



Universidad Nacional de Mar del Plata

FACULTAD DE INGENIERÍA

INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

Trabajo Práctico N°1

Vazquez, Leonardo David

leonardo.vazquez@alumnos.fi.mdp.edu.ar

Índice

1. Microcontroladores	2
1.1. Ejemplos Cotidianos	3
1.1.1. Control remoto	4
2. Aplicaciones de Control y Monitoreo	6
2.1. Vehículo	7
2.2. Estación meteorológica	16
2.3. Horno Eléctrico	22
3. Referencias	27

1. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que puede ser programable para diversas tareas. Incluye un procesador, memoria y periféricos. Al tratarse de dispositivos que cumplen tareas específicas, son ideales cuando se requiere una determinada cantidad de ejecuciones en tiempo real y precisión a la hora de controlar y monitorear sistemas.

En el mercado existe una cantidad enorme de microcontroladores diferentes con distintas características. Entre las más importantes se encuentran:

- Cantidad de salidas y entradas digitales.
- Cantidad de salidas y entradas analógicas (convertidores ADC-DAC).
- Tensión de alimentación.
- Límites de corriente y tensión.
- Arquitectura en bits.
- Protocolos de comunicación.
- Periféricos.

Hoy en día, es muy conocida la placa de desarrollo Arduino ya que posee de fábrica diferentes periféricos. El microcontrolador que posee es el ATmega328P de la marca Atmel.

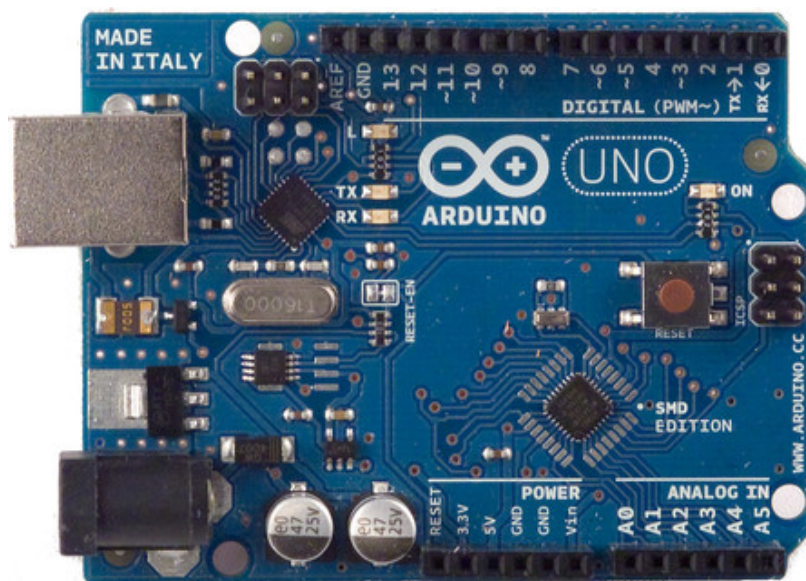


Figura 1: Placa de desarrollo Arduino.

Ya sea la aplicación a la cual se requiera automatizar un sistema, todos los microcontroladores, en principio, sirven para poder medir, observar y modificar distintas variables y almacenar los datos para diversos usos, ya sea por un procesamiento en específico como para la transmisión y recepción de la información.

1.1. Ejemplos Cotidianos

Se presentan 3 ejemplos de objetos cotidianos que todas las personas poseen en sus casas en el cual se hallan microcontroladores:

- Calculadora científica.
- Control remoto.
- Balanza electrónica.

Calculadora científica

Una calculadora científica es un dispositivo portátil a baterías que permite la realización de diversas operaciones matemáticas. La implementación del sistema encargado de leer las entradas de los botones se realiza mediante un microcontrolador quien realiza los procedimientos necesarios para mostrar los resultados en el display. También cabe mencionar que, el modelo presentado de la figura siguiente, la calculadora Casio fx-991LAX es capaz de guardar en memoria varias constantes y permite la generación de códigos QR para la presentación de funciones y resultados.



Figura 2: Calculadora científica.

1.1.1. Control remoto

Un control remoto es un dispositivo portátil capaz de transmitir mensajes para controlar otro dispositivo, por ejemplo una televisión. El microcontrolador de este artefacto, al igual que la calculadora, sensa las entradas de los botones para luego codificar el mensaje y transmitirlo a partir de un transmisor infrarrojo. De esta forma, la onda es recibida por un receptor (también infrarrojo) en la televisión para diversos fines: cambio de volumen, cambio de canal, configuraciones, etc.



Figura 3: Control remoto.

Balanza electrónica

Una balanza electrónica es un dispositivo que mide el alargamiento de un muelle de un resorte, es decir su diferencial de posición, dado que este parámetro es proporcional a la fuerza aplicada. La fuerza aplicada no es más que la fuerza que produce la gravedad con respecto a un objeto sobre la balanza. El microcontrolador debe ser capaz de sensar este parámetro y realizar los cálculos pertinentes para presentar los resultados en el display.



Figura 4: Balanza electrónica.

2. Aplicaciones de Control y Monitoreo

Como hemos mencionado, los sistemas requieren ser monitoreados (es decir, observados) y controlados para su correcto funcionamiento. Para ello se recurre a **transductores**, que son dispositivos que convierten un tipo de energía en otra. Existen dos tipos de transductores:

- Sensores: Transforman un tipo de variable en otra variable (mayormente eléctrica).
- Actuadores: Transforma una entrada que contiene información en una salida (variable física).

En las figuras siguientes se observan ejemplos de un sensor y de un actuador. El primero es un sensor de concentración de cloro 8232 de la marca Burkert [1] que se utiliza para monitorear reacciones químicas y el segundo, el actuador, es un cilindro neumático compacto con guía de la marca SMC [2] que se utiliza en automatización industrial para topes o posicionamientos.

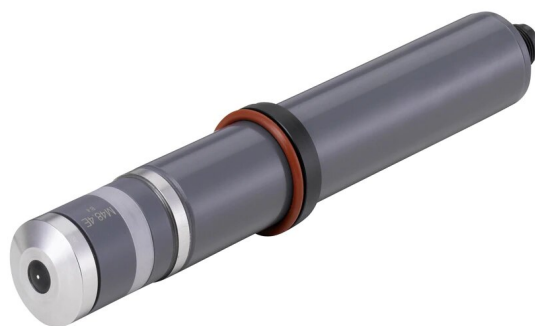


Figura 5: Sensor de Cloro.



Figura 6: Cilindro neumático.

Se desea entonces estudiar qué tipo de sensores y qué tipo de entradas y salidas se requieren para el control y monitoreo de sistemas tales como un vehículo, una estación meteorológica y un horno eléctrico. Para todos los casos, se presentan ejemplos con la placa Arduino UNO solamente por cuestiones académicas. Todos los diagramas y métodos de medición y control son interpolables a cualquier microcontrolador que cumpla con los requerimientos impuestos.

2.1. Vehículo

Cuando nos referimos a un vehículo hacemos mención a todo aparato o maquinaria que se utiliza para el transporte de objetos y/o personas.

Se desean observar y controlar las siguientes variables:

- Nivel de aceite presente. (*Entrada*)
- Indicador de fallo ABS (Sistema antibloqueo de ruedas). (*Entrada*)
- Revoluciones por minuto (rpm) del motor. (*Entrada*)
- Velocidad del vehículo. (*Salida*)
- Puerta abierta. (*Entrada*)
- Encendido electrónico. (*Salidas y entradas*)

Para lograr un control y monitoreo básico del mismo se plantea el diagrama en bloques de la figura 3.1:

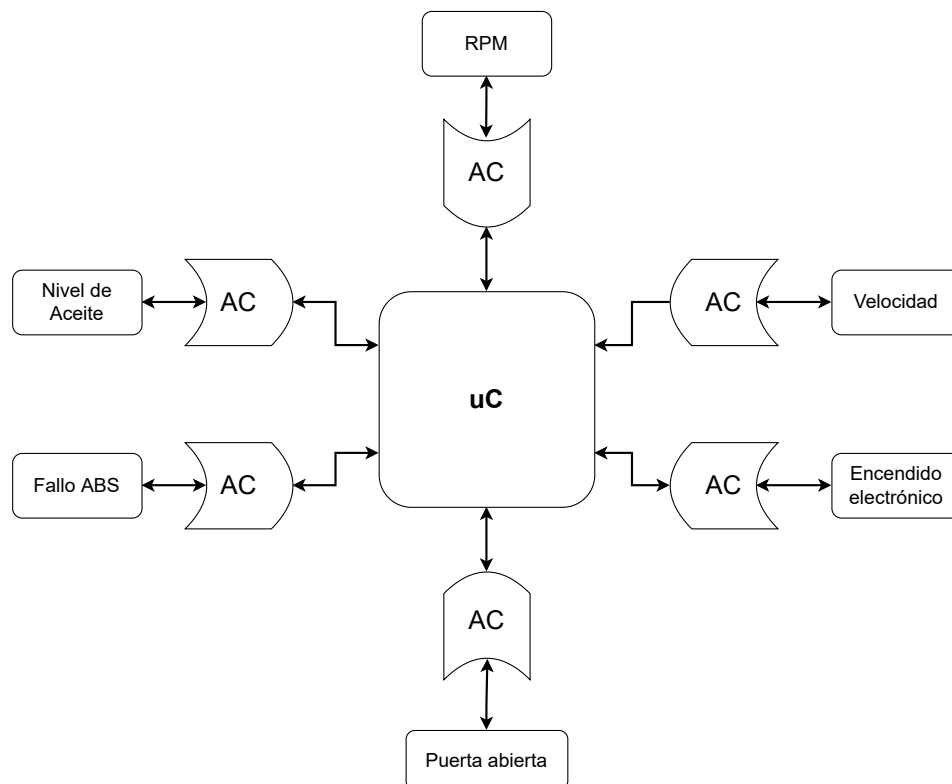


Figura 7: Diagrama del sistema de control y monitoreo de una estación meteorológica.

Nivel de aceite

Para la medición del nivel de aceite se recurre a un sensor de ultrasonido HC-SR04 [3] como el de la figura 8.



Figura 8: Sensor de ultrasonido HC-SR04.

El funcionamiento consiste en generar pulsos de sonido a una frecuencia conocida para luego captar el eco. Conociendo las características del medio y el tiempo entre que la onda de sonido viaja y rebota se calcula la distancia recorrida, es decir, la altura o el nivel del líquido.

Para inicializar los pulsos se precisa un disparo de $10\mu s$, es decir, un Trigger. Para ello se conecta al pin *TRIG* una salida digital del microcontrolador deseado, por ejemplo, un Arduino UNO, para generar dicho pulso. El dispositivo una vez inicializado genera 8 pulsos de sonido de $40kHz$ (no audible para el oído humano promedio). Una vez que terminan dichos pulsos pone el alto su salida *ECHO*, que estará en una entrada digital del microcontrolador. Tal salida del sensor se pondrá en bajo una vez que reciba la onda reflejada de $40kHz$. De esta manera se mide el tiempo T en ms y se calcula la distancia como:

$$D[m] = T \cdot v_{sound} \cdot \frac{1}{2} \quad (1)$$

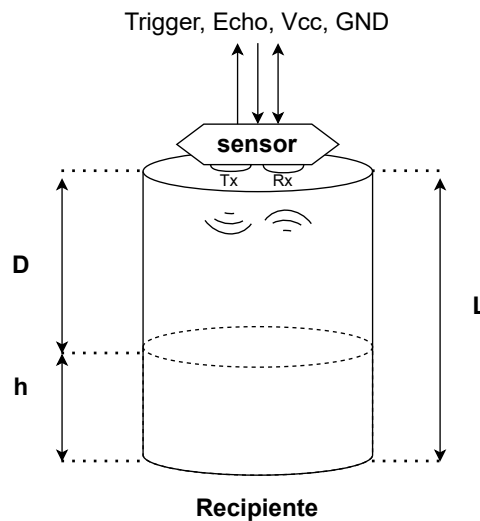


Figura 9: Diagrama de medición.

Pero D es la distancia entre el sensor y la superficie del líquido. Es por eso que la altura real del líquido es, conociendo la altura del recipiente:

$$h[m] = L - D = L - T[ms] \cdot v_{sound}[m/s] \cdot \frac{1}{2} \quad (2)$$

En la figura siguiente se observa un diagrama de conexión para la medición del nivel de líquido:

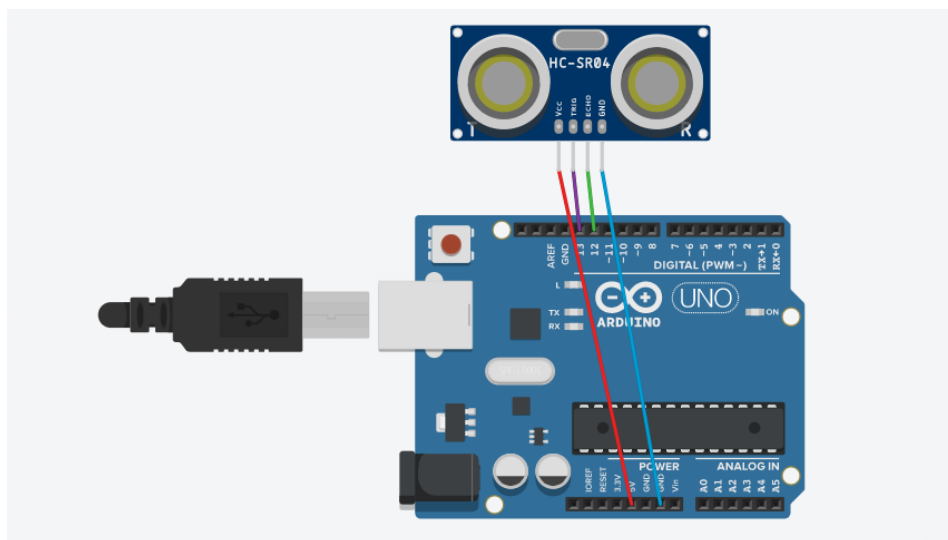


Figura 10: Banco de medición.

Indicador de fallo ABS

La mayoría de los vehículos modernos poseen un indicador LED para indicar fallas en el sistema anti bloqueo de los frenos de seguridad ABS. Para monitorear tal testigo que proviene de la computadora del vehículo debemos medir la tensión de salida de dicha computadora hacia el indicador LED para obtener la información de fallo:

El problema podría aparecer si dicha computadora trabaja con otros niveles de tensión. Es por eso que debería agregarse al sistema un convertidor de niveles lógicos, siempre y cuando la impedancia de entrada del conversor sea considerada como un circuito abierto.

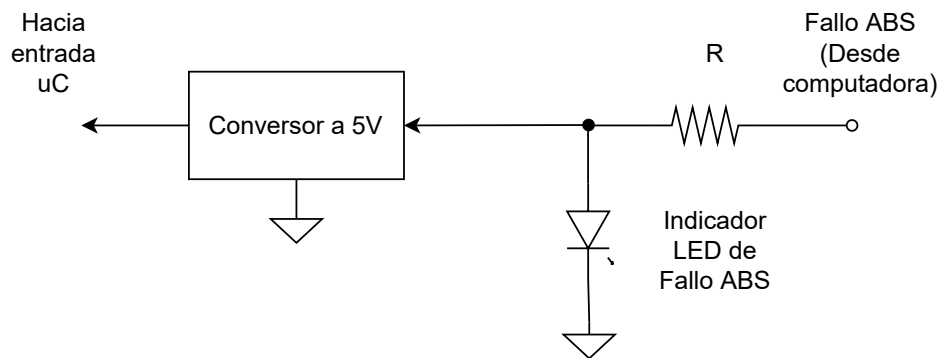


Figura 11: Banco de medición.

En caso de que la salida de la computadora sea de 5V la conexión sería la siguiente:

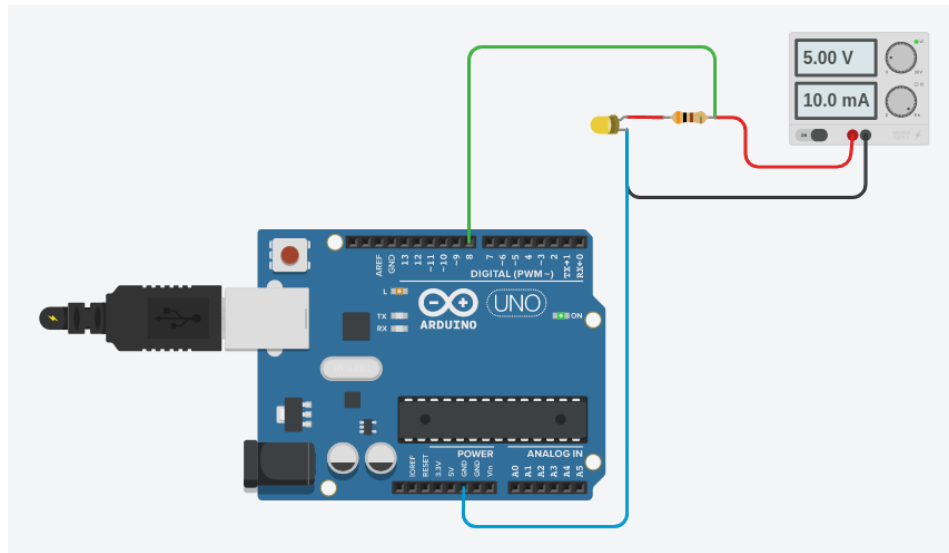


Figura 12: Banco de medición.

Revoluciones por minuto de un motor

Para la medición de las revoluciones por minuto de un motor se utiliza un sensor de efecto Hall que mide un campo magnético presente entregando una tensión proporcional a la fuerza del campo magnético o bien la corriente que circula por una bobina.

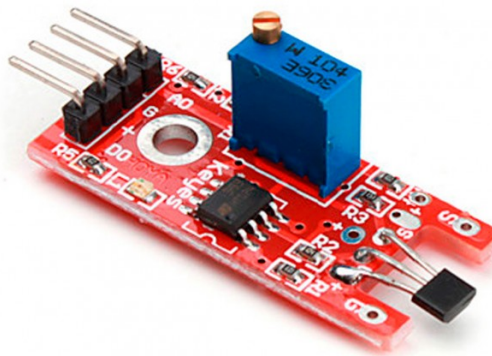


Figura 13: Sensor de efecto Hall[4].

Si se agrega un bobinado con campo magnético constante (corriente constante) en uno de los extremos del motor, por ejemplo, en una polea, se comienzan a contar las veces que el sensor de hall entrega una cierta tensión. Contando las revoluciones $N^{\circ}rev$ y el tiempo de conteo T se calcula la velocidad del motor como:

$$w[rev/min] = \frac{N^{\circ}rev}{T[min]} \quad (3)$$

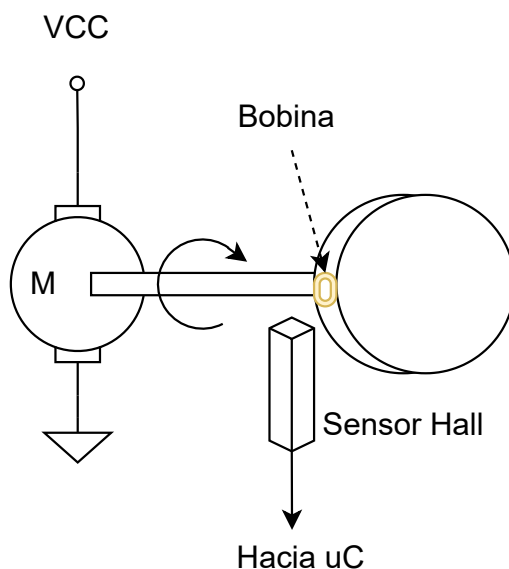


Figura 14: Medición de rpm.

El conexionado con la placa Arduino debe hacerse teniendo en cuenta que la medición se realiza a partir de los datos obtenidos de una entrada ADC:

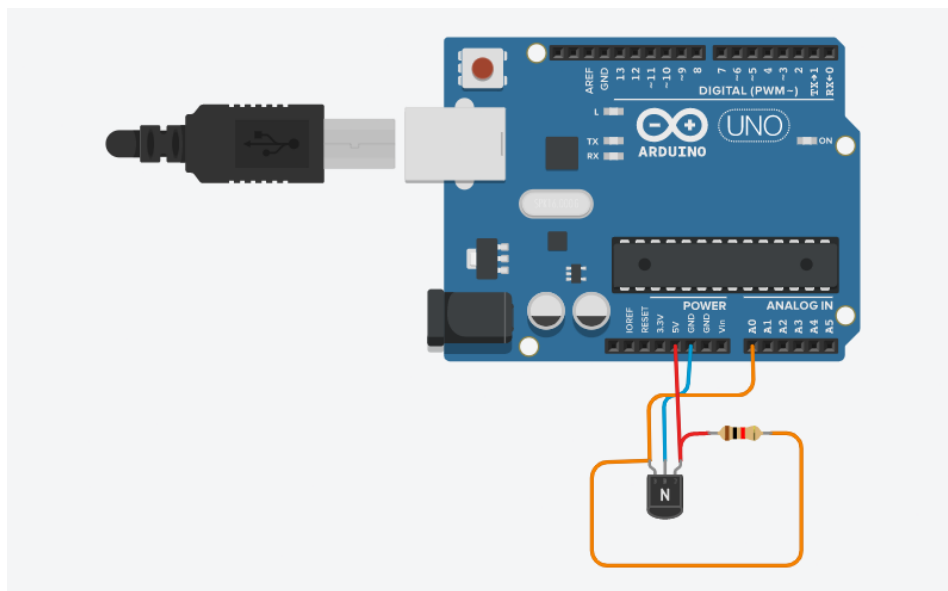


Figura 15: Banco de medición. El transistor hace de representación del sensor.

Velocidad del vehículo

Para controlar la velocidad de un vehículo se debe tener en cuenta primero qué tipo de motor se trata. Si se trata de un motor de corriente alterna, se puede utilizar un variador de frecuencia. Para fines académicos, se plantea el control de velocidad de un motor de corriente directa en el cual solamente se precisa variar la tensión de armadura siendo la corriente de campo constante para variar así la

velocidad del eje del motor.

En Teoría de Control [5], un motor de continua se puede modelar de la siguiente forma:

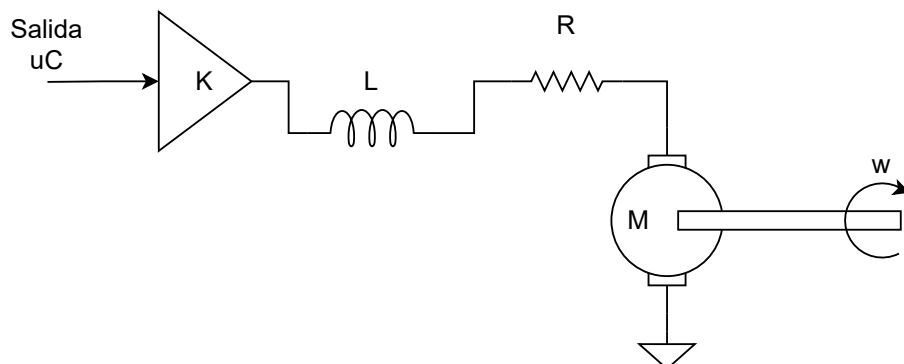


Figura 16: Modelado de un motor de continua.

En donde la velocidad del motor es proporcional a la tensión de armadura. Por lo que una forma de controlar la velocidad con una tensión es con una forma de rampa. No obstante, la mayoría de los microcontroladores no son capaces de entregar la suficiente corriente y el hecho de generar una tensión de rampa está fuera del alcance de este trabajo (podría utilizarse un DAC de un microcontrolador Arduino DUE), es por eso que se utilizan drivers para manejar potencia y controlar la polarización del motor y por ende su velocidad de giro. En este ejemplo se muestra el conexionado con un puente H [6].

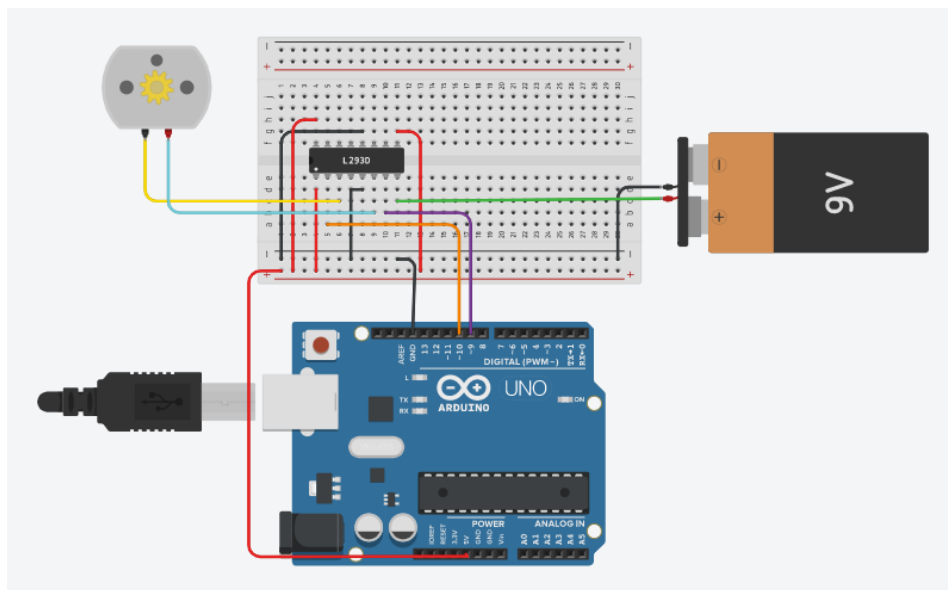


Figura 17: Conexionado de motor.

Ahora bien, para controlar la velocidad se controla las tensiones de polarización del motor. Para ello se utilizan las salidas 9 y 10 PWM (Pulse Wave Modulation) que emulan una señal alterna. Se utilizan 2 para que correspondan con el giro deseado a la velocidad deseada.

En caso de que se desee medir la velocidad del vehículo, se utiliza la medición de revoluciones por minuto w pero esta vez medidas desde las ruedas, cuyo radio R es conocido. Con estos datos se calcula la velocidad tangencial del vehículo:

$$v = R \cdot w_{rpm} \cdot 2\pi \quad (4)$$

Puerta abierta

Para monitorear el estado de una puerta (abierta o cerrada) se utiliza un final de carrera [7] como el de la figura siguiente:



Figura 18: Final de carrera.

Para llevar a cabo la medición se coloca el final de carrera en uno de los extremos de la puerta de manera tal de que el interruptor se cierre con la puerta cerrada y se abra con la puerta abierta.

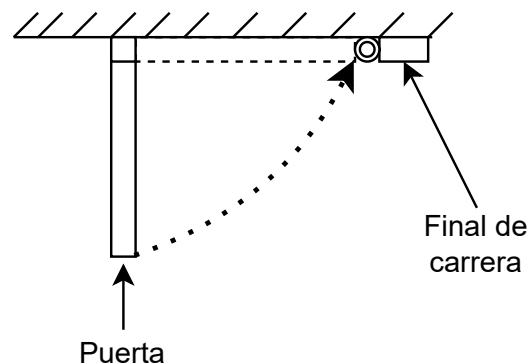


Figura 19: Diagrama del final de carrera en la puerta.

Dado que se están leyendo dos estados, se utiliza una entrada digital. Se emplea una resistencia Pull-Up para leer en alto cuando el interruptor está abierto (Puerta abierta) y leer en bajo cuando el interruptor está cerrado (Puerta cerrada).

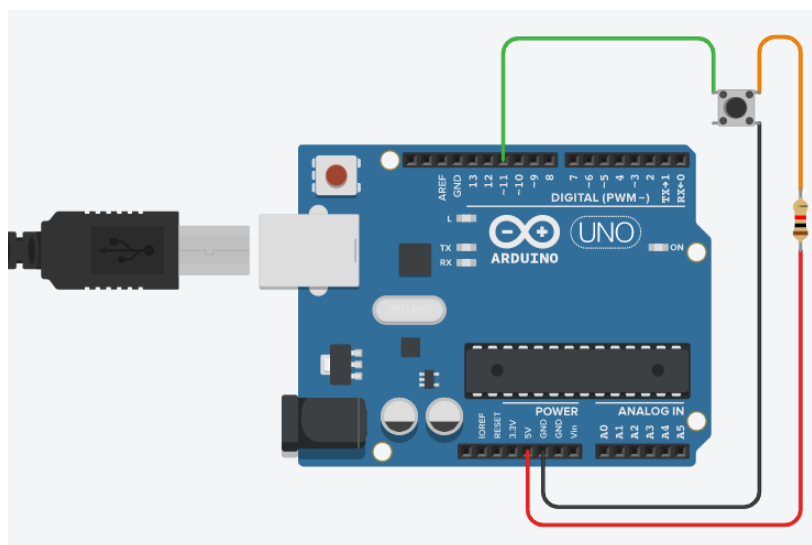


Figura 20: Conexión de un interruptor. El botón simula ser un final de carrera.

Encendido electrónico

El encendido electrónico se basa en controlar el encendido y apagado de las bujías mediante un módulo de control. Para que las bujías se enciendan se requiere que en sus bornes haya una diferencia de potencial lo suficientemente alta para generar chispas en sus electrodos. Para ello se corta momentáneamente la corriente del bobinado primario de una bobina de ignición que genera dicha tensión como respuesta en el bobinado secundario. Pero para lograr esos cortes de corriente se utilizan dispositivos semiconductores basados en el efecto Hall, como bien se menciona en la medición de las revoluciones por minuto.

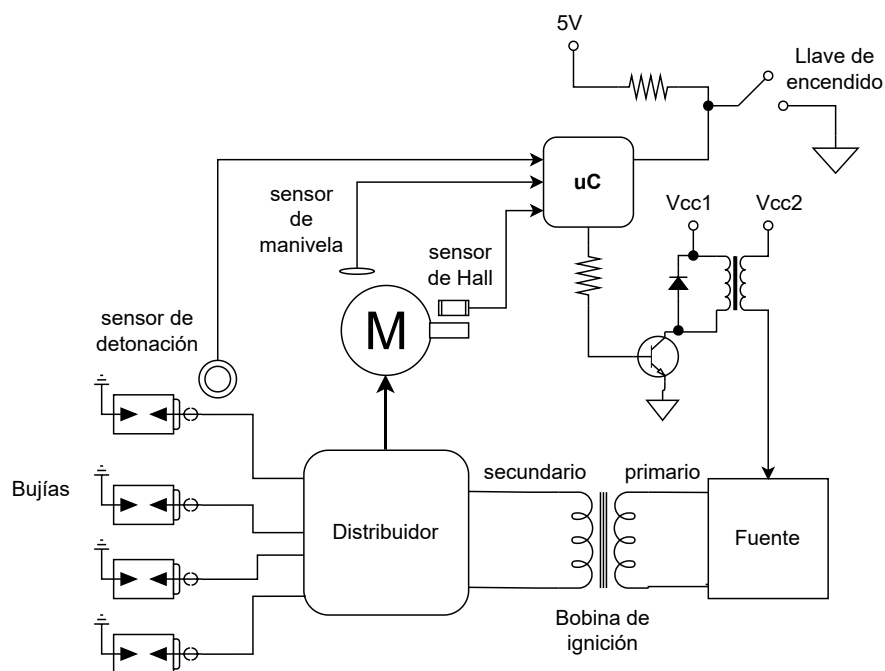


Figura 21: Diagrama del encendido electrónico. En el colector del TBJ se encuentra un relay.

Una vez encendido el circuito mediante la llave, como se observa en la figura anterior, se alimenta el bobinado primario y se excita el rotor del motor. Cuando las paletas del rotor se aproximan al dispositivo de efecto Hall, se genera una señal que es transmitida al módulo de control y a su vez este permite o no el flujo de corriente hacia el bobinado primario para la ignición de las bujías. Hay que mencionar que hay una serie de sensores que utiliza el módulo de control para optimizar el rendimiento.

En la figura siguiente se observa un diagrama de conexión para una placa Arduino. En ella se ve un conector en donde deben entrar las señales analógicas de los sensores, la entrada digital de interruptor, es decir, la llave de encendido, y la salida para prender la fuente que entrega corriente al bobinado primario de la bobina de ignición.

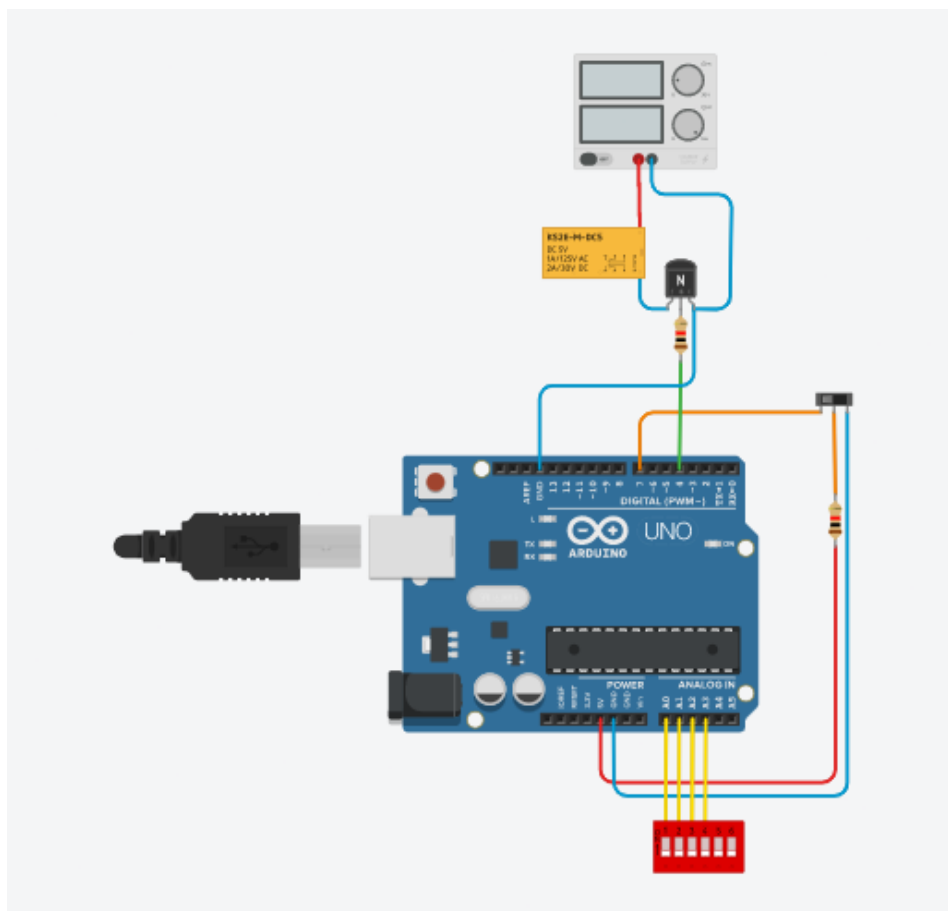


Figura 22: Diagrama de conexión en el microcontrolador.

2.2. Estación meteorológica

Las estaciones meteorológicas son instalaciones para medir variables que nos ayuden a interpretar el clima en general. Son de gran importancia a la hora de tomar diferentes decisiones en áreas como la agricultura ya que factores como la temperatura y la humedad influyen de manera significativa en las plantaciones deseadas.

Se pretende tomar medición y control de las siguientes variables:

- Velocidad del viento. (*Entrada*)
- Indicador lumínico de alerta por ráfagas intensas. (*Salida*)
- Intensidad de luz. (*Entrada*)
- Humedad. (*Entrada*)
- Medición temperatura. (*Entrada*)
- Encendido/apagado del sistema. (*Salidas y entradas*)

Para lograr un control y monitoreo básico del mismo se plantea el diagrama en bloques de la figura 23. Cabe mencionar que dado que estos sistemas son implementados en lugares sin conexión, se plantea la utilización de dispositivos de comunicación inalámbrica cuyo protocolo de comunicación es *Lora* debido a su rendimiento en hasta 20km y su bajo consumo, apto para equipos dependientes de batería. Y dado que se precisa encender/apagar el sistema de manera remota, se plantea la utilización de subsistemas mediante el concepto de maestro/esclavo, para la elección de los sistemas.

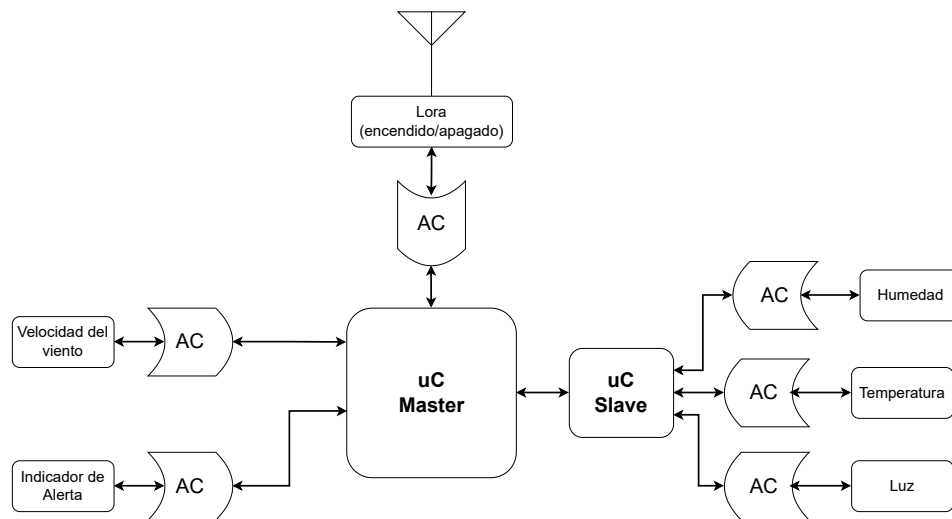


Figura 23: Diagrama del sistema de control y monitoreo de una estación meteorológica.

Velocidad del viento

Para la medición de la velocidad del viento se utiliza un sensor llamado Anemómetro [8], que mide de manera perpendicular a sus copas.

En la figura 24 se observa un ejemplar de un Anemómetro. Particularmente, este sensor mide con una resolución de 0.1m/s desde 0.5m/s-50m/s, con una salida analógica proporcional desde 0.4V-2V.



Figura 24: Anemómetro.

En la figura siguiente se observa un diagrama de conexión, en donde sencillamente se debe alimentar el sensor y recibir la información con la entrada analógica, es decir, con el ADC.

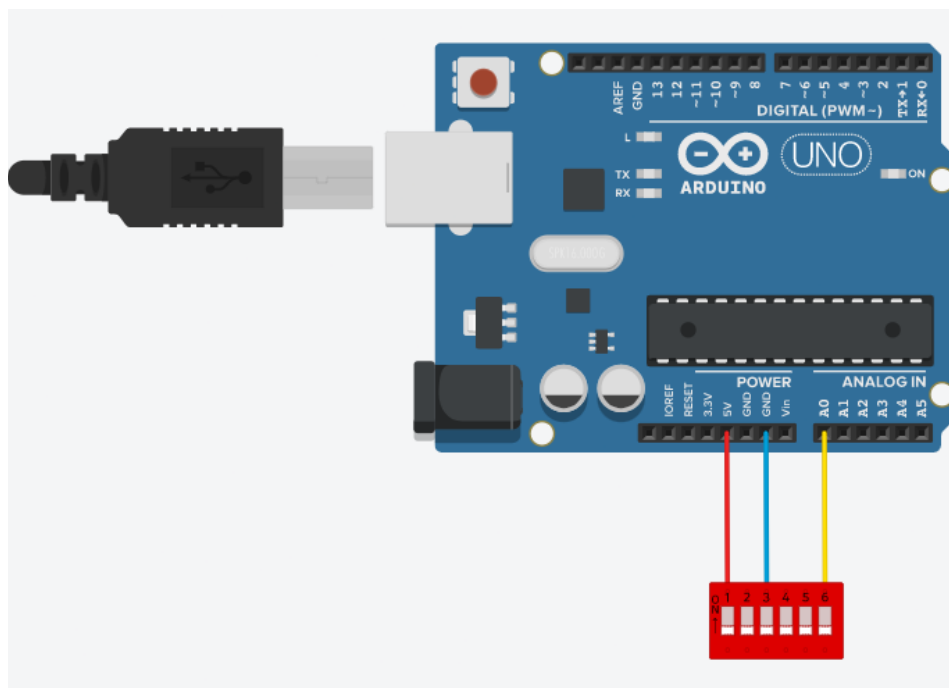


Figura 25: Diagrama de conexión. Los conectores simulan el Anemómetro.

Indicador de alerta por ráfagas intensas

Una vez medida la velocidad del viento como en el ejemplo anterior, si dicha velocidad se pasa de un umbral conocido, entonces se pondrá en alto una señal digital de alerta que constará sencillamente de una luz LED como se indica en la figura siguiente:

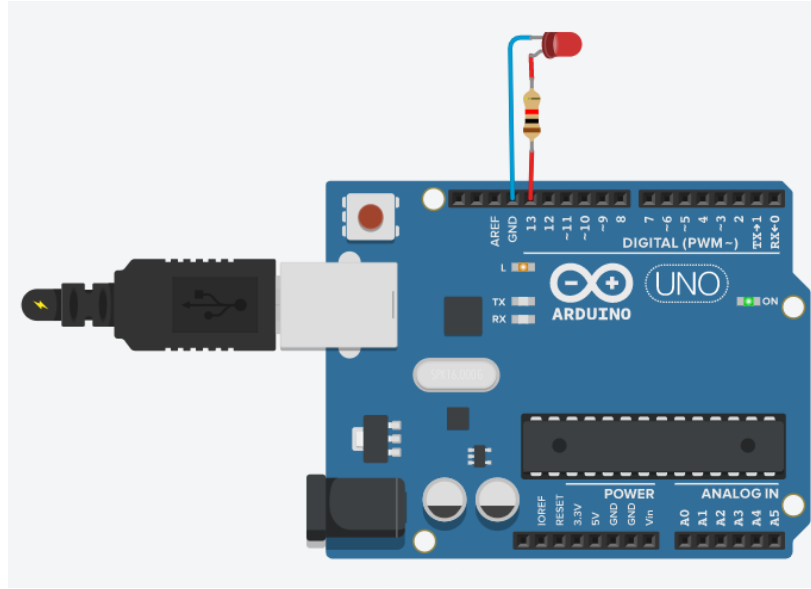


Figura 26: Diagrama de conexión.

Intensidad de la luz

Para poder cuantificar la intensidad de la luz se utilizan celdas semiconductores que modifican la cantidad de portadores a medida que los fotones impactan sobre su superficie. Estos dispositivos son los llamados fotorresistores LDR [9]. La ecuación que relaciona a la intensidad de la luz I y a la resistencia variable del LDR es:

$$\frac{I}{I_o} = \frac{R}{R_o}^{-\gamma} \quad (5)$$

Donde γ , I_o y R_o son valores tabulados y conocidos del dispositivo.



Figura 27: Fotorresistores LDR.

Conocido un resistor R_e y midiendo la tensión V_{in} a partir del ADC, se calcula R y por ende I :

$$V_{in} = 5V \cdot \frac{R_e}{R_e + R} \quad (6)$$

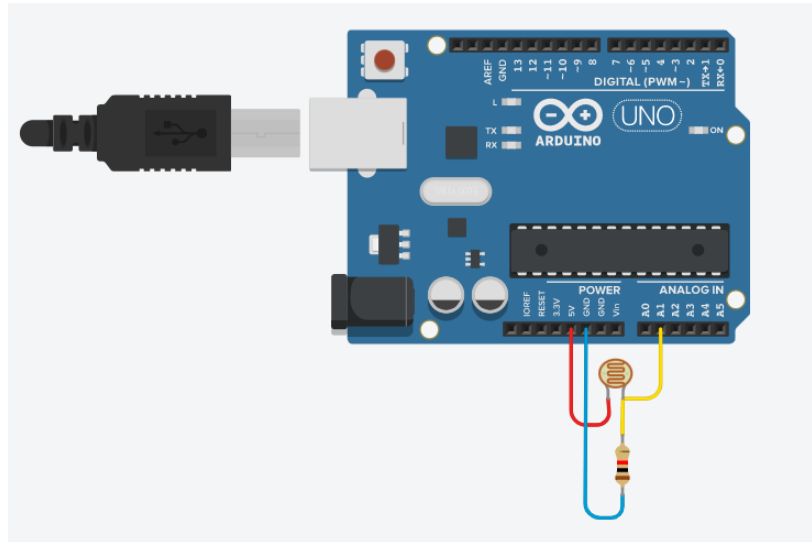


Figura 28: Diagrama de conexión: Sensor LDR.

Humedad

El sensor utilizado para medir la humedad es el SEN0114 que mide la humedad relativa del suelo a partir de los siguientes rangos de niveles, que corresponden a su salida de tensión de entre 0V y 4.2V.

- Suelo seco 0 300
- Suelo húmedo 300 700
- Suelo en agua 700 950

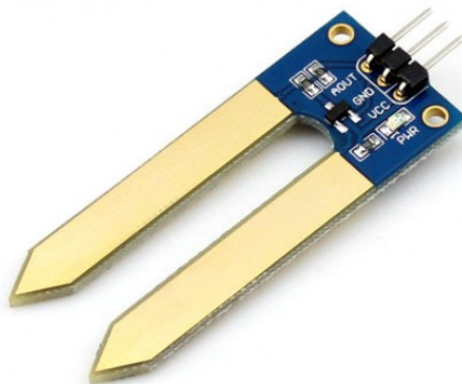


Figura 29: Sensor de humedad relativa.

Se utiliza una entrada analógica para medir dichos niveles:

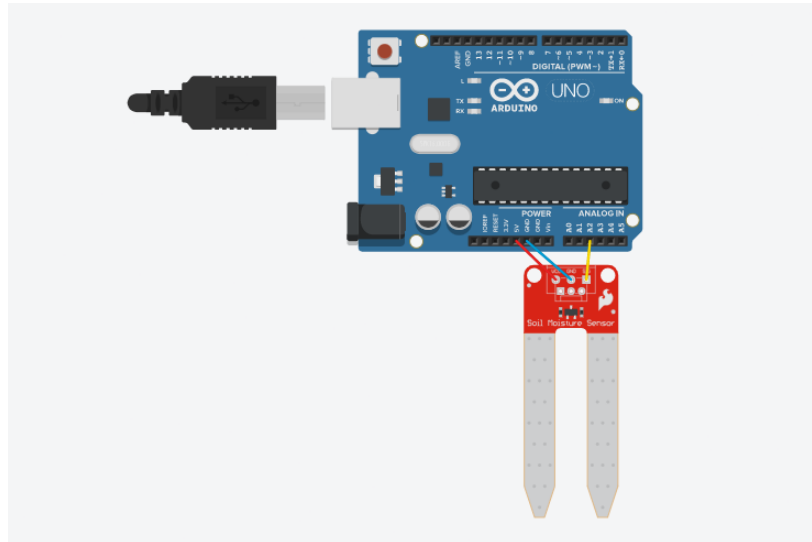


Figura 30: Diagrama de conexión: Sensor de humedad.

Temperatura

Para medir la temperatura se utiliza un sensor LM35 [11] capaz de medir entre $-55^{\circ}C$ a $150^{\circ}C$ cuya salida sigue la siguiente relación, donde T es la temperatura en $^{\circ}C$ y V_t es la tensión de salida que se medirá con el ADC del microcontrolador.

$$V_t = T \cdot 10mV/^{\circ}C \quad (7)$$

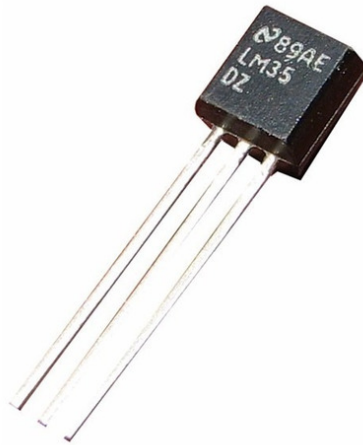


Figura 31: Sensor de temperatura.

El diagrama de conexión es:

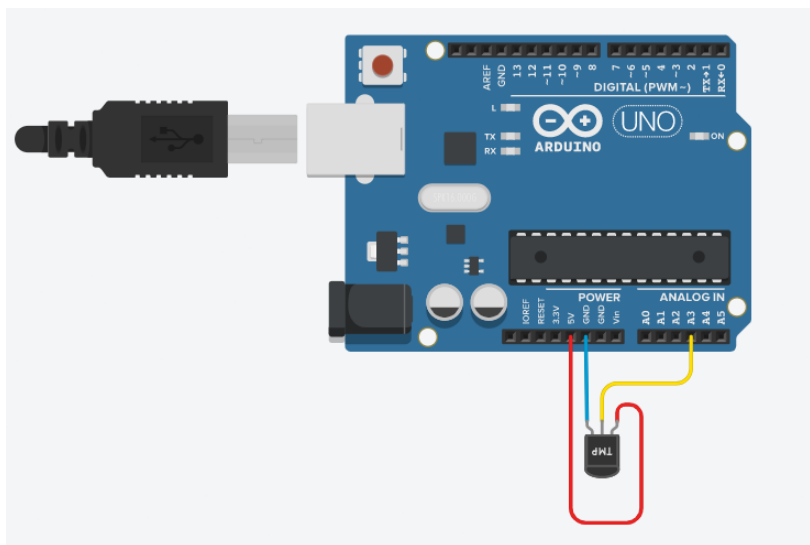


Figura 32: Diagrama de conexión: Sensor de temperatura.

Encendido y apagado del sistema

Para encender, apagar o incluso enviar datos del sistema planteamos utilizar una comunicación inalámbrica que cubra un cierto rango de alcance y que trabaje con cierto protocolo de comunicación. Esto se eligió así debido a que la mayoría de estos sistemas se encuentran en zonas de poca cobertura. No se presenta el diagrama de conexión con el microcontrolador debido a la complejidad del mismo.



Figura 33: Módulo LoRa.

Se plantea también utilizar el modelo Maestro/Esclavo para poder separar etapas en caso de que las mediciones de temperatura, luz y humedad se requieran realizarse en otro lugar. Toda la lógica

se realiza desde el microcontrolador Maestro. Para ello se requiere una librería Wire [12] para la comunicación I2C entre ambas placas. Para Arduino UNO, las entradas A4 y A5 son los pines SDA (intercambio de datos) y SCL (señal de reloj) respectivamente.

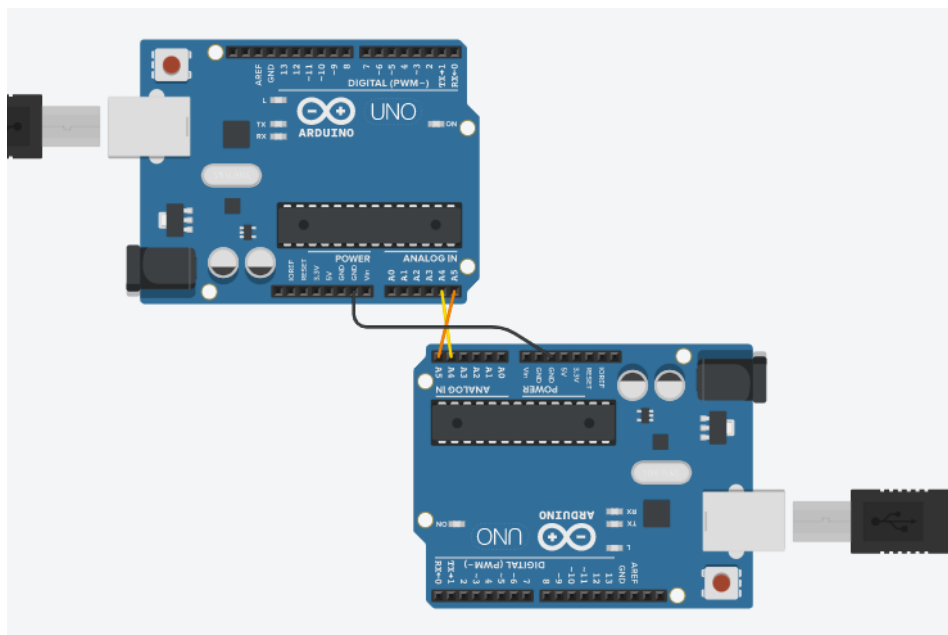


Figura 34: Comunicación I2C entre placas Arduino UNO.

2.3. Horno Eléctrico

El control de un Horno eléctrico requiere un estudio del sistema desde un punto de vista de los Sistemas de Control a lazo cerrado debido a la realimentación que se obtiene al medir la temperatura actual y desear cambiarla mediante un ajuste. Dejando de lado detalles de inestabilidad del sistema, podemos simplificar un diagrama del mismo como:

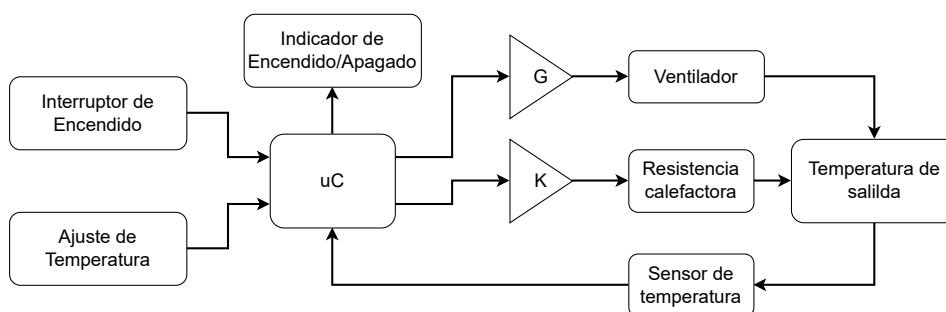


Figura 35: Esquema simplificado del control del horno eléctrico.

Se desea entonces:

- Encendido/apagado del sistema. (*Salidas y entradas*)
- Medición de temperatura. (*Salida*)

- Ajuste de temperatura (*Entrada/salida*)
- Ventilador (*salida*)

Encendido y apagado del sistema

Si se lee una entrada digital (pin8) a partir de un interruptor en Pull-Up se puede configurar una salida digital (pin13) para el indicador. Puede que internamente en el sistema, es decir, en el código, se activen las funciones de control de temperatura.

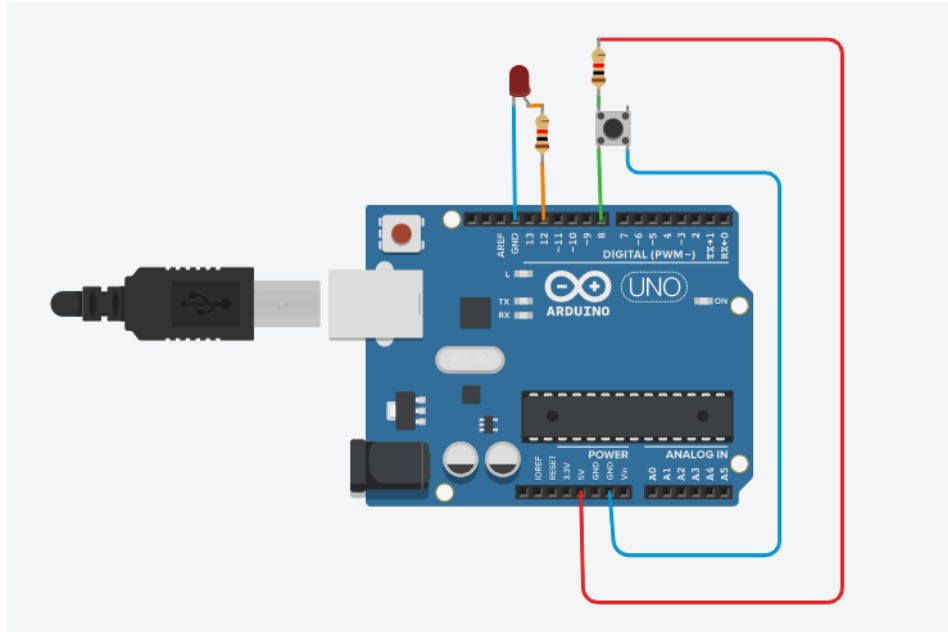


Figura 36: Diagrama de conexión.

Medición de temperatura

Como mostramos en la sección anterior, la medición de temperatura se debe realizar con un sensor que sea capaz de medir en condiciones críticas. Es por eso que se opta por utilizar el sensor PT500 [1] capaz de medir entre $-200^{\circ}C$ y $800^{\circ}C$, variando su resistencia entre 100Ω y 2000Ω .

Conocido un resistor R_e y midiendo la tensión V_{in} a partir del ADC, se calcula R y por ende T a partir de la relación no lineal que indica su hoja de datos.

$$V_{in} = 5V \cdot \frac{R_e}{R_e + R} \quad (8)$$



Figura 37: Sensor de temperatura.

Ajuste de temperatura

A partir de una entrada analógica como puede ser un potenciómetro, donde configuramos que la lectura de menor resistencia sea una temperatura T_{min} y cuya mayor resistencia sea la temperatura máxima T_{max} , comparamos la temperatura deseada T_d con la temperatura medida T . Si $T < T_d$ habilitamos el circuito correspondiente a la resistencia calefactora RC para comenzar a calentar el recinto hasta que $T = T_d$. Caso contrario, si $T > T_d$ habilitamos el circuito correspondiente al ventilador para comenzar a dispersar el calor hasta que otra vez $T = T_d$.



Figura 38: Resistencias calefactoras.

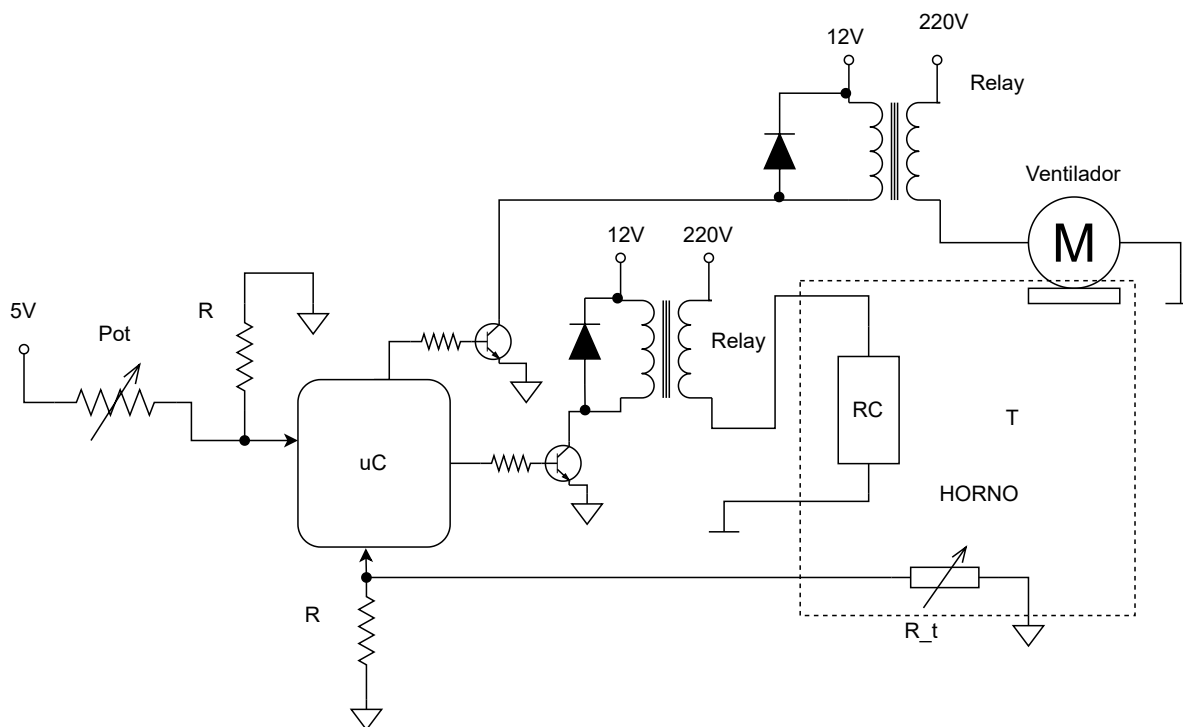


Figura 39: Ajuste de temperatura.

La expresión para determinar la resistencia de ajuste surge de despejar Pot :

$$V_{in} = 5V \cdot \frac{R_e}{R_e + Pot} \quad (9)$$

Sabiendo que se miden las tensiones de los divisores a partir de los ADC y sabiendo que las salidas digitales se utilizan para poner en marcha el ventilador o la resistencia calefactora RC, se muestra el conexionado con una placa Arduino. Tanto la resistencia calefactora como el sensor de temperatura se simulan como resistencias de baja potencia. Además, el motor de CA se simula como motor de CC.

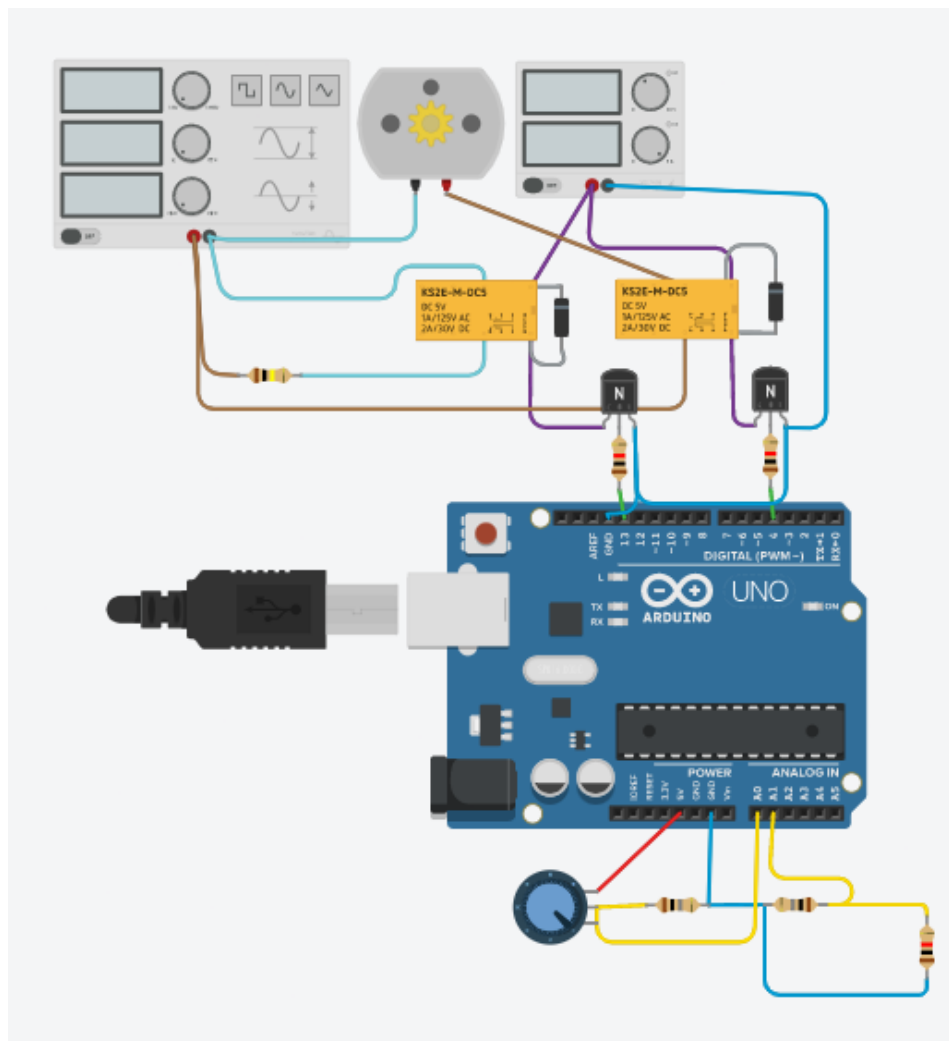


Figura 40: Sistema de control de temperatura.

3. Referencias

- [1] Burkert: 8232 Data sheet. <https://www.burkert.es/es/type/8232>
- [2] SMC: Serie MXZ. <https://www.smc.eu/es-ar/productos/productos-destacados/cilindro-compacto-guia-lineal>
- [3] HC-SR04. <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>
- [4] Ogata, Ingeniería de Control Moderna. Pearson.
- [5] Sensor magnético Hall A3144.
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/55092/ALLEGRO/A3144.html>
- [6] Puente H L293D. <https://dinastiatecnologica.com/producto/puente-h-l293d/>
- [7] Interruptor final de carrera.
https://www.terworld.com/cataloghi_file/finale_de_carrera_de%20position_xfsc-xfrz.pdf
- [8] Anenómetro.
<https://dynamoelectronics.com/tienda/anemometro-sensor-velocidad-del-viento-analogico/>
- [9] LDR Data Sheet.
[https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/LDR %20Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/LDR%20Datasheet.pdf)
- [10] SEN0114 DataSheet. <https://datasheetspdf.com/datasheet/SEN0114.html>
- [11] LM35 Data Sheet. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [12] Arduino Libreria Wire
<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/wire/>