

# Tecnológico de Costa Rica

Taller de Diseño Analógico

Proyecto de aplicación #2

Profesor

Ing. Juan Carlos Jimenes Robles

Participantes

Fabián Villegas Bonilla

Ronald Duarte Barrantes

Josué Hernández Medina

Semestre 2, 202

<b>Índice</b>	
<b>Diseño de la solución .....</b>	<b>3</b>
<b>Captura, simulación y análisis del circuito .....</b>	<b>8</b>
<b>Prototipo.....</b>	<b>12</b>
<b>Pruebas de funcionamiento del prototipo.....</b>	<b>14</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>16</b>
<b>Bibliografía y referencias.....</b>	<b>16</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>17</b>
<b>Resistencia <math>R_G</math> del AD620 .....</b>	<b>17</b>
<b>Voltaje de pH.....</b>	<b>17</b>

## Diseño de la solución

- Sensor de humedad

Fue un gran desafío diseñar el sensor de humedad más que nada por que se iba a utilizar amplificador operacional de instrumentación AD620AN el cual se tenía poco conocimiento, además del poco practica con los sensores en general. Primero fue investigar con que se podía medir la cantidad de agua que había en la tierra y se encontró que era por medio de una resistencia que formaban la misma tierra por lo que se compró uno para las mediciones. El siguiente desafío fue el de encontrar una tensión con la que se podría trabajar, posteriormente amplificarlo para que el valor de la resistencia mínima que es alrededor de los 10k de como resultado los valores máximos y mínimos de voltajes que se solicitaba que básicamente era de 1 a 5 en cada uno de los casos.

Para obtener este valor de voltaje de 5 al principio se generó por medio de transistor y el voltaje se tomó de la resistencia del emisor. De aquí en adelante fue aplicarle una ganancia para el amplificador de instrumentación y buscando una resistencia específica para el desarrollo usando la siguiente ecuación.

$$G = \frac{49,4}{R_G} + 1 \quad (1)$$

$$R_G = \frac{49,4}{G - 1} \quad (2)$$

La ganancia se realizaba con una simple ecuación, se obtenía el voltaje cuando el sensor estaba en agua y se amplificaba para que diera 5, mostrado en la siguiente ecuación.

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{5}{V_{min}} \quad (3)$$

Al final se usó un potenciómetro para calibrar correctamente cuando el sensor estuviera en el agua. Y se uso 12V para alimentar todo el circuito.

- Sensor de temperatura

Para el sensor de temperatura LM35 se investigó su funcionamiento y se aseguró de que este funcionara como debería. Luego con la ec.3 se obtuvo la ganancia que básicamente era los 45°, pero el sensor los representaba como 450mV de entrada y el voltaje máximo de 5 que eran los de la salida. Ya con estos valores se usó la ec.2 para obtener la resistencia de 5k y tener el voltaje de salida solicitado.

- Sensor de pH

Para diseñar el sensor de pH se tomó en cuenta que este iba a ser modelado por medio de un divisor de tensión. Este divisor de tensión debía ser balanceado para que, cuando el potenciómetro estuviera en un 50% de su valor, la tensión de salida tomara un valor de 0 V. Con esto en mente, se aplicó el teorema de superposición (Alexander y Sadiku, 2018, p. 110) y se llegó a la ecuación 4.

$$V_{pH} = 5 \left( \frac{R_2 + R_{pot} - R_1}{R_1 + R_3 + R_{pot}} \right) \quad (4)$$

En este caso, esa es una expresión generalizada. De esta manera, por lo anteriormente mencionado, se obtuvo la ecuación 5.

$$V_{pH} = 5 \left( \frac{R_{pot}}{R_1 + R_3 + R_{pot}} \right) \quad (5)$$

Seguidamente, se ajustó el valor del potenciómetro en  $1\text{ M}\Omega$  (asumiendo que está en un 100%) y se obtuvo el siguiente resultado.

$$R_1 = R_2 = 5,5\text{ M}\Omega$$

Ahora, para realizar un acondicionamiento de la señal, se tomó en cuenta que para el mayor valor de pH la tensión debía ser negativa, entonces se diseñó un amplificador en configuración inversora (L.Floyd, T, 2008, p. 671) con una ganancia de -4,83. Para esto se fijaron las resistencias en los siguientes valores.

$$R_i = 560\ \Omega$$

$$R_f = 2,7\text{ k}\Omega$$

Posteriormente, se tomaron en cuenta los resultados de la tabla 1.

tabla 1. Tensiones de salida del amplificador inversor para el sensor de pH

$V_{pH}$	$V_{out}$
$-414\text{ mV}$	$2\text{ V}$
$414\text{ mV}$	$-2\text{ V}$

Observando estos resultados, se notó que hacía falta aplicarle un offset de  $3\text{ V}$  para poder obtener una tensión en el rango solicitado ( $1\text{ a }5\text{ V}$ ). Para lograr este objetivo, se diseñó un amplificador sumador de dos entradas (L.Floyd, T, 2008, p. 662-663). Una entrada fue la tensión de salida del amplificador inversor y la otra una tensión fija de  $3\text{ V}$ . De esta manera, se diseñó el sensor de pH.

- Sensor de luz

Para el sensor de luz se utilizó un LDR y se realizaron ciertas mediciones en el laboratorio para poder realizar el diseño entorno a estos resultados. Dichos resultados se presentan en la tabla 2.

tabla 2. Mediciones realizadas en el laboratorio para el LDR

Mediodía	Noche
$1,2\text{ k}\Omega$	$220\text{ k}\Omega$
$2.5\text{ V}$	$3.3\text{ V}$

Cabe destacar que para obtener estos resultados se utilizó un divisor de tensión con una resistencia arbitraria de  $3,9\text{ k}\Omega$ .

Seguidamente, para evitar que la tensión de salida sufriera cambios, se colocó un amplificador en configuración seguidor de tensión. Finalmente, se utilizó el AD620 para realizar el acondicionamiento de la señal. Para lograr esto, por medio de la ecuación 6, se calculó la resistencia  $R_G$ , la cual se ajustó a  $90\text{ k}\Omega$  para que los valores estuvieran más cercanos a los solicitados.

- Mux y convertidor analógico/digital

Para el sistema de conversión de analógico a digital se usó un mux y microcontrolador Arduino al cual se le implemento un código que obtuviera los valores necesarios y que se mandaran a una mini pantalla oled.

- Código Arduino uno

Después de tener en cuenta los circuitos utilizados, es importante mostrar el código empleado en el Arduino uno para la selección del multiplexor y la selección del sistema de medición, cual contempla lo siguiente

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

// Selección del Multiplexor
#define mux_A_10 5
#define mux_B_9 6

// Pin digital de push button
#define boton 2

int estadoMedicion = 1;
int salida_ADC = 0;
int valorSuavizado = 0; // Variable para el valor suavizado
float factorSuavizado = 0.1; // Ajusta el factor según la suavidad deseada
Adafruit_SSD1306 pantalla(128, 64, &Wire, -1);
bool estadoBotonPrevio = LOW;

// Prototipos de funciones
void cambiarEstado();
void mostrarMedicion(int estado);
int filtrarPromedioMovil(int nuevaLectura, int &valorSuavizado, float factorSuavizado);

void setup() {
  pinMode(boton, INPUT);
  pinMode(mux_A_10, OUTPUT);
  pinMode(mux_B_9, OUTPUT);

  digitalWrite(mux_A_10, LOW);
  digitalWrite(mux_B_9, LOW);

  Serial.begin(9600);
  if (!pantalla.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    Serial.println(F("Fallo al iniciar pantalla OLED"));
  }
}

void loop() {
```

```

bool estadoBotonActual = digitalRead(boton);
if (estadoBotonActual == HIGH && estadoBotonPrevio == LOW)
{
    cambiarEstado();
    delay(200); // Debounce del botón
}
estadoBotonPrevio = estadoBotonActual;

// Realizar lectura del ADC interno del Arduino y aplicar el filtro de
promedio móvil
int lecturaADC = analogRead(A0); // Lectura del canal A0
salida_ADC = filtrarPromedioMovil(lecturaADC, valorSuavizado,
factorSuavizado);

// Mapeo del valor según el estado de medición
switch (estadoMedicion) {
case 1: salida_ADC = map(salida_ADC, 0, 1023, 0, 45); break; //
Temperatura
case 2: salida_ADC = map(salida_ADC, 0, 1023, 0, 100); break; //
Humedad
case 3: salida_ADC = map(salida_ADC, 0, 1023, 100, 0); break; //
Luz
case 4: salida_ADC = map(salida_ADC, 0, 1023, 0, 50); break; //
PH
}

Serial.print(salida_ADC);
mostrarMedicion(estadoMedicion);
salida_ADC = 0;
}

void cambiarEstado() {
if (estadoMedicion < 4) {
    estadoMedicion += 1;
} else {
    estadoMedicion = 1;
}
}

// Seleccionar el canal del MUX basado en el nuevo estado
switch (estadoMedicion) {
case 1:
    digitalWrite(mux_A_10, LOW); // Configuración 00
    digitalWrite(mux_B_9, LOW);
    break;
case 2:
    digitalWrite(mux_A_10, LOW); // Configuración 01
    digitalWrite(mux_B_9, HIGH);
    break;
case 3:
    digitalWrite(mux_A_10, HIGH); // Configuración 10
    digitalWrite(mux_B_9, LOW);
    break;

```

```

case 4:
digitalWrite(mux_A_10, HIGH); // Configuración 11
digitalWrite(mux_B_9, HIGH);
break;
}
}

void mostrarMedicion(int estado) {
pantalla.clearDisplay();
pantalla.setTextSize(1);
pantalla.setTextColor(WHITE);
pantalla.setCursor(0, 10);

switch (estado) {
case 1:
pantalla.println("TEMPERATURA: ");
pantalla.setTextSize(3);
pantalla.setCursor(0, 25);
pantalla.print(String(salida_ADC) + " C");
pantalla.write(0xF7);
break;
case 2:
pantalla.println("HUMEDAD: ");
pantalla.setTextSize(3);
pantalla.setCursor(0, 25);
pantalla.print(String(salida_ADC) + " %");
break;
case 3:
pantalla.println("LUZ: ");
pantalla.setTextSize(3);
pantalla.setCursor(0, 25);
pantalla.print(String(salida_ADC) + " %");
break;
case 4:
pantalla.println("PH: ");
pantalla.setTextSize(3);
pantalla.setCursor(0, 25);
pantalla.print(String(salida_ADC) + " %");
break;
}
pantalla.display();
}

// Función para aplicar el filtro de promedio móvil
int filtrarPromedioMovil(int nuevaLectura, int &valorSuavizado,
float factorSuavizado) {
valorSuavizado = (1 - factorSuavizado) * valorSuavizado +
factorSuavizado * nuevaLectura;
return valorSuavizado;
}

```

## Captura, simulación y análisis del circuito

- Sensor de humedad

Para el sensor de humedad simulado los valores de salida no son los más precisos por el momento, más que todo porque para esta parte no se tenía en cuenta cual iba a ser su mayor voltaje debido a la falta de conocimiento que se tenía de la resistencia que se iba a utilizar como el sensor de humedad. Por lo que esta versión fue la que se utilizó como una idea de cómo armar el circuito

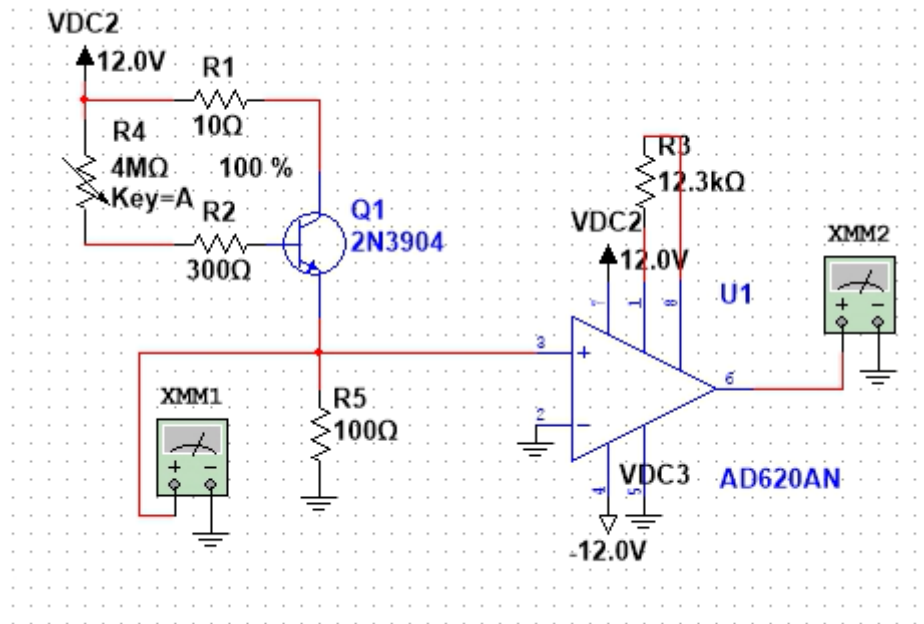


Figura 1. Sensor de humedad simulado.

El voltaje de salida daba un valor entre 10.064 V y los 187.9mV

- Sensor de temperatura

Para la temperatura simplemente se simulo como una fuente CD y se amplifico la el voltaje de los 450mV a los 5V dando el intervalo de 1 a 5V.

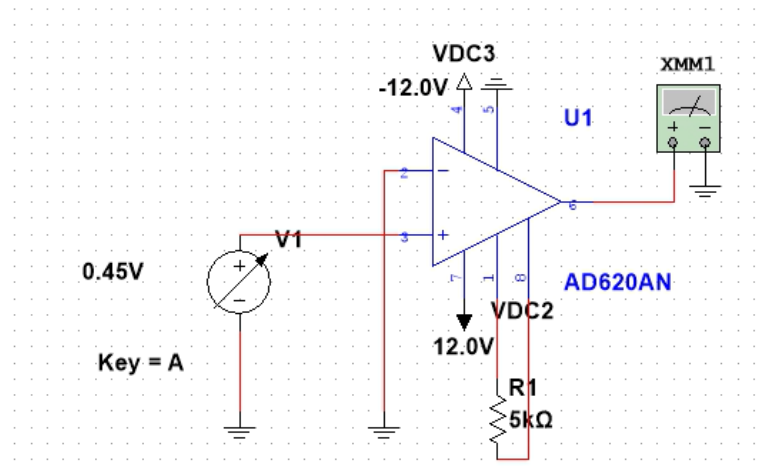


figura 2. Sensor de temperatura simulado

- Sensor de pH



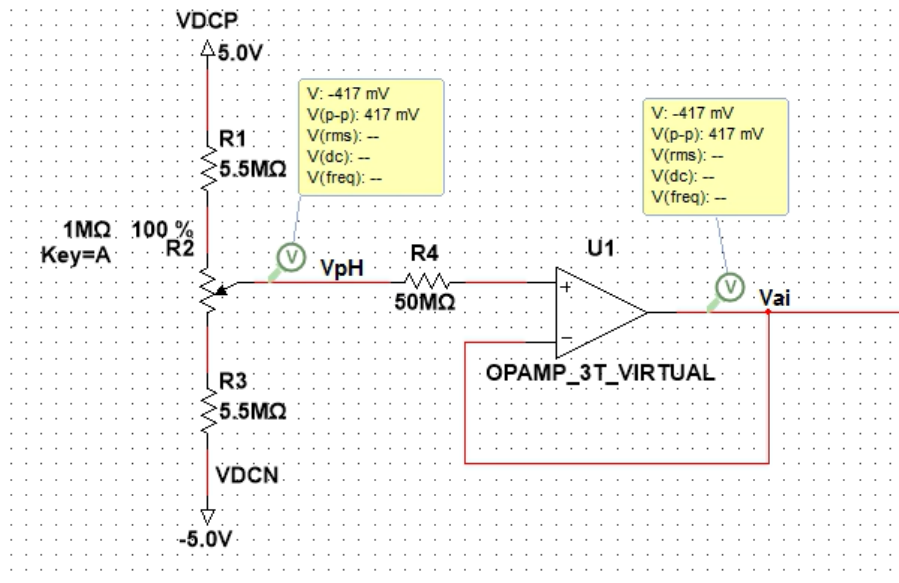


figura 3. modelo del sensor de pH

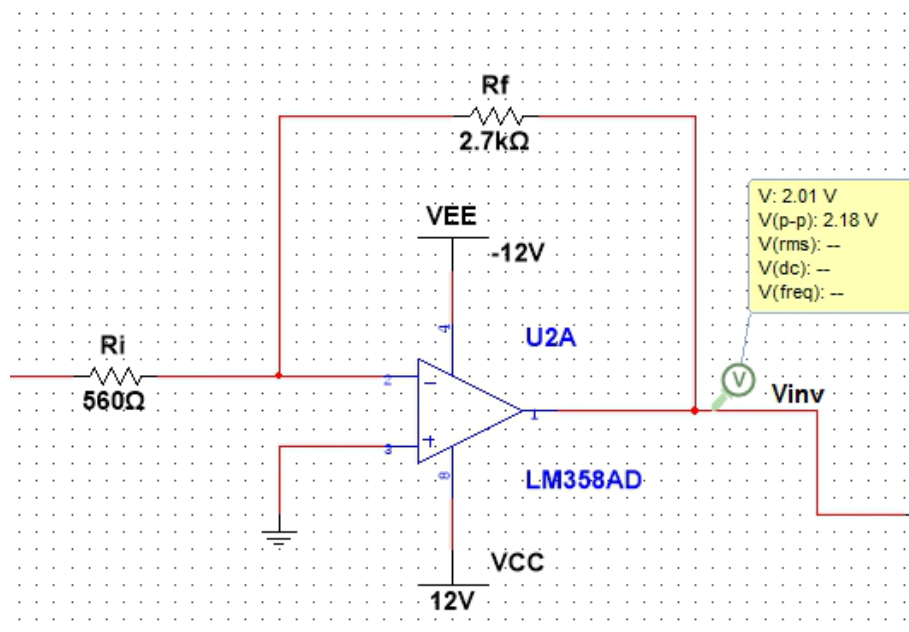


figura 4. amplificador inversor de ganancia -4,83

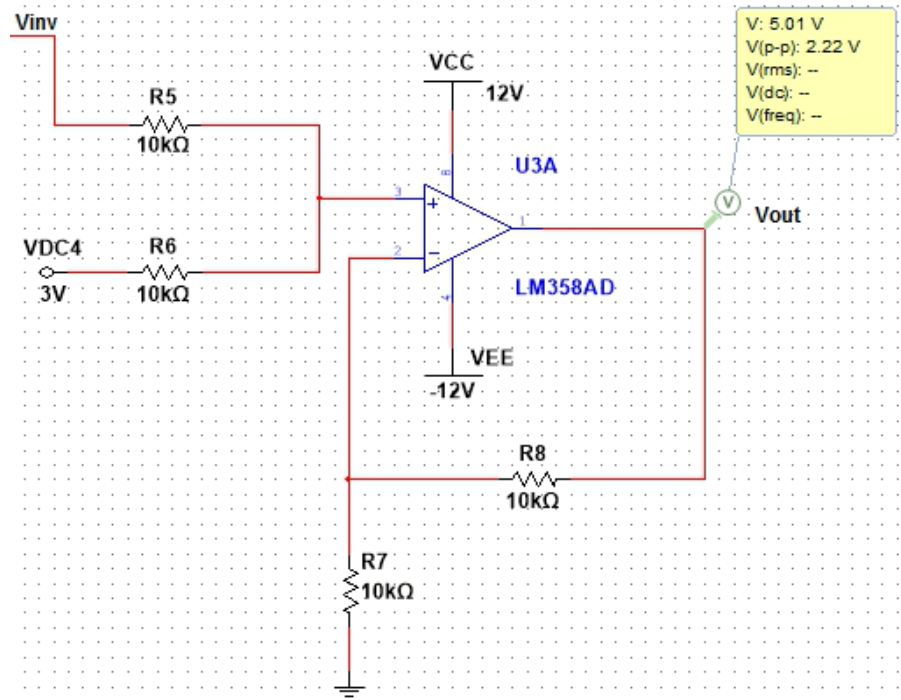


figura 5. amplificador sumador de ganancia unitaria  
tabla 3. Resultados del sensor de pH

$V_{pH}$	$V_{out}$
417 mV	991 mV
-417 mV	5,01 V

Como se observa en la tabla 3, los resultados obtenidos cumplen con lo solicitado y lo esperado, ya que los valores de la tensión de salida se encuentran, aproximadamente, en el rango requerido.

- Sensor de luz

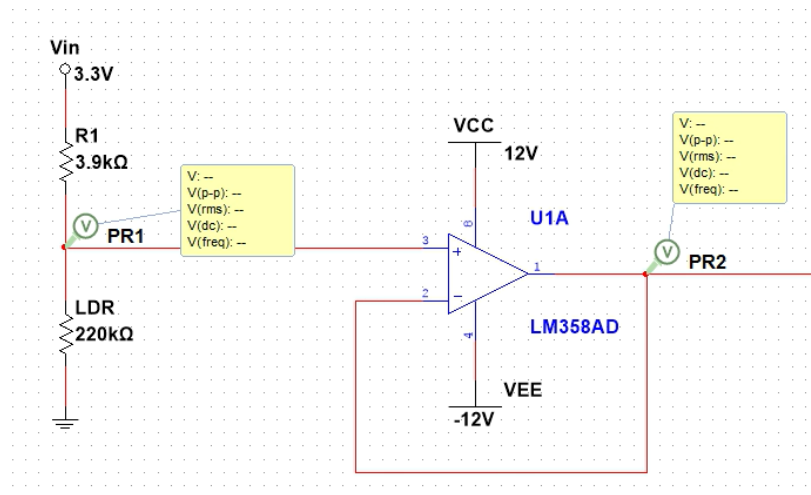


figura 6. Sensor de luz

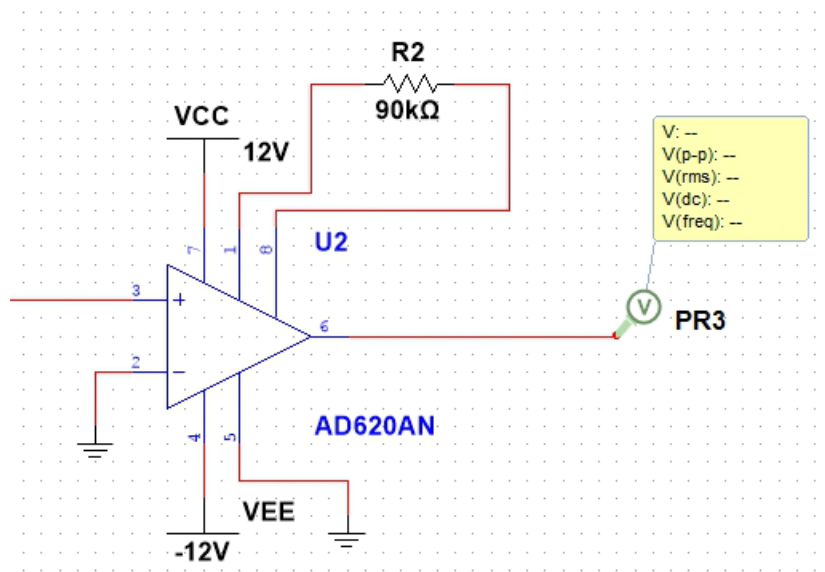


figura 7. Acondicionador de señal

tabla 4. Resultados de simulación del sensor de luz

LDR	$V_{out}$
220 kΩ	5,02 V
1,2 kΩ	1,2 V

En la tabla 4, se puede observar que los resultados también se encontraban dentro del rango requerido. Cabe destacar que, dentro de las limitaciones, el comportamiento de un LDR es exponencial y este no fue linealizado, por lo que el comportamiento de su resistencia presentaba altas variaciones para los cambios de luz. De esta manera, una de las recomendaciones sería realizar un trabajo de linealización de este componente para poder obtener una mejor respuesta.

## Prototipo

- Sensor de humedad

La figura 8 muestra el circuito para el sensor de humedad ya armado y funcional en la protoboard.

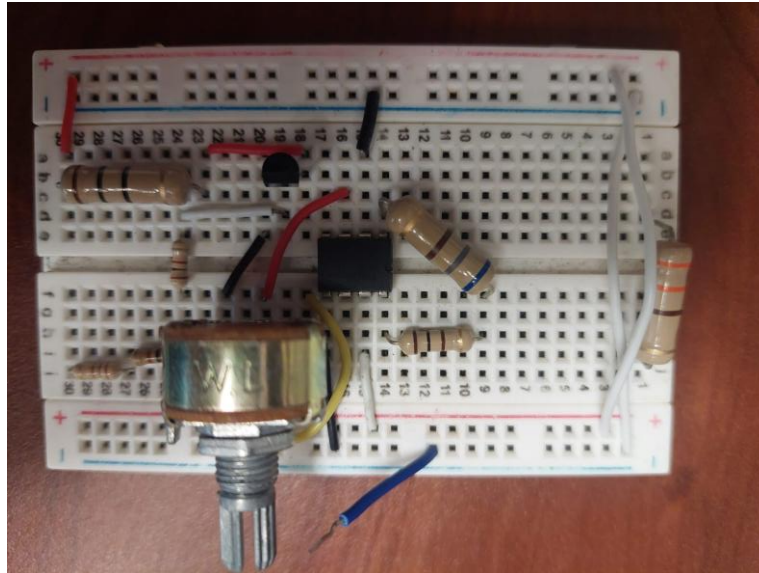


figura 8. Circuito sensor de humedad.

Las figuras 9 y 10 muestran los objetos con los que se realizaron las mediciones siendo estas el agua y la tierra para conseguir diferentes valores de humedad y la resistencia que sirve como el sensor de humedad en este caso



Figura 9. La tierra y el agua que se usaron para las pruebas de humedad.



Figura 10. Resistencia para el sensor de humedad.

- Sensor de temperatura

La figura 11. muestra el circuito que se usó para el sensor de temperatura que se usó para obtener un intervalo de voltajes de 0 a 5V que representaba los 0 y 45°C.

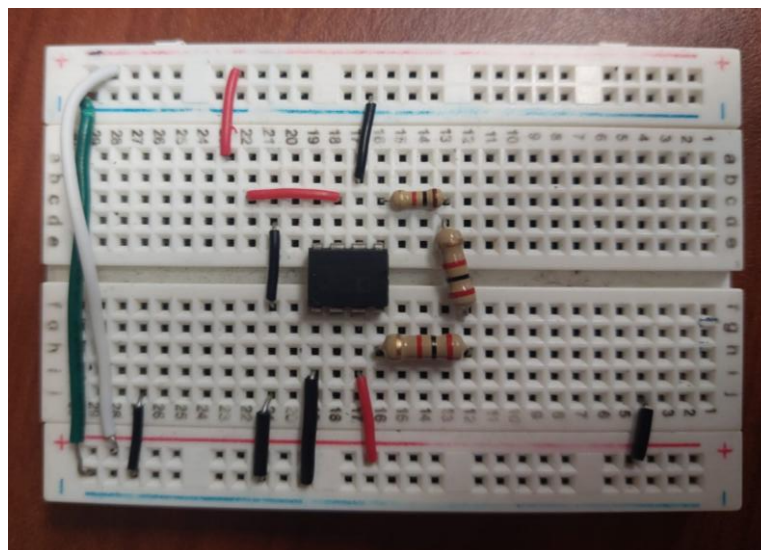


figura 11. Circuito sensor de temperatura.

- Sensores de pH y luz



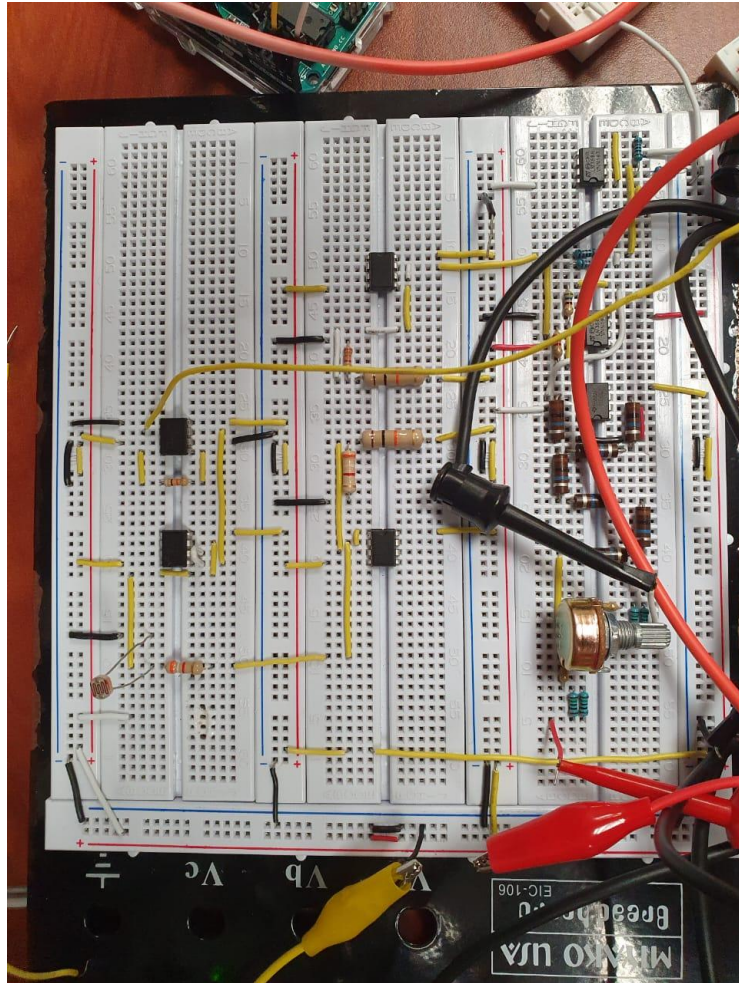


figura 12. Sensores de pH y luz

### Pruebas de funcionamiento del prototipo.

- Sensor de humedad

Las figuras x, x y x son los resultados que se obtuvieron al usar el agua, tierra seca y la tierra mojada respectivamente del sensor de humedad figura x.



figura 13. Humedad el agua.

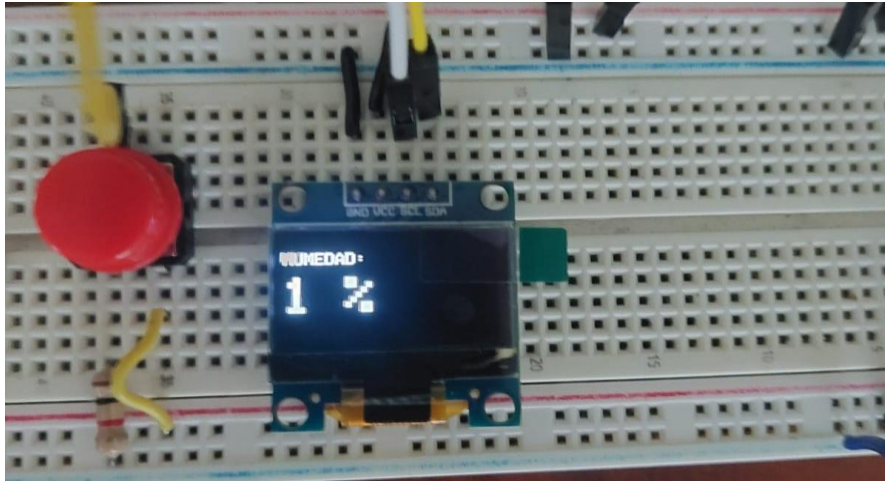


figura 14. Humedad con la tierra seca.

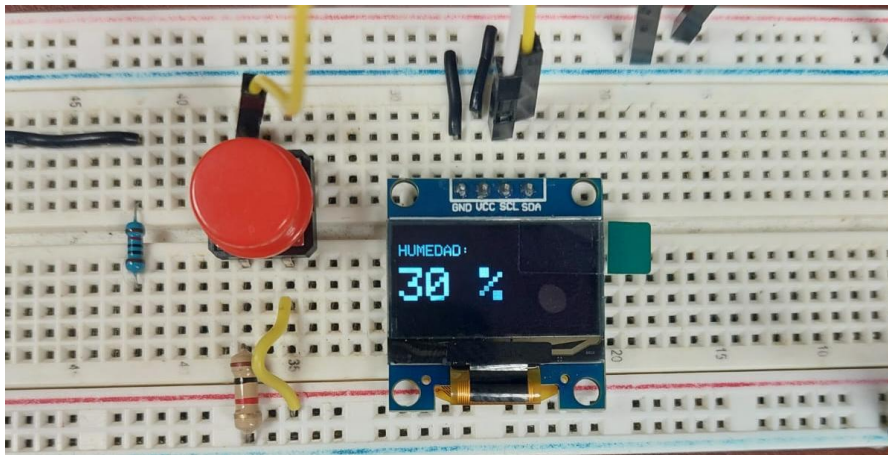


figura 15. Humedad con la tierra mojada.

- Sensor de temperatura  
La figura x muestra la temperatura en es momento obtenido del sensor de temperatura de la figura x.



figura 16. Temperatura captada por el sensor

- Sensores de pH y luz

tabla 5. Resultados de la implementación física del sensor de pH

Nivel de luz	$V_{out}$
Luz ambiente	1,2 V
Oscuridad	4 V

tabla 6. Resultados de la implementación física del sensor de pH

pH	$V_{out}$
14	4,4 V
0	0,9 V

En la tabla 5 se puede notar que los resultados fueron los esperados para el espacio dónde se realizaron las mediciones. En este caso, las mediciones fueron tomadas en el laboratorio con la luz encendida y apagada.

Por otro lado, en la tabla 6 se puede observar que el resultado del valor de pH de 14 no fue muy cercano al esperado. En el caso de ambos sensores, los resultados pudieron variar por la tolerancia de las resistencias y por la precisión con la que se fabricaron los integrados. Estos factores generaron que los resultados variaran entre los cálculos, simulación y la implementación física.

## Conclusiones

- El sensor de humedad dependía no solo de la humedad sino de que tan cerca estuviera la tierra y el agua, por lo que había que tener cuidado en este aspecto en la medición.
- El sensor de temperatura daba el valor exacto de temperatura que se encontraba en el medio.
- El comportamiento del sensor de pH se logró de manera efectiva por medio de un modelo que implementó un divisor de tensión
- El comportamiento exponencial del LDR causó que no se genera una respuesta muy lineal y presentaba variaciones considerables en las mediciones realizadas.
- Se pudo haber mejorado la sensibilidad de la muestras al utilizar un ADC dedicado y no el del arduino uno.

## Bibliografía y referencias

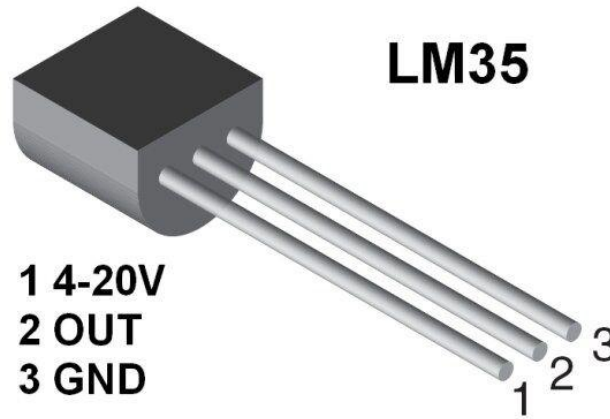
Alexander, C. K., y Sadiku, M. N. (2018). Fundamentos de circuito eléctricos. Ciudad de México: Mc Graw Hill Education.

Analog Devices. (s/f). *Low cost low power instrumentation amplifier*. Analog.com. Recuperado el 2 de noviembre de 2024, de <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD620.pdf>.

Floyd Thomas L.: Dispositivos Electrónicos. Octava Edición, Pearson-Pentice Hall, México. 2008.



## Anexos



### Resistencia $R_G$ del AD620

$$R_G = \frac{49,4 \text{ k}\Omega}{G - 1} \quad (6)$$

Esta ecuación fue tomada de la hoja de datos (Analog Devices, s/f, p. 12).

### Voltaje de pH

Se asumió que el potenciómetro está al 100%. Primero con la fuente de 5 V:

$$V_{pH1} = 5 \left( \frac{R_2 + R_{pot}}{R_1 + R_2 + R_{pot}} \right)$$

Luego, con la fuente de -5 V:

$$V_{pH2} = -5 \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_{pot}} \right)$$

Por el teorema de superposición, se sumaron las dos expresiones anteriores y se obtuvo lo siguiente:

$$\begin{aligned} V_{pH} &= 5 \left( \frac{R_2 + R_{pot}}{R_1 + R_2 + R_{pot}} \right) - 5 \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_{pot}} \right) \\ \Rightarrow V_{pH} &= 5 \left( \frac{R_2 + R_{pot} - R_1}{R_1 + R_2 + R_{pot}} \right) \end{aligned}$$