:  $2 M\Omega$  (típico)
- Impedancia de salida:  $75\Omega$  (típico)
- Offset de voltaje de entrada: 2 mV (típico)

Así mismo, en la figura 2 se muestran las salidas del amplificador.

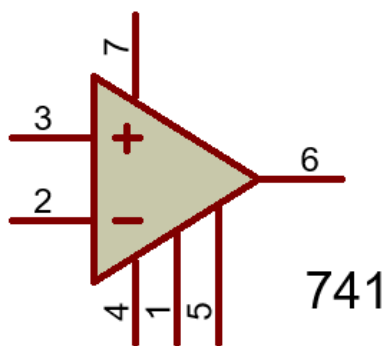


Figura 2. Salidas del 741

No.	Nombre	Descripción
1	Offset 1	Voltaje de Offset
2	In-	Entrada de inversión
3	In+	Entrada no inversora
4	V-	Fuente negativa
5	Offset 2	Voltaje de Offset
6	Out	Salida
7	V+	Fuente positiva
8	NC	No conectar

### 3.3 Amplificador inversor.

El amplificador operacional inversor consta de un amplificador operacional para producir una señal de salida que es inversa a la señal de entrada, es decir, la señal de salida es una versión invertida y amplificada de la señal de entrada. Tiene la característica de que cuenta con una menor impedancia de entrada debido a la retroalimentación, en donde su ganancia es menor a 1. Para poder realizar cálculos en base al voltaje de salida es necesario tomar estas fórmulas:

$$I_1 = I_2$$

Las dos corrientes son iguales

$$\frac{V_{in}-V_1}{R_1} = \frac{V_1-V_{out}}{R_F}$$

Igualamos la corriente a su fórmula con ley de Ohm  $V=I \cdot R$

En un amplificador ideal  $V_1=V_2=0$ , por lo que la ecuación queda como:  $\frac{V_{in}}{R_1} = \frac{-V_{out}}{R_F}$

Y al despejar  $V_{out}$  tenemos:  $V_{out} = -\frac{R_F}{R_1} V_{in}$

Además, si calculamos la ganancia tenemos la siguiente formula:  $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_f}{R_1}$

En la figura 3, podemos ver como conectar esta configuración, en donde la entrada no inversora está conectada a tierra, el  $V_i$  está conectado a la terminal inversora mediante una resistencia “ $R_1$ ” y la resistencia de retroalimentación “ $R_f$ ” está conectada entre la entrada inversora y la salida.

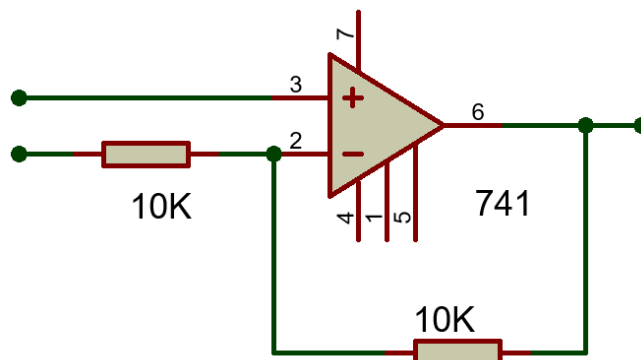


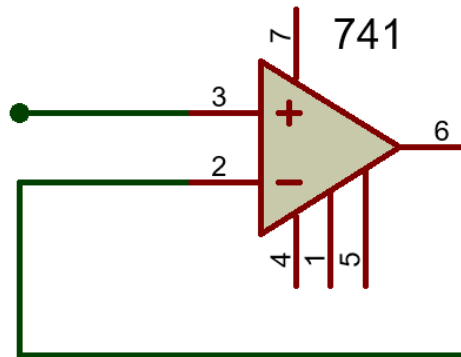
Figura 3. Amplificador operacional inversor

### 3.4 Seguidor de voltaje.

Un seguidor de voltaje, también conocido como buffer o amplificador de ganancia unitaria, es una configuración en la que la salida del amplificador operacional se retroalimenta directamente a su entrada inversora (-).

Características Principales:

- Ganancia de voltaje: 1 (unidad)
- Impedancia de entrada: Muy alta
- Impedancia de salida: Muy baja



*Figura 3. Amplificador operacional seguidor de voltaje.*

### 3.5 Sumador inversor.

La función del sumador inversor es sumar varias señales de entrada y proporcionar una salida que es la suma inversa de las entradas.

La fórmula general para la salida de un sumador inversor es:

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n}V_n\right)$$

Algunas características importantes son:

- La salida está invertida en fase respecto a las señales de entrada.
- Capacidad para sumar múltiples señales de entrada conectadas a la entrada inversora a través de resistencias específicas.



- La entrada no inversora está conectada a tierra, proporcionando una alta impedancia de entrada.
- La salida del amplificador operacional tiene una baja impedancia, permitiendo conducir cargas posteriores sin pérdida significativa de señal.

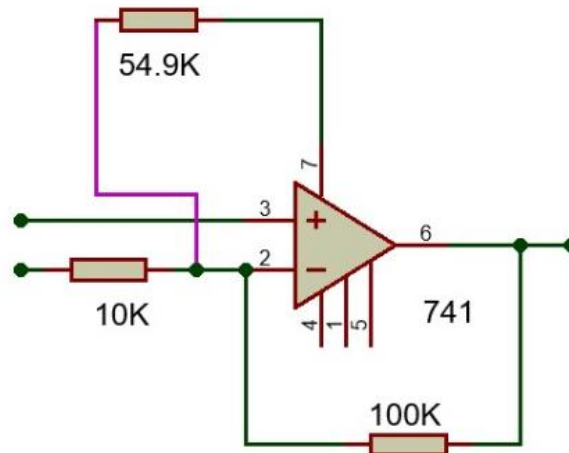


Figura 4. Amplificador operacional sumador inversor.

### 3.6 Convertidor ADC0804.

El ADC0804 es un conversor de señal analógica a digital de 8 bits, cuenta con un solo canal de entrada analógica entre 0v y 5v y una salida digital de ocho bits que puede mostrar 256 valores de medidas diferentes. En la figura 5 se aprecia el símbolo de este convertidor con sus pines y la función de estos.

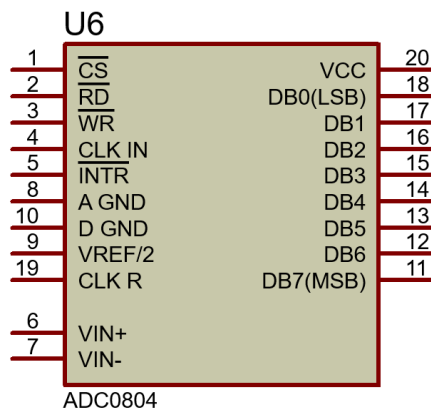


Figura 5. Convertidor ADC0804

No.	Nombre	Descripción
1	CS	Selección de chips
2	RD	Leer
3	WR	Escribir
4	CLK IN	Entrada de reloj externo o uso de generación de reloj interno con elementos RC externos
5	INTR	Petición de interrupción
6	Vi+	Entrada analógica diferencial+
7	Vi-	Entrada analógica diferencial-
8	A GND	Clavija de tierra analógica
9	Vref/2	Entrada de voltaje de referencia para ajuste
10	D GND	Clavija de tierra digital
11	DB7	Databit7
12	DB6	Databit6
13	DB5	Databit5
14	DB4	Databit4
15	DB3	Databit3
16	DB2	Databit2
17	DB1	Databit1
18	DB0 (LSB)	Databit0
19	CLK R	Pin de entrada de resistencia de temporización RC para generación de reloj interno
20	VCC	Voltaje de alimentación de +5 V, también entrada de referencia superior a la carga

## 4. Arduino UNO

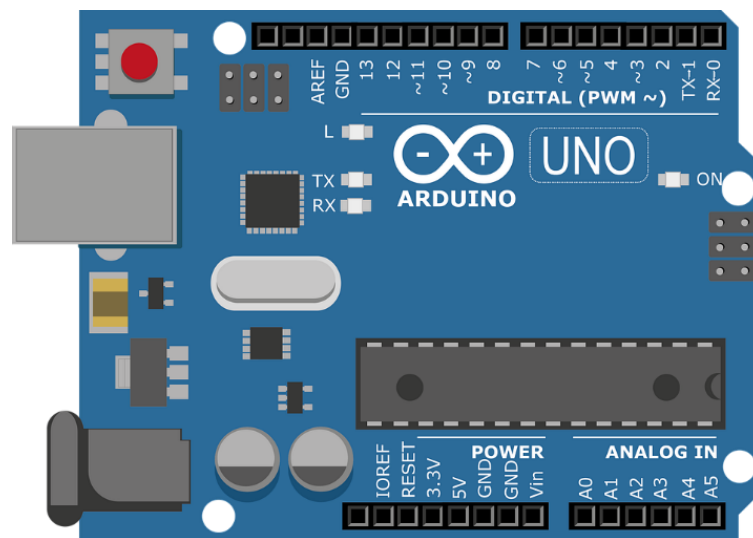
Arduino UNO es una placa microcontroladora basada en ATmega328P . Dispone de 14 pines de entrada/salidas digitales (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, una conexión USB, un jack de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para

soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar.

Sus características son:

- Voltaje de trabajo: 5V.
- Voltaje de entrada: 7,5 a 12 voltios.
- Pinout: 14 pines digitales (6 PWM) y 6 pines analógicos.
- 1 puerto serie por hardware.
- Memoria: 32 KB Flash (0,5 para bootloader), 2KB RAM y 1KB Eeprom

Para programar la board se necesita el IDE Arduino.



*Figura 6. ARDUINO*

## 5. Planteamiento del problema.

Diseñar un circuito acondicionador de señal CAS, que funcione para conectar un sensor de temperatura y el convertidor analógico digital de un microcontrolador.

El margen de temperatura que se va a medir está entre 0 y 50 grados centígrados; EL margen del CAD está entre 0 y 5 volts, se desea que la salida del CAS sea lineal, es decir, que cuando la temperatura de 00C la salida del CAS será de 0 volts, cuando el sensor mida 10 C, la salida del CAS será de 1 volt y así sucesivamente hasta llegar a los 50°C en cuyo caso la salida del CAS será de 5 volts.

Sustituir el CAD para poder mostrar en una interfaz gráfica los valores correspondientes para lograr una mejor visualización de los datos y el funcionamiento, se puede utilizar Arduino para trabajar esta interfaz.

## 6. Solución.

Para la implementación del termómetro electrónico con el sensor LM335, se propone un diseño dividido en tres etapas clave: Sensor, Circuito de Amplificación y Condicionamiento de la Señal (CAS), y Convertidor Analógico-Digital.

- a) Bloque 1: Sensor. Utilizando el sensor LM335 como la primera etapa del sistema, se busca captar la temperatura ambiente de manera precisa, este componente proporcionará la señal analógica inicial que se utilizará en las etapas posteriores.
- b) Bloque 2: CAS. En esta etapa, se emplearán amplificadores operacionales para mejorar la señal del sensor LM335, además, se realizará cualquier condicionamiento necesario para ajustar la respuesta del termómetro y garantizar la precisión de la medición.

El primer amplificador operacional es un seguidor de voltaje que limpia la señal.

El segundo amplificador es un inversor, usado ya que el voltaje de entrada para el tercer amplificador sea negativo.

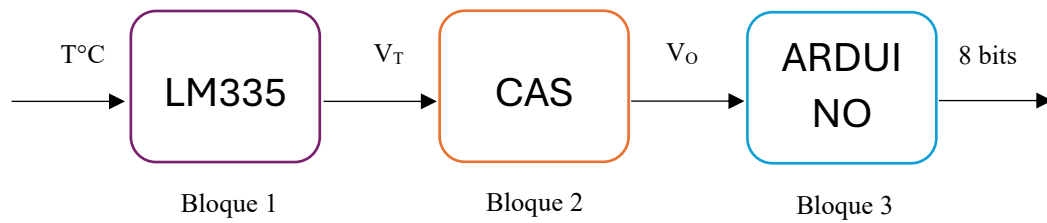
El tercero es un sumador inversor, para evitar inconvenientes y por recomendación para este tipo de circuitos, se usa el voltaje de entrada  $r_1$  negativo con una resistencia de salida 10 veces mayor a  $r_1$ , por lo que la ganancia es de 10. Para obtener el valor de  $R_2$  se despeja en la ecuación:

$$V_o = -\left(\frac{V_{R1}}{R_1} + \frac{V_{R2}}{R_2}\right)$$

En si este tercer amplificador busca acondicionar la señal para garantizar la precisión de la medición al cumplir con la relación de:  $V_o = 10 V_t - 27.3V$

- c) Bloque 3: Convertidor Analógico-Digital. La última etapa del diseño implica la conversión de la señal analógica mejorada a una representación digital. Se implementará un convertidor Analógico-Digital para facilitar la lectura y

visualización digital de la temperatura medida. Se debe visualizar en interfaz gráfica.

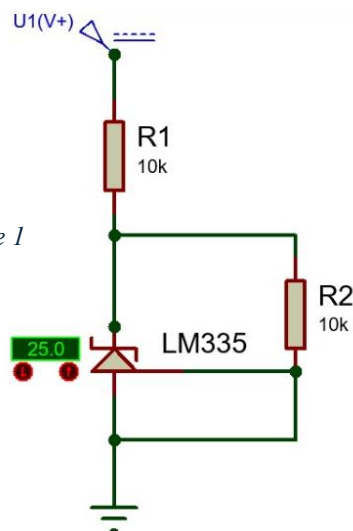


*Figura 7. Diagrama a bloques del sistema*

Se utiliza una de las entradas analógicas del Arduino Uno para poder leer los valores de la salida del CAS, de tal manera que el rango de entre 0 a 5 volts pueda ser procesado por el código del programa, teniendo en cuenta que Arduino lo tomara como un valor de entre 0 a 1023 es decir 10 bits, se debe tener la consideración de manejar en el código el manejo de conversión de 10 a 8 bits, más en la interfaz gráfica buscar la forma de obtener los valores del resto de circuitos con sus equivalencias.

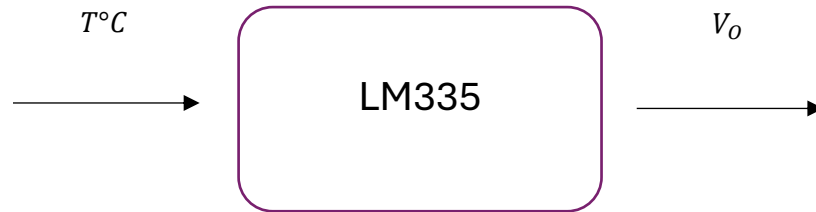
## 6.1 Bloque 1.

Para el primer bloque se definió el siguiente circuito:



*Figura 8. Diseño del bloque 1*

El sensor LM335 es conocido por su alta precisión en la medición de temperatura, su calibración interna garantiza una salida de voltaje proporcional y estable en relación con la temperatura ambiente. El LM335 es fácil de integrar en circuitos electrónicos debido a su interfaz simple de tres terminales, por lo que es ideal para el sistema; la señal analógica inicial generada por el LM335 servirá como entrada para las etapas posteriores del diseño del termómetro electrónico.



*Figura 9. Bloque 1*

Al funcionar igual que un diodo Zener, donde su tensión de ruptura es proporcional a la temperatura, con una sensibilidad de  $10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$ . Esto significa que por cada grado Kelvin de temperatura, el voltaje del sensor aumentará en  $10 \text{ mV}$ , y podemos definir la sensibilidad de la siguiente manera:

$$S = 10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$$

De forma que al obtener el voltaje de salida del sensor tendremos:

$$V_T = (10 \text{ mV}/^\circ\text{K})(T(\text{K}))$$

Donde:

$$V_T = \text{Voltaje de salida}$$

$$S = \text{Sensibilidad}$$

$$T(\text{K}) = \text{Temperatura en grados Kelvin}$$

Ahora, buscando transformar los grados Kelvin a grados Celsius, usaremos la relación que hay entre ellos:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$$

La cual, al sustituirla en la ecuación de salida y simplificarla obtenemos:

$$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{K})(T(^{\circ}C) + 273.15)$$

$$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \times T(^{\circ}C)) + (10 \text{ mV}/\text{K} \times 273.15)$$

$$\text{Donde : } 10 \text{ mV}/\text{K} \times 273.15 = 2.73V$$

La fórmula obtenida es:

$$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(T^{\circ}\text{C}) + 2.73V$$

Donde:

$$V_T = \text{Voltaje de salida}$$

$$T^{\circ}\text{C} = \text{Temperatura en grados Celsius}$$

Algunos cálculos para su comprobación:

$$\text{Si } T^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{C}$$

$$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(0^{\circ}\text{C}) + 2.73V = 2.73V$$

$$\text{Si } T^{\circ}\text{C} = 10^{\circ}\text{C}$$

$$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(10^{\circ}\text{C}) + 2.73V = 2.83V$$

$$\text{Si } T^{\circ}\text{C} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(25^{\circ}\text{C}) + 2.73V = 2.98V$$

$$\text{Si } T^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$$

$$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(50^{\circ}\text{C}) + 2.73V = 3.23V$$



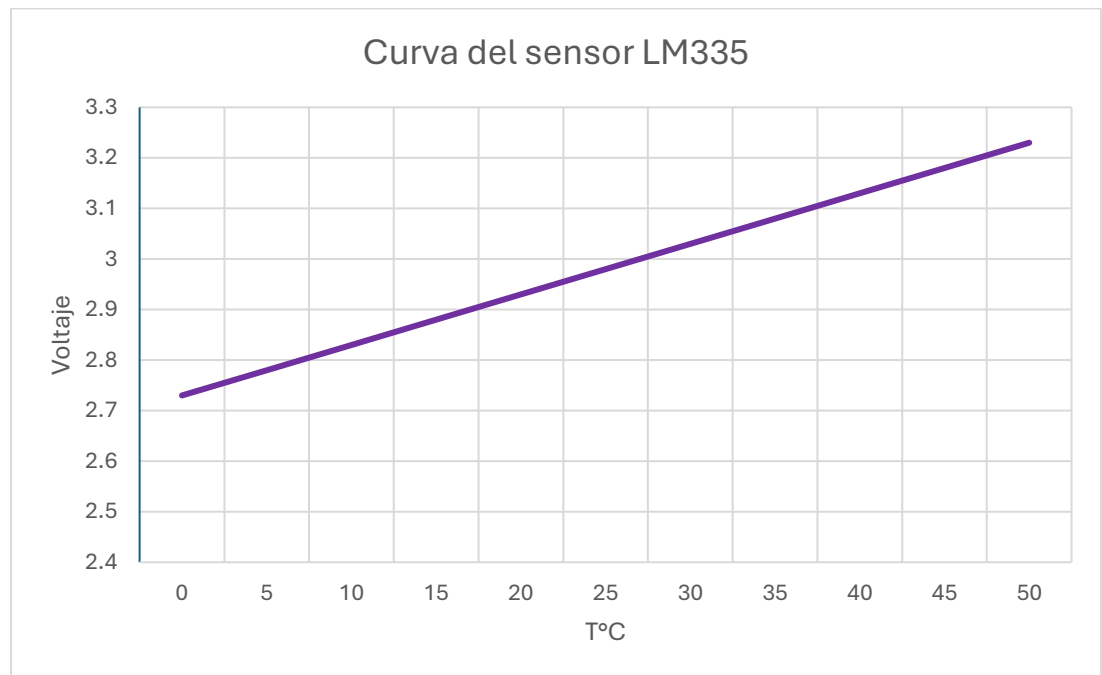
Los cálculos realizados para las diferentes mediciones que se realizaran en el sistema:

$T^{\circ}\text{C}$	Sustitución: $V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(T^{\circ}\text{C}) + 2.73V$	$V_T$
$0^{\circ}\text{C}$	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(0^{\circ}\text{C}) + 2.73V$	2.73V
$1^{\circ}\text{C}$	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(1^{\circ}\text{C}) + 2.73V$	2.74V
$2^{\circ}\text{C}$	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(2^{\circ}\text{C}) + 2.73V$	2.75V
$5^{\circ}\text{C}$	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(5^{\circ}\text{C}) + 2.73V$	2.78V
$10^{\circ}\text{C}$	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(10^{\circ}\text{C}) + 2.73V$	2.83V
$15^{\circ}\text{C}$	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(15^{\circ}\text{C}) + 2.73V$	2.88V
$20^{\circ}\text{C}$	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(20^{\circ}\text{C}) + 2.73V$	2.93V
$25^{\circ}\text{C}$	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(25^{\circ}\text{C}) + 2.73V$	2.98V
$30^{\circ}\text{C}$	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(30^{\circ}\text{C}) + 2.73V$	3.03V
$35^{\circ}\text{C}$	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(35^{\circ}\text{C}) + 2.73V$	3.08V

40°C	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(40^{\circ}\text{C}) + 2.73\text{V}$	3.13V
45°C	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(45^{\circ}\text{C}) + 2.73\text{V}$	3.18V
50°C	$V_T = (10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C})(50^{\circ}\text{C}) + 2.73\text{V}$	3.23V

*Tabla 1. Resultados de la ecuación del Bloque 1*

De acuerdo con los datos obtenidos en la tabla 1, se obtuvo la siguiente gráfica:



*Gráfica 1. Curva del sensor LM335*

En la gráfica, se puede apreciar la relación entre el voltaje de salida del sensor LM335 y la temperatura en grados Celsius, dentro del rango de 0°C a 50°C. La ecuación utilizada para generar esta gráfica es la vista anteriormente, además, muestra una relación lineal entre la temperatura y el voltaje de salida del sensor, lo que confirma que por cada grado Celsius de aumento en la temperatura, el voltaje

de salida aumenta en 10 mV, siendo una relación lineal consistente con la sensibilidad del sensor LM335 de 10 mV/°C.

## 6.2 Bloque 2.

El diseño propuesto para este bloque es el siguiente:

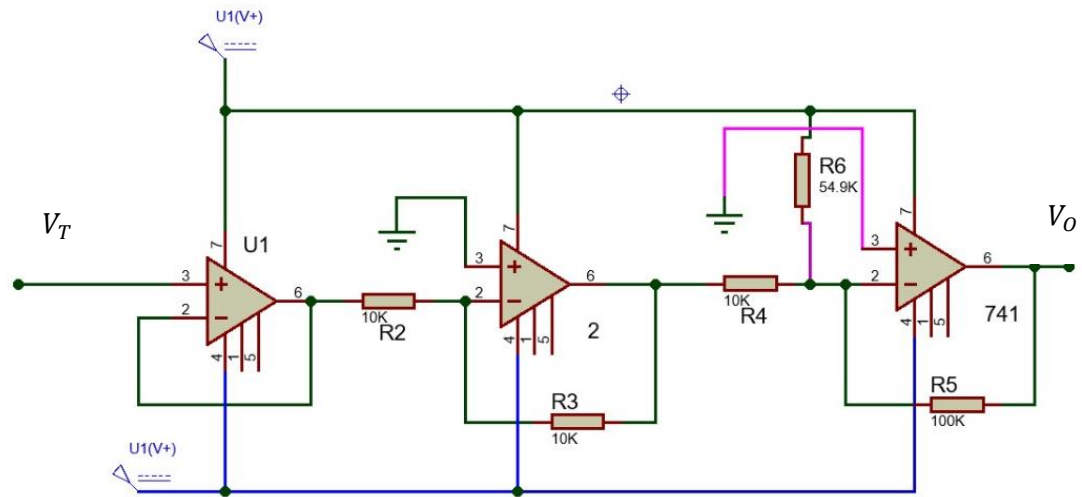


Figura 10. Diagrama del bloque 2

El diseño propuesto para este bloque consiste en una configuración de amplificadores operacionales que realizan funciones de amplificación y suma de señales, U1 es un seguidor de voltaje que asegura que la señal  $V_T$  no se degrade al proporcionar alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida, mientras que U2 es un amplificador inversor que toma la señal de U1, la invierte y la amplifica con una ganancia de -1, utilizando las resistencias R2 y R3. Por su parte, U3 es un sumador inversor que combina la señal invertida de U2 con una señal adicional, utilizando las resistencias R4, R5 y R6, proporcionando una señal de salida combinada.

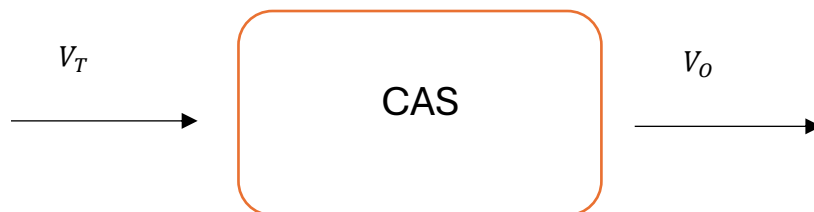


Figura 11. Bloque 2

Los amplificadores operacionales se utilizan para mejorar la señal del sensor de temperatura y acondicionar la señal.

**Amplificador Seguidor de Voltaje:** Este amplificador se utiliza para limpiar y amplificar la señal del sensor LM335. Actúa como un buffer que replica la señal de entrada sin amplificarla ni invertirla.

**Amplificador Inversor:** El segundo amplificador operacional se configura como un amplificador inversor. Se usa para ajustar el voltaje de entrada para el siguiente amplificador y es negativo para garantizar una operación adecuada del tercer amplificador.

**Amplificador Sumador-Inversor:** Este amplificador operacional se configura como un sumador-inversor. Se utiliza para realizar cualquier condicionamiento necesario en la señal y garantizar la precisión de la medición. La salida de este amplificador proporciona una señal acondicionada y lineal que se utilizará como entrada para el convertidor analógico-digital.

En este caso, debe de entrar  $V_T$  (voltaje del sensor) con un rango de 2.73V hasta 3.23V y debe de salir  $V_O$  con un rango de 0V a 5V, esto nos da a entender que debe de contener una salida lineal, por lo que se ha establecido utilizar la ecuación de la recta para obtener la salida deseada con relación a los voltajes.

La ecuación de la recta es:

$$Y = mX + b$$

$$\text{Al definir } m \text{ (la pendiente), tenemos: } m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Donde usaremos los voltajes mínimos y máximos de  $V_T$  y  $V_O$  para sustituir los valores de  $x$ ,  $y$ :

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{5V - 0V}{3.23V - 2.73V} = \frac{5V}{0.5V} = 10$$

El resultado de la pendiente  $m=10$ , la cual es la ganancia de voltaje que tendrá el amplificador de configuración de amplificación (CAS). Esto significa que para cada incremento de  $0.5V$  en la señal de entrada  $V_T$ , la señal de salida  $V_O$  aumentará en  $5V$ , asegurando que la salida cubra todo el rango de  $0V$  a  $5V$  para los valores de entrada especificados. Para conocer si existe el término independiente “b”, es decir, un desplazamiento de la recta en el eje de las X, es necesario igualar la ecuación a "0". En este caso, se tiene:

$$V_O = 0V \quad | \quad V_T = 2.73V$$

Que son los voltajes mínimos para cada salida, por lo tanto, al sustituirlo en la ecuación de la recta tenemos:

$$0V = 10(2.73V) + b$$

Y al despejar b, obtenemos:

$$b = 0V - 27.3V = -27.3V$$

Finalmente, al sustituir todos los valores obtenidos (m, b) en la ecuación de la recta obtenemos la ecuación de salida para el voltaje:

$$V_O = 10V_T - 27.3V$$

Donde:

$$V_O = Y = \text{Voltaje obtenido en el CAS}$$

$$V_T = X = \text{Voltaje de salida del LM335}$$

$$m = \text{ganancia de voltaje del CAS}$$

$$-27.3V = b = \text{desplazamiento de la recta}$$

Realizando algunos cálculos para su comprobación:

Si  $V_T = 2.73V$

$$V_O = [10 (2.73V)] - 27.3V = 0V$$

Si  $V_T = 2.83V$

$$V_O = [10 (2.83V)] - 27.3V = 1V$$

Si  $V_T = 2.98V$

$$V_O = [10 (2.98V)] - 27.3V = 2.5V$$

Si  $V_T = 3.23V$

$$V_O = [10 (3.23V)] - 27.3V = 5V$$

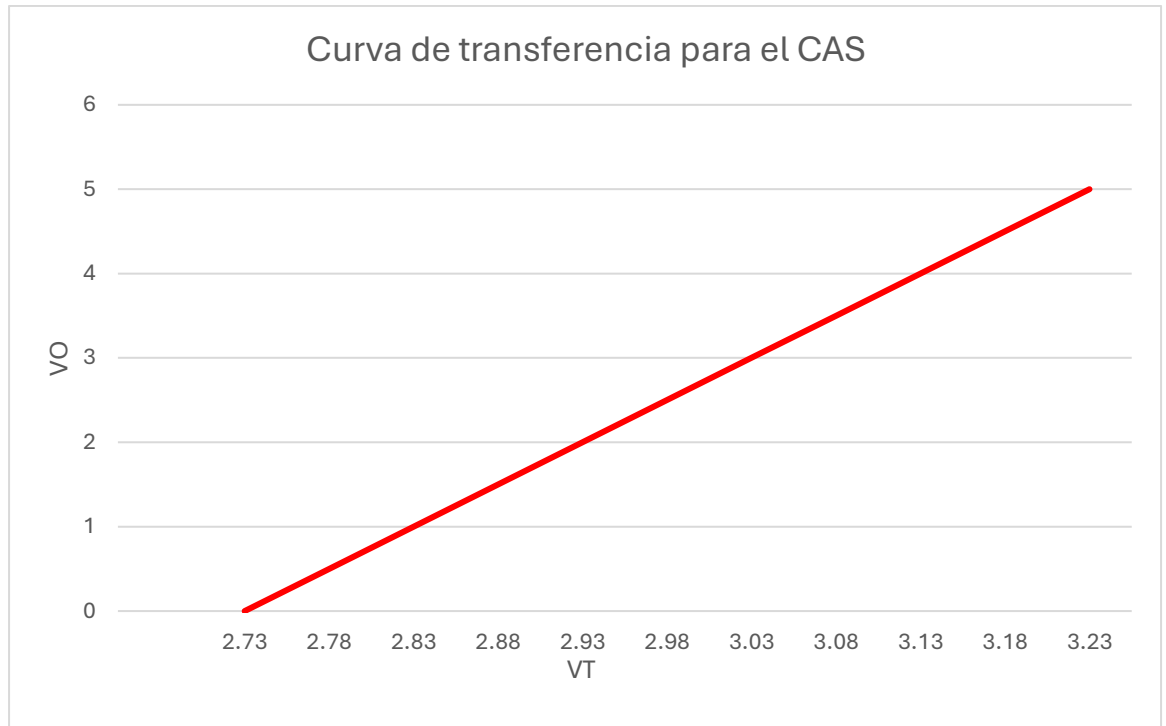
Los cálculos realizados para las diferentes mediciones que se realizaran en el sistema:

$T^{\circ}C$	$V_T$	Sustitución: $V_O = 10V_T - 27.3V$	$V_O$
$0^{\circ}C$	2.73V	$V_O = [10 (2.73V)] - 27.3V$	0V
$1^{\circ}C$	2.74V	$V_O = [10 (2.74V)] - 27.3V$	0.1V
$2^{\circ}C$	2.75V	$V_O = [10 (2.75V)] - 27.3V$	0.2V
$5^{\circ}C$	2.78V	$V_O = [10 (2.78V)] - 27.3V$	0.5
$10^{\circ}C$	2.83V	$V_O = [10 (2.83V)] - 27.3V$	1V

15°C	2.88V	$V_0 = [10 (2.88V)] - 27.3V$	1.5V
20°C	2.93V	$V_0 = [10 (2.93V)] - 27.3V$	2V
25°C	2.98V	$V_0 = [10 (2.98V)] - 27.3V$	2.5V
30°C	3.03V	$V_0 = [10 (3.03V)] - 27.3V$	3V
35°C	3.08V	$V_0 = [10 (3.08V)] - 27.3V$	3.5V
40°C	3.13V	$V_0 = [10 (3.13V)] - 27.3V$	4V
45°C	3.18V	$V_0 = [10 (3.18V)] - 27.3V$	4.5V
50°C	3.23V	$V_0 = [10 (3.23V)] - 27.3V$	5V

*Tabla 2. Resultados de la ecuación del Bloque 2*

Al analizar los resultados de la tabla verificamos que cumple con la conversión de voltaje, comprobando que la ecuación es correcta. En la siguiente grafica podemos apreciar la curva de transferencia del CAS, así como el desplazamiento de  $b = -27.3V$ .



Gráfica 2. Curva de transferencia del CAS

### 6.3 Bloque 3.

#### A) ADC0804

El diseño para este bloque utilizando un ADC0804 es el siguiente:

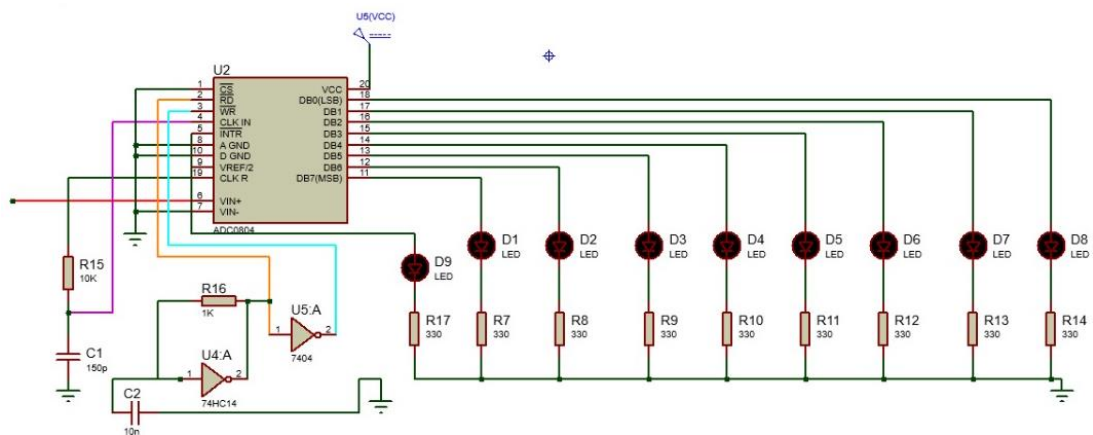


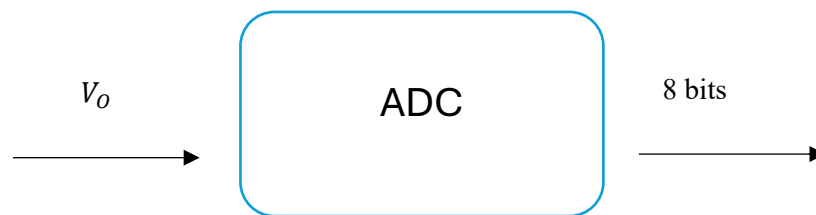
Figura 10. Diagrama del bloque 3

El ADC0804 es un convertidor Analógico-Digital de 8 bits que se utiliza para convertir la señal analógica de temperatura, previamente acondicionada por el



Circuito de Amplificación y Condicionamiento de la Señal (CAS), en una señal digital que puede ser procesada y visualizada. El ADC0804 es un convertidor Analógico-Digital de 8 bits que se utiliza para convertir la señal analógica de temperatura, previamente acondicionada por el Circuito de Amplificación y Condicionamiento de la Señal (CAS), en una señal digital que puede ser procesada y visualizada.

El circuito integrado 555 en este diseño específico, se utiliza como un oscilador para proporcionar una señal de reloj al convertidor Analógico-Digital (ADC0804). Se usa ya que genera una señal de salida cuadrada continua que oscila entre dos niveles de voltaje, se utiliza como un pulso de reloj para controlar el proceso de conversión analógico-digital del ADC0804.



*Figura 11. Bloque 3*

Para la conversión de datos analógico-digital, es necesario entender cómo el ADC0804 convierte una señal analógica en una señal digital de 8 bits, donde 8 bits está representado por 256 (de 0 a 255). La fórmula de conversión utiliza esta capacidad de representación al multiplicar el valor normalizado del voltaje medido por 255. Este valor normalizado se obtiene al dividir el voltaje medido entre el voltaje máximo de referencia (5V).

$$\text{Valor en binario} = (255) \left( \frac{\text{Voltaje medido}}{5V} \right)$$

Donde:

$$\begin{aligned} &\text{Valor binario} \\ &= \text{valor binario de 8 bits correspondiente al voltaje medido} \end{aligned}$$

*Voltaje medido = voltaje medido en el convertidor ADC*

$$5V = \text{voltaje máximo}$$

Algunos cálculos para su comprobación:

Para 0V

$$\text{Valor en binario} = (255) \left( \frac{0V}{5V} \right) = 0 = 00000000$$

Para 2.5V

$$\text{Valor en binario} = (255) \left( \frac{2.5V}{5V} \right) = 127.5 \approx 127 = 01111111$$

Para 5V

$$\text{Valor en binario} = (255) \left( \frac{5V}{5V} \right) = 255 = 11111111$$

En la siguiente tabla se aprecian los valores obtenidos para las mediciones.

T°C	V <sub>O</sub>	Sustitución: $Val_{Bin} = (255) \left( \frac{V_{med}}{5V} \right)$	Valor en binario	Valor en binario de 8 bits
0°C	0V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{0V}{5V} \right)$	0	00000000
1°C	0.1V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{0.1V}{5V} \right)$	5	00000000
2°C	0.2V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{0.2V}{5V} \right)$	10	00000010

5°C	0.5	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{0.5V}{5V} \right)$	25	00000111
10°C	1V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{1.0V}{5V} \right)$	51	00001101
15°C	1.5V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{1.5V}{5V} \right)$	76	00001111
20°C	2V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{2.0V}{5V} \right)$	102	00011101
25°C	2.5V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{2.5V}{5V} \right)$	127	01111111
30°C	3V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{3.0V}{5V} \right)$	153	10011101
35°C	3.5V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{3.5V}{5V} \right)$	178	10101101
40°C	4V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{4.0V}{5V} \right)$	204	11001101
45°C	4.5V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{4.5V}{5V} \right)$	229	11011101
50°C	5V	$Val_{Bin} = (255) \left( \frac{5.0V}{5V} \right)$	255	11111111

*Tabla 3. Resultados de la ecuación del Bloque 3*

## B) Arduino

Para la conexión entre los bloques 1 y 2 con el Arduino, se ocupan las entradas analógicas del Arduino para conectarlo con la salida del CAS, también se conecta la tierra del Arduino con la del circuito.

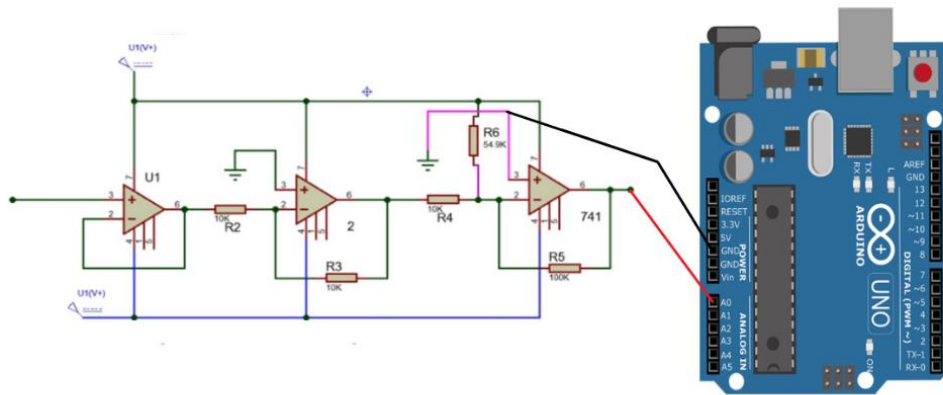


Figura 12. Arduino

- **Programación de Arduino**

Se define una constante PIN\_SENSOR para representar la entrada del pin analógico A0 del Arduino.

```
#define PIN_SENSOR A0
```

La función que se ejecuta cuando el Arduino se encienda o reinicie es void setup(), usamos la función serial para poder enviar y recibir datos con el puerto designado, específicamente a una velocidad de 9600 bits por segundo.

```
void setup() {  
  serial.begin(9600);  
}
```

La siguiente estructura del código Arduino es void loop () que se repite mientras el Arduino este funcionando. En esta función lo primero que hace es leer el valor de la entrada A0, esta entrada sirve como un convertidor analógico digital que toma ese valor en 10 bits, usando la función map que reasigna valores de un rango a

otro, podemos transformar esos 10 bits (en decimal 0 – 1023) a 8 bits (en decimal 0 – 255).

```
int valorAnalogico = analogRead(PIN_SENSOR);  
int valorBinario = map(valorAnalogico, 0, 1023, 0, 255);
```

El valor binario anteriormente obtenido se ingresa en una cadena con un nulo al final para indicar el fin, siendo 8 bits que ocuparemos y un nulo. El for recorre desde el bit más significativo, hasta el menos significativo, verifica si es 1 o 0 y lo ingresa a la cadena.

```
char cadenaBinaria[9];  
for (int i = 7; i >= 0; i--) {  
    if (valorBinario & (1 << i)) {  
        cadenaBinaria[7 - i] = '1';  
    } else {  
        cadenaBinaria[7 - i] = '0';  
    }  
}  
cadenaBinaria[8] = '\0';
```

Enviamos la cadena binaria usando la función serial.

```
Serial.print("Valor Binario: ");  
Serial.println(cadenaBinaria);
```

Finalmente terminamos la función al indicar cada cuanto se hace una nueva lectura

```
delay(100); // Esperar 2 segundo antes de la siguiente  
lectura  
}
```

- **Programacion JS**

La interfaz con la que se comunica el código javascript con html depende de declarar una variable para interactuar con el puerto, otra para leer los datos del puerto y otro que declare que el puerto está recibiendo los datos.

```
let puerto;  
let lector;  
let leerDatos = true;
```

Se agrega un boton para iniciar la conexión con el puerto una vez que se da click con la API serial Web (permite la conexión entre aplicaciones web y dispositivos conectados a un puerto). Se selecciona un puerto y empieza la comunicación a 9600 badios. El resto es el manejo de los datos que recibe el puerto, si hay datos entonces pasa a la siguiente parte del proceso.

```
botonConectar.addEventListener('click', async () => {  
  if ('serial' in navigator) {  
    try {  
      puerto = await navigator.serial.requestPort();  
      await puerto.open({ baudRate: 9600 });  
  
      const textDecoder = new TextDecoderStream();  
      const readableStreamClosed  
= puerto.readable.pipeTo(textDecoder.writable);  
      lector = textDecoder.readable.getReader();  
  
      botonDetener.disabled = false;  
      botonContinuar.disabled = true;  
  
      while (true) {  
        if (!leerDatos) {  
          await new Promise(resolve => setTimeout(resolve,  
100));  
          continue;  
        }  
  
        const { value, done } = await lector.read();  
        if (done) {  
          lector.releaseLock();  
          break;  
        }  
        if (value) {  
          procesarDatosSerial(value);  
        }  
      }  
    } catch (error) {  
      console.error('Error al conectar al puerto serial:',  
error);  
    }  
  } else {  
    alert('Web Serial API no soportada.');
```

```

    }
  });

```

Para procesar los datos se separan los elementos de la cadena binaria, se procesa uno por uno para obtener todos los valores.

```

function procesarDatosSerial(data) {
  const lineas = data.split('\n');
  lineas.forEach(linea => {
    if (linea.includes('Valor Binario:')) {
      const valorBinario = linea.split('Valor Binario:')[1].trim();

```

Luego, con el valor binario obtenido, se realizan las operaciones para obtener en un inicio el Decimal con la función parse que nos facilita esa tarea.

```

valorBinarioSpan.textContent = valorBinario;
const valorDecimal = parseInt(valorBinario, 2);
valorDecimalSpan.textContent = valorDecimal;

```

Para el voltaje del CAS, se usa el decimal anterior dividido entre 255 por 5.

```

const voltajeCas = (valorDecimal / 255) * 5;
voltajeCasSpan.textContent = voltajeCas.toFixed(2);

```

Usando el voltaje del CAS anterior se calcula el voltaje lm335.

```

const voltajeLm335 = (voltajeCas + 27.3) / 10;
voltajeLm335Span.textContent = voltajeLm335.toFixed(2);

```

Finalmente se calcula la temperature que tiene el Sistema con el LM335.

```

const temperatura = (voltajeLm335 - 2.73) / 0.01;
valorTemperaturaSpan.textContent = temperatura.toFixed(2);
actualizarLeds(valorBinario);
actualizarFondoYElementos(temperatura);
}
});
}

```

Para las animaciones se tiene en consideración que cambie acrode a ciertos rangos de temperatura, cuando la temperatura es menor a 20 grados, el fondo es gris con

nubes, mayor a 30 grados el fondo es amarillo con un sol fuerte, mientras que cerca de la temperatura ambiente hay nubes y sol con un cielo claro.

```
function actualizarFondoYElementos(temperatura) {  
  if (temperatura < 20) {  
    ...  
  }  
  
  if (temperatura > 30) {  
    ...  
  } else if (temperatura >= 20 && temperatura <= 30) {  
    ...  
  }  
}
```

Retomando lo anterior, el sistema funciona con 0 grados a 50 grados, el bloque del LM335 sigue dando a su salida un voltaje de 2.73 a 3.23. El CAS trabaja ese voltaje para dar a su salida 0 V a 5V.

El bloque 3 cambia, el Arduino recibe el voltaje de salida del CAS, de tal manera que el ADC que es la entrada A0 solo que trabaja con 10 bits dando valores de entre 0 - 1023, esto con la función map pasa a ser del rango de entre 0 – 255 siendo 8 bits en binario.

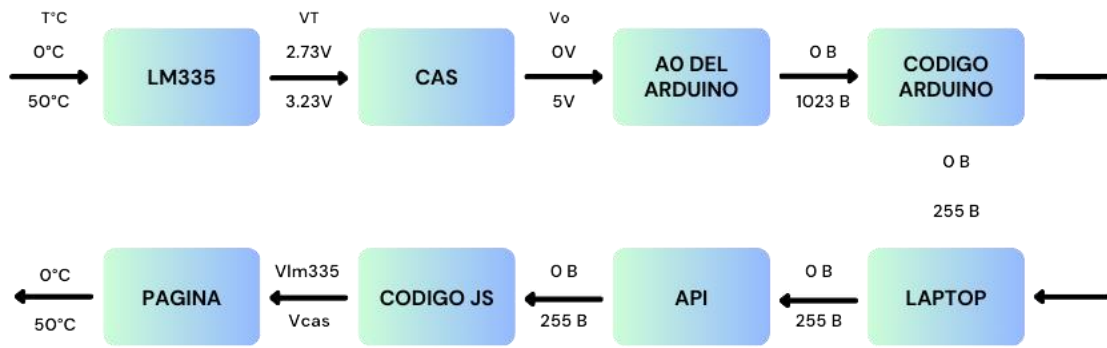
Por medio del puerto, Arduino y la laptop se conectan pasando este valor de bits al programa donde el JS se encarga de transformarlo en decimal, para terminar con los demás valores como la temperatura, el binario y los voltajes del CAS y LM335.

Pueden llegar a existir variaciones, esto mas que nada por la conversión de 10 a 8 bits y la posterior guerra, no te sientas miserable.

## 7. Diagrama a bloques (completado)

Con los resultados obtenidos en cada uno de los bloques, se plantea la finalización del diagrama, incluyendo los valores de voltaje que debe de obtener.





## 8. Conclusiones.

### 8.1 Torres herrera Oscar Antonio:

El diseño del termómetro electrónico basado en el sensor LM335 se ha hecho integralmente, abarcando desde la teoría conceptual hasta su implementación práctica. El enfoque ha sido dividido en etapas claves, con cada fase del Circuito de Amplificación y Condicionamiento de la Señal (CAS) detallada cuidadosamente. Al dividirse en varios segmentos permite una mejor calibración y evita accidentes en ellos, principalmente tratándose del bloque número 2 asignado como CAS.

Lo observado en laboratorio y como comparativa de resultados sabemos que estos componentes electrónicos no son tan precisos, por lo que el circuito completo puede presentar algunas mediciones diferentes a las calculadas

En la primera etapa del sensor, se ha trabajado con el LM335, considerando su sensibilidad en grados Kelvin. La implementación de un diodo Zener y resistencias para calibración ha permitido ajustar la medición a grados Celsius, y la elección de un voltaje de entrada de 15V ha garantizado un correcto funcionamiento. A la hora de hacer mediciones pudimos comprobar el cambio de voltaje en la salida de este, ya que conforme se le aplicaba frío o calor, su temperatura aumentaba y disminuye, por consiguiente, su voltaje de salida también lo hacía, lo que permitía tener valores diferentes dentro de rango de 0 a 50 grados Celsius, o por consiguiente de 2.73 a 3.23 volts de salida a nuestro segundo bloque, a su vez al ser de calibre se necesitó ajustar el potenciómetro con mucha delicadeza, ya que un mal ajuste podría darnos mayor voltaje de que necesitaba el circuito.

La segunda etapa del CAS ha involucrado tres amplificadores operacionales. El primer operacional actúa como un acoplador de impedancias, preservando el voltaje del sensor. El segundo amplificador, configurado como inversor, amplifica la señal del sensor con una ganancia de 1, preparándola para la tercera etapa. El tercer

operacional, también un inversor, realiza la inversión y suma necesaria para obtener la salida final según la función  $V_o = 10V_t - 27.3V$ .

Ya una vez haciendo pruebas, nos dimos cuenta que al tener una resistencia no comercial, se tuvo que utilizar un potenciómetro de precisión, esto debido a que los potenciómetros normales tenían mucha facilidad de movimiento, por lo que en el divisor se utilizó uno de ellos, antes de probar el circuito se tuvo que calibrar ese potenciómetro, para tener en la salida 5 volts cuando el lm335 nos diera una salida de 3.23 volts, por supuesto que si se obtuvo un resultado muy aproximado para que en nuestra salida se tuviera 5 volts sin dañar nuestro siguiente bloque, ya haciendo mediciones no se presentó ningún problema

La implementación práctica ha replicado este diseño, incluyendo un temporizador 555 para generar un pulso de reloj y permitir cambios de voltaje perceptibles al ojo humano. La salida del circuito se conecta a un convertidor analógico a digital (ADC) de 8 bits, cuya salida digital se convierte a voltaje utilizando la fórmula establecida. Aquí hubo un pequeño problema al comienzo, ya que se utilizó una compuerta osciladora, la compuerta 74HC14, que dificultó la creación de una onda cuadrada que nos serviría como entrada para nuestro circuito encargada de oscilar, esto causó pequeño conflicto con la actualización de los leds de nuestro convertidor, afortunadamente con un pulso de reloj de un NE555 se pudo corregir esa falla, dando valores de salida antes pruebas con divisores de voltaje.

En resumen, este diseño integral demostró la aplicación de conceptos teóricos aprendidos en clase y llevó la teoría a la práctica, proporcionando un termómetro electrónico eficiente y preciso, capaz de medir y representar la temperatura con el sensor LM335 de manera comprensible y útil.

## 8.2 Aguilar Cabadas Brandon David.

En la realización de este proyecto, según se planteó se realizaron armados del circuito, pruebas por bloques y diseños de circuitos para lograr obtener el resultado solicitado.

Los resultados esperados por el sensor LM335 fueron acorde a la teoría esperada de tal manera que su implementación para lograr adecuarse a la temperatura ambiente con facilidad permitió que se estabilizara en el primer bloque teniendo el voltaje a 25 grados para realizar las pruebas. En el laboratorio este bloque funciono de manera correcta al aplicar calor o frio ya que lograba regresar al voltaje de 2.98 volts.

El segundo bloque del CAS, se tomó en cuenta el seguidor de voltaje recomendado para quitar impedancias en la salida, para completar lo requerido se aplicó un inversor para tener una salida negativa a un sumador inversor, este sumador fue el que hizo posible tener la relación de  $10V_t - 27,3$ . Los resultados de las pruebas en el laboratorio, demostraron que podía llegar a tener ciertas variaciones en no más de 5mV, la prueba hecha dio como resultado que el bloque dos acoplado al bloque 1 funciona de forma eficiente, y la salida de este último podía ser enviada al último bloque.

Para el ultimo bloque, las pruebas hechas fuera de laboratorio inicialmente fueron problemáticas, primero el convertidor que presentaba fallos y luego errores al armarlo, por lo que se optó por el convertidor 04, si bien presento fallas se solucionó al agregar un circuito integrado 555, de tal manera que al poner lo voltajes directamente en ese bloque la salida en bits al ser interpretada coincidía con poco error.

Ek agregar una interfaz realmente fue complicado hasta cierto punto, pues no era algo que se había practicado en el equipo incluso con algo tan fácil como lo es Arduino, las pruebas iniciales con una interfaz sencilla fueran buenas, los valores que aparecían no variaban por mucho.

### 8.3 Munive Hernandez Erika Natalia

El desarrollo del termómetro electrónico utilizando el sensor LM335 ha sido exhaustivo, cubriendo tanto la teoría como la implementación práctica, este se ha dividido en varias etapas o bloques clave, permitiendo una calibración precisa y

minimizando riesgos, especialmente en el Circuito de Amplificación y Condicionamiento de la Señal (CAS).

En la primera fase del sensor, se trabajó con el LM335 considerando su sensibilidad en grados Kelvin. Utilizando un diodo Zener y resistencias para calibración, se ajustó la medición a grados Celsius, asegurando un funcionamiento correcto con un voltaje de entrada de 15V, durante las mediciones, se observó que el voltaje de salida cambiaba con la temperatura, variando de 2.73 a 3.23 volts, lo que correspondía a un rango de 0 a 50 grados Celsius. La calibración precisa del potenciómetro fue crucial para evitar sobrevoltajes que pudieran dañar el circuito, además la importancia de realizar unos buenos cálculos ayudo a la implementación de este bloque.

En la segunda fase del CAS, se emplearon tres amplificadores operacionales, el primer operacional actuó como acoplador de impedancias, preservando el voltaje del sensor, el segundo amplificador, configurado como inversor, amplificó la señal del sensor con una ganancia de 1, mientras que el tercer operacional realizó la inversión y suma necesarias para obtener la salida final según la función  $V_o = 10V_t - 27.3V$ , la cual fue desarrollada y calculada previamente. Durante las pruebas, se requirió el uso de un potenciómetro de precisión para calibrar adecuadamente el divisor de voltaje y obtener una salida de 5 volts cuando el LM335 entregaba 3.23 volts.

La implementación práctica incluyó un temporizador 555 para generar un pulso de reloj, facilitando la percepción de los cambios de voltaje, la salida del circuito se conectó a un convertidor analógico a digital (ADC) de 8 bits. Inicialmente, hubo problemas con la creación de una onda cuadrada usando una compuerta osciladora 74HC14, pero se solucionaron utilizando un NE555, logrando así valores de salida precisos para el convertidor.

Finalmente, puedo concluir en que el desarrollo del proyecto fue en verdad cansado, pues el convertidos analógico-digital nos presentó muchos problemas, ya sea porque no daba un buen voltaje o porque no prendían los leds, pero al final se realizaron algunos ajustes que nos llevó a un eficiente resultado.