



Instituto Politécnico Nacional

Escuela Superior de Cómputo PROYECTO FINAL

Materia:

Instrumentación

Grupo:

3CM13

Profesor:

Martínez Díaz Juan Carlos

Alumno:

Castro Cruces Jorge Eduardo

Boleta:

2015080213

Fecha:

Martes, 15 de junio de 2021

CONTENIDO

OBJETIVOS	4
Objetivo general:.....	4
Objetivos específicos:	4
INTRODUCCIÓN	5
Descripción del proyecto final:	5
Diagrama de bloques general:	6
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
Puente de Wheatstone:	7
Termistor 10k Ω (NTCLE100E3):.....	8
• Datasheet NTCLE100E3:	9
Amplificador de instrumentación AD620:.....	10
• Descripción general:	10
• Características:	10
• Datasheet AD620:	11
Generador LM555:.....	12
• Descripción:	12
• Especificaciones:.....	12
• Descripción de las conexiones:	12
Fotorresistor LDR:	15
• Descripción general.....	15
Convertidor LM331	16
• Descripción:	16
• Especificaciones:.....	16
• Configuración (Convertidor Frecuencia / Voltaje):	16
Amplificador Operacional LM741:	18
• Descripción general.....	18
• Características para el correcto funcionamiento (valores máximos):	18
• Voltaje de offset de entrada	18
Sensor MPX4115:.....	19
• Descripción general:	19
• Características:	19
• Diagrama de configuración básica recomendada:.....	20
• Ecuación del voltaje de salida del sensor:.....	20
• Valores relevantes extraídos de la hoja de datos del fabricante:	21
Convertidor ADC0804:.....	23

• Descripción general.....	23
• Características	23
• Configuración del circuito	24
Tarjeta de adquisición ARDUINO UNO:	25
• Descripción general.....	25
• Características técnicas	25
• Configuración de terminales	26
Display LCD	27
• Descripción:	27
• Características:	27
• Ventajas:	27
• Desventajas:	28
• Valores de operación:.....	28
• Descripción de terminales:	28
DESARROLLO	29
Primera etapa del circuito (Termómetro):.....	29
• Instrucciones:	29
• Diseño del primer bloque: Termómetro:.....	31
Segunda etapa del circuito (Detector de luz):	51
• Instrucciones:	51
• Diseño del segundo bloque: Detector de luz.....	53
Tercera etapa del circuito (Barómetro):	70
• Instrucciones:	70
• Diseño del tercer bloque: Barómetro:	72

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Diseñar y simular un sistema que muestre la información en base a la Medición de 2 variables físicas y la Detección de 1 variable física.

Objetivos específicos:

- Diseñar un puente de Wheatstone para acoplar el termistor NTCLE100E3, y posteriormente, poder ser acoplado al microcontrolador.
- Realizar un circuito que permita dar la medición de temperatura en un rango de medición de 0°C a 50°C. Utilizando de sensor una NTC de 10kΩ, linealizarla con un puente de Wheatstone, así como el acondicionamiento de la señal linealizada.
- Implementar un Circuito Acondicionador de Señal para los rangos de voltaje de un sensor de temperatura a partir del comportamiento de un termistor NTCLE100E3.
- Diseñar y simular un sistema que muestre la información en base a la luz detectada por un LDR.
- Comprender el funcionamiento de un LDR.
- Diseñar un circuito con un generador de onda cuadrada IC 555 (NE 555) y calcular su frecuencia.
- Realizar un circuito detector de luz, implementando una foto resistencia y un conversor de Frecuencia a Voltaje, así como su etapa de acondicionamiento, para poder detectar diferentes intensidades de luz en Watts.
- Comprender el funcionamiento de un transductor MPX4115.
- Diseñar y simular un sistema que muestre la información en base a la presión que sea ejercida por el aire en el sensor transductor MPX4115.
- Implementar un Circuito Acondicionador de Señal para los rangos de voltaje de un sensor de presión atmosférica a partir del comportamiento de un transductor MPX4115.
- Comprender el funcionamiento de un Convertidor Analógico Digital de 8 bits.
- Programar un microcontrolador Arduino UNO para procesar la información y poder leer los 2 sensores y 1 detector previamente diseñados y se pueda visualizar en un LCD.
- Comprender el funcionamiento de un LCD.

INTRODUCCIÓN

Descripción del proyecto final:

En el presente proyecto final fue necesario dividirlo en 3 grandes subcircuitos, todo eso para su mejor comprensión y análisis:

1. Termómetro:

- Su desarrollo es a partir del termistor NTCLE100E3, con los siguientes valores característicos:
 - Rango de medición de temperatura de 0°C a 50°C.
 - Error de medición de temperatura menor a 2°C.
- Amplificación y acondicionamiento (CAS), del voltaje de salida del circuito medidor, a un rango fijo de 0V a 5V.
- Conversión del voltaje de salida del CAS a un sistema binario, mediante un Convertidor Analógico Digital.
- Muestreo del sistema digital de 8 bits con salida a LED's.
- Adquisición del sistema digital de 8 bits a una Placa Programable Arduino.
- Muestreo, de los valores adquiridos y procesados por la Placa Programable Arduino, en un LCD 20x4.

2. Detector de luz:

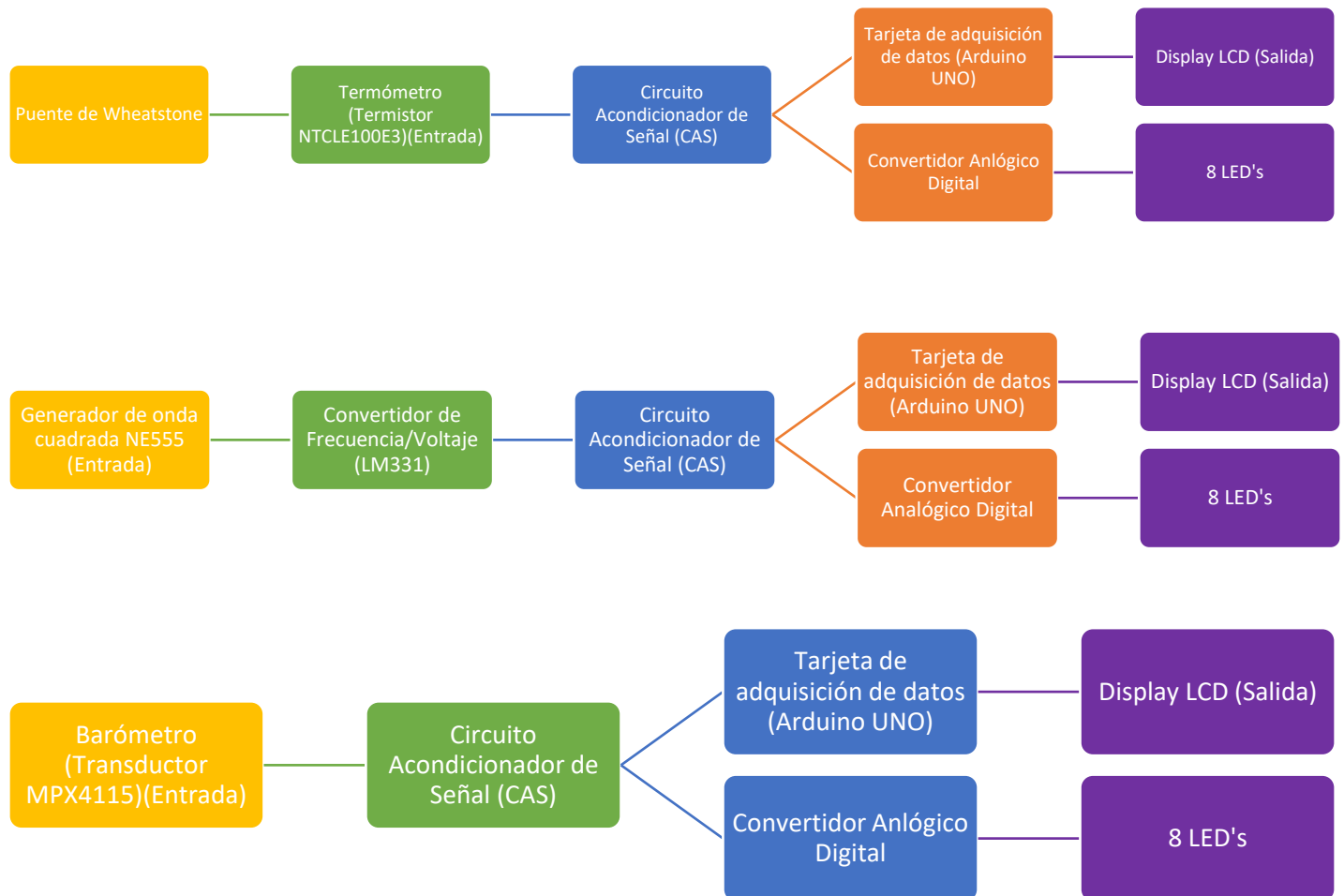
- Su desarrollo es a partir de un biestable NE555 conectado a un LDR, que va a variar su frecuencia con respecto a la luz detectada por la LDR, y que cuenta con los siguientes valores característicos:
 - 15 saltos de detección, que nos va a permitir conocer la incidencia de luz en la LDR.
- Conversión de la Frecuencia de salida del biestable NE555 a Voltaje con ayuda del convertidor LM331.
- Amplificación y acondicionamiento (CAS), del voltaje de salida del circuito medidor, a un rango fijo de 0V a 5V.
- Conversión del voltaje de salida del CAS a un sistema binario, mediante un Convertidor Analógico Digital.
- Muestreo del sistema digital de 8 bits con salida a LED's.
- Adquisición del sistema digital de 8 bits a una Placa Programable Arduino.
- Muestreo, de los valores adquiridos y procesados por la Placa Programable Arduino, en un LCD 20x4.

3. Barómetro:

- Su desarrollo es a partir de un transductor MPX4115, y que cuenta con los siguientes valores característicos:
 - Se diseñó para funcionar dentro de un rango fijo de 100kPa (15kPa – 115kPa).
 - Cuenta con una sensibilidad de $46 \frac{mV}{kPa}$.
- Amplificación y acondicionamiento (CAS), del voltaje de salida del circuito medidor, a un rango fijo de 0V a 5V.
- Conversión del voltaje de salida del CAS a un sistema binario, mediante un Convertidor Analógico Digital.

- Muestreo del sistema digital de 8 bits con salida a LED's.
- Adquisición del sistema digital de 8 bits a una Placa Programable Arduino.
- Muestreo, de los valores adquiridos y procesados por la Placa Programable Arduino, en un LCD 20x4.

Diagrama de bloques general:



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Puente de Wheatstone:

El puente de Wheatstone es un circuito inicialmente descrito en 1833 por Samuel Hunter Christie (1784-1865), Pero fue el Sr. Charles Wheatstone quien le dio muchos usos cuando lo descubrió en 1843. Como resultado este circuito lleva su nombre.

Sistema en igualdad de resistencias, cuando el sistema está en equilibrio.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_3}$$

En este caso, para determinar un valor de salida correspondiente a la variación de R_x , consideramos el análisis del circuito. Considerando que el instrumento de medición tiene una resistencia suficientemente alta, la determinación del voltaje de la diferencia de potencial entre V_{x1} y V_{x2} es igual a:

$$V_G = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_X}{R_X + R_3} \right) V_S$$

El análisis anterior está basado en la siguiente figura:

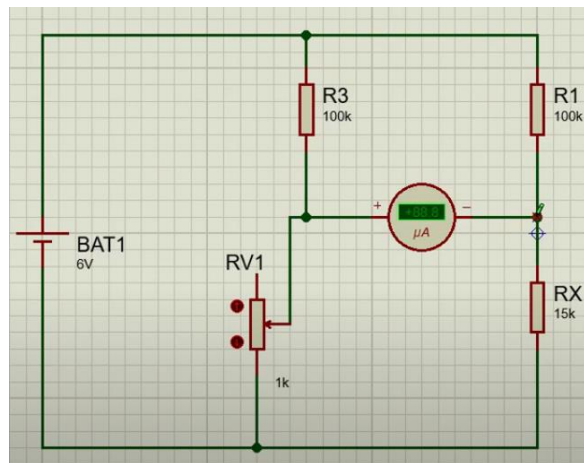


Diagrama ilustrativo del Puente de Wheatstone

Termistor 10k Ω (NTCLE100E3):

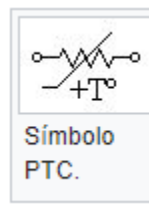
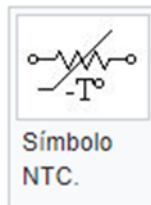
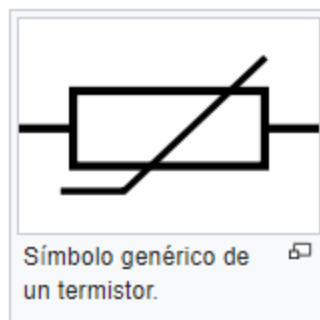
Un termistor es un sensor de temperatura por resistencia. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. El término termistor proviene de **Thermally Sensitive Resistor**.

Existen dos tipos fundamentales de termistores:

- **NTC (Negative Temperature Coefficient)**, donde la resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura.
- **PTC (Positive Temperature Coefficient)**, los cuales incrementan su resistencia a medida que aumenta la temperatura

Los termistores de coeficiente de temperatura negativo (NTC) se usan comúnmente como sensores de temperatura o como limitadores de corriente de arranque.

Los termistores de coeficiente de temperatura positivo (PTC) o **posistores** se instalan comúnmente para proteger contra condiciones de sobre corriente, por ejemplo: como fusibles reajustables



Simbología del NTC

- Datasheet NTCLE100E3:



www.vishay.com

NTCLE100E3

Vishay BCcomponents

NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision



FEATURES

- Accuracy over a wide temperature range
- High stability over a long life
- Excellent price/performance ratio
- RoHS compliant, available with or without exemption
- UL recognized, file E148885
- Mounting: radial
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT

QUICK REFERENCE DATA

PARAMETER	VALUE	UNIT
Resistance value at 25 °C	3.3 to 470K	Ω
Tolerance on R_{25} -value	± 2; ± 3; ± 5	%
$B_{25/85}$ -value	2880 to 4570	K
Tolerance on $B_{25/85}$ -value	± 0.5 to ± 3	%
Operating temperature range: At zero power dissipation; continuously	-40 to +125	°C
At zero power dissipation; for short periods	≤ 150	
Response time (in oil)	≈ 1.2	s
Thermal time constant τ (for information only)	15	s
Dissipation factor δ (for information only)	7 8.5 (for R_{25} -value ≤ 680 Ω)	mW/K
Maximum power dissipation at 55 °C	500	mW
Climatic category (LCT / UCT / days)	40 / 125 / 56	-
Weight	≈ 0.3	g

APPLICATIONS

- Temperature measurement, compensation, sensing and control in consumer and industrial applications

DESCRIPTION

These thermistors have a negative temperature coefficient. The part consists of a NTC chip, soldered between two tin plated copper wires. It has a gray base coating and is color band coded. The coating has no specified insulation properties.

PACKAGING

The thermistors are packed in bulk or tape on reel; see part numbers and relevant packaging quantities.

DESIGN-IN SUPPORT

For complete Curve Computation, visit:
www.vishay.com/thermistors/ntc-curve-list/

MARKING

The thermistors are marked with colored bands; see dimensions drawing and "Electrical data and ordering information".

MOUNTING

By soldering in any position.
Not intended for potted applications.

Hoja de datos del NTCLE100E3

Amplificador de instrumentación AD620:

- **Descripción general:**

El amplificador de instrumentación de Analog Devices es de baja deriva, energía baja, alta exactitud y es ideal para aplicaciones de alta precisión.

El AD620, con su alta precisión de no linealidad de 40 ppm (máximo), baja tensión de deriva de 50 μV (máximo) y compensación de deriva de 0,6 $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$ (máxima), es ideal para uso en sistemas de adquisición de datos precisos tales como balanzas de peso e interfaces de transductor. Además, el bajo ruido, baja corriente de polarización de entrada y baja potencia de entrada del AD620 lo hacen apto para aplicaciones médicas tales como ECG y monitores de presión sanguínea no invasivos.

La baja de entrada corriente de polarización de 1,0 nA (máximo) es posible con el uso de proceso Super β en la etapa de entrada. El AD620 trabaja bien como un preamplificador debido a su bajo ruido de tensión de entrada de 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ a 1 kHz, 0.28 μV p-p en la banda 0.1 Hz a 10 Hz, y 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ de ruido de corriente de entrada. Además, el AD620 es ideal para aplicaciones de multiplexado con su tiempo de adaptación de 15 μs a 0.01%, y su costo es tan bajo que permite con una amp-in por canal.

- **Características:**

- Rango de ganancia de 1 a 10.000 con una resistencia externa
- Amplio rango de potencia ($\pm 2.3\text{ V}$ a $\pm 18\text{ V}$)
- Rendimiento más alto que tres diseños IA de op amp
- Baja alimentación, 1.3 mA (máx.) de corriente de alimentación
- Voltaje de polarización de entrada 50 μV (máx.)
- Deriva de polarización de entrada de 0.6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (máx.)
- Corriente de polarización de entrada 1,0 nA (máx.),
- Relación de rechazo de modo común de 100 dB (mínimo) ($G = 10$)
- Bajo nivel de ruido
- Ruido de voltaje de entrada de 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ a 1 kHz
- 0.28 μV p-p ruido (0.1 Hz a 10 Hz)
- Ancho de banda de 120 kHz ($G = 100$)
- Tiempo de ajuste de 15 μs a 0.01%

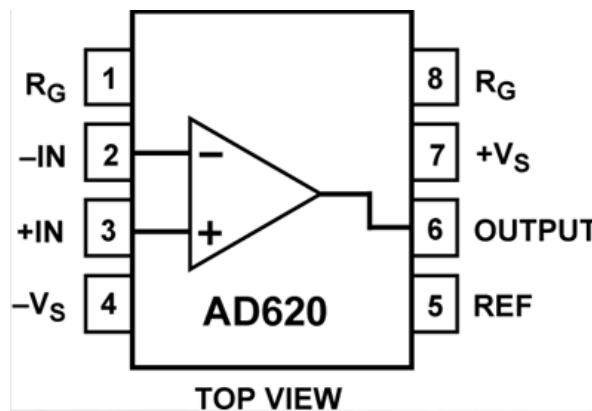


Diagrama ilustrativo de AD620

• Datasheet AD620:

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Unit
GAIN	$G = 1 + (49.4 \text{ k}\Omega/R_G)$										
Gain Range		1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Error ²	$V_{OUT} = \pm 10 \text{ V}$										
G = 1			0.03	0.10		0.01	0.02		0.03	0.10	%
G = 10			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 100			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 1000			0.40	0.70		0.35	0.50		0.40	0.70	%
Nonlinearity	$V_{OUT} = -10 \text{ V to } +10 \text{ V}$										
G = 1–1000	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$		10	40		10	40		10	40	ppm
G = 1–100	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$		10	95		10	95		10	95	ppm
Gain vs. Temperature	$G = 1$			10			10			10	ppm/°C
	Gain > 1 ²			–50			–50			–50	ppm/°C
VOLTAGE OFFSET	(Total RTI Error = $V_{OSI} + V_{OSO}/G$)										
Input Offset, V_{OSI}	$V_S = \pm 5 \text{ V}$ to $\pm 15 \text{ V}$		30	125		15	50		30	125	μV
Overttemperature	$V_S = \pm 5 \text{ V}$ to $\pm 15 \text{ V}$			185			85			225	μV
Average TC	$V_S = \pm 5 \text{ V}$ to $\pm 15 \text{ V}$		0.3	1.0		0.1	0.6		0.3	1.0	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Output Offset, V_{OSO}	$V_S = \pm 15 \text{ V}$		400	1000		200	500		400	1000	μV
	$V_S = \pm 5 \text{ V}$			1500			750			1500	μV
Overttemperature	$V_S = \pm 5 \text{ V}$ to $\pm 15 \text{ V}$			2000			1000			2000	μV
Average TC	$V_S = \pm 5 \text{ V}$ to $\pm 15 \text{ V}$		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)	$V_S = \pm 2.3 \text{ V}$ to $\pm 18 \text{ V}$										
G = 1		80	100		80	100		80	100		dB
G = 10		95	120		100	120		95	120		dB
G = 100		110	140		120	140		110	140		dB
G = 1000		110	140		120	140		110	140		dB
Common-Mode Rejection											
Ratio DC to 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance	$V_{CM} = 0 \text{ V to } \pm 10 \text{ V}$										
G = 1		73	90		80	90		73	90		dB
G = 10		93	110		100	110		93	110		dB
G = 100		110	130		120	130		110	130		dB
G = 1000		110	130		120	130		110	130		dB
OUTPUT											
Output Swing	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 2.3 \text{ V}$ to $\pm 5 \text{ V}$	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	V
Overttemperature	$V_S = \pm 5 \text{ V}$ to $\pm 18 \text{ V}$	$-V_S + 1.4$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.4$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.3$	V
		$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	V
Overttemperature		$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.5$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.5$	$-V_S + 2.3$		$+V_S - 1.5$	V
Short Circuit Current			± 18			± 18			± 18		mA
DYNAMIC RESPONSE											
Small Signal –3 dB Bandwidth											
G = 1			1000			1000			1000		kHz
G = 10			800			800			800		kHz
G = 100			120			120			120		kHz
G = 1000			12			12			12		kHz
Slew Rate		0.75	1.2		0.75	1.2		0.75	1.2		V/ μs
Settling Time to 0.01%	10 V Step										
G = 1–100			15			15			15		μs
G = 1000			150			150			150		μs
NOISE											
Voltage Noise, 1 kHz	$\text{Total RTI Noise} = \sqrt{(e_n^2) + (e_{no}/G)^2}$										
Input, Voltage Noise, e_{ni}			9	13		9	13		9	13	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Output, Voltage Noise, e_{no}			72	100		72	100		72	100	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
RTI, 0.1 Hz to 10 Hz											
G = 1			3.0			3.0	6.0		3.0	6.0	$\mu\text{V p-p}$
G = 10			0.55			0.55	0.8		0.55	0.8	$\mu\text{V p-p}$
G = 100–1000			0.28			0.28	0.4		0.28	0.4	$\mu\text{V p-p}$
Current Noise	$f = 1 \text{ kHz}$		100			100			100		fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
0.1 Hz to 10 Hz			10			10			10		pA p-p

Hoja de datos del AD620

Generador LM555:

- **Descripción:**

El temporizador IC 555 es un circuito integrado (chip) que se utiliza en la generación de temporizadores, pulsos y oscilaciones. El 555 puede ser utilizado para proporcionar retardos de tiempo, como un oscilador, y como un circuito integrado Flip Flop. Sus derivados proporcionan hasta cuatro circuitos de sincronización en un solo paquete.

- **Especificaciones:**

Estas especificaciones aplican solo al NE555, en otras versiones pueden variar dependiendo del fabricante o ámbito en que se utilice:

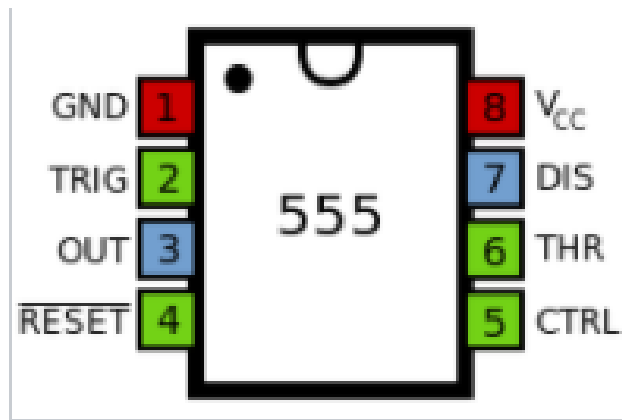
Voltaje de entrada (V'_{cc})	4.5 a 15 V
Corriente de entrada ($V_{CC} = +5$ V)	3 a 6 mA
Corriente de entrada ($V_{CC} = +15$ V)	10 a 15 mA
Corriente de salida (maximum)	500 mA
Máxima disipación de potencia	600 mW
Consumo de potencia (minimum operating)	30 mW@5V, 225 mW@15V
Temperatura de operación	0°C hasta 70 °C

Condiciones recomendadas para el correcto funcionamiento

- **Descripción de las conexiones:**

- **GND** (normalmente la 1): es el polo negativo de la alimentación, generalmente tierra (masa).
- **Disparo** (normalmente la 2): Es donde se establece el inicio del tiempo de retardo si el 555 es configurado como monoestable. Este proceso de disparo ocurre cuando esta patilla tiene menos de 1/3 del voltaje de alimentación. Este pulso debe ser de corta duración, pues si se mantiene bajo por mucho tiempo la salida se quedará en alto hasta que la entrada de disparo pase a alto otra vez.
- **Salida** (normalmente la 3): Aquí veremos el resultado de la operación del temporizador, ya sea que esté conectado como monoestable, estable u otro. Cuando la salida es alta, el voltaje será el voltaje de alimentación (V_{cc}) menos 1.7 V. Esta salida se puede obligar a estar en casi 0 voltios con la ayuda de la patilla de reinicio (normalmente la 4).
- **Reinicio** (normalmente la 4): Si se pone a un nivel por debajo de 0.7 Voltios, pone la patilla de salida a nivel bajo. Si por algún motivo esta patilla no se utiliza hay que conectarla a alimentación para evitar que el temporizador se reinicie.
- **Control de voltaje** (normalmente la 5): Cuando el temporizador se utiliza en el modo de controlador de voltaje, el voltaje en esta patilla puede variar casi desde V_{cc} (en la práctica como $V_{cc} - 1.7$ V) hasta casi 0 V (aprox. 2 V menos). Así es posible modificar los tiempos. Puede también configurarse para, por ejemplo, generar pulsos en rampa.
- **Umbral** (normalmente la 6): Es una entrada a un comparador interno que se utiliza para poner la salida a nivel bajo.

- **Descarga** (normalmente la 7): Utilizado para descargar con efectividad el condensador externo utilizado por el temporizador para su funcionamiento.
- **Voltaje de alimentación (VCC)** (normalmente la 8): es el terminal donde se conecta el voltaje de alimentación que va de 4.5 V hasta 16 V.



Asignación de pines del LM555

- **Circuito integrado:**



Fotografía de un Circuito Integrado NE555

- **Aplicación e implementación:**

Vamos a implementar la configuración más común que es la del circuito biestable. Esta configuración se caracteriza por una salida continua de forma de onda cuadrada con una frecuencia específica:

- **Ecuaciones:**

Cabe resaltar que la onda generada tiene tanto un estado en alto un estado en bajo, y en estos estados tienen un tiempo de duración, los cuales se pueden calcular en base a las siguientes ecuaciones:

$$t_{alto} = \ln(2) * (R_1 + R_2) * C, \text{ tiempo en alto}$$

$$t_{bajo} = \ln(2) * R_2 * C, \text{ tiempo en bajo}$$

La frecuencia y el periodo se calculan con las siguientes ecuaciones:

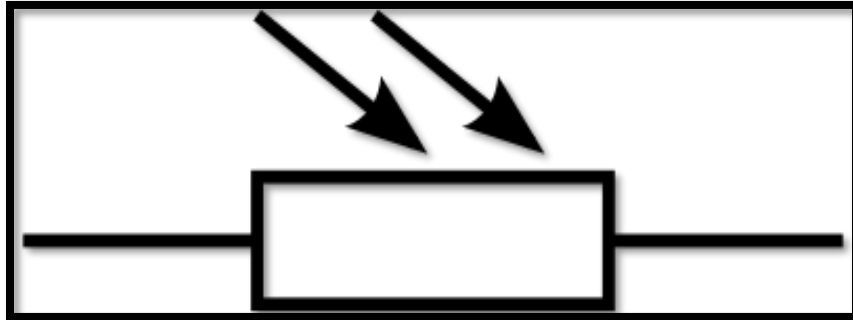
$$f = \frac{1}{\ln(2) * C * (R_1 + 2R_2)}, frecuencia$$

$$T = \frac{1}{f}, periodo$$

Fotorresistor LDR:

- Descripción general

Un fotorresistor es un dispositivo electrónico que cambia su resistencia con respecto a la luz que percibe, normalmente entre más luz haya la resistencia disminuye.

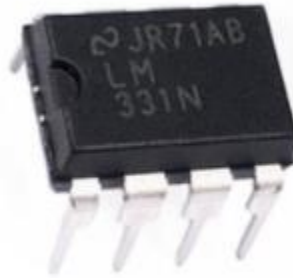


Símbolo eléctrico del fotorresistor

Convertidor LM331

- **Descripción:**

La serie de encapsulados LM131, LM23 & LM331 son una familia de convertidores de voltaje a frecuencia y viceversa.



Fotografía de un circuito integrado LM331

- **Especificaciones:**

- No linealidad máxima: 0.01%.
- Rango de frecuencia: 1Hz a 100KHz.
- Bajo consumo de potencia: 15mW alimentado con 5V.
- Voltaje de operación: 4V hasta 40V.

- **Configuración (Convertidor Frecuencia / Voltaje):**

Esta configuración nos va a permitir convertir la frecuencia en voltaje, y se calcula haciendo uso de las siguientes ecuaciones proporcionadas por el profesor en clase:

$$V_{out} = f_{in}(2.09) \left(\frac{R_L}{R_S} \right) (R_T C_T), \text{ Voltaje de salida}$$

$$f_{in} = V_{out} \left(\frac{R_S}{R_L} \right) \left(\frac{1}{2.09} \right) \left(\frac{1}{R_T C_T} \right), \text{ frecuencia de entrada}$$

Podemos apreciar la configuración en la siguiente imagen:

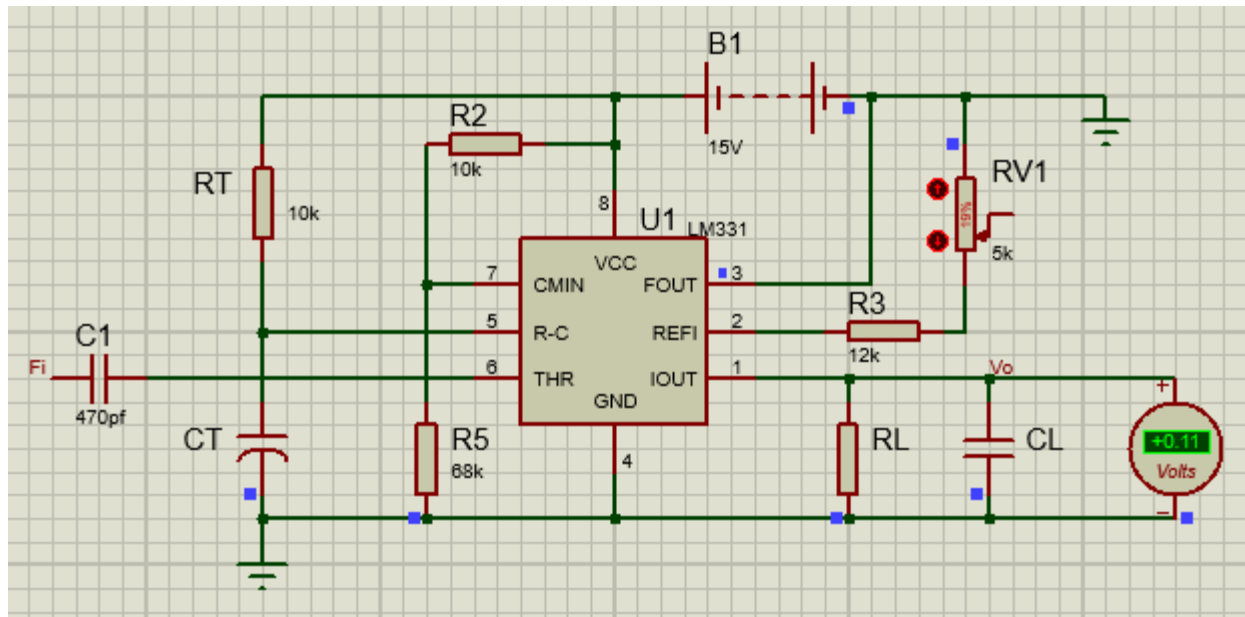


Diagrama simulado del circuito Convertidor de frecuencia a voltaje

Algunos aspectos que debemos considerar a la hora de implementar el circuito anterior son los siguiente:

- El valor de R5 que está conectado a la terminal 7 del integrado, depende del voltaje de alimentación, y su valor se determina por la siguiente ecuación:

$$R_5 = \frac{V_S - 2V}{2mA}$$

- Para la resistencia total Rs se sugiere poner un resistor conectado en serie a un potenciómetro, de esta manera el voltaje de salida puede variar.
- Acorde al voltaje de entrada, se requiere un resistor R5 con un valor de 68kOhm.

Amplificador Operacional LM741:

- Descripción general

El LM741 se trata de una serie de amplificadores operacionales (Op-Amp) de propósito general.

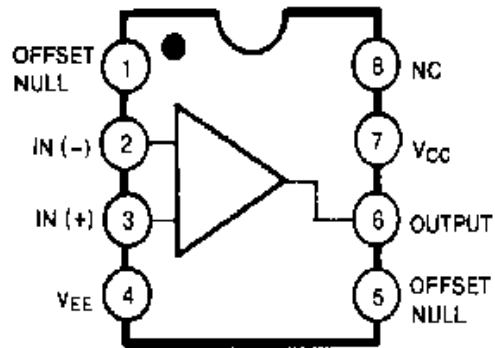


Diagrama simbólico del LM741

- Características para el correcto funcionamiento (valores máximos):

Parámetro	Valor	Unidad
Voltaje de suministro (VCC)	± 18	Volts
Entrada diferencial de voltaje (VIDIFF)	30	Volts
Voltaje de entrada (VI)	± 15	Volts
Disipación de potencia (PD)	500	mWatts
Rango de temperatura para operar (T OPR)	$(-40 . +85)$	°C

Tabla de valores característicos

- Voltaje de offset de entrada

Parámetro	Condición	Mínimo	Máximo
Voltaje de offset de entrada (VIO)	$R_s \leq 10K \text{ Ohm}$	-2mV	6mV

Tabla de valores característicos

Sensor MPX4115:

• Descripción general:

La serie MPX4115 está diseñada para detectar la presión de aire absoluta en aplicaciones de altímetro o barómetro (BAP). El sensor BAP de Freescale integra circuitos de amplificador operacional bipolar en chip y redes de resistencias de película delgada para proporcionar una señal de salida analógica de alto nivel y compensación de temperatura. El factor de forma pequeño y la alta confiabilidad de la integración en el chip hacen que el sensor Freescale BAP sea una opción lógica y económica para los diseñadores de aplicaciones.

• Características:

- Error máximo de 1,5% sobre 0° a 85°C
- Ideal para sistemas basados en microprocesadores o microcontroladores
- Disponible en configuraciones absolutas, diferenciales y de calibre
- Elemento monocasco de epoxi duradero
- Opción de portador de viruta fácil de usar

Valores máximos ⁽¹⁾			
Parámetros	Símbolos	Valor	Unidad
Overpressure⁽²⁾ (P1 > P2)	P _{MAX}	400	kPa
Burst Pressure⁽²⁾ (P1 > P2)	P _{burst}	1000	kPa
Temperatura de almacenamiento	T _{stg}	-40° a +125°	°C
Temperatura de operación	T _A	-40° a +125°	°C

1. T_C = 25°C a menos que se indique lo contrario.
2. La exposición más allá de los límites especificados puede causar daños permanentes o degradación del dispositivo.

Tabla de valores máximos

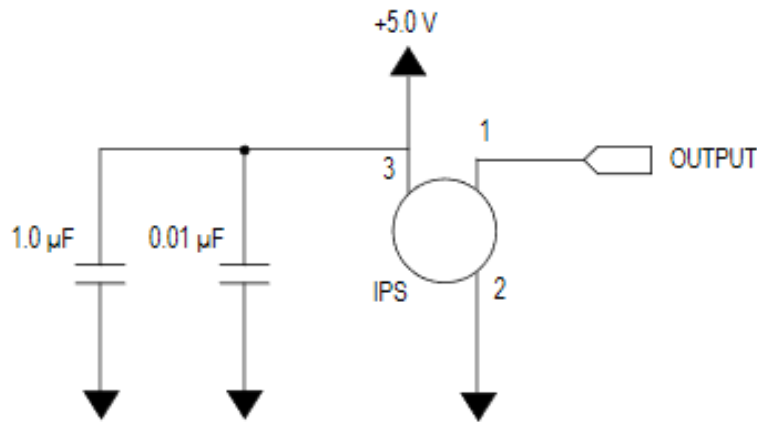
Características de Operación ¹					
Características	Símbolo	Mínimo	Típico	Máximo	Unidad
Rango de Presión ²	P _{OP}	15	-	115	kPa
Voltaje de alimentación ³	V _S	4.85	5.1	5.35	V _{cc}
Corriente de alimentación	I _O	-	7.0	10	mAcc
Presión mínima de Offset ⁴ @ V_S = 5.1V (0 a 85°C)	V _{off}	0.135	0.204	0.273	V _{cc}
Full Scale Output ⁵ @ V_S = 5.1V (0 a 85°C)	V _{FSO}	4.725	4.794	4.863	V _{cc}
Full Scale Span ⁶ @ V_S = 5.1V (0 a 85°C)	V _{FSS}	-	4.59	-	V _{cc}
Precisión (0 a 85°C) ⁷	-	-	-	±1.5	% V _{FSS}
Sensibilidad	V/P	-	46	-	mV/kPa
Tiempo de respuesta ⁸	t _R	-	1.0	-	Ms
Corriente de salida a Full Scale Output	I _O ⁺	-	0.1	-	mAcc
Tiempo de Warm-Up ⁹	-	-	20	-	mSec
Estabilidad de Offset ¹⁰	-	-	±0.5	-	% V _{FSS}

1. V_S = 5.1 V_{CC}, T_A = 25°C a menos que se indique lo contrario, el circuito de desacoplamiento P1> P2 que se muestra en la Figura 1 se requiere para cumplir con las especificaciones eléctricas.
2. .0kPa (kiloPascal) equivale a 0.145 psi.
3. El dispositivo es radiométrico dentro de este rango de excitación especificado.

4. Offset (V_{off}) se define como el voltaje de salida a la presión nominal mínima.
5. Full Scale Output (V_{FSO}) se define como el voltaje de salida a la presión nominal máxima o completa.
6. Full Scale Span (V_{FSS}) se define como la diferencia algebraica entre el voltaje de salida a la presión nominal total y el voltaje de salida a la presión nominal mínima.
7. La precisión (presupuesto de error) consta de lo siguiente:
 - a. Linealidad: desviación de salida de una relación de línea recta con la presión, utilizando el método de punto final, sobre el rango de presión especificado.
 - b. Histéresis de temperatura: Desviación de salida a cualquier temperatura dentro del rango de temperatura de operación, después de que la temperatura se cicla hacia y desde los puntos de temperatura de operación mínima o máxima, con presión diferencial cero aplicada.
 - c. Histéresis de presión: Desviación de salida a cualquier presión dentro del rango especificado, cuando esta presión se cicla hacia y desde la presión nominal mínima o máxima a 25°C.
 - d. TcSpan: Desviación de salida en el rango de temperatura de 0° a 85°C, relativo a 25°C.
 - e. Tc Offset: Desviación de salida con presión mínima aplicada, sobre el rango de temperatura de 0° a 85°C, relativo a 25°C.
 - f. Variación de nominal: La variación de los valores nominales, para Offset o Full Scale Span, como un porcentaje de V_{FSS} a 25°C
8. El tiempo de respuesta se define como el tiempo para que el cambio incremental en la salida pase del 10% al 90% de su valor final cuando se somete a un cambio de paso específico en la presión.
9. El Warm-up se define como el tiempo necesario para que el producto alcance el voltaje de salida especificado después de que se haya estabilizado la presión.
10. La estabilidad de Offset es la desviación de salida del producto cuando se somete a 1000 horas de presión pulsada, ciclos de temperatura con prueba de sesgo.

Tabla de características de operación

- **Diagrama de configuración básica recomendada:**



Desacoplamiento recomendado de la fuente de alimentación.

- **Ecuación del voltaje de salida del sensor:**

$$V_{out} = V_s * (0.009 * P - 0.095) \pm Error$$

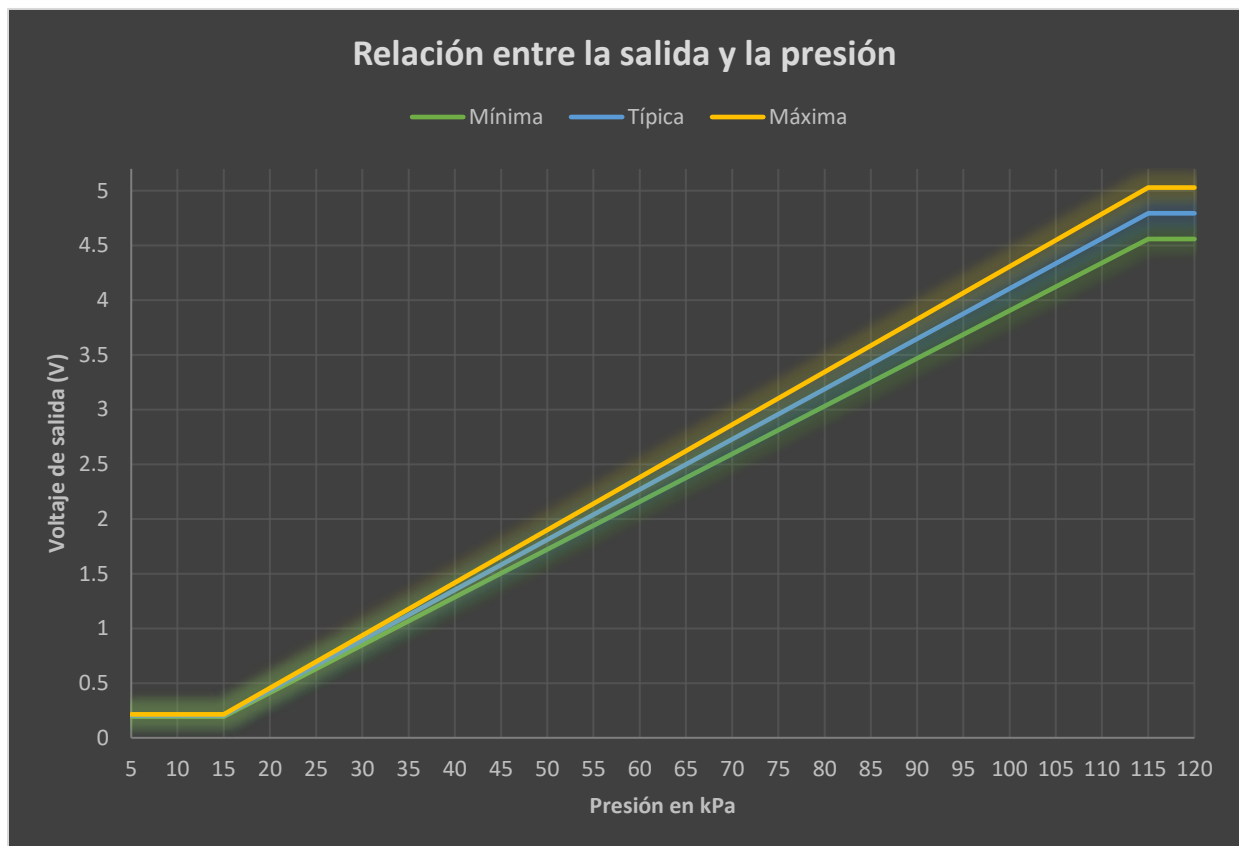
Donde:

- V_{out} : Voltaje de salida.
- V_s : Voltaje de alimentación (V_{cc})
- P: Presión
- Error: ± 1.5 Máximo

- Valores relevantes extraídos de la hoja de datos del fabricante:

	Voltaje de alimentación (V)	Presión (kPa)	Voltaje de salida (V)
Mínima	4.85	5	0.194
	4.85	15	0.194
	4.85	115	4.559
	4.85	120	4.559
Típica	5.1	5	0.204
	5.1	15	0.204
	5.1	115	4.794
	5.1	120	4.794
Máxima	5.35	5	0.214
	5.35	15	0.214
	5.35	115	5.029
	5.35	120	5.029

Tabla de relación entre presión y voltaje de salida



Gráfica de relación entre el Vout y la presión (P)

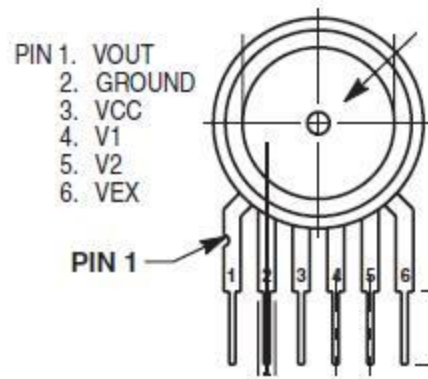


Diagrama de conexión proporcionado por el fabricante

Convertidor ADC0804:

- Descripción general

Este es un dispositivo que convierte una señal analógica (de un rango de 0V a 5V) a código binario expresado en 8 bits. La familia de dispositivos ADC080X son convertidores de aproximación sucesivos CMOS de 8 bits.

- Características

ADC0804				
Suministro de voltaje			Entrada analógica	
Min = 4.5V	Normal= 5V	Max = 5.5V	Min = GND-0.05	Max = Vcc+0.05

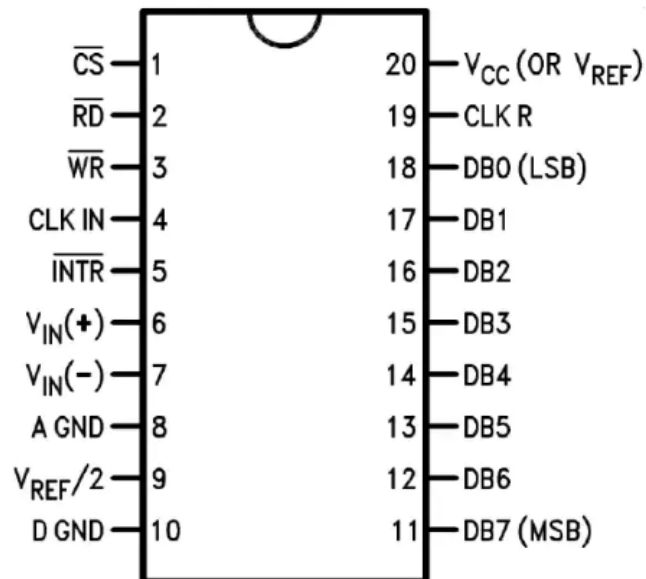


Tabla de valores característicos

Diagrama de pines del ADC0804

- **Configuración del circuito**

Por motivos de practicidad, utilizaremos una configuración incluida en la hoja de datos de este ADC0804 y porque esta fuera del foco de aprendizaje el aprender a cerca de las configuraciones de este A/C en particular.

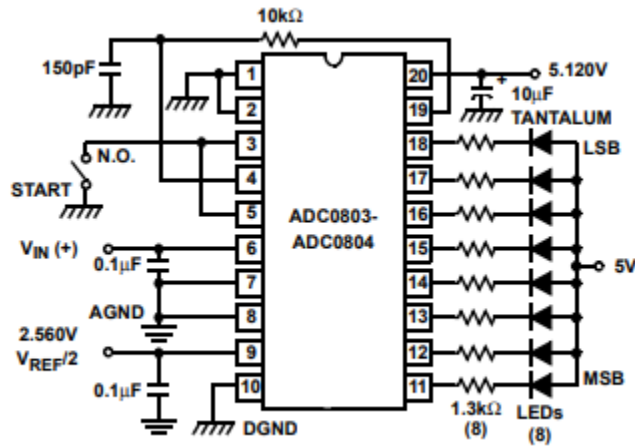


Diagrama de configuración básica del convertidor ADC0804

Tarjeta de adquisición ARDUINO UNO:

- **Descripción general**

Arduino UNO es un microcontrolador de código abierto diseñado por Arduino.cc. Con terminales tanto de entrada y de salida digitales y analógicas.

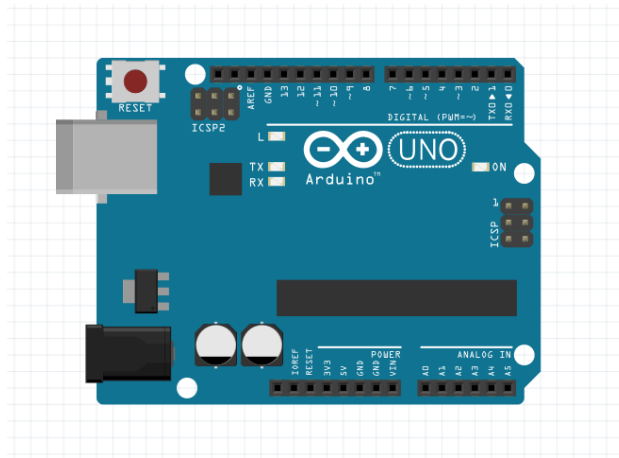


Diagrama de la placa Arduino UNO

- **Características técnicas**

- Microcontrolador: microchip ATmega328P.
- Voltaje de funcionamiento: 5V.
- Voltaje de entrada: 7V hasta 20V.
- Terminales E/S digitales: 14.
- Terminales de entrada analógica.
- Corriente DC por pin de E/S: 20mA.
- Memoria Flash: 32KB (0.5KB se usan para gestor de arranque).
- SRAM: 2KB.
- EEPROM: 1KB.
- Velocidad de reloj: 16MHz.

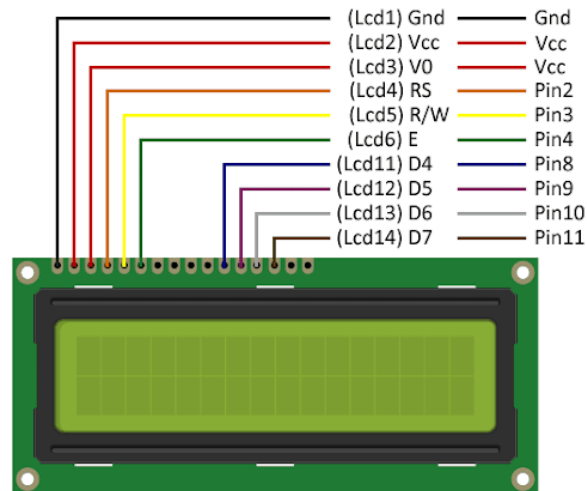
- **Configuración de terminales**

- LED: en la placa hay un LED incorporado que es controlado por la terminal no. 13, cuando dicha terminal tiene un valor alto, el LED se enciende, cuando está en bajo, el LED se mantiene apagado.
- VIN: esta palabra viene del inglés “Voltage Input” y esta terminal sirve para suministrar voltaje (además de la entrada USB y la entrada de voltaje de alimentación) o acceder a este voltaje para utilizarlo en código
- 5V: esta terminal de la placa emite 5V.
- 3V3: esta terminal emite 3.3V.
- GND: referencia a tierra.
- IOREF: proporciona voltaje de referencia con la que funciona el microcontrolador.
- Reset: esta terminal normalmente se usa para agregar un botón de restablecimiento.

Display LCD

- **Descripción:**

Una pantalla de cristal líquido o LCD (sigla del inglés liquid-crystal display) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.



Asignación de pines del LCD 16x2

- **Características:**

- Estas son algunas de las características de los módulos LCD de 20 x 4 que se describen aquí con el detalle.
- La característica más importante de este módulo es que puede mostrar 80 caracteres a la vez.
- El cursor de este módulo tiene 5x8 (40) puntos.
- En este módulo ya está montado el controlador de RW1063.
- Este módulo funciona con el suministro de entrada de más cinco voltios y también puede funcionar con el más de tres voltios.
- El pinout de más tres voltios también se puede utilizar para el suministro negativo.
- El ciclo de trabajo de este módulo es de uno por dieciséis (1/16).
- El diodo emisor de luz de este módulo puede recibir alimentación del pinout uno, pinout dos, pinout quince, pinout dieciséis o pinout A y K.

- **Ventajas:**

Estas son algunas de las ventajas de este módulo que se describen con el detalle.

- Es menos costoso, liviano en comparación con la pantalla de tubo de rayos catódicos.
- Utiliza menos energía según la resolución de brillo.
- Produce menos cantidad de calor debido al menor uso de energía.
- En este módulo, no hay distorsión geométrica.
- Puede construirse en cualquier forma y tamaño según los requisitos del usuario.
- La pantalla LCD utilizada en el monitor de la computadora usa doce voltios.

- **Desventajas:**

Con las ventajas de este módulo, hay algunos problemas creados por este módulo que se describe aquí.

- En algunos módulos LCD más antiguos, existen algunos problemas debido al ángulo de visión y al brillo.
- Pierde brillo y opera con menos tiempo de respuesta con el incremento de temperatura.
- Con el incremento de la temperatura circundante, su contraste también perturba.

- **Valores de operación:**

Parámetro	Símbolo	Condición	Valores estándar		
			Mínimo	Común	Máximo
Voltaje de entrada	Vdd	Vdd = +5V	4.7V	5.0V	5.3V
		Vdd= +3V	2.7V	3.0V	5.3V
Corriente	Idd	Vdd= +5V		8.0mA	10.0mA
Voltaje directo del LED	Vf	25°C		4.2V	4.6V
Corriente directa del LED	If	25°C		540mA	1080mA

Tabla de valores característicos del LCD

- **Descripción de terminales:**

No. Terminal	Símbolo	Función
1	Vss	Conexión a tierra.
2	Vdd	+3V ó +5V.
3	V0	Ajuste de contraste.
4	RS	Selector de registro.
5	R/W	Señal de lectura/escritura.
6	E	Habilitar señal (alto/bajo).
7	DB0	Bus de datos.
8	DB1	Bus de datos.
9	DB2	Bus de datos.
10	DB3	Bus de datos.
11	DB4	Bus de datos.
12	DB5	Bus de datos.
13	DB6	Bus de datos.
14	DB7	Bus de datos.
15	A	Alimentación para el LED (4.2V recomendado).
16	K	Alimentación para B/L.
17	NC/VEE	NC o voltaje negativo de salida.
18	NC	Conexión NC.

Tabla de descripción de terminales del LCD 20x4

DESARROLLO

Primera etapa del circuito (Termómetro):

- **Instrucciones:**

Diseñe un sistema de medida de temperatura para un margen reducido utilizando una NTC, con un error inferior a 2°C . El sistema tiene como base el siguiente diagrama de bloques:



Diagrama de bloques

1. Elija el rango de medida para su sistema, de acuerdo con la elección de su sensor. Justifique su respuesta.
2. De acuerdo con el modelo exponencial de la NTC. Obtenga la curva de calibración R-T.
3. Obtenga el índice característico de temperatura (B).
4. Para el modelo estático, determine las sensibilidades de su rango de medida.
5. Determine, para el modelo estático, los coeficientes de temperatura para su rango de medida.
6. ¿Cuál es la pendiente de la recta que une valores de resistencia para el rango de medida propuesto?
7. Diseña el puente de Wheatstone de acuerdo con las características de la NTC de su elección. Haga uso de las notas que el profesor le proporcionó para que el diseño del puente de Wheatstone sea lo más completo posible.
8. Compruebe por medio de cálculos que el subsistema puente de Wheatstone es aproximadamente lineal. Si se considera que la salida del puente es lineal, con sensibilidad teórica igual a la sensibilidad real que se tiene en el centro del rango de medida, ¿Cuál sería la desviación por falta de linealidad cuando la temperatura real fuera el punto máximo de su rango de medida?
9. Obtenga la curva normalizada V_o/V_i y la temperatura T del divisor de voltaje R_t-R .
10. De acuerdo con las condiciones de salida del puente de Wheatstone y a las características de entrada del convertidor analógico digital, diseñe el circuito de acondicionamiento. Justifique por medio de cálculos el diseño de su CAS. Obtenga la curva teórica del subsistema CAS.
11. Elige el convertidor analógico digital que le facilite la implementación de la conversión analógico digital a 8 bits.
12. Los 8 bits del convertidor analógico digital deben llevarse una tarjeta de adquisición de datos como medio de procesamiento y ser desplegados en un medio de visualización LCD. El LCD debe mostrar:
 - a. La temperatura (T).
 - b. El voltaje del puente de Wheatstone (V).
 - c. y el voltaje del CAS (V_o).
13. Escribe el código de programación para la tarjeta de adquisición de datos.

14. Por medio del simulador de su elección y a hoja completa, muestra el circuito eléctrico final de su diseño, no implemente obviedades al realizar la conexión de cada 1 de los elementos que forman parte de su sistema de medida.
15. Realice la simulación de su sistema de medida de temperatura y justifique que su diseño funciona correctamente, auxilio es de un vídeo o con explicaciones de capturas de pantalla.
16. Llene la tabla número 1 de datos teóricos y simulados.
17. Con sus datos simulados, obtenga la curva de transferencia del puente de Wheatstone y la curva del CAS, compare con las curvas teóricas y concluya.
18. Exprese sus conclusiones generales.

Implementar un circuito sensor de temperatura en base al comportamiento de un termistor NTCLE100E3 ante los efectos de la temperatura, circuito cuya salida analógica deberá ser convertida a señal digital de 8 bits por un Convertidor Analógico Digital (CAD), y además, procesada por la Tarjeta de Adquisición de Datos (Arduino UNO) y finalmente mostrada la salida en 8 LED's, además, en un LCD.

Basándonos en el diagrama de bloques propuesto anteriormente, procedemos a explicar de forma detallada cada uno de los bloques por separado:

- **Termómetro (Termistor NTCLE100E3)(Entrada):**

Este bloque se encarga de fungir como termómetro, ya que, sabemos que el termistor NTCLE100E3 es sumamente sensible a la temperatura, con un rango de medición reducido entre 0°C y 50°C; Y esto se ve reflejado en su salida en voltaje.

- **Circuito Acondicionador de Señal:**

Es Circuito Acondicionador de Señal se va a encargar de amplificar, acondicionar y acoplar la señal de salida del Termómetro termistor NTCLE100E3 a un rango entre 0 y 5V, que es el voltaje de entrada para nuestro siguiente módulo.

- **Convertidor Analógico Digital:**

Este integrado que vamos a utilizar es el Convertidor Analógico Digital ADC0804 en su configuración básica para un sistema de 8 bits, propuesto por el fabricante en la hoja de datos del integrado.

- **LED's de muestreo:**

LED's de salida que nos van a permitir visualizar en sistema binario de 8 bits el voltaje a la salida de nuestro CAS.

- **Tarjeta de Adquisición de datos Arduino:**

Este módulo se va a encargar de procesar el voltaje de entrada y mostrar la siguiente información, en el siguiente módulo:

- Voltaje de salida (CAS).
- Voltaje del termistor.
- Temperatura (°C, °K)

- **Liquid - Crystal Display:**

Módulo de salida, donde se proyectarán los valores anteriormente mencionados.

- **Diseño del primer bloque: Termómetro:**

1. Elija el rango de medida para su sistema, de acuerdo con la elección de su sensor. Justifique su respuesta.

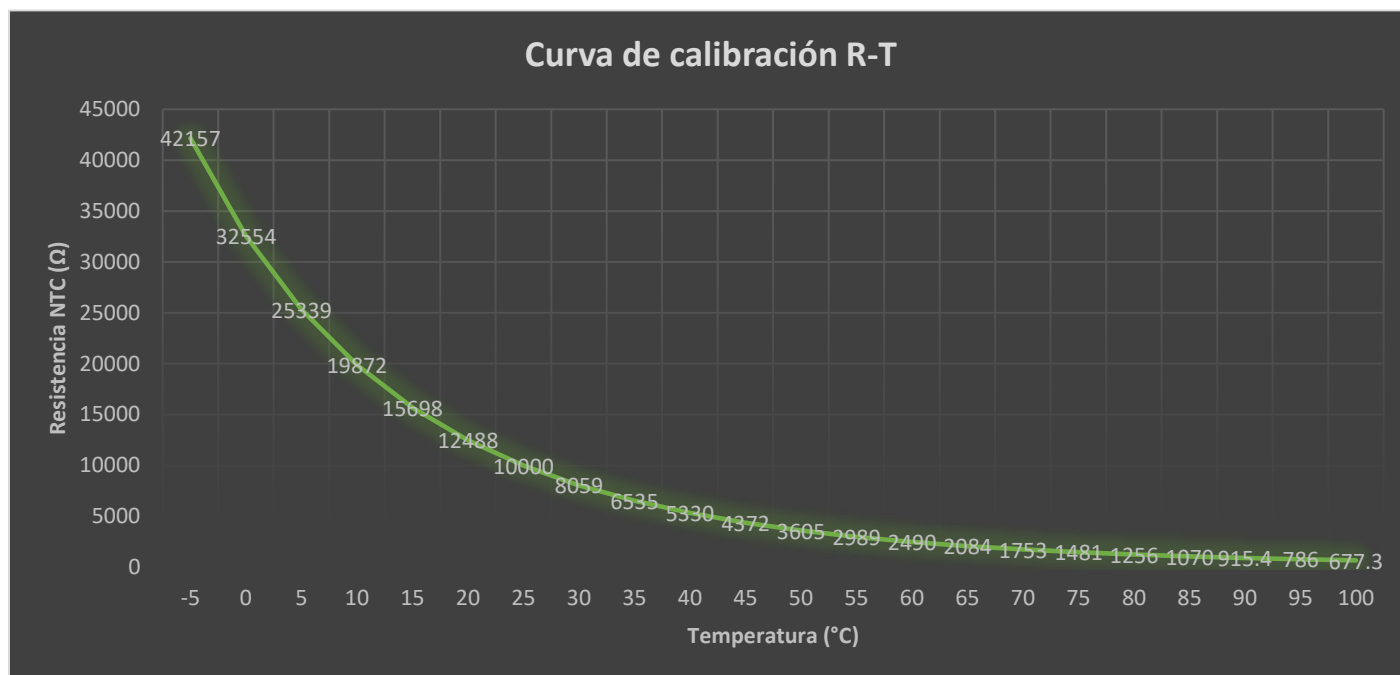
Se propone que nuestro rango de medida de la temperatura sea de 0°C a 50°C , o bien, 273°K a 323°K ; Porque, como vimos en la teoría en clase, la NTC no tiene una curva característica de transferencia de temperatura lineal, lo que nos impide medir rangos de temperatura amplios sin que el error por autocalentamiento sea un problema, además, como nos lo menciona el fabricante en su hoja de datos, el Termistor NTCLE100E3 está diseñado para trabajar de forma adecuado en un rango de -40°C a 150°C .

2. De acuerdo con el modelo exponencial de la NTC. Obtenga la curva de calibración R-T.

Afortunadamente, el fabricante nos proporciona la tabla de los valores de resistencias a temperaturas intermedias:

Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Rt Ω
-5	42157
0	32554
5	25339
10	19872
15	15698
20	12488
25	10000
30	8059
35	6535
40	5330
45	4372
50	3605
55	2989
60	2490
65	2084
70	1753
75	1481
80	1256
85	1070
90	915.4
95	786
100	677.3

Tabla de valores R-T



Curva de calibración R-T

3. Obtenga el índice característico de temperatura (B).

Afortunadamente, la hoja de datos nos proporciona el valor del índice característico de temperatura (B), pero de todas formas se puede calcular para verificarlo:

$$B = \frac{1}{\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1}} + \ln\left(\frac{R_0}{R_1}\right)$$

$$B = \frac{1}{\frac{1}{273} - \frac{1}{323}} + \ln\left(\frac{32554}{3605}\right) = 3977^\circ\text{K}$$

4. Para el modelo estático, determine las sensibilidades de su rango de medida.

Podemos calcular la sensibilidad del NTC estático con la fórmula vista en clase:

$$S_{273} = -\frac{B}{T^2} R_{t_{273}} = -\frac{3977^\circ\text{K}}{273^2\text{K}^2} 32554\Omega = -1737.139342 \frac{\Omega}{^\circ\text{K}}$$

$$S_{323} = -\frac{B}{T^2} R_{t_{323}} = -\frac{3977^\circ\text{K}}{323^2\text{K}^2} 3605\Omega = -137.4218578 \frac{\Omega}{^\circ\text{K}}$$

5. Determine, para el modelo estático, los coeficientes de temperatura para su rango de medida.

Aplicamos la fórmula vista en clase, que nos permite obtener el valor de alfa:

$$\alpha_{273} = -\frac{B}{T^2} = -\frac{3977}{273^2} = -0.05336177864^\circ\text{K}^{-1}$$

$$\alpha_{323} = -\frac{B}{T^2} = -\frac{3977}{323^2} = -0.03811979411^\circ K^{-1}$$

6. ¿Cuál es la pendiente de la recta que une los valores de resistencia para el rango de medida propuesto?

Calculamos a pendiente de la recta que une los valores de resistencia para el rango de medida propuesto, o lo que es igual a la sensibilidad del termistor:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{3559.58 - 33944.04}{323 - 273} = -607.6892 \frac{\Omega}{^\circ K}$$

Este valor nos indica la razón de cambio de la Resistencia con la Temperatura, que más adelante vamos a comparar una vez que se excite el circuito y se linealice el NTC.

7. Diseña el puente de Wheatstone de acuerdo con las características de la NTC de su elección. Haga uso de las notas que el profesor le proporcionó para que el diseño del puente de Wheatstone sea lo más completo posible.

Procedemos a calcular las resistencias R_t correspondientes:

$$\begin{aligned} R_t &= (10,000\Omega) * \varepsilon^{B * (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})} \\ R_{t_{273}} &= (10,000\Omega) * \varepsilon^{3977 * (\frac{1}{273} - \frac{1}{298})} = 33,944.04\Omega \\ R_{t_{323}} &= (10,000\Omega) * \varepsilon^{3977 * (\frac{1}{323} - \frac{1}{298})} = 3559.58\Omega \end{aligned}$$

Después, procedemos a linealizar al puente de Wheatstone:

$$T_c = \frac{T_1 - T_0}{2} + T_0 = \frac{323 - 273}{2} + 273 = 298^\circ K \text{ a } 25^\circ C$$

Sabemos que la resistencia R_t proporcionada por el fabricante es de $10k\Omega$, con lo cual, es posible calcular el valor de R :

$$R = \frac{B - 2T_c}{B + 2T_c} R_{tc} = \frac{3977 - 2(298)}{3977 + 2(298)} * (10,000\Omega) = 7393.39602\Omega$$

Calculamos la sensibilidad de las 3 temperaturas características del termistor NTC, siendo a $0^\circ C$, $25^\circ C$ y $50^\circ C$, respectivamente, $273^\circ K$, $298^\circ K$ y $323^\circ K$:

$$\begin{aligned} St_c &= \frac{R^2}{(R_{tc} + R)^2} \left(-\frac{B}{T^2} \right) R_{tc} \\ St_{273} &= \frac{7393.39602\Omega^2}{(10000\Omega + 7393.39602\Omega)^2} \left(-\frac{3977}{273^2} \right) 10000\Omega = -96.41607 \\ St_c = St_{298} &= \frac{7393.39602\Omega^2}{(10000\Omega + 7393.39602\Omega)^2} \left(-\frac{3977}{298^2} \right) 10000\Omega = -80.91745 \\ St_{323} &= \frac{7393.39602\Omega^2}{(10000\Omega + 7393.39602\Omega)^2} \left(-\frac{3977}{323^2} \right) 10000\Omega = -68.87628 \end{aligned}$$

Ahora, podemos calcular el índice óhmico característico (A) del termistor NTC:

$$R_t = A e^{\frac{B}{T_c}}$$

$$\therefore A = \frac{Rtc}{\frac{B}{e^{Tc}}} = \frac{10,000\Omega}{\frac{3977}{e^{298}}} = 0.01599790965$$

Una vez calculado todos los datos anteriores, procedemos a calcular los datos correspondientes al Puente de Wheatstone: Sabemos que la relación del puente para obtener 0V a 25°C, es necesaria la expresión para el voltaje de salida:

$$V_0 = V_{cc} \left(\frac{R}{R + R_t} - \frac{R}{R_1 + R} \right)$$

Por lo tanto:

$$\therefore \frac{\frac{R}{R + R_t}}{\frac{10000\Omega}{10000\Omega + 33944.03\Omega}} = \frac{\frac{R}{R_2 + R_1}}{\frac{R}{R_2 + R_1}}$$

Proponemos una resistencia **R1 = 10kΩ**:

$$\begin{aligned} \frac{10000\Omega}{10000\Omega + 33944.03\Omega} &= \frac{R_2}{R_2 + 10000\Omega} \\ R_2 + 10000\Omega(10000\Omega) &= R_2(10000\Omega + 33944.03\Omega) \\ R_2 + 10000\Omega(10000\Omega) &= R_2(43944.03\Omega) \\ R_2 + 10000\Omega &= \frac{R_2(43944.03\Omega)}{10000\Omega} \\ R_2 + 10000\Omega &= R_2(4.394403\Omega) \\ R_2 &= R_2(4.394403\Omega) - 10000\Omega \\ R_2 - R_2(4.394403\Omega) &= -10000\Omega \\ R_2(1 - 4.394403\Omega) &= -10000\Omega \\ R_2 &= \frac{-10000\Omega}{(1 - 4.394403\Omega)} \\ R_2 &= \frac{-10000\Omega}{-3.394403} \\ \mathbf{R_2 = 2946.02615\Omega \sim 3000\Omega} \end{aligned}$$

Ahora calculamos el valor de nuestra tensión de alimentación, o voltaje de alimentación, recordando que debemos de establecer un valor bajo para evitar el auto calentamiento, en donde, fijaremos el error máximo de auto calentamiento a 0.2 °C qué es un valor 10 veces menor al solicitado que es de 2 °C.

Teniendo en cuenta que el incremento máximo de temperatura por auto calentamiento (máxima potencia aplicada, P_{max}), se produce cuando la resistencia del termistor R_t sea igual a la resistencia fija del divisor R .

En donde tenemos la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} P_{max} &= \delta * \Delta T \\ P_{max} &= 8.5 \frac{mW}{^{\circ}K} * 0.05694129836^{\circ}C = 484\mu A \end{aligned}$$

En donde, de acuerdo con la ecuación primaria tenemos que:

$$P_{max} = \frac{\left(\frac{V_{imax}}{2}\right)^2}{R}$$

Y podemos obtener:

$$V_{imax} = \sqrt{4 * P_{max} * R} = 2\sqrt{\delta * \Delta T * R}$$

Sustituyendo los valores anteriores nos queda de la siguiente manera:

$$V_{imax} = 2 \sqrt{8.5 \frac{mW}{^{\circ}K} * 0.05694129836^{\circ}C * 7393.39602\Omega} = 7.78V$$

Recordemos que este valor de tensión significa que es el tope del voltaje que podemos alimentar nuestra NTC, para que no tengamos error sobrecalentamiento coma por ende, escogeremos un voltaje de alimentación menor que será de 5V.

Una vez calculado lo anterior, propondremos un voltaje de alimentación del Puente de Wheatstone de 5V:

Vamos a calcular:

$$\begin{aligned} I_{max} &= V_{cc} + I(R_t) + I_r = 0 \\ I_{max} &= V_{cc} + I * R_t + I * R = 0 \\ I_{max} &= V_{cc} + I(R_t + R) = 0 \\ V_{cc} &= 0 - I(R_t + R) \\ V_{cc} &= -I(R_t + R) \\ \frac{V_{cc}}{(R_t + R)} &= -I \\ \frac{V_{cc}}{(R_t + R)} &= -I \\ \therefore I &= \frac{V_{cc}}{R_{t_{323}} + R} \\ I &= \frac{5V}{3559.58\Omega + 10K\Omega} = 368.7429847\mu A \end{aligned}$$

Ahora que tenemos la corriente, podemos calcular la incertidumbre por calentamiento; Usando el valor del Factor de Disipación que nos proporciona el fabricante ($\delta = 8.5 \frac{mW}{^{\circ}K}$):

$$\begin{aligned} I^2 R_t &= \delta * \Delta T \\ \therefore \Delta T &= \frac{I^2 * R_{t_{323}}}{\delta} \\ \Delta T &= \frac{(368.7429847\mu A)^2 * 3559.58\Omega}{8.5 \frac{mW}{^{\circ}K}} = 0.05694129836^{\circ}C \end{aligned}$$

Una vez determinado el valor de R y de Vcc, la sensibilidad en el punto medio del intervalo de medida se puede calcular de la siguiente manera:

$$S(T_c) = \frac{dV_o(T)}{dT}$$

$$S(Tc) = V_{cc} * \frac{R * Rt}{(R + Rt)^2} * \frac{B}{T^2}$$

$$S(Tc) = 5V * \frac{10000\Omega * 7393.39602\Omega}{(10000\Omega + 7393.39602\Omega)^2} * \frac{3977}{298^2} = 54.72279436 \frac{mV}{^{\circ}K}$$

Por último, procedemos a calcular el voltaje de salida del Puente de Wheatstone, **R4 = 10k**:

$$V_{o(T)} = V_{cc} \left(\frac{R4}{R_{tc} + R4} - \frac{R2}{R1 + R2} \right)$$

$$V_{o(273)} = 5V * \left(\frac{10000\Omega}{33,944.04\Omega + 10000\Omega} - \frac{3000\Omega}{10000\Omega + 3000\Omega} \right) = -0.01603542912V \approx 0V$$

$$V_{o(298)} = 5V * \left(\frac{10000\Omega}{10000\Omega + 10000\Omega} - \frac{3000\Omega}{10000\Omega + 3000\Omega} \right) = 1.346153846V$$

$$V_{o(323)} = 5V * \left(\frac{10000\Omega}{3559.58\Omega + 10000\Omega} - \frac{3000\Omega}{10000\Omega + 3000\Omega} \right) = 2.533583693V$$

8. Compruebe por medio de cálculos que el subsistema puente de Wheatstone es aproximadamente lineal. Si se considera que la salida del puente es lineal, con sensibilidad teórica igual a la sensibilidad real que se tiene en el centro del rango de medida, ¿Cuál sería la desviación por falta de linealidad cuando la temperatura real fuera el punto máximo de su rango de medida?

Primero calculamos la Sensibilidad Teórica, que es igual a Sensibilidad Real, en el centro del rango de medida (25°C):

$$S(Tc) = \frac{dV_o(T)}{dT}$$

$$S(Tc) = V_{cc} * \frac{R * Rt}{(R + Rt)^2} * \frac{B}{T^2}$$

$$S(Tc) = 5V * \frac{10000\Omega * 7393.39602\Omega}{(10000\Omega + 7393.39602\Omega)^2} * \frac{3977}{298^2} = 54.72279436 \frac{mV}{^{\circ}K}$$

Ahora, calculamos el voltaje de salida del puente en el punto máximo del rango de medida (50°C):

$$V_{o(T)} = V_{cc} \left(\frac{R4}{R_{tc} + R4} - \frac{R2}{R1 + R2} \right)$$

$$V_{o(323)} = 5V * \left(\frac{10000\Omega}{3559.58\Omega + 10000\Omega} - \frac{3000\Omega}{10000\Omega + 3000\Omega} \right) = 2.533583693V$$

Acto seguido, calculamos la Temperatura Real con los valores previamente obtenidos:

$$T = \frac{V_{o(T)}}{S(T)}$$

$$T_{(323)} = \frac{2.533583693V}{54.72279436 \frac{mV}{^{\circ}K}} = 46.29850728^{\circ}C$$

Ahora, calculamos la diferencia de la Temperatura Real y la Temperatura teórica, o también llamada, Desviación por falta de linealidad:

$$Desviación por falta de linealidad = 50^{\circ}C - 46.29850728^{\circ}C \approx 3.070149272^{\circ}C$$

Claramente podemos apreciar una de las grandes desventajas de utilizar una NTC como sensor de temperatura, ya que ni siquiera podríamos pensar en utilizarlo como en termómetro de precisión, debido a su falta de linealidad.

9. Obtenga la curva normalizada V_o/V_i y la temperatura T del divisor de voltaje R_t-R .

Comprobamos que los cálculos sean aproximadamente correctos, de la siguiente manera:

$$T = \frac{V_o(T)}{S(T)}$$

$$T_{(273)} = \frac{-0.01603542912V}{54.72279436 \frac{mV}{^{\circ}K}} = -0.2930301588^{\circ}C \approx 0^{\circ}C$$

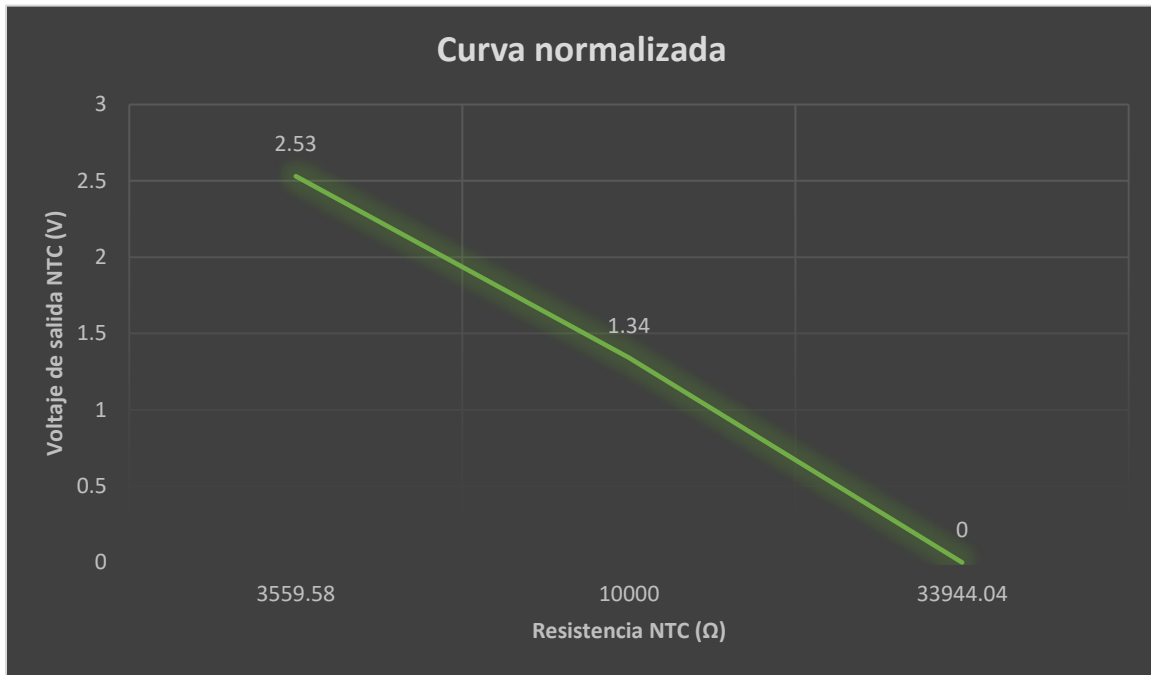
$$T_{(298)} = \frac{1.346153846V}{54.72279436 \frac{mV}{^{\circ}K}} = 24.59950852^{\circ}C \approx 25^{\circ}C$$

$$T_{(323)} = \frac{2.533583693V}{54.72279436 \frac{mV}{^{\circ}K}} = 46.29850728^{\circ}C \approx 50^{\circ}C$$

Ahora, muestrelos de forma tabulada algunos de los valores que se presentan en nuestro circuito:

Temperatura		Resistencia NTC (Ω)	Voltaje de salida (V)
$^{\circ}C$	$^{\circ}K$		
0	273	33,944.04	-0.01603542912 = 0
25	298	10,000	1.346153846
50	323	3559.58	2.533583693

Tabla de resultados



Gráfica de transferencia

10. De acuerdo con las condiciones de salida del puente de Wheatstone y a las características de entrada del convertidor analógico digital, diseña el circuito de acondicionamiento. Justifique por medio de cálculos el diseño de su CAS. Obtenga la curva teórica del subsistema CAS.

Nuestro rango de salida va a ser el siguiente:

$$V_{o(NTC)} = -0.01603542912V \approx 0V \rightarrow V_{o(CAS)} = 0V$$

$$V_{o(NTC)} = 2.533583693V \rightarrow V_{o(CAS)} = 5V$$

Sabiendo que la ecuación de la línea recta es:

$$y = mx + b$$

Procedemos a calcular la pendiente, usando su fórmula:

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

Sustituyendo los valores dados anteriormente:

$$m = \frac{5 - 0}{2.533583693 - 0} \approx 1.973489178$$

Procedemos a calcular b:

$$y = mx + b$$

$$\therefore b = y - mx$$

Evalúamos la función con los valores anteriores:

$$b = 5 - (1.973489178)2.533583693$$

$$b = 0$$

Finalmente, evaluamos en la ecuación inicial de la recta:

$$y = mx + b$$

$$y = 1.973489178x$$

Realizamos un cambio de variable para expresar la ecuación en términos de del Circuito Acondicionador de Señal(CAS):

$$V_o = 1.973489178 V_i$$

Ahora, vamos a calcular la Ganancia de nuestro Amplificador de Instrumentación:

$$G = \frac{V_{o(CAS)}}{V_{o(NTC)}}$$

$$G = \frac{5V}{2.533583693V} = 1.973489178$$

Nos referimos a la hoja de datos del encapsulado, y nos da la siguiente fórmula para obtener el valor de la Resistencia que nos va a dar la Ganancia deseada:

$$G = 1 + \frac{49400\Omega}{R_G}$$

$$\therefore R_G = \frac{49400\Omega}{G - 1}$$

$$R_G = \frac{49400\Omega}{1.973489178 - 1} = 50745.2996\Omega$$

Con el valor de Resistencia ya calculado, podemos obtener los valores del Voltaje de Salida del CAS:

Temperatura		Resistencia NTC (Ω)	Voltaje de salida (V)	Voltaje de salida CAS (V)
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{K}$			
0	273	33,944.04	-0.01603542912 = 0	0
25	298	10,000	1.346153846	2.656620047
50	323	3559.58	2.533583693	5

Tabla de resultados

Temperatura		Resistencia NTC (Ω)	Voltaje de salida NTC (V)	Voltaje de salida CAS (V)
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{K}$			
0	273	33,944.04	-0.01603542912 = 0	0
5	278	26120.04	0.2304269533	0.4553359684
10	283	20286.40	0.4970598634	0.9822134387
15	288	15894.53	0.7770635788	1.535573123
20	293	12557.60	1.062701706	2.09486166
25	298	10,000	1.346153846	2.656620047
30	303	8023.38	1.62032828	3.201581028
35	308	6483.66	1.879460769	3.695652174
40	313	5275.20	2.11943341	4.169960474
45	318	4319.91	2.337795903	4.604743083
50	323	3559.58	2.533583693	5

Tabla de resultados

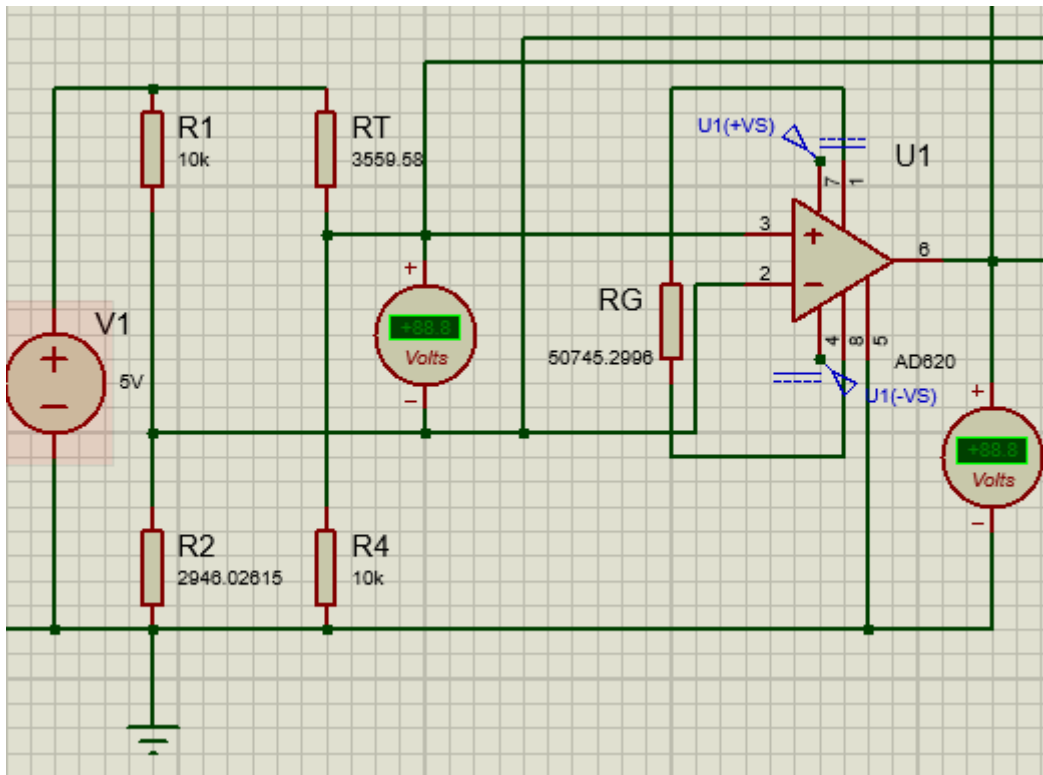


Gráfica de transferencia

Una vez calculado todo lo anterior, pasamos a la etapa de simulación del circuito con los valores previamente obtenidos.

Algo que cae mencionar es que la versión con la que cuento para simular mis circuitos es Proteus 8 Professional y este software no cuenta con el elemento electrónico de la NTC, por lo que tuve que ocupar una resistencia común, y manualmente tuve que ir modificando el valor de la resistencia para poder simular el aumento o disminución de la temperatura.

Una vez aclarado lo anterior, procedemos a mostrar el circuito simulado:



Circuito simulado del Puente de Wheatstone

11. Elige el convertidor analógico digital que le facilite la implementación de la conversión analógico digital a 8 bits.

Para esto seleccionaremos el convertidor analógico digital ADC0804 ya que nos tiene una alimentación baja de 5 volts y un rango de conversión de 0 volts a 5 volts, lo que de acuerdo con nuestro diseño ese rango de salida de nuestro CAS, i nos lo convierte a una escala de 8 bits que va de cero a 255, la cual es la requerida.

A través de una referencia externa o aumentando el valor de la señal V_{in} con respecto a GND es posible obtener rangos más amplios de conversión (para lo que se recomienda consultar la hoja de especificaciones del fabricante). además su frecuencia de trabajo característica es de 8 KHz.

Teniendo una velocidad de respuesta un poco lenta en nuestro diseño pero eso se está dado por la entrada de RESET del mismo.

En esta ocasión, vamos a utilizar el Convertidor Analógico Digital ADC0804, en su configuración básica propuesta por el fabricante, la cual nos va a permitir representar a la salida un sistema de 8 bits conectados a una tira de 8 LED's, como se muestra a continuación:

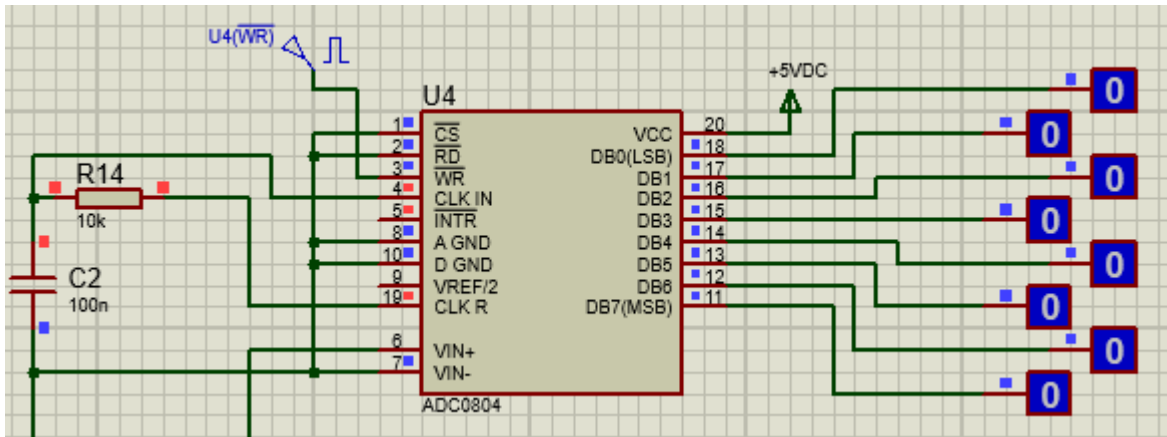


Diagrama simulado del ADC0804

12. Los 8 bits del convertidor analógico digital deben llevarse una tarjeta de adquisición de datos como medio de procesamiento y ser desplegados en un medio de visualización LCD. El LCD debe mostrar:

- a. La temperatura (T).**
- b. El voltaje del puente de Wheatstone (V).**
- c. Y, el voltaje del CAS (Vo).**

Se enumeran los puertos del LCD que se conectaron al Arduino:

- VSS: conexión a tierra.
- VDD: alimentación (3V/5V).
- RS: conexión a la salida digital 10.
- RW: conexión a la salida digital 9.
- E: conexión a la salida digital 8.
- D4: conexión a la salida digital 5.
- D5: conexión a la salida digital 4.
- D6: conexión a la salida digital 3.
- D7: conexión a la salida digital 2.

A continuación, se muestra la sección de muestreo de datos completo, que incluye:

- Convertidor Analógico Digital ADC0804. (Con salida a 8 LED's)
- Tarjeta de Adquisición de Datos ARDUINO. (Con salida a LCD)


```

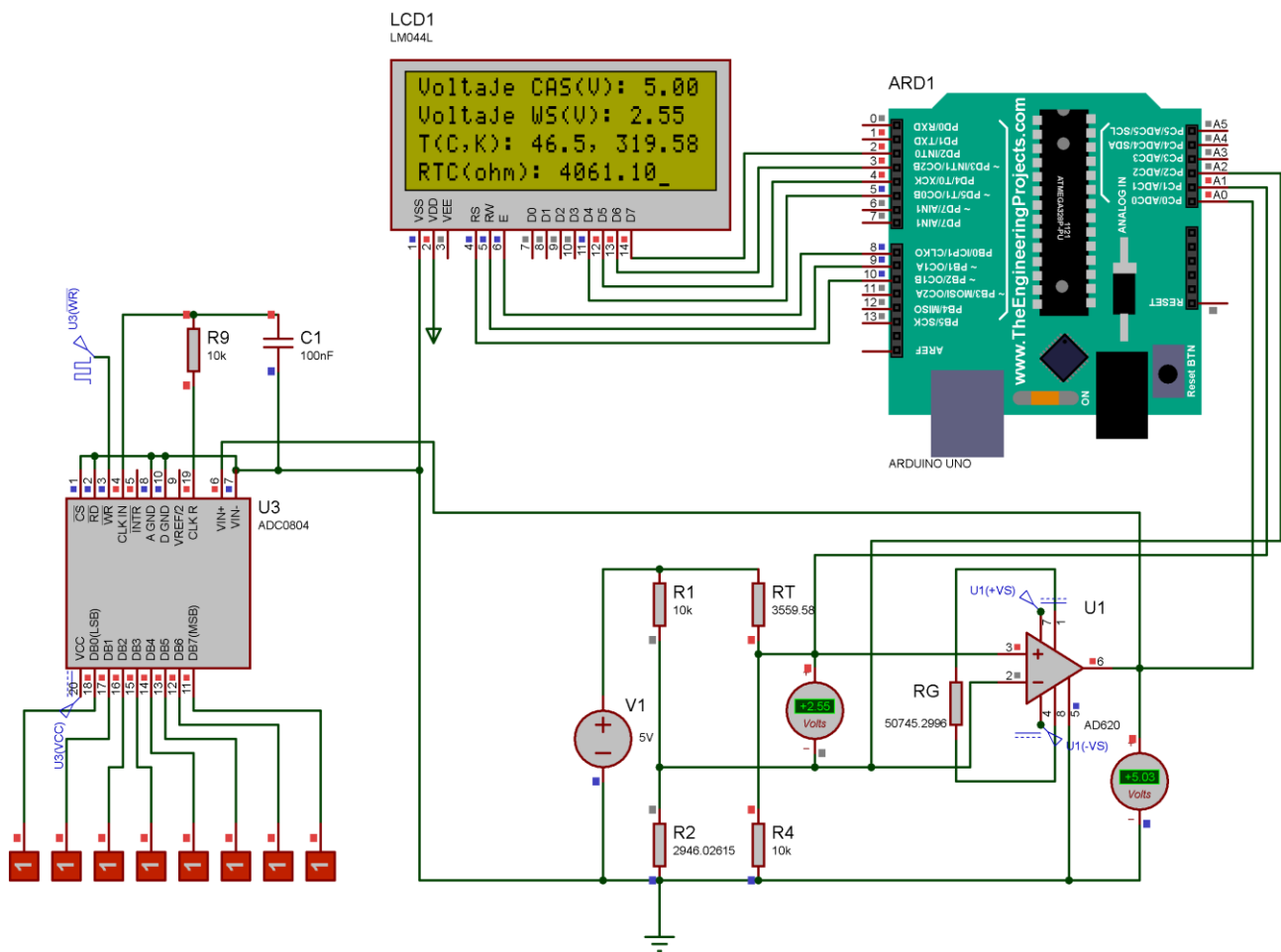
23  CAS = (volt * 5) / 1024;
24  volt = analogRead(A1);
25  E1 = (volt * 5) / 1024;
26  volt = analogRead(A2);
27  E2 = (volt * 5) / 1024;
28
29  vNTC = E1 - E2;
30  Celsius = vNTC / 0.05472;
31  Kelvin = Celsius + 273;
32  RTC = 10000 * pow(2.7182, 3977 * (pow(Kelvin, -1) - pow(298, -1)));
33
34  lcd.setCursor(0, 0); //Posición del renglón
35  lcd.print("Voltaje CAS (V):"); //Mensaje
36  lcd.setCursor(16, 0); //Posición del cursor
37  lcd.print(CAS); //Imprimir valor
38
39  lcd.setCursor(0, 1); //Posición del renglón
40  lcd.print("Voltaje WS (V):"); //Mensaje
41  lcd.setCursor(15, 1); //Posición del cursor
42  lcd.print(vNTC); //Imprimir valor
43
44  lcd.setCursor(0, 2); //Posición del renglón
45  lcd.print("T(C,K):"); //Mensaje
46  lcd.setCursor(8, 2); //Posición del cursor
47  lcd.print(Celsius); //Imprimir valor
48  lcd.setCursor(12, 2); //Posición del cursor
49  lcd.print(","); //Imprimir valor
50  lcd.setCursor(14, 2); //Posición del cursor
51  lcd.print(Kelvin); //Imprimir valor
52
53  lcd.setCursor(0, 3); //Posición del renglón
54  lcd.print("RTC(ohm):"); //Mensaje
55  lcd.setCursor(10, 3); //Posición del cursor
56  lcd.print(RTC); //Imprimir valor
57
58  lcd.cursor();
59  delay(500);
60 }

```

14. Por medio del simulador de su elección y a hoja completa, muestra el circuito eléctrico final de su diseño, no implemente obviedades al realizar la conexión de cada 1 de los elementos que forman parte de su sistema de medida.

Visualización de resultados y unificación de la primera etapa del circuito, la cual se divide en las siguientes etapas:

- Puente de Wheatstone
- Circuito Acondicionador de Señal
- Convertidor Analógico Digital
- Tira de 8 LED's
- Tarjeta de Adquisición ARDUINO
- LCD



Circuito final de la primera etapa

15. Realice la simulación de su sistema de medida de temperatura y justifique que su diseño funciona correctamente, auxilio es de un vídeo o con explicaciones de capturas de pantalla.

El video explicativo se anexo junto con el reporte.

16. Llene la tabla número 1 de datos teóricos y simulados.

A continuación se presenta la tabla 1 de datos teóricos vs simulados:

Datos teóricos						Datos Simulados					
Temp		Rt (Ω)	Va = voltaje en la rama fija del puente de Wheatstone (V)	Vb = voltaje en la rama de la NTC del puente de Wheatstone (V)	Voltaje de salida CAS (V)	Temp		Rt (Ω)	Va = voltaje en la rama fija del puente de Wheatstone (V)	Vb = voltaje en la rama de la NTC del puente de Wheatstone (V)	Voltaje de salida CAS (V)
(°C)	(°K)					(°C)	(°K)				
0	273	33,944.04	1.15	-0.01	0	0	273	33,944.04	1.14	0	0
5	278	26120.04	1.15	0.23	0.45	5	278	26120.04	1.14	0.24	0.49
10	283	20286.40	1.15	0.49	0.98	10	283	20286.40	1.14	0.51	1.01
12.5	285.5	17520.34	1.15	0.66	1.30	12.5	285.5	17520.34	1.14	0.68	1.34
15	288	15894.53	1.15	0.77	1.53	15	288	15894.53	1.14	0.79	1.57
17.5	290.5	13856.20	1.15	0.92	1.85	17.5	290.5	13856.20	1.14	0.95	1.88
20	293	12557.60	1.15	1.06	2.09	20	293	12557.60	1.14	1.08	2.13
22.5	295.5	11364.93	1.15	1.21	2.43	22.5	295.5	11364.93	1.14	1.25	2.45
25	298	10,000	1.15	1.34	2.65	25	298	10,000	1.14	1.36	2.69
27.5	300.5	9068.81	1.15	1.46	2.93	27.5	300.5	9068.81	1.14	1.49	2.95
30	303	8023.38	1.15	1.62	3.20	30	303	8023.38	1.14	1.64	3.23
32.5	305.5	7560.24	1.15	1.77	3.54	32.5	305.5	7560.24	1.14	1.80	3.56
35	308	6483.66	1.15	1.87	3.69	35	308	6483.66	1.14	1.89	3.74
37.5	310.5	5689.29	1.15	2.02	4.01	37.5	310.5	5689.29	1.14	2.05	4.04
40	313	5275.20	1.15	2.11	4.16	40	313	5275.20	1.14	2.13	4.21
45	318	4319.91	1.15	2.33	4.60	45	318	4319.91	1.14	2.35	4.64
50	323	3559.58	1.15	2.53	5	50	323	3559.58	1.14	2.55	5.00

Tabla comparativa de los resultados finales

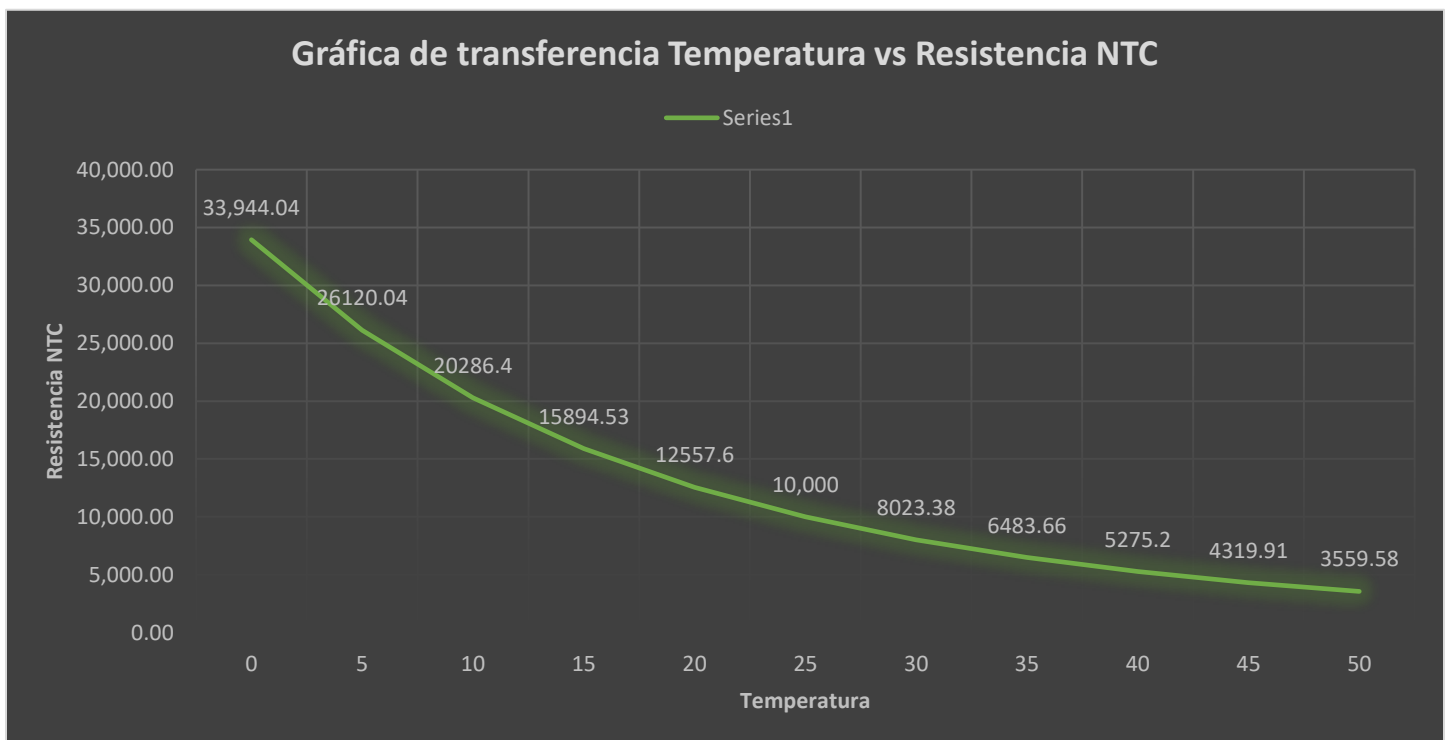
Análisis de la tabla comparativa:

Podemos apreciar que ambas partes difieren por milésimas, y esto es debido a diversos factores, como:

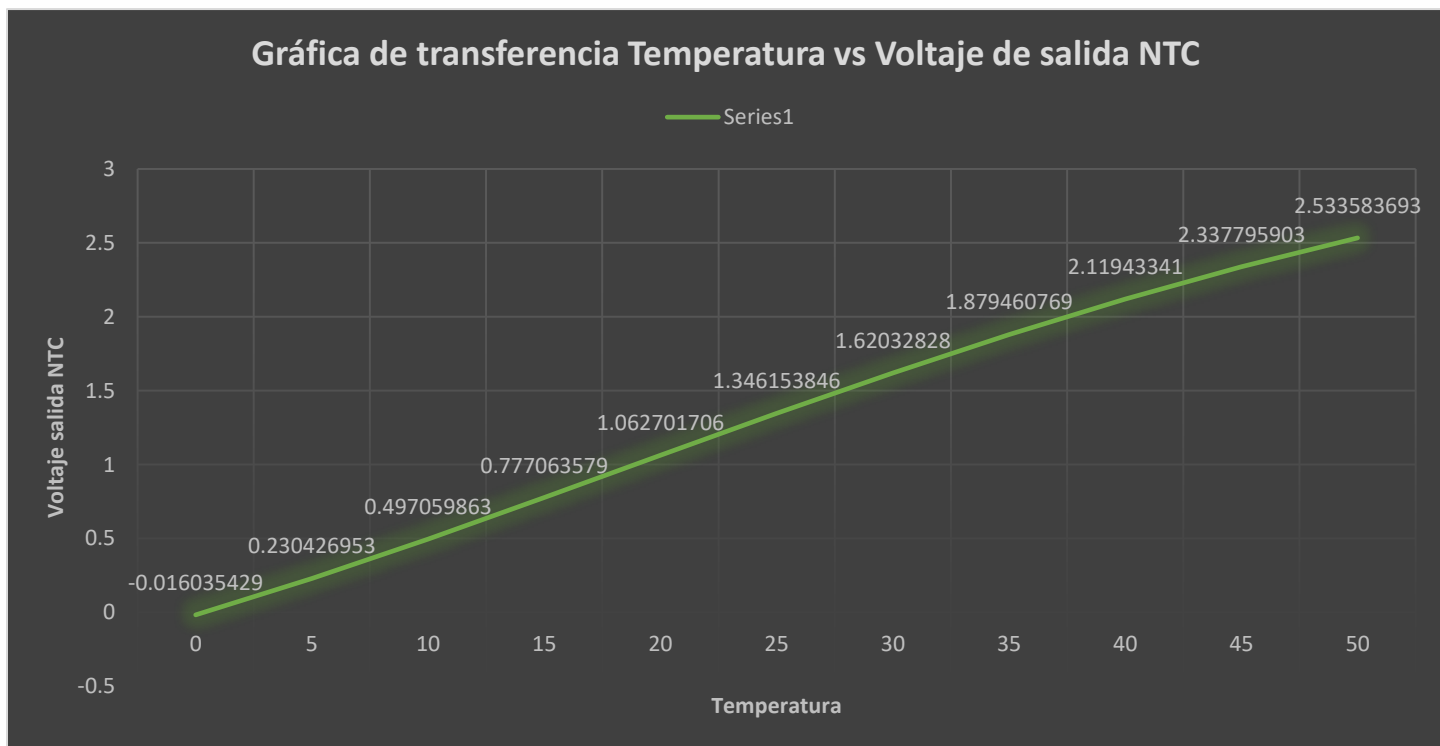
- El tipo de simulador que se ocupa.
- Errores de cálculo por falta de cifras.
- Falta de precisión a la hora de fijar valores a los elementos del circuito.
- Diferencias entre los valores que nosotros calculamos y los que fueron preprogramados a los elementos del circuito.

17. Con sus datos simulados, obtenga la curva de transferencia del puente de Wheatstone y la curva del CAS, compare con las curvas teóricas y concluya.

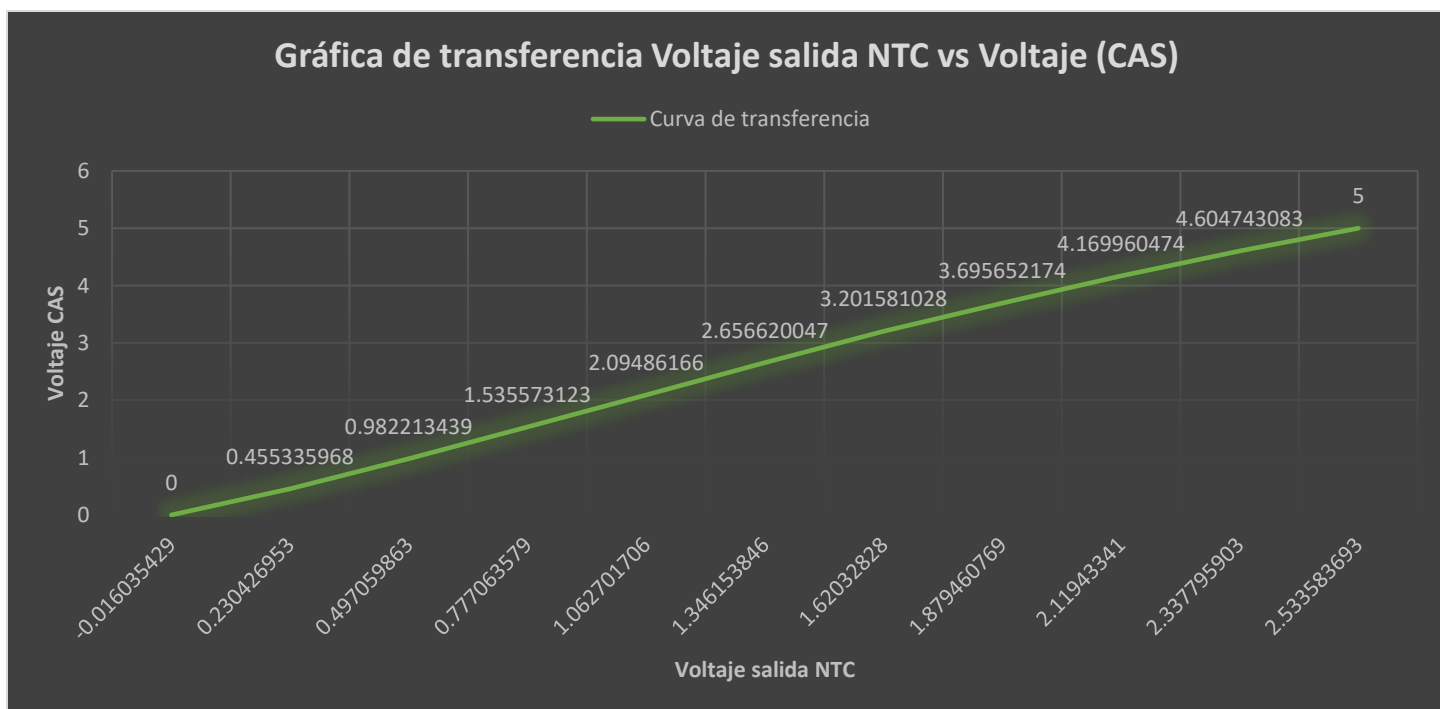
A continuación se muestran las curvas de transferencia de Datos Simulados, ya que previamente se obtuvieron las curvas de transferencia de Datos Teóricos:



Gráfica de transferencia Temperatura vs Resistencia NTC



Gráfica de transferencia Temperatura vs Voltaje de salida NTC



Gráfica de transferencia Voltaje salida NTC vs Voltaje (CAS)

Análisis de las gráficas de transferencias:

Podemos concluir que como vemos nuestros datos calculados teóricamente y las simulaciones nos dan valores muy parecidos por lo que podemos decir que nuestro diseño es bueno como y la simulación ha dado valores correctos, recordando que nuestras gráficas de la salida del voltaje CAS están dadas de esa forma por el diseño que se implementó.

Las variaciones de los datos de la primera gráfica son casi nulas el grado de una variación de 0.05 volts en el extremo menor donde hemos simulador con 0°C, pero recordando que una NTC es más estable en el punto central, y se va haciendo exponencial en los extremos por ello es que se linealizó y se ha encontrado la forma lineal, pero aún con un error muy pequeño.

Como vemos en la dispersión de las mediciones como se puede apreciar que son demasiado parecidas es por eso por lo que en las gráficas la línea no se logra percibir una de la otra claro está, que si ponemos una escala en la gráfica muy pequeña lograremos ver esa diferencia.

Ahora, por otro lado, también podemos ver que en la gráfica de transferencia entre los voltajes de salida del puente de Wheatstone son casi iguales de misma manera que en la primera, esto se debe a que nuestro puente está estabilizado y podemos tener la certeza de que está funcionando correctamente, como lo vimos anteriormente, este voltaje está dado por la resta de las 2:00 ramas, la que está fija y la que está cambiando de acuerdo a los valores que le aplicamos de temperatura a la NTC, vemos que su comportamiento es al revés en donde cuando tenemos una temperatura menor el voltaje es positivo y cuando nuestra temperatura sea mayor nuestro voltaje es negativo, por eso mismo hemos diseñado el CAS de esta manera.

Ahora analicemos de igual forma por separado cada una de las gráficas y podemos ver que su comportamiento es casi el mismo con muy pequeñas variaciones.

Como vemos, por separado, las curvas se comportan de la misma manera, y debemos de recordar que este voltaje y esta línea el izado gracias al divisor de voltaje que está dado por la NTC y el valor de R, por lo que la salida de nuestro puente de Wheatstone es lineal.

18. Expresa tus conclusiones generales de la primera etapa del circuito.

Como conclusiones podemos decir que la práctica nos permite ver diferentes aspectos de la instrumentación considerando que es un trabajo final para la materia vemos que nos permite tener y comprender los diferentes instrumentos de medición los cuales se pueden implementar desde tan solo mostrar los en una pantalla hasta lograr componentes más elaborados que aplicarían una mayor investigación y campos de prueba. pero el solo hecho de que logremos adaptar una variable a un voltaje que varía de acuerdo con el cambio de ésta nos permite tener la base para la implementación de los circuitos de mayor especificación.

En la práctica en mi sentir nos ayuda a comprender mejor sobre la linealización de la variable permitiéndonos tener una mejor manipulación ya que al tener los divisores o puente de Wheatstone estamos manipulando una variable de voltaje la cual dependerá de la variación de la resistencia que se opone al paso de la corriente de la NTC y que nos permite medir una temperatura; Recordemos que esta variable es muy fácil de manipular en los instrumentos y componentes.

La implementación de estos dispositivos tiene muchos datos que si bien el fabricante nos los proporciona de igual manera podemos calcular los mediante las fórmulas que representan su comportamiento.

como vimos el funcionamiento de una NTC varía de acuerdo con los datos de la misma y podemos encontrar una gran variedad vemos en esta práctica de igual manera que este trabaja sobre un rango reducido de comparación a otros dispositivos ya que de acuerdo a su naturaleza este tiene tiende a ser exponencial en los valores extremos.

como conclusión en la implementación de esta primera parte puedo decir que a veces es muy complicado el tener incertidumbre sobre la simulación en un equipo que no cuenta con demasiados recursos y si el circuito no está estabilizado puede que tenga errores de simulación como podemos ver en el caso de colocar los valores de una NTC sobre investigación y que en el Óhmetro no proporciona resistencia de acuerdo con el valor de la misma.

En conclusión, al finalizar esta práctica se lograron todos y cada uno de los objetivos propuestos al principio de esta:

Objetivo general:

- Diseñar y simular un sistema que muestre la información en base a la temperatura registrada por el Termistor NTCLE100E3.

Objetivos específicos:

- Corroborar el comportamiento un transistor NTCLE100E3, como base para la construcción de un circuito sensor de temperatura.
- Implementar un Circuito Acondicionador de señal para los rangos de voltaje de un sensor de temperatura a partir del comportamiento de un termistor.
- Comprender el funcionamiento de un LCD.
- Programar un microcontrolador Arduino UNO para procesar la información y que esta misma pueda ser vista en un LCD.

Creo que la parte más complicada fue el aprendizaje autodidacta que tuve que realizar para poder llevar a cabo esta práctica, por ejemplo:

- Aprender a programar en Arduino.
- Aprender cómo funciona un LCD.
- Recordar el funcionamiento de un Transistor NTCLE100E3.

Segunda etapa del circuito (Detector de luz):

- **Instrucciones:**

Diseñe un circuito generador de onda cuadrada conectado a un convertidor de frecuencia a voltaje que fungirá como detector de luz. El sistema tiene como base el siguiente diagrama de bloques:



Diagrama de bloques

1. Elija el rango de medida para su sistema, de acuerdo con la elección de su detector. Justifique su respuesta.
2. Diseña un generador de onda de acuerdo con las características del biestable de su elección. Haga uso de las notas que el profesor le proporcionó para que el diseño del generador de onda sea lo más completo posible.
3. Proponga los valores adecuados para que el circuito astable funcione dentro del rango de frecuencia propuesto.
4. Muestre el diagrama simulado del circuito astable
5. Calcule la tabla de valores de relación entre Frecuencia y Resistencia del oscilador, y su respectiva curva de transferencia.
6. Diseñe un convertidor de Frecuencia Voltaje con las características del LM331. Haga uso de las notas que el profesor le proporcionó para que el diseño del convertidor sea lo más completo posible.
7. Proponga los valores adecuados para que el circuito convertidor funcione dentro del rango de frecuencia propuesto.
8. Muestre el diagrama simulado del circuito astable
9. Calcule la tabla de valores de relación entre Frecuencia y Voltaje del convertidor, y su respectiva curva de transferencia.
10. De acuerdo con las condiciones de salida del convertidor previamente diseñado y a las características de entrada del convertidor analógico digital, diseña el circuito de acondicionamiento. Justifique por medio de cálculos el diseño de su CAS. Obtenga la curva teórica del subsistema CAS.
11. Elige el convertidor analógico digital que le facilite la implementación de la conversión analógico digital a 8 bits.
12. Los 8 bits del convertidor analógico digital deben llevarse a una tarjeta de adquisición de datos como medio de procesamiento y ser desplegados en un medio de visualización LCD. El LCD debe mostrar:
 - a. Frecuencia del astable NE555 (kHz).
 - b. El voltaje del convertidor LM331 (V).
 - c. y el voltaje del CAS (V_o).
13. Escribe el código de programación para la tarjeta de adquisición de datos.
14. Por medio del simulador de su elección y a hoja completa, muestra el circuito eléctrico final de su diseño, no implemente obviedades al realizar la conexión de cada uno de los elementos que forman parte de su sistema de medida.

15. Realice la simulación de su sistema de detección de luz y justifique que su diseño funciona correctamente, auxilio es de un vídeo o con explicaciones de capturas de pantalla.
16. Llene la tabla número 1 de datos teóricos y simulados.
17. Con sus datos simulados, obtenga la curva de transferencia del convertidor de frecuencia y la curva del CAS, compare con las curvas teóricas y concluya.
18. Exprese sus conclusiones generales.

Basándonos en el diagrama de bloques propuesto anteriormente, procedemos a explicar de forma detallada cada uno de los bloques por separado:

- **Generador de onda cuadrada NE555:**

En este circuito integrado se arma un circuito multivibrador biestable que, conectado a un LDR, se pretende que entregue como salida una señal cuadrada que varíe directamente con respecto a luz que perciba.

- **Convertidor de frecuencia/voltaje LM331:**

Este circuito encapsulado será el que convierta la frecuencia de entrada en voltaje a la salida.

- **Circuito Acondicionador de Señal:**

Es Circuito Acondicionador de Señal se va a encargar de amplificar, acondicionar y acoplar la señal de salida del Convertidor Frecuencia Voltaje a un rango entre 0 y 5V, que es el voltaje de entrada para nuestro siguiente módulo.

- **Convertidor Analógico Digital:**

Este integrado que vamos a utilizar es el Convertidor Analógico Digital ADC0804 en su configuración básica para un sistema de 8 bits, propuesto por el fabricante en la hoja de datos del integrado.

- **LED's de muestreo:**

LED's de salida que nos van a permitir visualizar en sistema binario de 8 bits el voltaje a la salida de nuestro CAS.

- **Tarjeta de Adquisición de datos Arduino:**

Este módulo se va a encargar de procesar el voltaje de entrada y mostrar la siguiente información, en el siguiente módulo:

- Frecuencia del astable NE555 (kHz).
- El voltaje del convertidor LM331 (V).
- y el voltaje del CAS (V_o).

- **Liquid - Crystal Display:**

Módulo de salida, donde se proyectarán los valores anteriormente mencionados.

- **Diseño del segundo bloque: Detector de luz**

1. Elija el rango de medida para su sistema, de acuerdo con la elección de su detector. Justifique su respuesta.

Para el sistema propuesto se tomarán en cuenta rangos de frecuencia entre 1kHz y 5kHz, esto es debido a que el fabricante nos recomienda este rango de medida para la aplicación que le vamos a dar nosotros de detector de luz.

2. Proponga los valores adecuados para que el circuito astable funcione dentro del rango de frecuencia propuesto.

Para contemplar el rango de frecuencia previamente mencionado se tomarán en cuenta las ecuaciones del circuito oscilador para la frecuencia, estas ecuaciones determinarán el valor de resistencia del LDR.

Se proponen los siguientes valores para los elementos del circuito astable:

- R1 = 1KOhm.
- R2 = 6.8kOhm. (1kHz)
- R2 = 820Ohm. (5kHz)
- C = 0.1 uf.

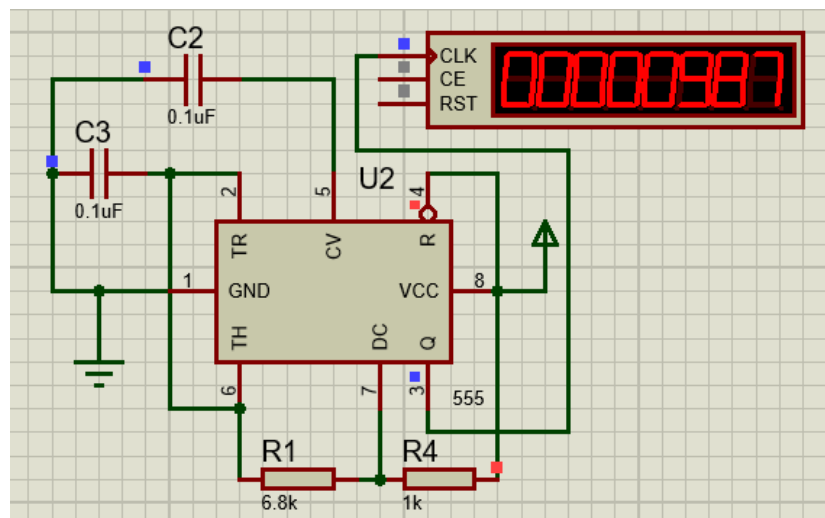
3. Diseña un generador de onda de acuerdo con las características del biestable de su elección. Haga uso de las notas que el profesor le proporcionó para que el diseño del generador de onda sea lo más completo posible.

Ahora, evaluamos los valores en la ecuación que nos permitirá saber la frecuencia:

$$f = \frac{1}{\ln(2)(0.1\mu f)(1k\Omega + 2 * 6.8k\Omega)} \approx 988.14Hz$$

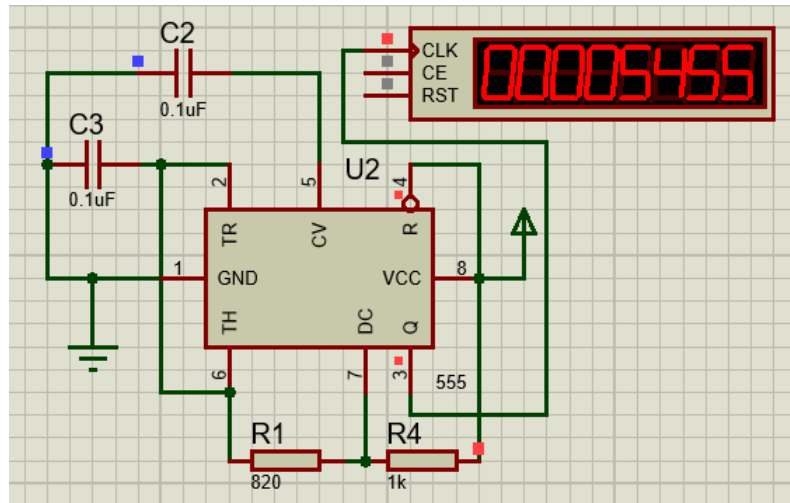
$$f = \frac{1}{\ln(2)(0.1\mu f)(1k\Omega + 2 * 820\Omega)} \approx 5464.75Hz$$

Ahora, simulamos el circuito con los valores calculados y propuestos:



Circuito de Simulación para 1kHz

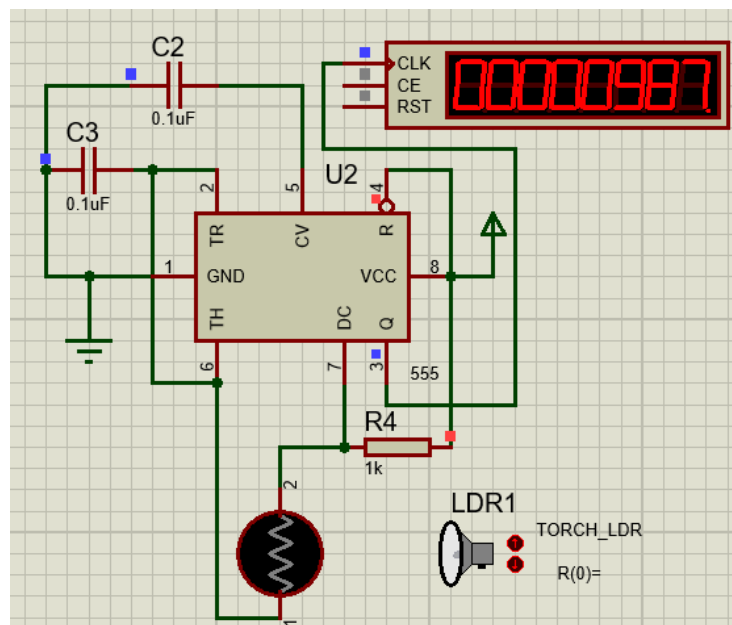
Evaluamos los siguientes valores para obtener la frecuencia deseada:



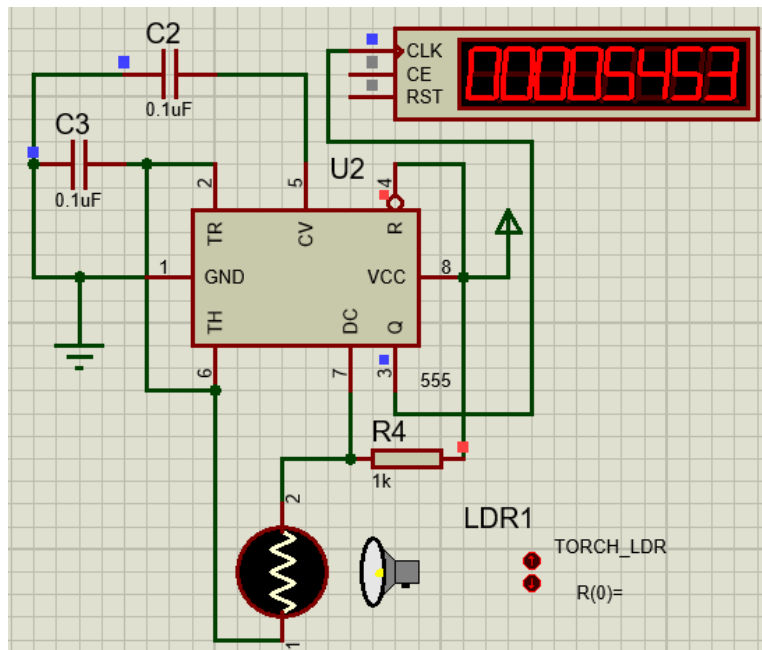
Circuito de Simulación para 5kHz

4. Muestre el diagrama simulado del circuito astable

Ahora, sustituimos la resistencia R1 del circuito pasado por una LDR, la cual nos va a permitir ajustar la cantidad de luz que incide por la LDR:



Circuito de Simulación para 1kHz con LDR

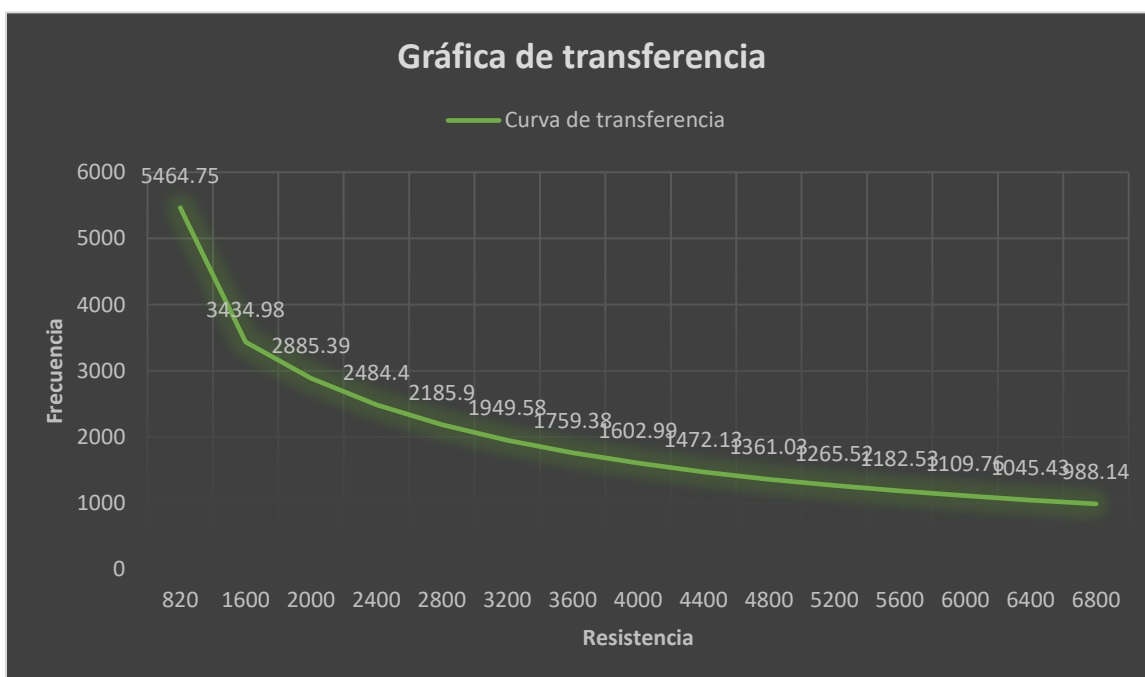


Circuito de Simulación para 5kHz con LDR

5. Calcule la tabla de valores de relación entre Frecuencia y Resistencia del oscilador, y su respectiva curva de transferencia.

Se muestra la tabla de valores de relación entre Frecuencia y Resistencia del oscilar, por supuesto, ocupamos las ecuaciones previamente utilizadas:

Dato	LDR Ω	F (555) Hz
1	6800	988.14
2	6400	1045.43
3	6000	1109.76
4	5600	1182.53
5	5200	1265.52
6	4800	1361.03
7	4400	1472.13
8	4000	1602.99
9	3600	1759.38
10	3200	1949.58
11	2800	2185.9
12	2400	2484.4
13	2000	2885.39
14	1600	3434.98
15	820	5464.75



6. Proponga los valores adecuados para que el circuito convertidor funcione dentro del rango de frecuencia propuesto.

Se propone el siguiente circuito sugerido por la hoja de datos del fabricante, la cual nos sugiere los siguientes valores para los componentes:

- $R_L = 100k\Omega$.
- $R_T = 6.81k\Omega$.
- $R_S = 17k\Omega$.
- $C_L = 1\mu F$.
- $C_T = 0.01\mu F$.

7. Diseñe un convertidor de Frecuencia Voltaje con las características del LM331. Haga uso de las notas que el profesor le proporcionó para que el diseño del convertidor sea lo más completo posible.

En base a la siguiente ecuación, evaluamos:

$$V_{out} = (f * V_{in}) \left(\frac{R_L}{R_S} \right) (R_T * C_L)$$

Voltaje de salida para 1kHz:

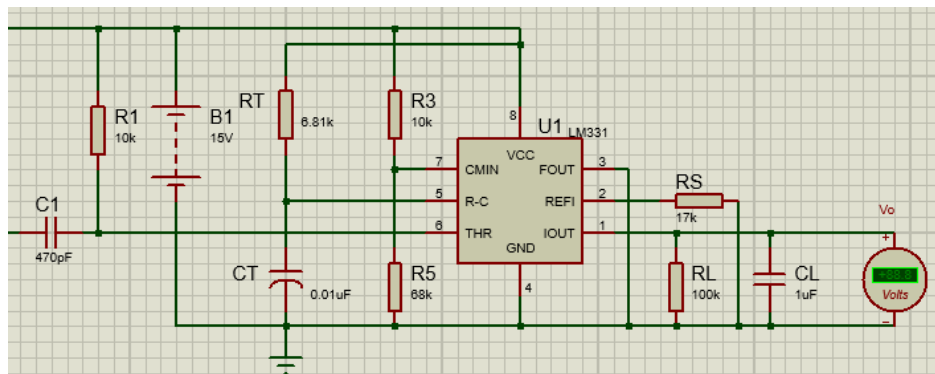
$$V_{out} = (988Hz)(2.09V) \left(\frac{100k\Omega}{17k\Omega} \right) (6.81k\Omega * 0.01\mu F) \approx 0.8271V$$

Voltaje de salida para 5kHz:

$$V_{out} = (5464Hz)(2.09V) \left(\frac{100k\Omega}{17k\Omega} \right) (6.81k\Omega * 0.01\mu F) \approx 4.5746V$$

8. Muestre el diagrama simulado del circuito astable.

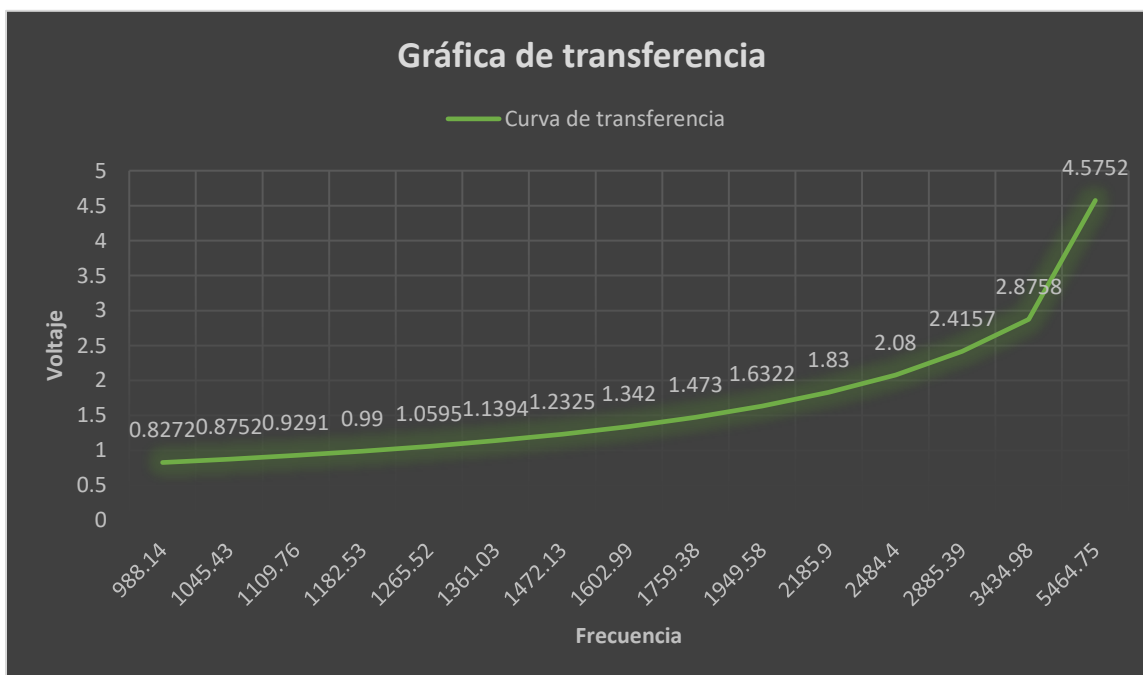
A continuación se muestra el diseño del circuito simulado y conectado a los elementos eléctricos previamente calculados:



Circuito simulado del convertidor Frecuencia Voltaje

9. Calcule la tabla de valores de relación entre Frecuencia y Voltaje del convertidor, y su respectiva curva de transferencia.

Dato	F (555) Hz	Vt (F/V) V
1	988.14	0.8272
2	1045.43	0.8752
3	1109.76	0.9291
4	1182.53	0.99
5	1265.52	1.0595
6	1361.03	1.1394
7	1472.13	1.2325
8	1602.99	1.342
9	1759.38	1.473
10	1949.58	1.6322
11	2185.9	1.83
12	2484.4	2.08
13	2885.39	2.4157
14	3434.98	2.8758
15	5464.75	4.5752



10. De acuerdo con las condiciones de salida del convertidor previamente diseñado y a las características de entrada del convertidor analógico digital, diseña el circuito de acondicionamiento. Justifique por medio de cálculos el diseño de su CAS. Obtenga la curva teórica del subsistema CAS.

La siguiente, es la relación de voltajes que tenemos a la entrada y las que deseamos obtener a la salida:

$$0.8271v \rightarrow 0v$$

$$4.5746v \rightarrow 5v$$

Ahora, procedemos a calcular la ecuación del Circuito Acondicionador de Señal:

Sabiendo que:

$$y = mx + b$$

ecuación de la línea recta

Procedemos a calcular la pendiente:

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

ecuación de la pendiente

Sustituyendo los valores dados anteriormente:

$$m = \frac{5 - 0}{4.5746 - 0.8271} = \frac{2000}{1499} \approx 1.3342$$

Procedemos a calcular b:

$$y = mx + b \cdots b = y - mx$$

Evalúamos la función con los valores anteriores:

$$b = 5 - \left(\frac{2000}{1499}\right) 4.5746$$

$$b = -\frac{8271}{7495}$$

$$\therefore b \approx -1.1035$$

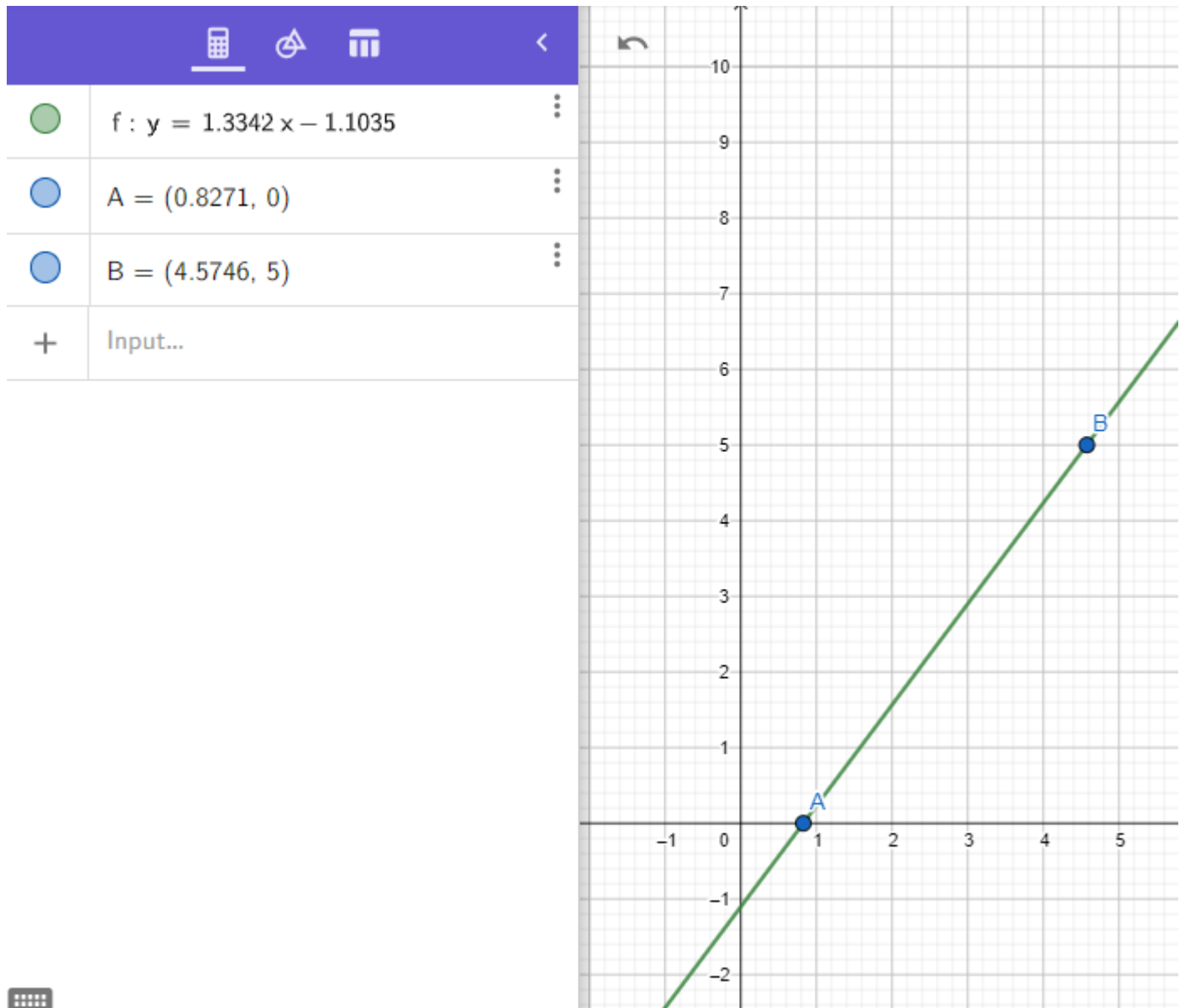
Finalmente, evaluamos en la ecuación inicial de la recta:

$$y = \frac{2000}{1499}x - \frac{8271}{7495}$$

Realizamos un cambio de variable para expresar la ecuación en términos de del Circuito Acondicionador de Señal(CAS):

$$V_o = 1.3342(V_i - 0.8270V)$$

La gráfica de la ecuación es la siguiente:



Gráfica de la ecuación del Circuito Acondicionador de Señal

Analizando la ecuación obtenida, observamos que necesitamos obtener de alguna forma 0.82v, y para eso, nos vamos a apoyar de un divisor de voltaje:

Proponemos un valor de resistencia de $R_A = 150k$, ahora evaluamos ambos valores en la ecuación de divisor de tensión:

$$V_{RB} = \frac{R_B}{R_A + R_B} V_s$$
$$0.82V = \frac{R_B}{R_A + R_B} 15V$$

$$\frac{0.82V}{15V} = \frac{R_B}{R_A + R_B}$$

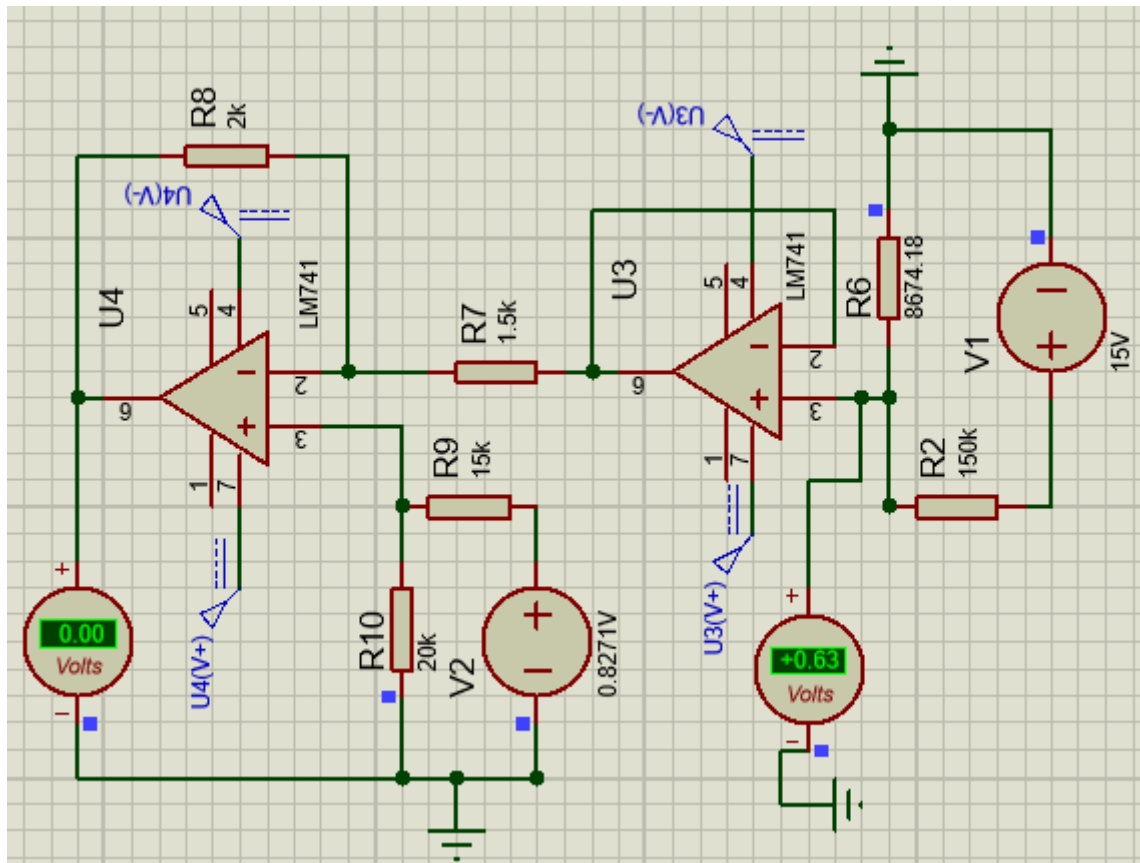
$$R_B = (R_A + R_B) \left(\frac{0.82V}{15V} \right)$$

$$R_B \left(1 - \frac{0.82V}{15V} \right) = R_A \left(\frac{0.82V}{15V} \right)$$

$$R_B = \frac{150K\Omega \left(\frac{0.82V}{15V} \right)}{1 - \frac{0.82V}{15V}}$$

$$\therefore R_B \approx 8674.18$$

Acto seguido, procedemos a simular el Circuito Acondicionador de Señal con los valores de los elementos previamente calculados:



Circuito Acondicionador de Señal en funcionamiento

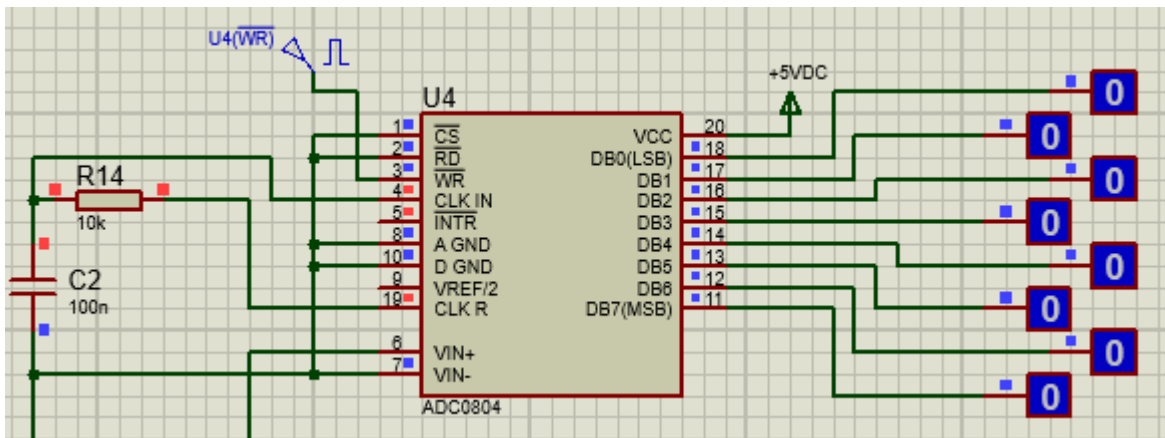
11. Elige el convertidor analógico digital que le facilite la implementación de la conversión analógico digital a 8 bits.

Para esto seleccionaremos el convertidor analógico digital ADC0804 ya que nos tiene una alimentación baja de 5 volts y un rango de conversión de 0 volts a 5 volts, lo que de acuerdo con nuestro diseño ese rango de salida de nuestro CAS, i nos lo convierte a una escala de 8 bits que va de cero a 255, la cual es la requerida.

A través de una referencia externa o aumentando el valor de la señal V_{in} con respecto a GND es posible obtener rangos más amplios de conversión (para lo que se recomienda consultar la hoja de especificaciones del fabricante). además su frecuencia de trabajo característica es de 8 KHz.

Teniendo una velocidad de respuesta un poco lenta en nuestro diseño pero eso se está dado por la entrada de RESET del mismo.

En esta ocasión, vamos a utilizar el Convertidor Analógico Digital ADC0804, en su configuración básica propuesta por el fabricante, la cual nos va a permitir representar a la salida un sistema de 8 bits conectados a una tira de 8 LED's, como se muestra a continuación:



12. Los 8 bits del convertidor analógico digital deben llevarse una tarjeta de adquisición de datos como medio de procesamiento y ser desplegados en un medio de visualización LCD. El LCD debe mostrar:

- La temperatura (T).
- El voltaje del puente de Wheatstone (V).
- y el voltaje del CAS (V_o).

Se enumeran los puertos del LCD que se conectaron al Arduino:

- VSS: conexión a tierra.
- VDD: alimentación (3V/5V).
- RS: conexión a la salida digital 10.
- RW: conexión a la salida digital 9.
- E: conexión a la salida digital 8.
- D4: conexión a la salida digital 5.
- D5: conexión a la salida digital 4.

- D6: conexión a la salida digital 3.
- D7: conexión a la salida digital 2.

A continuación, se muestra la sección de muestreo de datos completo, que incluye:

- Convertidor Analógico Digital ADC0804. (Con salida a 8 LED's)
- Tarjeta de Adquisición de Datos ARDUINO. (Con salida a LCD)

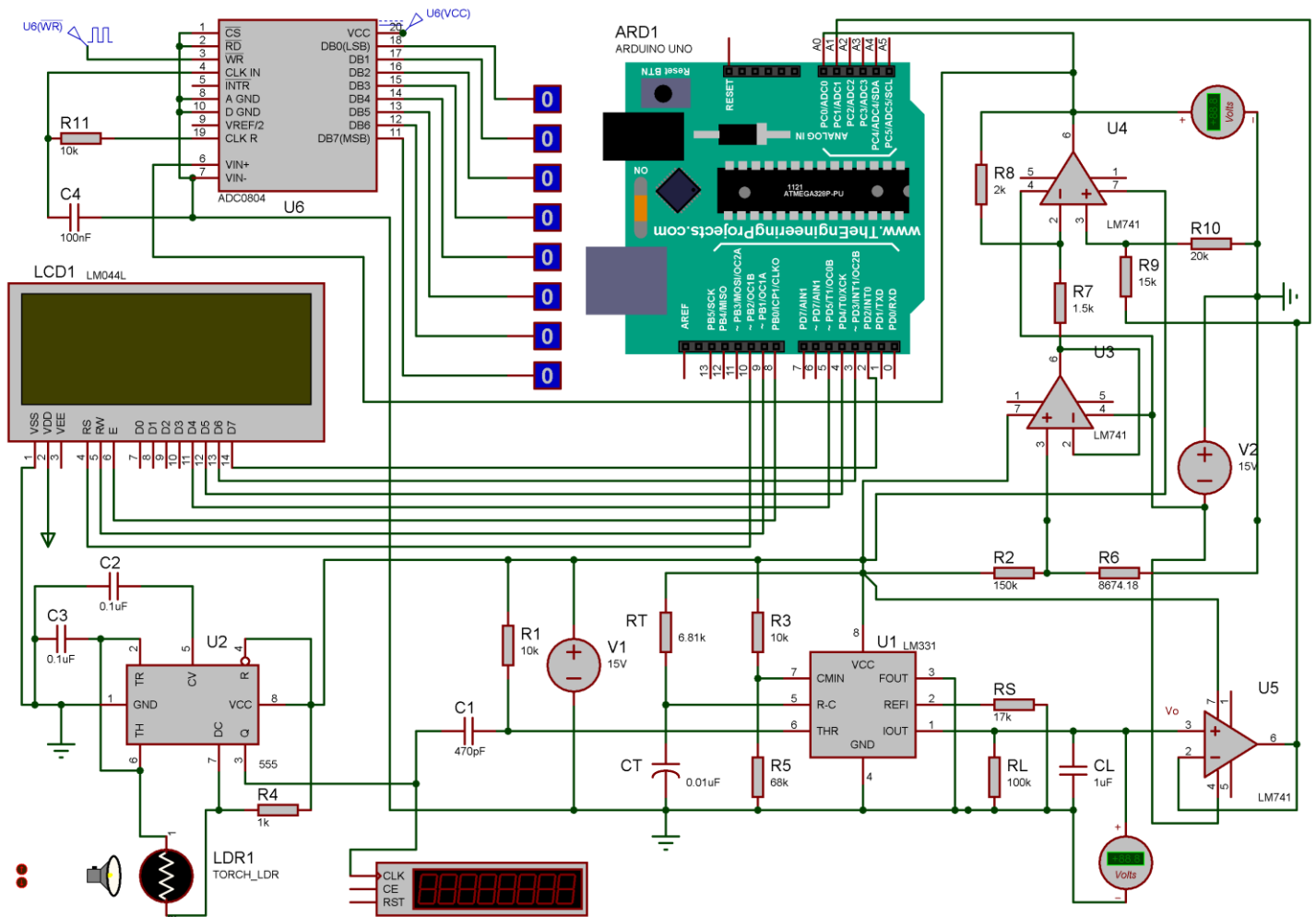


Diagrama del circuito completo de la segunda etapa

13. Escribe el código de programación para la tarjeta de adquisición de datos.

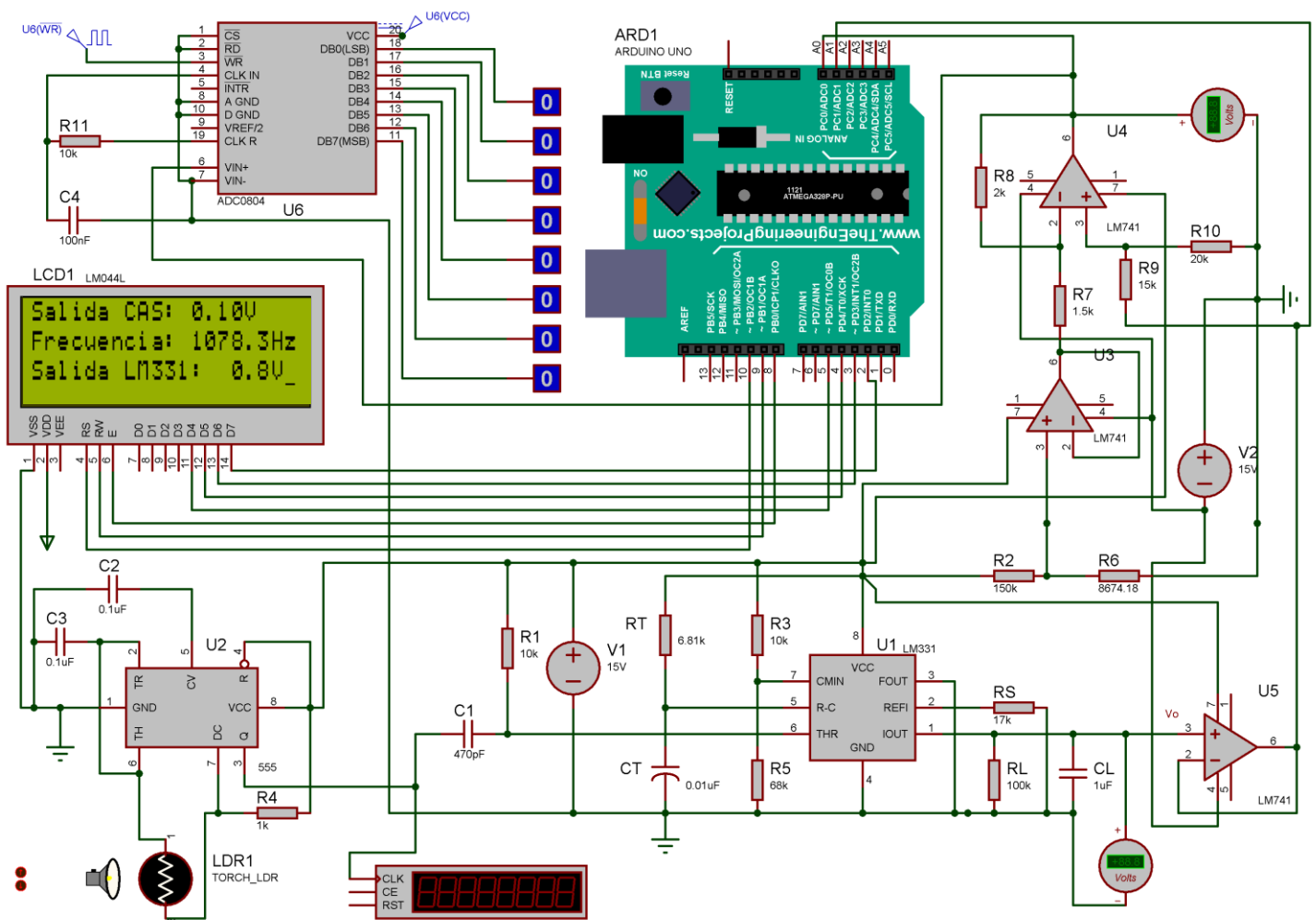
```
#include <LiquidCrystal.h>

1
2 LiquidCrystal lcd(10, 9, 8, 5, 4, 3, 2); //(RS, RW, E, D4,D5, D6, D7)
3
4 //Variables
5 float analogValue;
6 float analogValue2;
7 float CAS;
8 float frequencyVoltage;
9 float frequency;
10
11 void setup() {
12     Serial.begin(9600);
13     lcd.noCursor();
14     delay(500);
15     lcd.begin(20, 4);
16 }
17
18 void loop() {
19     analogValue = analogRead(A0); //Lee la salida del CAS
20     analogValue2 = analogRead(A1); //Lee la salida del LM331
21
22     CAS = analogValue*(5.0/1023.0); //Voltaje de salida del CAS
23     frequencyVoltage = analogValue2*(5.0/1023.0); //Votlaje de salida del convertidor
24 LM331
25     frequency = (frequencyVoltage*(0.17)*(1.0/2.09)*(1/(6.81*pow(10,-5))))+10.0;
26 //Frecuencia de oscilación del NE555
27
28     lcd.setCursor(0, 0); //Posición del renglón
29     lcd.print("Salida CAS:"); //Mensaje
30     lcd.setCursor(12, 0); //Posición del cursor
31     lcd.print(CAS); //Imprimir valor
32     lcd.setCursor(16, 0); //Posición del cursor
33     lcd.print("V"); //Mensaje
34
35     lcd.setCursor(0, 1); //Posición del renglón
36     lcd.print("Frecuencia:"); //Mensaje
37     lcd.setCursor(12, 1); //Posición del cursor
38     lcd.print(frequency); //Imprimir valor
39     lcd.setCursor(18, 1); //Posición del cursor
40     lcd.print("Hz"); //Mensaje
41
42     lcd.setCursor(0, 2); //Posición del renglón
43     lcd.print("Salida LM331:"); //Mensaje
44     lcd.setCursor(15, 2); //Posición del cursor
45     lcd.print(frequencyVoltage); //Imprimir valor
46     lcd.setCursor(18, 2); //Posición del cursor
47     lcd.print("V"); //Mensaje
48
49     lcd.cursor();
50     delay(500);
}
```


14. Por medio del simulador de su elección y a hoja completa, muestra el circuito eléctrico final de su diseño, no implemente obviedades al realizar la conexión de cada uno de los elementos que forman parte de su sistema de medida.

Visualización de resultados y unificación de la primera etapa del circuito, la cual se divide en las siguientes etapas:

- Circuito astable conectado al LDR
- Convertidor Frecuencia Voltaje
- Circuito Acondicionador de Señal
- Convertidor Analógico Digital
- Tira de 8 LED's
- Tarjeta de Adquisición ARDUINO
- LCD



Circuito Simulado final de la segunda etapa

15. Realice la simulación de su sistema de detección de luz y justifique que su diseño funciona correctamente, auxilio es de un vídeo o con explicaciones de capturas de pantalla.

El video explicativo del circuito se anexa junto con el reporte.

16. Llene la tabla número 1 de datos teóricos y simulados.

A continuación se presenta la tabla 1 de datos teóricos vs simulados:

Dato	Datos teóricos						Datos Simulados					
	LDR Ω	F (555) Hz	Vt (F/V) V	Vo (CAS) V	Decimal	Binario	LDR Ω	F (555) Hz	Vt (F/V) V	Vo (CAS) V	Decimal	Binario
1	6800	988.14	0.8272	0.0002	0	0	6800	987	0.82	0.00	0	0
2	6400	1045.43	0.8752	0.0643	18.25	10010	6400	1044	0.87	0.06	18	10010
3	6000	1109.76	0.9291	0.1362	36.46	100100	6000	1109	0.92	0.14	36	100100
4	5600	1182.53	0.99	0.2174	54.67	110110	5600	1183	0.98	0.21	54	110110
5	5200	1265.52	1.0595	0.3102	72.88	1001000	5200	1265	1.05	0.31	72	1001000
6	4800	1361.03	1.1394	0.4168	91.09	1011011	4800	1359	1.13	0.42	91	1011011
7	4400	1472.13	1.2325	0.541	109.3	1101101	4400	1470	1.22	0.54	109	1101101
8	4000	1602.99	1.342	0.6871	127.51	1111111	4000	1599	1.32	0.67	127	1111111
9	3600	1759.38	1.473	0.8618	145.72	10010001	3600	1755	1.46	0.85	145	10010001
10	3200	1949.58	1.6322	1.0742	163.93	10100011	3200	1945	1.62	1.07	163	10100011
11	2800	2185.9	1.83	1.3382	182.14	10110110	2800	2182	1.82	1.33	182	10110110
12	2400	2484.4	2.08	1.6717	200.35	11001000	2400	2481	2.06	1.66	200	11001000
13	2000	2885.39	2.4157	2.1196	218.57	11011010	2000	2877	2.4	2.1	218	11011010
14	1600	3434.98	2.8758	2.7335	236.78	11101100	1600	3426	2.85	2.71	236	11101100
15	820	5464.75	4.5752	5.00084	255	11111111	820	5443	4.55	4.99	255	11111111

Tabla comparativa de los resultados finales

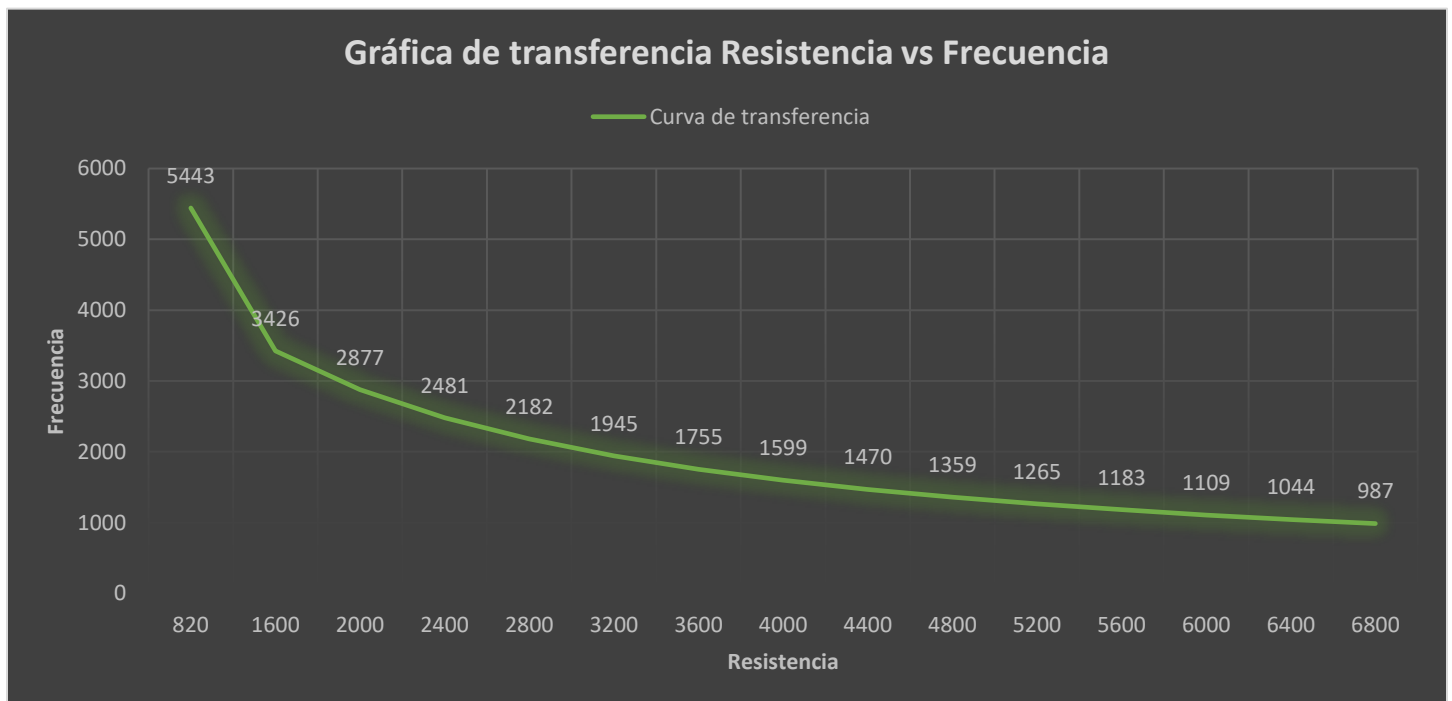
Análisis de la tabla comparativa:

Podemos apreciar que ambas partes difieren por milésimas, y esto es debido a diversos factores, como:

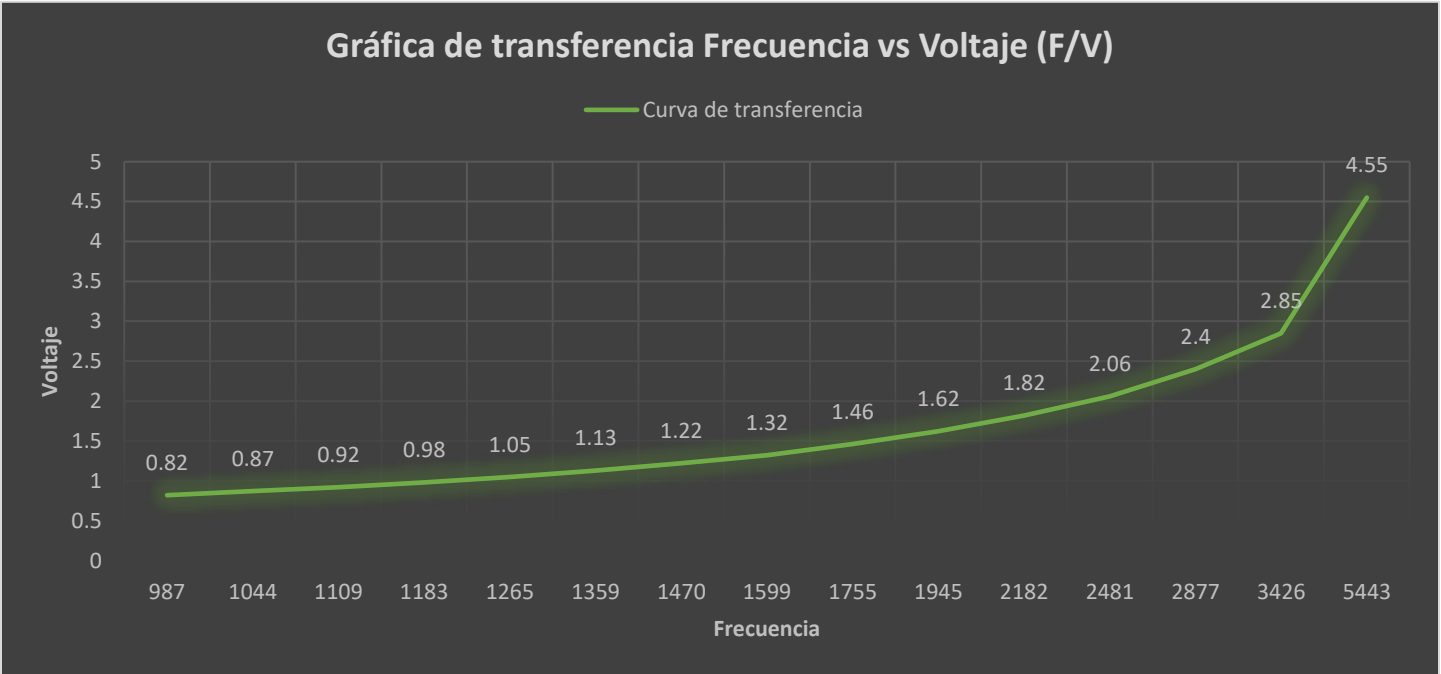
- El tipo de simulador que se ocupa.
- Errores de cálculo por falta de cifras.
- Falta de precisión a la hora de fijar valores a los elementos del circuito.
- Diferencias entre los valores que nosotros calculamos y los que fueron preprogramados a los elementos del circuito.

17. Con sus datos simulados, obtenga la curva de transferencia del convertidor de frecuencia y la curva del CAS, compare con las curvas teóricas y concluya.

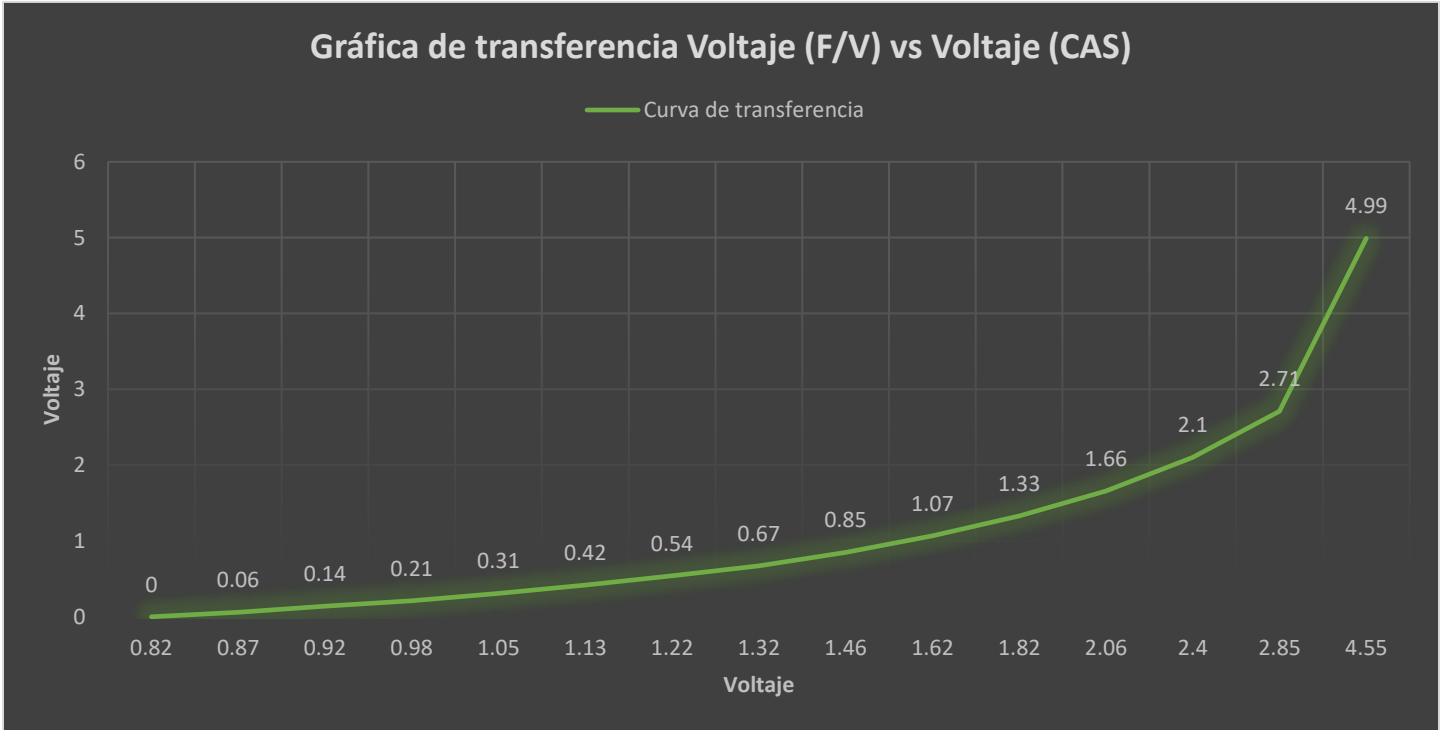
A continuación se muestran las curvas de transferencia de Datos Simulados, ya que previamente se obtuvieron las curvas de transferencia de Datos Teóricos:



Gráfica de transferencia Resistencia vs Frecuencia



Gráfica de transferencia Frecuencia vs Voltaje (F/V)



Gráfica de transferencia Voltaje (F/V) vs Voltaje (CAS)

Análisis de las gráficas de transferencias:

Podemos concluir que como vemos nuestros datos calculados teóricamente y las simulaciones nos dan valores muy parecidos por lo que podemos decir que nuestro diseño es bueno como y la simulación ha dado valores correctos, recordando que nuestras gráficas de la salida del voltaje CAS están dadas de esa forma por el diseño que se implementó.

Como vemos en la dispersión de las mediciones como se puede apreciar que son demasiado parecidas es por eso por lo que en las gráficas la línea no se logra percibir una de la otra claro está, que si ponemos una escala en la gráfica muy pequeña lograremos ver esa diferencia.

18. Expresa sus conclusiones generales.

Como conclusiones podemos decir que la práctica nos permite ver diferentes aspectos de la instrumentación considerando que es un trabajo final para la materia vemos que nos permite tener y comprender los diferentes instrumentos de medición los cuales se pueden implementar desde tan solo mostrar los en una pantalla hasta lograr componentes más elaborados que aplicarían una mayor investigación y campos de prueba. pero el solo hecho de que logremos adaptar una variable a un voltaje que varía de acuerdo con el cambio de ésta nos permite tener la base para la implementación de los circuitos de mayor especificación.

La implementación de estos dispositivos tiene muchos datos que si bien el fabricante nos los proporciona de igual manera podemos calcular los mediante las fórmulas que representan su comportamiento.

Como vimos el funcionamiento de una LDR varía de acuerdo con los datos de esta y podemos encontrar una gran variedad vemos en esta práctica de igual manera que este trabaja sobre un rango reducido de comparación a otros dispositivos ya que de acuerdo con su naturaleza este tiene tiende a ser exponencial en los valores extremos.

Como conclusión en la implementación de esta segunda parte puedo decir que a veces es muy complicado el tener incertidumbre sobre la simulación en un equipo que no cuenta con demasiados recursos y si el circuito no está estabilizado puede que tenga errores de simulación.

En conclusión, al finalizar esta práctica se lograron todos y cada uno de los objetivos propuestos al principio de esta:

Objetivo general:

- Diseñar y simular un sistema que muestre la información en base a la luz detectada por un LDR.

Objetivos específicos:

- Comprender el funcionamiento de un LDR.
- Diseñar un circuito con un generador de onda cuadrada IC 555 (NE 555) y calcular su frecuencia.
- Realizar un circuito detector de luz, implementando una foto resistencia y un conversor de Frecuencia a Voltaje, así como su etapa de acondicionamiento, para poder detectar diferentes intensidades de luz en Watts.

Creo que la parte más complicada fue el aprendizaje autodidacta que tuve que realizar para poder llevar a cabo esta práctica, por ejemplo:

- Aprender a programar en Arduino.
- Aprender cómo funciona un LCD.
- Aprender el funcionamiento de un Convertidor de Frecuencia a voltaje.

Tercera etapa del circuito (Barómetro):

- **Instrucciones:**

Diseñe un sistema de medida de presión atmosférica para un margen de entre 15kPa y 115 kPa utilizando un sensor MPX4115. El sistema tiene como base el siguiente diagrama de bloques:

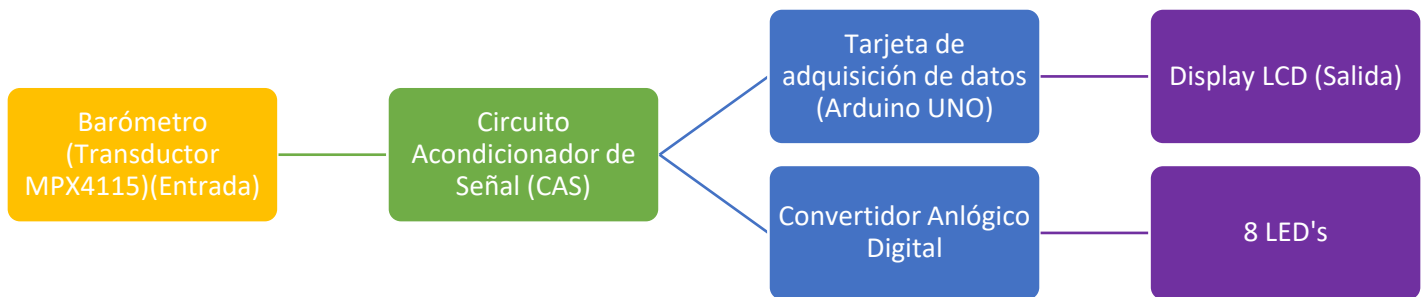


Diagrama de bloques

1. Elija el rango de medida para su sistema, de acuerdo con la elección de su sensor. Justifique su respuesta.
2. Para el modelo estático, determine las sensibilidades de su rango de medida.
3. ¿Cuál es la pendiente de la recta que une valores de resistencia para el rango de medida propuesto?
4. Diseña el Barómetro de acuerdo con las características del sensor de su elección.
5. De acuerdo con las condiciones de salida del sensor MPX4115 y a las características de entrada del convertidor analógico digital, diseña el circuito de acondicionamiento. Justifique por medio de cálculos el diseño de su CAS. Obtenga la curva teórica del subsistema CAS.
6. Elige el convertidor analógico digital que le facilite la implementación de la conversión analógico digital a 8 bits.
7. Los 8 bits del convertidor analógico digital deben llevarse a una tarjeta de adquisición de datos como medio de procesamiento y ser desplegados en un medio de visualización LCD. El LCD debe mostrar:
 - a. Presión (kPa).
 - b. El voltaje del sensor transductor (V).
 - c. y el voltaje del CAS (V_o).
8. Escribe el código de programación para la tarjeta de adquisición de datos.
9. Por medio del simulador de su elección y a hoja completa, muestra el circuito eléctrico final de su diseño, no implemente obviedades al realizar la conexión de cada 1 de los elementos que forman parte de su sistema de medida.
10. Realice la simulación de su sistema de medida de temperatura y justifique que su diseño funciona correctamente, auxilio es de un vídeo o con explicaciones de capturas de pantalla.
11. Llene la tabla número 1 de datos teóricos y simulados.
12. Con sus datos simulados, obtenga la curva de transferencia del Barómetro y la curva del CAS, compare con las curvas teóricas y concluya.
13. Exprese sus conclusiones generales.

Implementar un circuito sensor de temperatura en base al comportamiento de un transductor MPX4115 ante los efectos de la presión, circuito cuya salida analógica deberá ser convertida a señal digital de 8 bits por un Convertidor Analógico Digital

(CAD), y además, procesada por la Tarjeta de Adquisición de Datos (Arduino UNO) y finalmente mostrada la salida en 8 LED's, además, en un LCD.

Basándonos en el diagrama de bloques propuesto anteriormente, procedemos a explicar de forma detallada cada uno de los bloques por separado:

- **Barómetro (Transductor MPX4115)(Entrada):**

Este bloque se encarga de fungir como barómetro, ya que, sabemos que el transductor MPX4115 es sumamente sensible a la presión, con un rango de medición entre 15kPa y 115kPa; Y esto se ve reflejado en su salida en voltaje.

- **Circuito Acondicionador de Señal:**

Es Circuito Acondicionador de Señal se va a encargar de amplificar, acondicionar y acoplar la señal de salida del Barómetro transductor MPX4115 a un rango entre 0 y 5V, que es el voltaje de entrada para nuestro siguiente módulo.

- **Convertidor Analógico Digital:**

Este integrado que vamos a utilizar es el Convertidor Analógico a Digital ADC0804 en su configuración básica para un sistema de 8 bits, propuesto por el fabricante en la hoja de datos del integrado.

- **LED's de muestreo:**

LED's de salida que nos van a permitir visualizar en sistema binario de 8 bits el voltaje a la salida de nuestro CAS.

- **Tarjeta de Adquisición de datos Arduino:**

Este módulo se va a encargar de procesar el voltaje de entrada y mostrar la siguiente información, en el siguiente módulo:

- Presión (kPa).
- El voltaje del sensor transductor (V).
- y el voltaje del CAS (Vo).

- **Liquid - Crystal Display:**

Módulo de salida, donde se proyectarán los valores anteriormente mencionados.

- **Diseño del tercer bloque: Barómetro:**

1. Elija el rango de medida para su sistema, de acuerdo con la elección de su sensor. Justifique su respuesta.

Para el sistema propuesto se tomarán en cuenta rangos de presión entre 15kPa y 115kPa, esto es debido a que el fabricante nos recomienda este rango de medida para la aplicación que le vamos a dar nosotros de barómetro.

2. Determine la sensibilidad de su rango de medida.

Afortunadamente, el fabricante nos proporciona este dato, ya que solamente cuenta con un valor típico de sensibilidad:

$$S = 46 \frac{mV}{kPa}$$

Esto significa que, por cada incremento en la presión de 1 kPa este va a aumentar su voltaje de salida en 46mV. Esto a ser muy importante a la hora de corroborar los datos de comparación al final.

3. Diseña el Barómetro de acuerdo con las características del sensor de su elección.

Nos vamos a apoyar de la ecuación, de voltaje de salida del sensor, que nos proporciona el fabricante:

$$V_{out} = V_s * (0.009 * P - 0.095) \pm Error$$

Donde:

- V_{out} : Voltaje de salida.
- V_s : Voltaje de alimentación (V_{cc})
- P : Presión
- Error: ± 1.5 Máximo

Cabe resaltar que el voltaje de alimentación típico que nos recomienda aplicar el fabricante es de 5.1V, por lo que vamos a seguir esa recomendación y aplicarlo a nuestros cálculos.

Vamos a calcular el valor del Voltaje de salida del sensor en los extremos de nuestro rango:

$$V_{o(15)} = V_s * (0.009 * P - 0.095) \pm Error$$

$$V_{o(15)} = 5.1V * (0.009 * 15Pa - 0.095) \pm 0 = 0.204V$$

$$V_{o(65)} = V_s * (0.009 * P - 0.095) \pm Error$$

$$V_{o(65)} = 5.1V * (0.009 * 65Pa - 0.095) \pm 0 = 2.499V$$

$$V_{o(115)} = V_s * (0.009 * P - 0.095) \pm Error$$

$$V_{o(115)} = 5.1V * (0.009 * 115Pa - 0.095) \pm 0 = 4.794V$$

4. ¿Cuál es la pendiente de la recta que une valores de resistencia para el rango de medida propuesto?

Esto es muy sencillo si nos apoyamos de la ecuación del voltaje que nos proporciona el fabricante y los cálculos previamente realizados:

$$y = mx + b$$

Procedemos a calcular la pendiente:

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

Sustituyendo los valores dados anteriormente:

$$m = \frac{4.794V - 0.204V}{115 - 15} = \frac{459}{10000} = 0.0459$$

$$m \approx 0.046 = 46 \frac{mV}{kPa}$$

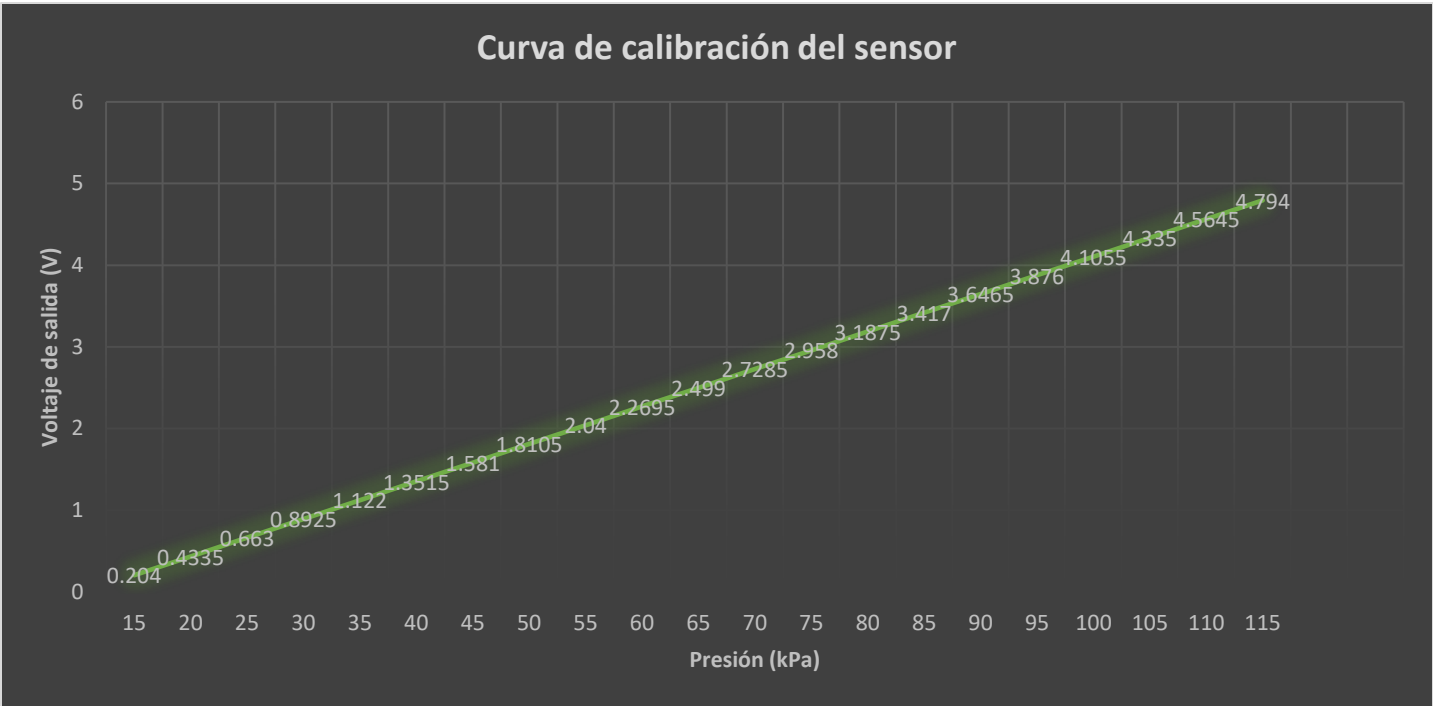
Del cálculo anterior, podemos deducir que la Sensibilidad y la pendiente de la recta que une los extremos de nuestro rango de medida son lo mismo.

Pasando a otra cosa, calculamos la tabla de valores de Presión Voltaje:

Presión (kPa)	Voltaje de salida (V)
15	0.204
20	0.4335
25	0.663
30	0.8925
35	1.122
40	1.3515
45	1.581
50	1.8105
55	2.04
60	2.2695
65	2.499
70	2.7285
75	2.958
80	3.1875
85	3.417
90	3.6465

95	3.876
100	4.1055
105	4.335
110	4.5645
115	4.794

Tabla de valores



Curva de calibración del sensor

5. De acuerdo con las condiciones de salida del sensor MPX4115 y a las características de entrada del convertidor analógico digital, diseña el circuito de acondicionamiento. Justifique por medio de cálculos el diseño de su CAS. Obtenga la curva teórica del subsistema CAS.

La siguiente, es la relación de voltajes que tenemos a la entrada y las que deseamos obtener a la salida:

$$0.204V \rightarrow 0V$$

$$4.794V \rightarrow 5V$$

Ahora, procedemos a calcular la ecuación del Circuito Acondicionador de Señal:

Sabiendo que:

$$y = mx + b$$

Procedemos a calcular la pendiente:

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

Sustituyendo los valores dados anteriormente:

$$m = \frac{5 - 0}{4.794V - 0.204V} = \frac{500}{459} = 1.089324619$$

Procedemos a calcular b:

$$y = mx + b$$

$$\therefore b = y - mx$$

Evalúamos la función con los valores anteriores:

$$b = 5 - 1.089324619(4.794)$$

$$b = -\frac{2}{9} = 0.2\bar{2}$$

Finalmente, evaluamos en la ecuación inicial de la recta:

$$y = 1.089324619x - 0.2\bar{2}$$

Realizamos un cambio de variable para expresar la ecuación en términos de del Circuito Acondicionador de Señal (CAS):

$$V_o = 1.089324619V_t - 0.2\bar{2}$$

Procedemos al cálculo de la ganancia de nuestro Amplificador de Instrumentación

$$G = \frac{V_{o(CAS)}}{V_{o(NTC)}}$$

$$G = \frac{5V}{4.749} = 0.04297038$$

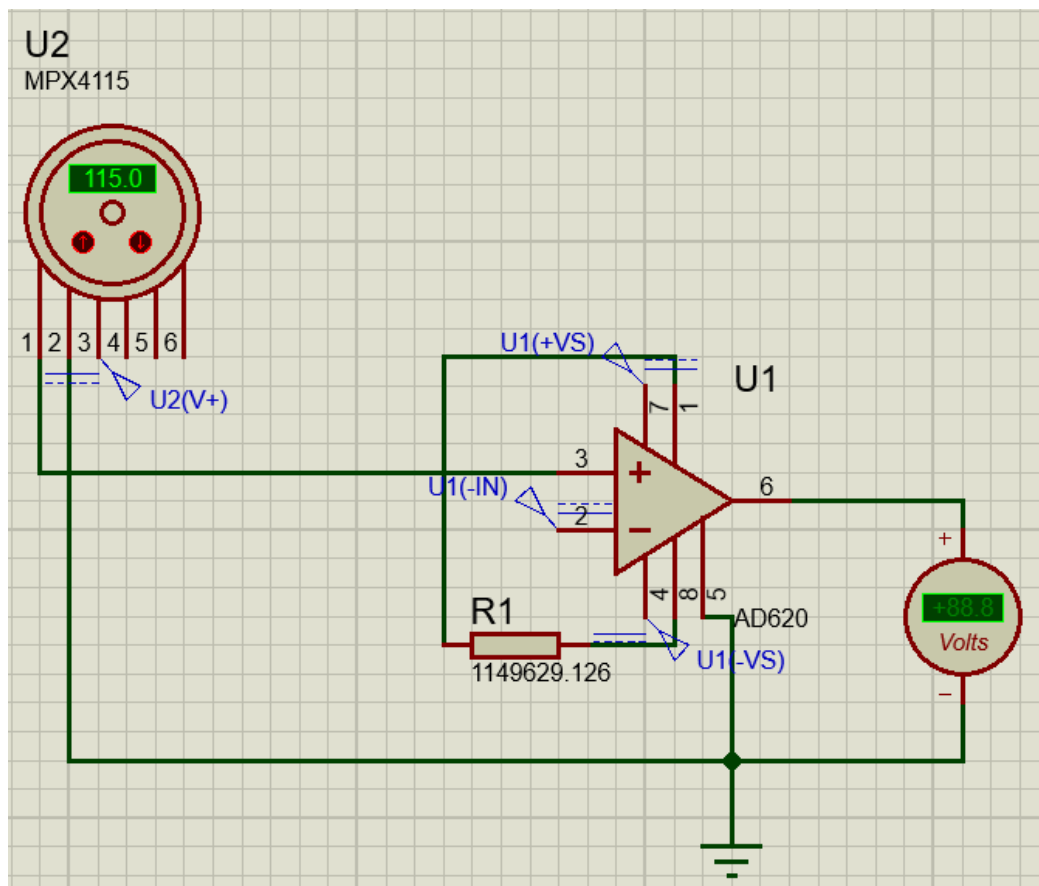
Nos referimos a la hoja de datos del encapsulado, y nos da la siguiente fórmula para obtener el valor de la Resistencia que nos va a dar la Ganancia deseada:

$$G = 1 + \frac{49400\Omega}{R_G}$$

$$\therefore R_G = \frac{49400\Omega}{G - 1}$$

$$R_G = \frac{49400\Omega}{0.04297038 - 1} = 1149629.126\Omega$$

Acto seguido, procedemos a simular el Circuito Acondicionador de Señal con los valores de los elementos previamente calculados:



Circuito Acondicionador de Señal completo

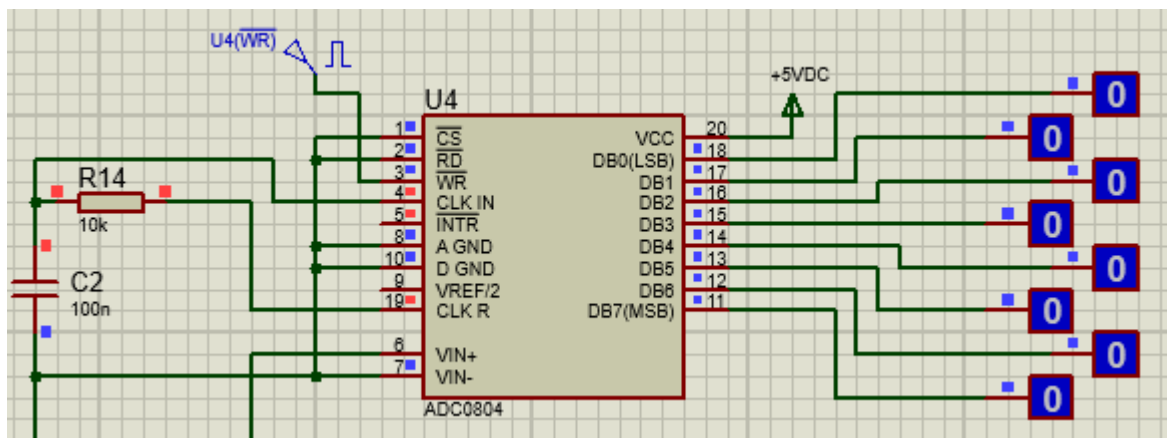
6. Elige el convertidor analógico digital que le facilite la implementación de la conversión analógico digital a 8 bits.

Para esto seleccionaremos el convertidor analógico digital ADC0804 ya que nos tiene una alimentación baja de 5 volts y un rango de conversión de 0 volts a 5 volts, lo que de acuerdo con nuestro diseño ese rango de salida de nuestro CAS, i nos lo convierte a una escala de 8 bits que va de cero a 255, la cual es la requerida.

A través de una referencia externa o aumentando el valor de la señal V_{in} con respecto a GND es posible obtener rangos más amplios de conversión (para lo que se recomienda consultar la hoja de especificaciones del fabricante). además su frecuencia de trabajo característica es de 8 KHz.

Teniendo una velocidad de respuesta un poco lenta en nuestro diseño pero eso se está dado por la entrada de RESET del mismo.

En esta ocasión, vamos a utilizar el Convertidor Analógico Digital ADC0804, en su configuración básica propuesta por el fabricante, la cual nos va a permitir representar a la salida un sistema de 8 bits conectados a una tira de 8 LED's, como se muestra a continuación:



7. Los 8 bits del convertidor analógico digital deben llevarse una tarjeta de adquisición de datos como medio de procesamiento y ser desplegados en un medio de visualización LCD. El LCD debe mostrar:

- La Presión (P).**
- El voltaje de salida del sensor (V).**
- Y el voltaje del CAS (V_o).**

Se enumeran los puertos del LCD que se conectaron al Arduino:

- VSS: conexión a tierra.
- VDD: alimentación (3V/5V).
- RS: conexión a la salida digital 10.
- RW: conexión a la salida digital 9.
- E: conexión a la salida digital 8.
- D4: conexión a la salida digital 5.
- D5: conexión a la salida digital 4.

- D6: conexión a la salida digital 3.
- D7: conexión a la salida digital 2.

A continuación, se muestra la sección de muestreo de datos completo, que incluye:

- Convertidor Analógico Digital ADC0804. (Con salida a 8 LED's)
- Tarjeta de Adquisición de Datos ARDUINO. (Con salida a LCD)

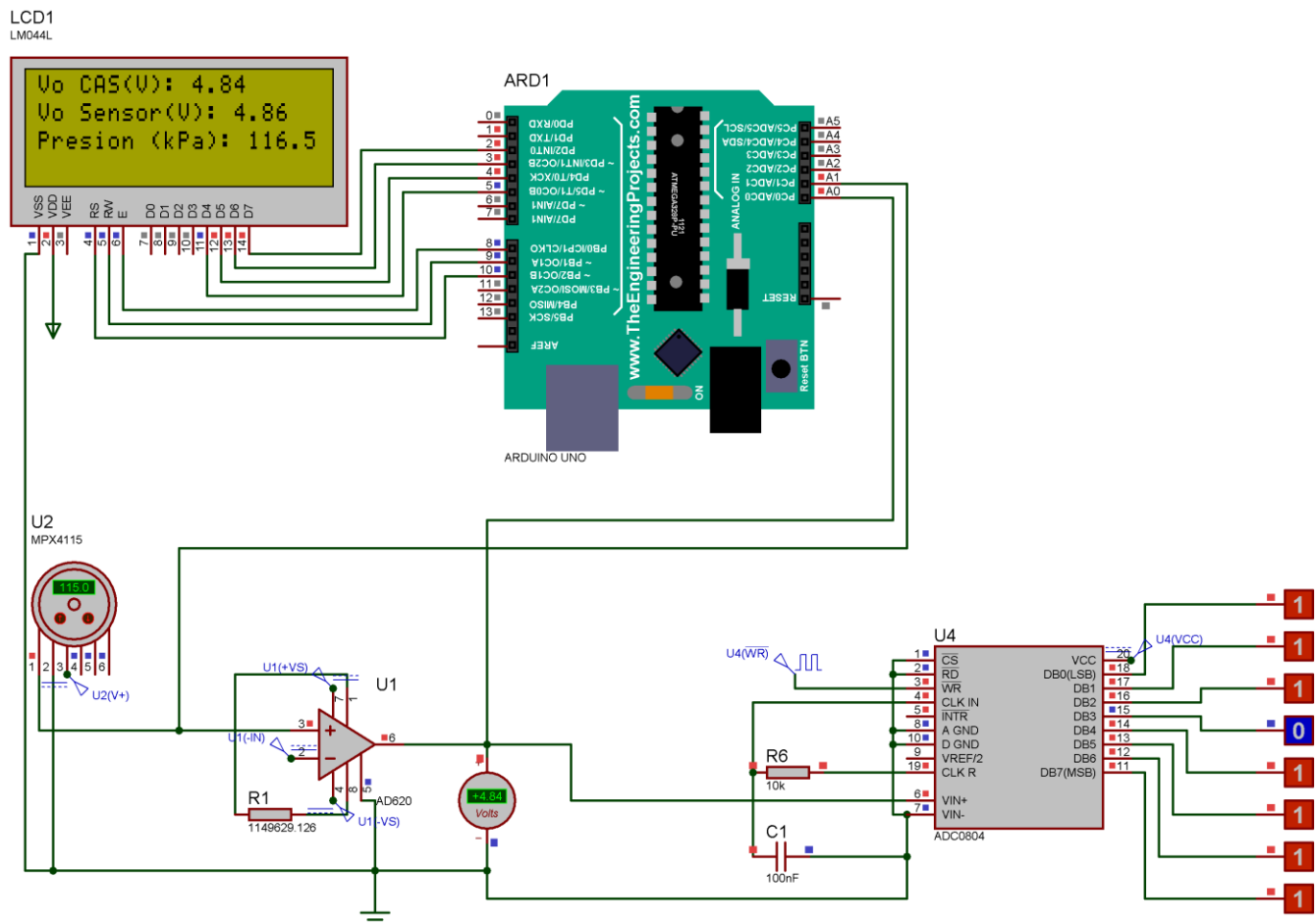


Diagrama de la tercera etapa del proyecto completo

8. Escribe el código de programación para la tarjeta de adquisición de datos.

```
1  #include <LiquidCrystal.h>
2
3  LiquidCrystal lcd(10, 9, 8, 5, 4, 3, 2); // (RS, RW, E, D4, D5, D6, D7)
4
5  float volt;
6  float CAS;
7  float E1;
8  float E2;
9
10 void setup() {
11     Serial.begin(9600);
12     lcd.noCursor();
13     delay(500);
14     lcd.begin(20, 4);
15 }
16
17 void loop() {
18     volt = analogRead(A0);
19     CAS = (volt * 5) / 1024;
20     volt = analogRead(A1);
21     E1 = (volt * 5) / 1024;
22     E2 = ((E1 / 5.1) + 0.095) / 0.009;
23
24     lcd.setCursor(0, 0); //Posición del renglón
25     lcd.print("Vo CAS (V) :"); //Mensaje
26     lcd.setCursor(11, 0); //Posición del cursor
27     lcd.print(CAS); //Imprimir valor
28
29     lcd.setCursor(0, 1); //Posición del renglón
30     lcd.print("Vo Sensor (V) :"); //Mensaje
31     lcd.setCursor(14, 1); //Posición del cursor
32     lcd.print(E1); //Imprimir valor
33
34     lcd.setCursor(0, 2); //Posición del renglón
35     lcd.print("Presion (kPa) :"); //Mensaje
36     lcd.setCursor(15, 2); //Posición del cursor
37     lcd.print(E2); //Imprimir valor
38
39     lcd.cursor();
40     delay(500);
41 }
```

9. Por medio del simulador de su elección y a hoja completa, muestra el circuito eléctrico final de su diseño, no implemente obviedades al realizar la conexión de cada 1 de los elementos que forman parte de su sistema de medida.

Visualización de resultados y unificación de la primera etapa del circuito, la cual se divide en las siguientes etapas:

- Sensor de Presión
- Circuito Acondicionador de Señal
- Convertidor Analógico Digital
- Tira de 8 LED's
- Tarjeta de Adquisición ARDUINO
- LCD

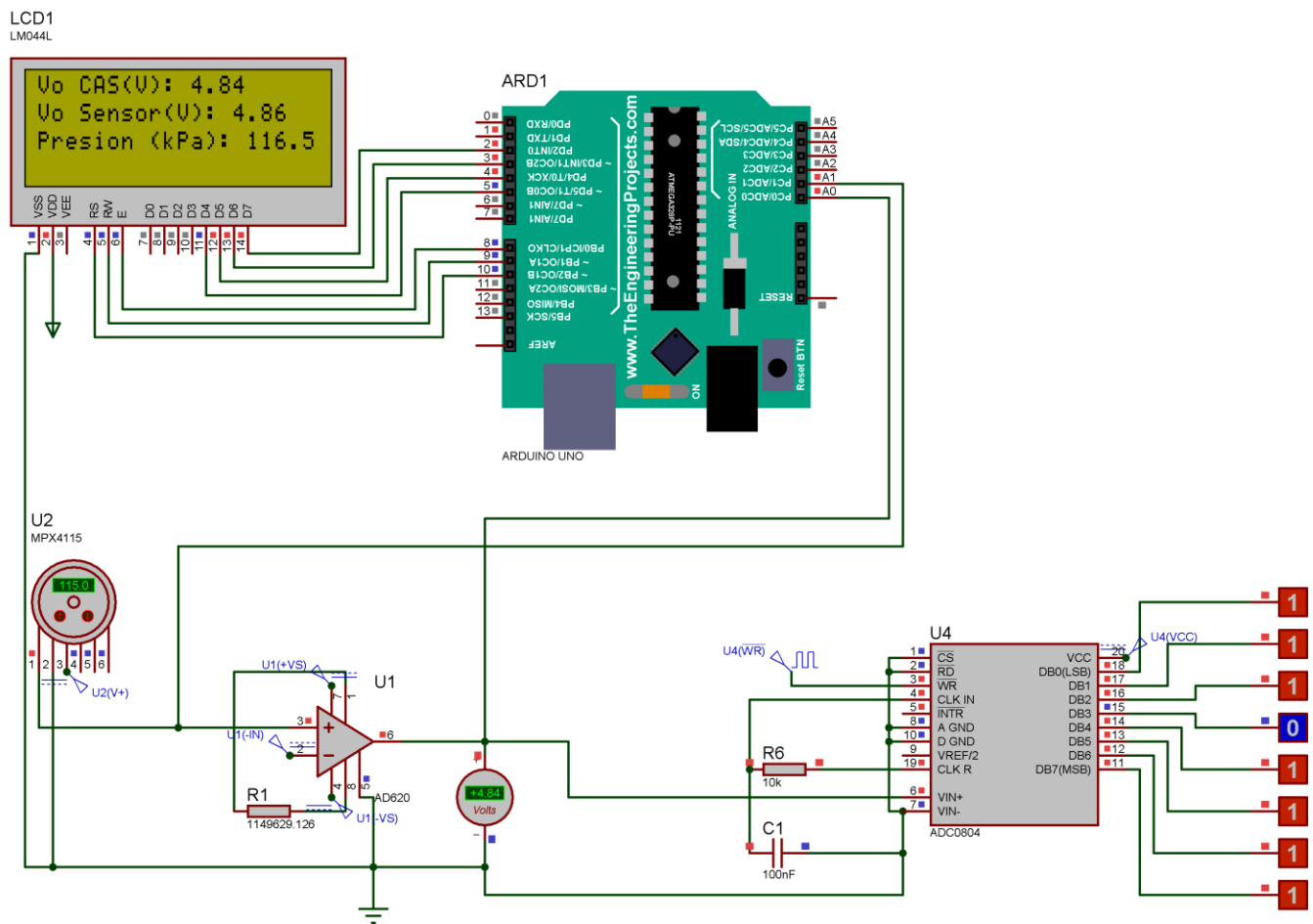


Diagrama de la tercera etapa completo

10. Realice la simulación de su sistema de medida de temperatura y justifique que su diseño funciona correctamente, auxilio es de un vídeo o con explicaciones de capturas de pantalla.

El video explicativo se anexo junto con el reporte.

11. Llene la tabla número 1 de datos teóricos y simulados.

A continuación se presenta la tabla 1 de datos teóricos vs simulados:

Dato	Datos teóricos					Datos Simulados				
	Presión (kPa)	Voltaje de salida (V)	Vo (CAS) V	Decimal	Binario	Presión (kPa)	Voltaje de salida (V)	Vo (CAS) V	Decimal	Binario
1	15	0.204	0.00222222	0	0	15	0.204	0.00222222	0	0
2	20	0.4335	0.25222222	12.75	1100	20	0.4335	0.25222222	12.75	1100
3	25	0.663	0.50222222	25.5	11001	25	0.663	0.50222222	25.5	11001
4	30	0.8925	0.75222222	38.25	100110	30	0.8925	0.75222222	38.25	100110
5	35	1.122	1.00222222	51	110011	35	1.122	1.00222222	51	110011
6	40	1.3515	1.25222222	63.75	111111	40	1.3515	1.25222222	63.75	111111
7	45	1.581	1.50222222	76.5	1001100	45	1.581	1.50222222	76.5	1001100
8	50	1.8105	1.75222222	89.25	1011001	50	1.8105	1.75222222	89.25	1011001
9	55	2.04	2.00222222	102	1100110	55	2.04	2.00222222	102	1100110
10	60	2.2695	2.25222222	114.75	1110010	60	2.2695	2.25222222	114.75	1110010
11	65	2.499	2.50222222	127.5	1111111	65	2.499	2.50222222	127.5	1111111
12	70	2.7285	2.75222222	140.25	10001100	70	2.7285	2.75222222	140.25	10001100
13	75	2.958	3.00222222	153	10011001	75	2.958	3.00222222	153	10011001
14	80	3.1875	3.25222222	165.75	10100101	80	3.1875	3.25222222	165.75	10100101
15	85	3.417	3.50222222	178.5	10110010	85	3.417	3.50222222	178.5	10110010
16	90	3.6465	3.75222222	191.25	10111111	90	3.6465	3.75222222	191.25	10111111
17	95	3.876	4.00222222	204	11001100	95	3.876	4.00222222	204	11001100
18	100	4.1055	4.25222222	216.75	11011000	100	4.1055	4.25222222	216.75	11011000
19	105	4.335	4.50222222	229.5	11100101	105	4.335	4.50222222	229.5	11100101
20	110	4.5645	4.75222222	242.25	11110010	110	4.5645	4.75222222	242.25	11110010
21	115	4.794	5.00222222	255	11111111	115	4.794	5.00222222	255	11111111

Tabla comparativa de los resultados finales

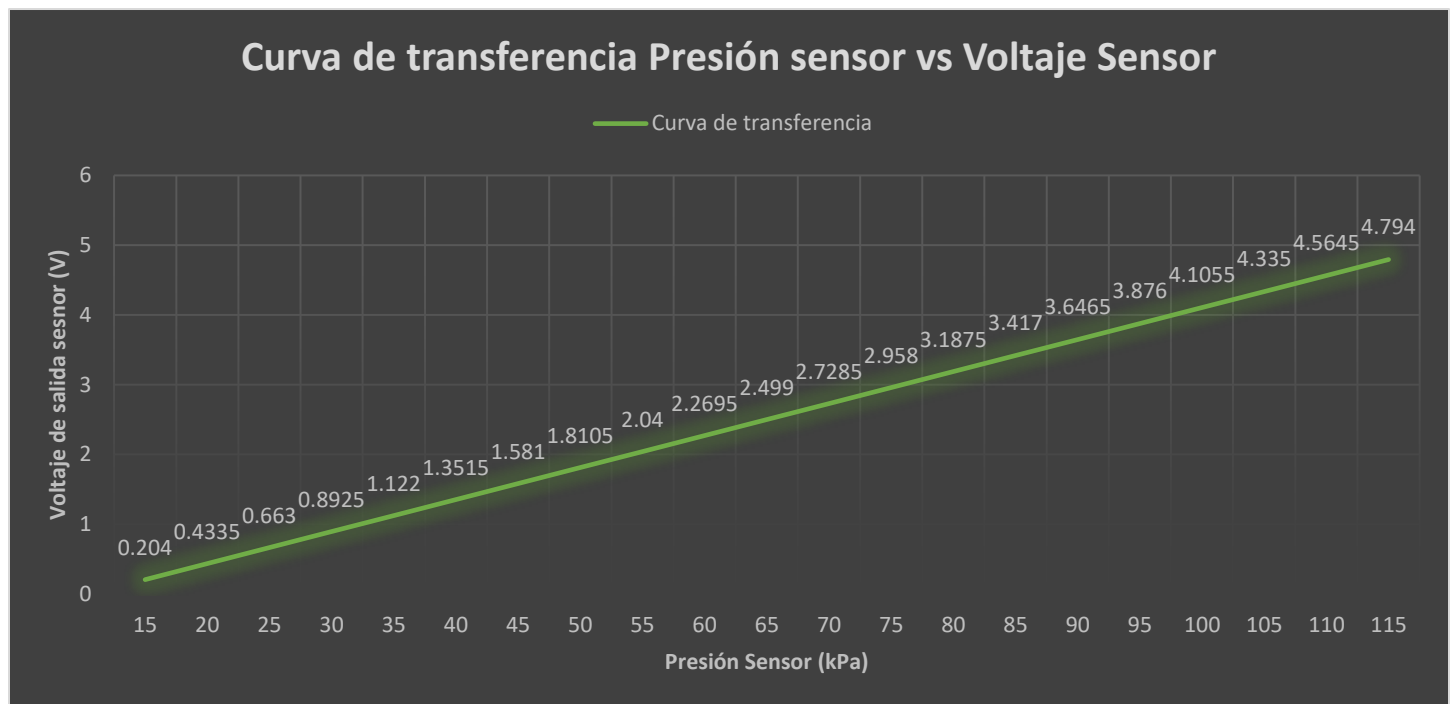
Análisis de la tabla comparativa:

Podemos apreciar que ambas partes difieren por milésimas, y esto es debido a diversos factores, como:

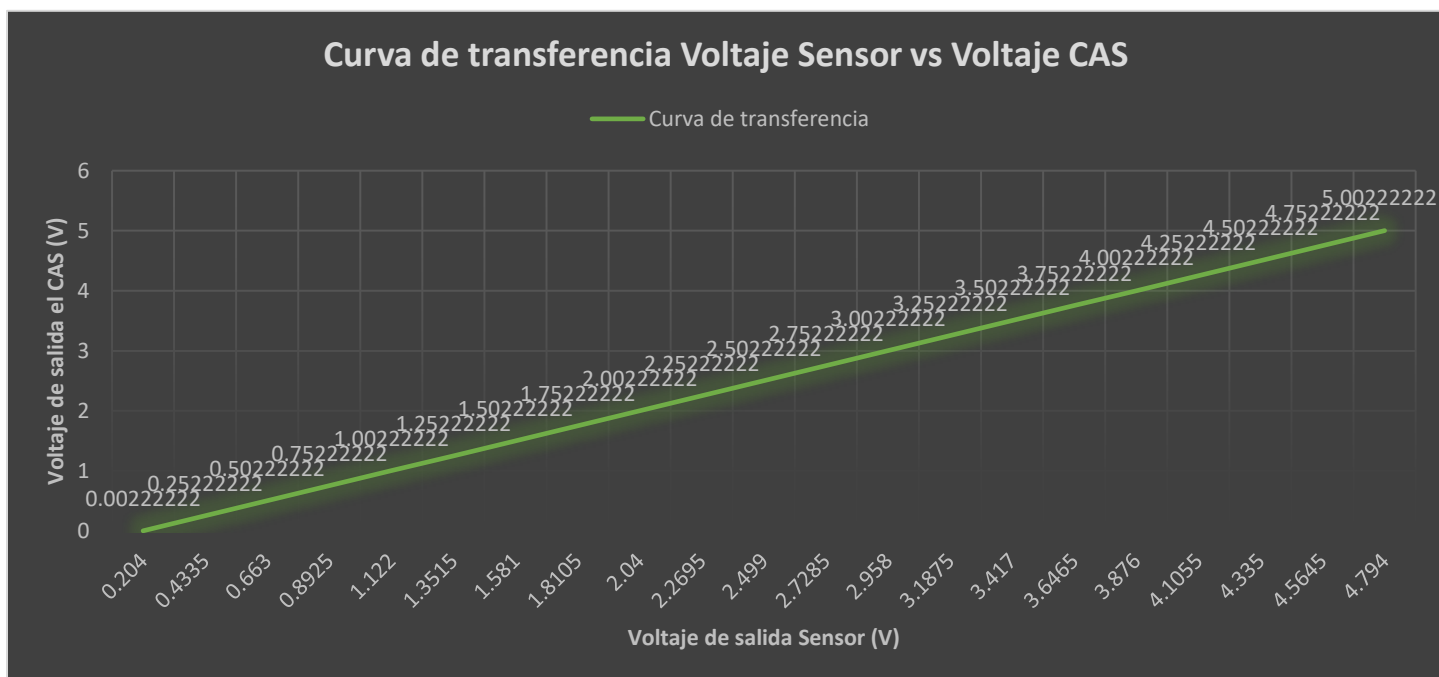
- El tipo de simulador que se ocupa.
- Errores de cálculo por falta de cifras.
- Falta de precisión a la hora de fijar valores a los elementos del circuito.
- Diferencias entre los valores que nosotros calculamos y los que fueron preprogramados a los elementos del circuito.

12. Con sus datos simulados, obtenga la curva de transferencia del Barómetro y la curva del CAS, compare con las curvas teóricas y concluya.

A continuación se muestran las curvas de transferencia de Datos Simulados, ya que previamente se obtuvieron las curvas de transferencia de Datos Teóricos:



Gráfica de transferencia Resistencia vs Frecuencia



Curva de transferencia Voltaje Sensor vs Voltaje CAS

Análisis de las gráficas de transferencias:

Podemos concluir que como vemos nuestros datos calculados teóricamente y las simulaciones nos dan valores muy parecidos por lo que podemos decir que nuestro diseño es bueno como y la simulación ha dado valores correctos, recordando que nuestras gráficas de la salida del voltaje CAS están dadas de esa forma por el diseño que se implementó.

Como vemos en la dispersión de las mediciones como se puede apreciar que son demasiado parecidas es por eso por lo que en las gráficas la línea no se logra percibir una de la otra claro está, que si ponemos una escala en la gráfica muy pequeña lograremos ver esa diferencia.

19. Expresa sus conclusiones generales.

Como conclusiones podemos decir que la práctica nos permite ver diferentes aspectos de la instrumentación considerando que es un trabajo final para la materia vemos que nos permite tener y comprender los diferentes instrumentos de medición los cuales se pueden implementar desde tan solo mostrar los en una pantalla hasta lograr componentes más elaborados que aplicarían una mayor investigación y campos de prueba. pero el solo hecho de que logremos adaptar una variable a un voltaje que varía de acuerdo con el cambio de ésta nos permite tener la base para la implementación de los circuitos de mayor especificación.

La implementación de estos dispositivos tiene muchos datos que si bien el fabricante nos los proporciona de igual manera podemos calcular los mediante las fórmulas que representan su comportamiento.

Como vimos el funcionamiento de un transductor varía de acuerdo con los datos de esta y podemos encontrar una gran variedad vemos en esta práctica de igual manera que este trabaja sobre un rango reducido de comparación a otros dispositivos ya que de acuerdo con su naturaleza este tiene tiende a ser constante en los valores extremos.

Como conclusión en la implementación de esta segunda parte puedo decir que a veces es muy complicado el tener incertidumbre sobre la simulación en un equipo que no cuenta con demasiados recursos y si el circuito no está estabilizado puede que tenga errores de simulación.

En conclusión, al finalizar esta práctica se lograron todos y cada uno de los objetivos propuestos al principio de esta:

Objetivo general:

- Diseñar y simular un sistema que muestre la información en base a la presión atmosférica ejercida sobre un transductor MPX4115.

Objetivos específicos:

- Comprender el funcionamiento del transductor MPX4115.
- Diseñar y simular un sistema que muestre la información en base a la presión que sea ejercida por el aire en el sensor transductor MPX4115.
- Implementar un Circuito Acondicionador de Señal para los rangos de voltaje de un sensor de presión atmosférica a partir del comportamiento de un transductor MPX4115.

Creo que la parte más complicada fue el aprendizaje autodidacta que tuve que realizar para poder llevar a cabo esta práctica, por ejemplo:

- Aprender a programar en Arduino.
- Aprender cómo funciona un LCD.
- Aprender el funcionamiento de un transductor MPX4115.