



## **DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

### **“SISTEMA DIGITAL PARA MONITOREO EN LINEA DE VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS”**

#### **TESIS QUE PRESENTA:**

ING. ARMANDO ALVARADO ELIAS

Para Obtener el Grado de:

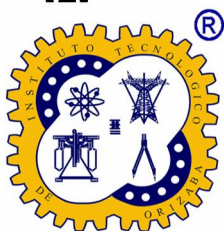
**MAESTRO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

#### **DIRECTOR DE TESIS:**

DR. ALBINO MARTÍNEZ SIBAJA

#### **CODIRECTORA DE TESIS:**

DRA. MIRIAM CRISTINA REYES FERNÁNDEZ



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO

Diciembre 2025



**Educación**

Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



**Instituto Tecnológico de Orizaba**  
División de Estudios de Posgrado

Orizaba, Veracruz, **26/noviembre/2025**  
Dependencia: **División de Estudios de  
Posgrado e Investigación**  
Asunto: **Autorización de Impresión**  
OPCION: I

**C. ARMANDO ALVARADO ELIAS**

Candidato(a) a Grado de Maestro(a) en:

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**P R E S E N T E.-**

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

**“SISTEMA DIGITAL PARA MONITOREO EN LINEA DE VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS”**

Comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

**A T E N T A M E N T E**

Excelencia en Educación Tecnológica®  
**CIENCIA – TÉCNICA - CULTURA®**

**DRA. OFELIA LANDETA ESCAMILLA**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS**  
**DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**OG-13-F06**



**2025**  
Año de  
**La Mujer**  
**Indígena**

Av. Oriente 9 #852 Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320  
Orizaba, Veracruz. Tel. 01 (272) 1105360  
e-mail: [info@orizaba.tecnm.mx](mailto:info@orizaba.tecnm.mx) [www.orizaba.tecnm.mx](http://www.orizaba.tecnm.mx)





Orizaba, Veracruz, 25/noviembre/2025  
Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

**C. OFELIA LANDETA ESCAMILLA**  
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
**PRESENTE.-**

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

**ARMANDO ALVARADO ELÍAS**

La cual lleva el título de:

**“SISTEMA DIGITAL PARA MONITOREO EN LINEA DE VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS”**

Y concluyen que se acepta.

**ATENTAMENTE**

Excelencia en Educación Tecnológica®  
CIENCIA – TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: DR. ALBINO MARTÍNEZ SIBAJA

FIRMA

SECRETARIO: DR. JOSÉ DE JESÚS AGUSTÍN FLORES  
CUAUTLE

FIRMA

VOCAL: DR. JOSÉ PASTOR RODRÍGUEZ JARQUIN

FIRMA

VOCAL SUP.: DRA. MIRIAM CRISTINA REYES  
FERNÁNDEZ

FIRMA

TA-09-18



## Contenido

|                                                                         |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| RESUMEN.....                                                            | 4                                    |
| ABSTRACT.....                                                           | 5                                    |
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....                                          | 6                                    |
| 1.1    Introducción .....                                               | 6                                    |
| 1.2    Problemática.....                                                | 7                                    |
| 1.3    Justificación .....                                              | 8                                    |
| 1.4    Hipótesis .....                                                  | 9                                    |
| 1.5    Objetivos.....                                                   | 10                                   |
| 1.6    Metodología .....                                                | 11                                   |
| 1.7    ESTADO DEL ARTE .....                                            | 12                                   |
| Introducción.....                                                       | 12                                   |
| 1.7.1    Absorción de Co2 con aminas. ....                              | 12                                   |
| 1.7.2    Tecnologías disponibles a nivel comercial.....                 | 13                                   |
| 1.7.3    Sensores de CO2.....                                           | 14                                   |
| 1.7.4    Sensor de humedad y temperatura .....                          | 15                                   |
| 1.8    Recursos.....                                                    | 16                                   |
| 1.9    Alcances.....                                                    | 17                                   |
| 1.10    Limitaciones.....                                               | 19                                   |
| 1.11    Descripción del documento.....                                  | 20                                   |
| CAPÍTULO 2. MARCO TEORICO.....                                          | 21                                   |
| 2.1    INTRODUCCION: CAMBIO CLIMATICO .....                             | 21                                   |
| 2.2    EL CO2 Y EL CAMBIO CLIMATICO .....                               | 22                                   |
| 2.3    ACCIONES PARA ABORDAR EL CAMBIO CLIMATICO.....                   | 23                                   |
| 2.3.1    Tecnologías de Captura y Almacenamiento de CO2 (CAC).....      | 23                                   |
| 2.4    SENSORES.....                                                    | 27                                   |
| Sensores piezoeléctricos .....                                          | 28                                   |
| Sensores electroquímicos .....                                          | 28                                   |
| Sensores ópticos.....                                                   | 30                                   |
| Sensores de Temperatura.....                                            | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Características Principales de Diferentes Sensores de Temperatura ..... | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Termopares .....                                                        | 32                                   |
| Desafíos del termopar.....                                              | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |



|                                                                         |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Sensores RTD .....                                                      | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Tipos de Sensores RTD .....                                             | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Termistores .....                                                       | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Pros y Contras de los Diferentes Tipos de Sensores de Temperatura ..... | 34                                   |
| Sensores de humedad. ....                                               | 34                                   |
| TIPOS DE SENSORES.....                                                  | 35                                   |
| Psicometría por bulbo húmedo/bulbo seco Temperatura Psicrométrica.....  | 35                                   |
| Sensor por condensación .....                                           | 36                                   |
| Sensores mecánicos (por absorción o deformación) .....                  | 37                                   |
| Sensores capacitivos.....                                               | 38                                   |
| Sensor de temperatura y humedad integrado .....                         | 38                                   |
| Sensor de bloque de polímero resistivo.....                             | 38                                   |
| EFFECTOS NEGATIVOS EN LAS MEDICIONES .....                              | 39                                   |
| 2.5 Microcontroladores.....                                             | 41                                   |
| 2.5.1 Arduino .....                                                     | 41                                   |
| 2.5.2 Raspberry Pi .....                                                | 41                                   |
| CAPITULO 3. DESARROLLO .....                                            | 43                                   |
| 3.1 DISEÑO DEL CUERPO DEL REACTOR .....                                 | 43                                   |
| 3.2 DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE SOPORTE DE BIO-COMPUESTO.....             | 47                                   |
| 3.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES.....                                       | 49                                   |
| 3.3.1 SELECCIÓN DE SENSORES .....                                       | 51                                   |
| 3.4 SELECCIÓN DE BOMBA DE VACIO.....                                    | 63                                   |
| 3.5 SELECCIÓN DE ACTUADORES .....                                       | 66                                   |
| 3.5.1 SELECCIÓN DEL ACTUADOR DE LA BOMBA DE VACÍO. ....                 | 66                                   |
| 3.5.2 ACTUADOR VALVULA DE PASO PARA GAS DE SALIDA .....                 | 68                                   |
| Configuración de Especificaciones.....                                  | 75                                   |
| Configuración Adicional.....                                            | 76                                   |
| Especificaciones Personalizadas .....                                   | 76                                   |
| 3.6 SELECCIÓN DE MICROPROCESADOR .....                                  | 76                                   |
| 3.7 SELECCIÓN DE DISPLAY.....                                           | 78                                   |
| 3.8 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL PROTOTIPO .....              | 80                                   |
| 3.9 DISEÑO DE LA INTERFAZ .....                                         | 87                                   |
| 3.9.1 Interfaz electrónica para sensores de presión .....               | 87                                   |
| 3.9.2 INTERFAZ GRÁFICA PARA EL USUARIO. ....                            | 90                                   |
| 3.10 DESARROLLO DEL PROTOTIPO .....                                     | 93                                   |

|      |                              |                                      |
|------|------------------------------|--------------------------------------|
| 3.11 | CODIGOS DE PROGRAMACIÓN..... | 97                                   |
| 4    | RESULTADOS.....              | 102                                  |
|      | Referencias .....            | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |

## RESUMEN.

El propósito del presente trabajo es desarrollar un sistema digital para monitoreo en línea de variables físicas y químicas, el cual se instala en el interior de una cámara de acero inoxidable diseñada para este fin. Además, se implementa un sistema electrónico de monitoreo y control que permite registrar y regular las variables del proceso, tales como humedad, presión, temperatura y flujo de gas, con el objetivo de evaluar la eficiencia del bio-compuesto en tiempo real. Esta solución busca contribuir al desarrollo de tecnologías sostenibles para la mitigación de gases de efecto invernadero, integrando herramientas de ingeniería electrónica para optimizar procesos de captura de CO<sub>2</sub> mediante materiales de origen natural.

## ABSTRACT.

The purpose of this work is to develop a digital system for online monitoring of physical and chemical variables, which is installed inside a stainless steel chamber designed for this purpose. In addition, an electronic monitoring and control system is implemented to record and regulate process variables such as humidity, pressure, temperature, and gas flow, with the aim of evaluating the efficiency of the bio-compound in real time. This solution seeks to contribute to the development of sustainable technologies for mitigating greenhouse gases by integrating electronic engineering tools to optimize CO<sub>2</sub> capture processes using naturally sourced materials.

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción

En tiempos de crisis ecológica, los niveles de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en la atmósfera se ha convertido en el principal indicador del efecto que tienen las actividades humanas en el clima y en la atmósfera. Se necesitan urgentemente tecnologías para su captura y monitorización, especialmente en industrias, laboratorios y espacios confinados donde el  $\text{CO}_2$  puede acumularse con riesgos significativos para la salud y el medio ambiente. La automatización de los sistemas de captura y medición de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es una forma optimizar la medición de las emisiones, con precisión, así como las herramientas de detección. Por lo tanto, puede utilizarse tanto para la monitorización y el control de las emisiones como para contribuir a la planificación, los planes de construcción y las estrategias de minimización del impacto medioambiental.

El objetivo del proyecto es proponer un prototipo automatizado que utilice tecnologías accesibles de instrumentación electrónica, control y sensores, y utilizarlo para recopilar datos en tiempo real de forma fiable.



## 1.2 Problemática

En la actualidad, muchos de los sistemas de captura y medición de CO<sub>2</sub> son costosos, requieren personal especializado y presentan limitaciones para su uso en aplicaciones educativas, de investigación o en pequeñas empresas. La carencia de soluciones de bajo costo y fácil implementación restringe la capacidad de realizar estudios locales sobre emisiones de CO<sub>2</sub>, afectando directamente los esfuerzos por cumplir metas de sostenibilidad y reducción de gases de efecto invernadero.

La carencia de automatización en prototipos de captura también limita la precisión en la recopilación de datos, así como la posibilidad de integrar procesos de control inteligentes que optimicen la eficiencia del sistema.

La escalabilidad de los equipos de laboratorio a planta piloto y a equipos industriales representa uno de los principales retos a resolver para los investigadores.

### 1.3 Justificación

El dispositivo de soporte de bio-compuesto permitirá el uso de diferentes volúmenes para realizar estudios de pre-escalabilidad del proceso en laboratorio que serán de utilidad para poder llevar a cabo la escalabilidad a planta piloto.

El diseño y la fabricación de un prototipo automatizado para captura y cuantificación de CO<sub>2</sub> responde a la necesidad de contar con herramientas asequibles y adaptables que permitan su implementación en distintos contextos. Al incorporar elementos de automatización y sensorización el prototipo propuesto permitirá la recolección continua de datos, una mayor trazabilidad y el ajuste de variables operativas en tiempo real.

Además, este trabajo contribuye a la formación tecnológica de profesionales en ingeniería electrónica mediante la aplicación de conocimientos de control automático, electrónica analógica y digital, instrumentación, programación y diseño, fortaleciendo el vínculo entre la investigación académica y la solución de problemas reales en materia ambiental.

## 1.4 Hipótesis

El diseño de un dispositivo de soporte de bio-compuesto experimental funcionalizado para la captura de CO<sub>2</sub> y la integración de sensores de CO<sub>2</sub>, temperatura, humedad y presión, en conjunto con un control automatizado basado en microcontroladores, permitirá desarrollar un prototipo funcional capaz de medir de forma precisa la captura de CO<sub>2</sub>, optimizando el proceso respecto a sistemas no integrados y permitiendo validar la eficiencia del bio-compuesto.

## 1.5 Objetivos

### **Objetivo General:**

Desarrollar un dispositivo soportante de un bio-compuesto funcionalizado para la captura de CO<sub>2</sub> y la implementación de un sistema electrónico de monitoreo y control que permita registrar y regular las variables del proceso para evaluar la eficiencia del bio-compuesto en tiempo real.

### **Objetivos Específicos:**

Diseñar y desarrollar el soporte de bio-compuesto para el reactor.

Seleccionar sensores adecuados para la medición de CO<sub>2</sub>, temperatura, presión y humedad.

Desarrollar el diseño electrónico del sistema de automatización.

Programar el sistema de control para la operación autónoma del prototipo.

Validar el funcionamiento del prototipo en condiciones controladas.

Analizar los datos obtenidos para verificar la precisión del sistema.

## 1.6 Metodología

El proyecto se dividirá en ocho etapas sucesivas, siguiendo un enfoque de diseño y validación tecnológica:

**Etapla 1.** Revisión bibliográfica y del estado del arte, para identificar tecnologías disponibles y sus aplicaciones.

**Etapla 2.** Diseño y desarrollo del dispositivo de soporte del bio-compuesto considerando las variables del sistema para la selección del material de fabricación del mismo.

**Etapla 3.** Selección de componentes electrónicos y sensores, considerando criterios de precisión, costo y disponibilidad.

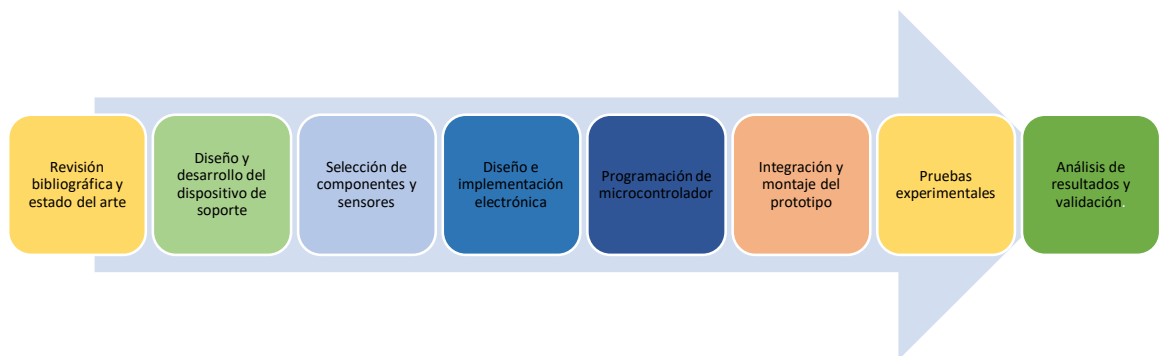
**Etapla 4.** Diseño e implementación del sistema electrónico, incluyendo el control y los circuitos de acondicionamiento de señales.

**Etapla 5.** Programación del microcontrolador, empleando un entorno de desarrollo Arduino.

**Etapla 6.** Integración y montaje del prototipo físico, considerando aspectos de seguridad y funcionalidad.

**Etapla 7.** Pruebas experimentales, en condiciones simuladas, para evaluar el comportamiento del sistema.

**Etapla 8.** Análisis de resultados y validación del desempeño, comparando mediciones con instrumentos de referencia, si es posible.



## 1.7 ESTADO DEL ARTE

### Introducción

En la actualidad, la contribución de fuentes de energía renovables, solar, eólica, geotérmica, bioenergía y las soluciones de movilidad eléctrica, es muy baja, y las medidas adoptadas hasta ahora para evitar que la temperatura aumente  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para 2030 no han tenido el impacto previsto. Aunque los países han asumido compromisos, la mayoría de ellos son meras palabras. Se están proponiendo diversas medidas para reducir el  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, desde la captura y el secuestro hasta métodos más lentos en la agricultura y la silvicultura para secuestrar grandes cantidades de carbono. Entre las medidas más eficaces, y que conllevan riesgos no cuantificados, se encuentran la manipulación del medio ambiente mediante proyectos de geoingeniería para enfriar el planeta y la captura y el secuestro de carbono.

La industria del gas natural lleva más de sesenta años utilizando la absorción de aminas para extraer  $\text{CO}_2$  del gas natural y utilizarlo en el procesamiento de alimentos y bebidas. Las aminas son derivados del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) en los que uno o más grupos de hidrógeno son sustituidos por un grupo funcional (por ejemplo: etanol). La absorción de aminas en este caso consiste en enfriar el gas producto de la combustión a  $40\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$  y, a continuación, ponerlo en contacto con la solución de aminas en una columna de lecho fijo para su captura (Figura 1.7.1). Algunas de las aminas más utilizadas son la monoetanolamina (MEA), la dietanolamina (DEA) y la metil dietanolamina (MDEA); La MEA es la más utilizada, ya que es barata y fácil de conseguir. La absorción básica con MEA será el ejemplo para el futuro. El  $\text{CO}_2$  se absorbe y reacciona con la solución de MEA para formar una solución de carbamato y bicarbonato de MEA. Como se verá en la ecuación, el porcentaje de MEA en peso varía entre el 15 y el 35 %, dependiendo del proceso.

### 1.7.1 Absorción de $\text{CO}_2$ con aminas.

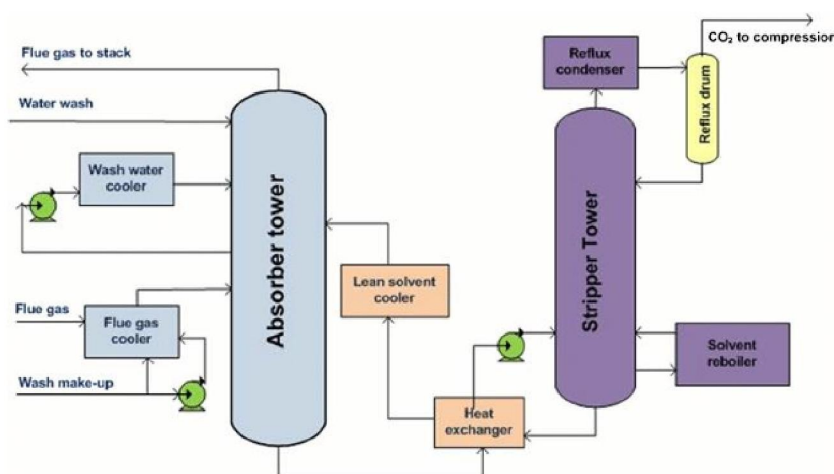


Diagrama a bloques de proceso de captura de  $\text{CO}_2$  con aminas

### 1.7.2 Tecnologías disponibles a nivel comercial.

En la actualidad existen tres procesos de absorción de aminas que se emplean comercialmente: el proceso KerrMcGee/AGG Lummus Crest (KMALC), el proceso Fluor Econamine FG PlusSM (EFG+) y el proceso KMCDR.

En KMALC, se utiliza una solución de MEA al 15-20 % en peso (% en peso) para la absorción de CO<sub>2</sub>. La principal ventaja del proceso KMALC es que la MEA es lo suficientemente barata como para permitir la desulfuración de los gases de combustión (opcionalmente) por debajo de 100 ppm. Por debajo de 100 ppm, es más barato permitir que el SO<sub>x</sub> degrade el MEA y añadir correctores que instalar medidas adicionales de eliminación de SO<sub>x</sub>. En su máximo, el KMALC ha alcanzado una absorción de CO<sub>2</sub> de 800 toneladas/día a través de dos columnas de absorción simultáneas. Esta cifra es muy inferior a las 8000 toneladas/día de CO<sub>2</sub> que emiten las centrales eléctricas que queman combustibles fósiles.

La tecnología EFG+ emplea una solución de MEA al 35 % en peso mezclada con un inhibidor patentado para la absorción de CO<sub>2</sub>. Este aumento de la concentración de MEA, a diferencia de la tecnología KMALC, reduce la degradación del disolvente causada por el contacto con el O<sub>2</sub>. La tecnología EFG+ está diseñada para manejar un contenido de O<sub>2</sub> del 1 al 15 % en corrientes de gas. Este inhibidor patentado reduce la naturaleza corrosiva del disolvente MEA. Esto permite que la mayoría de los equipos se fabriquen con acero al carbono negro, lo que se traduce en un menor coste de capital. Sin embargo, la adición del inhibidor aumenta el coste del disolvente, lo que requiere que la eliminación de SO<sub>2</sub> sea inferior a 10 ppm para evitar costes excesivos de ajuste del disolvente. La tecnología EFG+ se ha probado en más de 25 emplazamientos de todo el mundo para la extracción de CO<sub>2</sub> para la producción de urea. Actualmente es la única tecnología de aminas probada en gases de combustión de turbinas de gas que contienen un 3,5 % de CO<sub>2</sub> y un 13 % de O<sub>2</sub>. Hasta ahora, la capacidad máxima de absorción de CO<sub>2</sub> demostrada es de 320 toneladas/día de CO<sub>2</sub>.

La tecnología KM-CDR es un proceso con licencia de Mitsubishi Heavy Industries. La tecnología utiliza una línea patentada de aminas estéricamente impedidas para la absorción de CO<sub>2</sub>. Como indica la ecuación etiquetada con el término R, las aminas estéricamente impedidas tienen un grupo sustituyente voluminoso unido al átomo de nitrógeno.



Las aminas estéricamente impedidas tienen una baja corrosividad y una menor degradación del O<sub>2</sub> en comparación con el MEA como disolvente. La tecnología KM-CDR ha demostrado una capacidad máxima de absorción de CO<sub>2</sub> de 500 toneladas/día de CO<sub>2</sub> utilizando el disolvente amínico KS-1.

#### *Ventajas y desventajas*

La utilización de absorción química con aminas tiene las siguientes ventajas:

- El proceso permite bajas presiones parciales de CO<sub>2</sub> en la corriente de combustión (3-20 %), ya que el CO<sub>2</sub> reacciona con las aminas.
- Existen múltiples tecnologías ampliamente implementadas y disponibles en el mercado, así como un proceso bien desarrollado.

Las desventajas incluyen:

- Baja capacidad de carga del disolvente (0,4 kg de CO<sub>2</sub>/kg de MEA).
- El disolvente no puede regenerarse por completo.
- Se producen problemas de implementación a mayor escala. La capacidad actual de CO<sub>2</sub> es de 320-800 toneladas/día. Una planta de 500 MW emite 8000 toneladas/día de CO<sub>2</sub>. Esto implica que se necesitan equipos mucho más grandes que los disponibles en la actualidad.
- Corrosión del equipo: las aminas pueden provocar el desgaste de las columnas de absorción y separación a través del tiempo.
- Degradación de las aminas con NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y partículas.
- Alto consumo de energía durante las etapas de separación y regeneración (estimado entre un tercio y un cuarto del total de la planta).
- La etapa de recuperación consume mucha energía y los residuos pueden ser peligrosos.
- Aumento del espacio de la planta (un sistema de dos columnas de absorción paralelas o columnas de 12-18 m de diámetro). Para superar algunas de las desventajas de la absorción con MEA, se han utilizado otras aminas como la DEA y la MDEA. En muchos casos, los disolventes basados en mezclas de aminas ofrecen menores índices de circulación y menores requisitos de calor en la fase de separación. (Chocho Cabrera, 2019)

### 1.7.3 Sensores de CO<sub>2</sub>.

Una evaluación detallada del rendimiento de sensores de CO<sub>2</sub> de bajo costo de diferentes categorías de precio (Sunrise, aproximadamente 50 dólares; K30, aproximadamente 100 dólares; Vaisala, aproximadamente 3500 dólares). Los resultados muestran que los sensores Sunrise, a pesar de su precio, son bastante precisos en comparación con el instrumento de referencia LGR. Las mediciones de los sensores Sunrise difieren de las del instrumento de referencia en la precisión declarada por el fabricante.

Los sensores Vaisala ofrecen mayor precisión, pero esta mejora tiene un costo mucho mayor, lo que puede impedir algunas aplicaciones. Las concentraciones reportadas por el sensor K30 mostraron una desviación general y el ruido en sus mediciones fue mayor en comparación con los sensores Sunrise y K30.

Se han desarrollado procedimientos de calibración adicionales para los sensores de CO<sub>2</sub> de bajo costo utilizando diferentes técnicas de aprendizaje automático, con un modelo de aprendizaje automático de conjunto de pilas utilizado para incorporar las ventajas de la regresión lineal, las técnicas basadas en árboles de decisión y las técnicas de potenciación de gradiente. El modelo de conjunto de pilas superó a los modelos individuales, lo que resultó en una reducción general del 65 % en los valores RMSE; recomendamos utilizar esta técnica para calibrar sensores de CO<sub>2</sub> de bajo costo. Se han



utilizando mediciones controladas en cámaras de crecimiento para entrenar los modelos de aprendizaje automático y probar su rendimiento en las mediciones ambientales exteriores. Los modelos entrenados con los datos de la cámara de crecimiento no mejoraron el rendimiento del sensor, lo que puede atribuirse a la diferencia en la distribución de las condiciones ambientales dentro de los datos de entrenamiento y prueba utilizados en este estudio. Aún así son necesarios más estudios para probar la posibilidad de utilizar mediciones controladas en interiores para calibrar sensores de CO<sub>2</sub> de bajo costo imitando las condiciones ambientales exteriores.

En resumen, se ha contribuido significativamente a la creciente literatura sobre la viabilidad y eficacia de los sensores de CO<sub>2</sub> de bajo costo para la monitorización de alta resolución espacial, especialmente cuando las limitaciones de coste son un problema. Evaluamos el rendimiento de sensores de coste ultrabajo en comparación con una opción de rango medio y un analizador estándar de alta precisión.

Los resultados de nuestro estudio demuestran que una gama de opciones de hardware, junto con técnicas adecuadas de corrección mediante aprendizaje automático, prometen permitir una detección generalizada, económica y de alta resolución espacial de CO<sub>2</sub> para aplicaciones de monitoreo relevantes para la formulación de políticas en materia de salud, ambiental y humana. (Dubey, y otros, 2024)

Monitorización sencilla y asequible de calidad del aire interior y la presencia mediante Raspberry Pi. Se utilizan ampliamente sensores comerciales de bajo costo para el montaje, lo que contribuye a una mayor flexibilidad y asequibilidad para una mejor estimación de la calidad del aire.

#### 1.7.4 Sensor de humedad y temperatura

El DHT22 es el sensor comercial más común para medir la temperatura y también mide la humedad relativa (HR). Su ficha técnica indica que mide temperaturas de -40 a 80 °C con una precisión de 0,5 °C y humedad relativa de 0 a 100 % con una precisión de 2 % HR. Es un sensor de precisión media con un tiempo de respuesta algo lento, pero es suficiente para el proyecto, ya que el objetivo final es obtener un medidor de bajo coste. Funciona con voltajes de 3,3 V y 5 V, lo que permite su compatibilidad con microplacas como Raspberry Pi. (Abanades, 2015)

## 1.8 Recursos.

Para el dispositivo de captación de CO<sub>2</sub> se utilizará un reactor de acero inoxidable y un bio-compuesto funcionalizado para la captura de CO<sub>2</sub>. Se diseñará un dispositivo de soporte para el bio-compuesto que permita colocarlo dentro del reactor y que pueda ser adaptado a diferentes volúmenes de sustrato. En cuanto a la automatización del proceso son necesarios sensores de temperatura, presión, humedad y de CO<sub>2</sub> que puedan ser utilizados para medir las variables del interior del reactor y considerando los niveles obtenidos se controlarán los actuadores que en éste caso serán un control de presión digital, una válvula y una bomba de vacío. Las señales digitalizadas serán procesadas por medio de un microcontrolador ya sea Arduino o raspberry. Después de ser procesadas las señales se mostrarán en una pantalla de interfase con la cual será monitoreado y controlado el proceso.

## 1.9 Alcances.

El presente proyecto aplica para un reactor a escala laboratorio con capacidad máxima de 7.85L; el diseño del dispositivo soportante permitirá llevar a cabo un mini escalamiento desde 50gr hasta 5Kg de bio-compuesto y el sistema electrónico de monitoreo y control integra cuatro variables: presión, temperatura, humedad y concentración de CO<sub>2</sub> y tres actuadores: control de bomba de vacío, válvula de paso y control digital de presión. El prototipo será puesto a prueba para su validación en condiciones controladas.

### a) **Diseño y desarrollo del dispositivo de soporte**

#### Actividades

Selección de materiales compatibles con el bio-compuesto.

Diseño CAD del soporte para integrarse en el reactor

Fabricación del prototipo mediante corte laser.

#### Entregables

Modelo físico del soporte

Especificaciones técnicas del diseño

### b) **Selección e integración de sensores**

#### Actividades

Investigación y selección de sensores para:

Bióxido de Carbono

Humedad

Temperatura

Presión

Pruebas de calibración y compatibilidad

#### Entregables

Lista de sensores seleccionados con fichas técnicas

Módulo de sensores integrado al sistema

### c) **Desarrollo del sistema electrónico de monitoreo y control**

#### Actividades

Selección de microcontrolador

Integración de sensores y actuadores

#### Entregables

Diagrama esquemático

Prototipo funcional del sistema electrónico

### d) **Programación del sistema de control**

#### Actividades

Desarrollo de programa para adquisición de datos

Implementación de algoritmos de control

Diseño de interfaz de usuario para visualización de datos

#### Entregables

Código fuente documentado

Manual de operación del sistema

**e) Validación del prototipo en condiciones controladas**

**Actividades**

Pruebas en laboratorio simulando diferentes concentraciones de CO<sub>2</sub>

Evaluación de respuesta del sistema ante variaciones de presión, temperatura y humedad.

**Entregables**

Informe de validación con resultados experimentales.

## 1.10 Limitaciones.

Las limitaciones del presente proyecto fueron consideradas dentro de cuatro categorías: Técnicas, operativas, económicas y científicas. El orden en que se presentan las limitaciones no representa una ponderación de las mismas ya que las cuatro se consideran de importancia para la realización del proyecto.

### a) Limitaciones técnicas.

Compatibilidad de materiales: El bio-compuesto puede presentar incompatibilidades con ciertos materiales de soporte.

Precisión de los sensores: Los sensores comerciales pueden tener márgenes de error que afecten la medición precisa de CO<sub>2</sub>, temperatura, presión y humedad.

### b) Limitaciones operativas.

Condiciones controladas: Las pruebas se realizarán en ambientes simulados, lo que puede no reflejar completamente el comportamiento del sistema en condiciones reales.

Tiempo de respuesta: El sistema puede tener retardos en la adquisición de datos o en la ejecución de acciones de control.

Mantenimiento del prototipo: No se tienen todas las características del comportamiento del bio-compuesto el cual puede requerir remplazo o regeneración periódica lo que implicaría mantenimiento manual del equipo.

### c) Limitaciones económicas

Presupuesto: La adquisición de sensores de alta precisión, materiales especializados o herramientas de fabricación puede estar limitada por el presupuesto disponible.

Acceso a tecnología: La disponibilidad de componentes electrónicos avanzados puede depender de proveedores externos o de tiempos de entrega prolongados.

### d) Limitaciones científicas

Escalabilidad: los resultados obtenidos en el prototipo pueden no ser directamente extrapolables a sistema de mayor escala sin ajustes significativos.

Validación limitada: El número de pruebas y escenarios evaluados puede no ser suficiente para establecer conclusiones definitivas sobre la eficiencia del sistema.

### 1.11 Descripción del documento.

El presente escrito se estructura en varios capítulos que abordan de manera progresiva el desarrollo teórico, técnico y experimental de un proyecto de ingeniería aplicada.

En el capítulo número dos: Marco teórico se describen las generalidades que sustentan el proyecto. Inicia con una introducción que contextualiza el problema y los objetivos. Se revisan conceptos clave, antecedentes tecnológicos y principios científicos que guían el diseño y desarrollo del sistema propuesto.

En el capítulo 3 denominado Desarrollo se contempla el proceso de diseño y fabricación del sistema que incluye:

- Diseño general del sistema
- Descripción de las partes y componentes
- Cálculos técnicos necesarios para dimensionar y validar el funcionamiento
- Selección de componentes con base en criterios técnicos y económicos
- Diseño del soporte de bio-compuesto, considerando aspectos estructurales y funcionales
- Diseño de la interfaz, tanto física como digital
- Programa desarrollado para el control y operación del sistema.
- En el capítulo 4 denominado Mejoras y desarrollo experimental se documentan las mejoras implementadas al diseño original, así como el proceso de desarrollo experimental. Se incluyen:
  - Ajustes y optimizaciones realizadas tras las pruebas iniciales
  - Descripción del procedimiento experimental
  - Resultado de pruebas, análisis de desempeño y validación del sistema.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEORICO

### 2.1 INTRODUCCION: CAMBIO CLIMATICO

El cambio climático reconocido formalmente desde 1992, se refiere al incremento gradual de la temperatura del planeta y a la modificación del comportamiento del clima. Aunque este cambio se puede asociar a fenómenos naturales, se ha concluido que el aumento de la temperatura se ha visto afectado de forma importante por la actividad antropogénica en general y un caso particular por el uso de combustibles fósiles en la actividad humana; estos combustibles emiten diversos contaminantes que provocan gases efecto invernadero (GEI) y calientan la atmósfera

terrestre. Dadas las consecuencias que puede originar esta modificación de los patrones climáticos y los consecuentes desastres, hoy en día existe una alarma generalizada por la contención del incremento de la temperatura, que a saber no deberá superar 1.5 °C para 2030; por esta razón diversos países, desde 1992 se han comprometido de forma

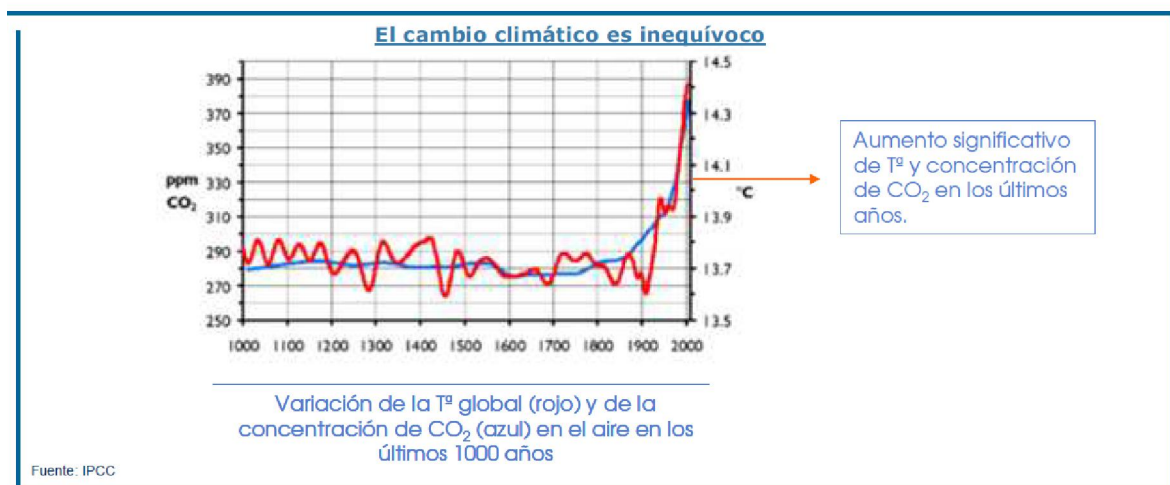
voluntaria u obligatoria a mitigar las emisiones contaminantes, siendo una opción el cambio de combustibles fósiles por fuentes renovables. El mantenimiento del ritmo de desarrollo económico y nivel de vida, eficientizando procesos y manteniendo casi el mismo nivel de consumo energético, han impedido un impacto notorio en la reducción de emisiones, razón por la cual el incremento de temperatura sigue al alza y se pronostica que antes de 2060, se lleguen a valores que superen los 2°C.

La contribución de las energías renovables a la transición de energías contaminantes a no contaminantes es notoriamente baja, y su participación en el mercado se debe más a factores de tipo comercial y económico, que a razones consientes del cuidado del medio ambiente. Más aún porque un alto porcentaje de las fuentes de energía utilizadas en la actividad humana provienes de combustibles fósiles tales como el petróleo, el carbón y el gas. (Lezcano, 2025)

## 2.2 EL CO<sub>2</sub> Y EL CAMBIO CLIMATICO

Asociado al crecimiento de la población y de la economía después de 1945 y al aumento en el uso de combustibles fósiles, se incrementan de forma alarmante las emisiones contaminantes que en 1945 estuvieron en el orden de 5,000 Millones de toneladas.

de CO<sub>2</sub>e, y para 2023, las emisiones llegaron a 37,400 millones de toneladas (FORBES, 2023), siendo que el mayor incremento ha sucedido en los últimos 30 años con el 52.7% (BBC News Mundo, 2021). Este crecimiento en emisiones se asocia directamente al crecimiento poblacional, para 1980 la población fue de aproximadamente 4,500 millones, y para 2023 superó los 8,000 millones (Naciones Unidas México, 2023). Las cifras actuales indican que el 82 % del consumo mundial de energía se basa en combustibles como el petróleo, el carbón y el gas natural, los cuales son los promotores fundamentales de las emisiones de GEI, y que además el 80% de dicha energía se utiliza para el transporte de personas como de mercancías (Radar Energético, 2023). Basado en este escenario, se percibe inalcanzable la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera en el corto tiempo considerando que se tiene una meta definida para el año 2030.

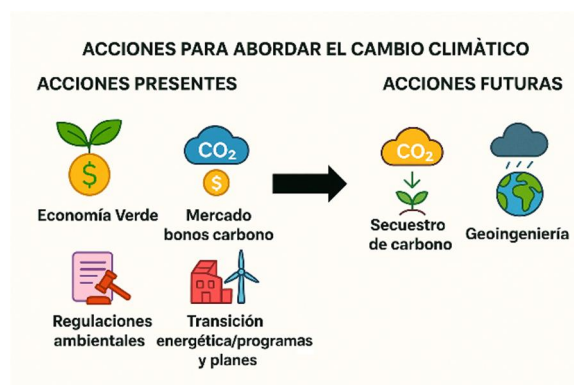




## 2.3 ACCIONES PARA ABORDAR EL CAMBIO CLIMATICO

Las acciones ya implementadas para transitar de energías contaminantes a limpias muestran un futuro prometedor tales como la eólica, solar, geo, mareomotriz y bioenergía, al existir instalaciones que en mayor o menor grado han contribuido a la generación de energías limpias, y que fundamentalmente obedecen a su factibilidad técnica y económica cuyo éxito les ha permitido mantenerse en el mercado. Sin embargo, existen otras acciones que están promoviendo la tan urgente transición energética. Dentro de las políticas, acciones y concepciones globales que están

implementando y planteando algunos países, se pueden citar: la educación para el cambio climático, el concepto de economía verde y bonos de carbono, impuestos ambientales, programas y planes de transición energética, el secuestro de carbono, y la geoingeniería, entre otras.



### 2.3.1 Tecnologías de Captura y Almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CAC).

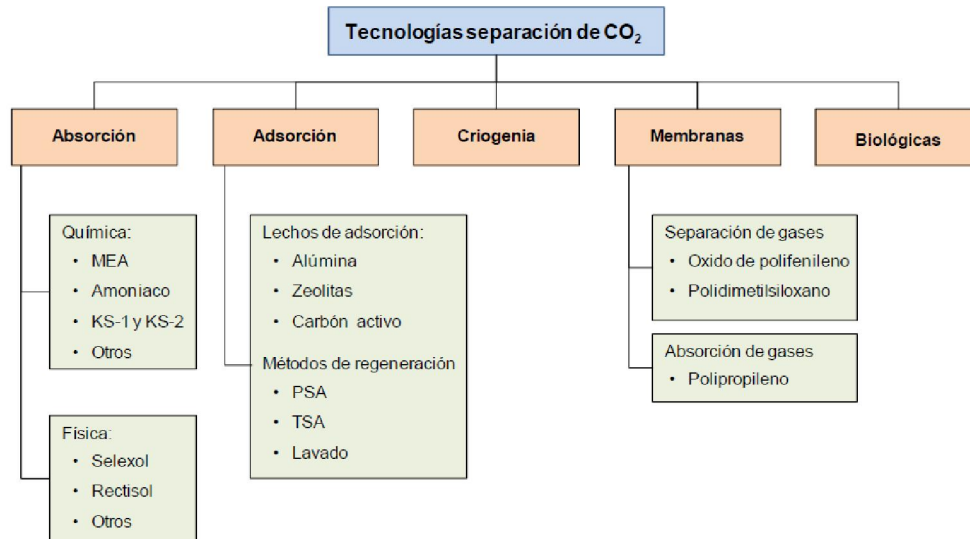
En las próximas décadas, la principal fuente de energía primaria seguirá basada en combustibles fósiles, según la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), por lo surge la necesidad de explorar numerosas alternativas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, entre las que destaca el uso de tecnologías de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CCS). Al confinar de forma segura y estable las emisiones de CO<sub>2</sub> bajo tierra, esta tecnología permite un uso sostenible y responsable de los combustibles fósiles.

La tecnología CAC se basa en tres procesos secuenciales: captura, transporte y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. La captura implica la separación y concentración del CO<sub>2</sub> de los gases de combustión de combustibles fósiles. A continuación, se transporta al lugar de almacenamiento. La corriente de CO<sub>2</sub> se lleva a condiciones supercríticas, obteniendo un fluido con características gaseosas en términos de viscosidad y características líquidas en términos de densidad. El transporte al almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub> puede optimizarse en estas condiciones. Las tecnologías CAC se basan en procesos existentes en diferentes aplicaciones industriales para cada una de las etapas.

Para el presente proyecto nos enfocaremos al proceso de captura de CO<sub>2</sub>.

Las principales alternativas disponibles para la aplicación de la tecnología de captura son:

- Absorción: Química o Física
- Adsorción
- Criogenia
- Membranas
- Procesos biológicos



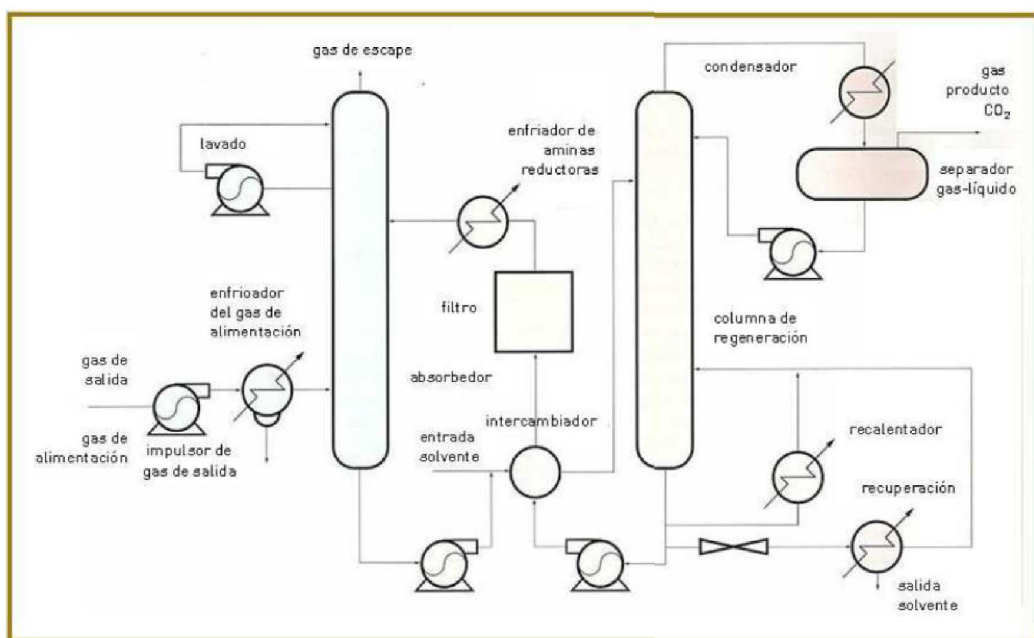
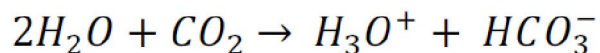
La aplicación del presente trabajo será para absorción química por lo que se describe el proceso a continuación.

### *Absorción Química*

Con el fin de extraer el CO<sub>2</sub> de una fuente de gas, destacan varios procesos de absorción química en la industria. La absorción de CO<sub>2</sub> se logra mediante la retención selectiva de este compuesto cuando los gases de combustión entran en contacto con un líquido absorbente por fenómenos físico-químicos. Existe un gran número de procesos basados en la absorción, y la absorción con aminas y amoníaco refrigerado se consideran los más desarrollados. Esta tecnología se considera madura en el ámbito de la purificación del gas natural y la producción comercial de CO<sub>2</sub>. Algunas plantas recogen hasta 8000 t/día de CO<sub>2</sub> (equivalente a la producción de CO<sub>2</sub> de una planta de 400 MWe) de una corriente de gas y tienen una capacidad de captura de hasta el 90 % y una pureza del 99 % de la corriente de CO<sub>2</sub> que recogen.

En las aminas, la absorción química se lleva a cabo en disolventes alcalinos con al menos un grupo amino y un grupo hidroxilo, y los disolventes de amina más frecuentes son la monoetanolamina (MEA), la dietanolamina (DEA), la trietanolamina (TEA) y la metildietanolamina (MDEA). Las aminas con impedimento estérico tienen una alta selectividad, una alta capacidad de carga de CO<sub>2</sub> por kg de disolventes y pueden formar una corriente de CO<sub>2</sub> de alta pureza, pero su coste es considerable. Para evitar problemas de precipitación, se suelen utilizar soluciones acuosas de MEA.

En la siguiente figura se muestra el proceso de captura de CO<sub>2</sub> mediante absorción química con aminas:


$$H_2O + CO_2 + MEA \rightarrow MEACO_2^- + H_3O^+$$
$$H_2O + MEAC O_2^- \rightarrow MEA + HCO_3^-$$


Durante una etapa de condensación, el flujo de CO<sub>2</sub> y vapor de agua se somete a un proceso de condensación en el que se elimina este último, lo que da lugar a un flujo final con un alto contenido de CO<sub>2</sub> (más del 99 %) que puede comprimirse hasta alcanzar las condiciones de almacenamiento. El absorbente regenerado se enfría a 40-65 °C y se devuelve a la columna de absorción para completar el ciclo, tras ser filtrado para eliminar las impurezas. En la actualidad, existen procesos disponibles en el mercado para utilizar esta tecnología en grandes centrales eléctricas, sin embargo, estos procesos no son sencillos cuando se combinan con las condiciones de funcionamiento de los gases de combustión procedentes del tren de limpieza de una central térmica convencional.

Su implementación tiene las siguientes limitaciones:

Dado que los gases se tratan a temperaturas superiores a 100 °C, deben enfriarse hasta alcanzar las temperaturas óptimas de trabajo para la absorción, lo que requiere nuevos equipos de intercambio de calor.

Las partículas de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> presentes en los gases de combustión crean problemas de degradación en las aminas, por lo que los requisitos de concentración son muy estrictos.

Las partículas de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> presentes en los gases de combustión causan problemas de degradación en las aminas, por lo que los requisitos de nivel de concentración son muy estrictos e implican un mayor rendimiento en los equipos de purificación de gases aguas arriba del proceso de absorción y, por lo tanto, un aumento de los insumos y los costes operativos. Los niveles se estiman en menos de 10 ppm para el SO<sub>x</sub>, 20 ppm para el NO<sub>x</sub> y 10 mg/m<sup>3</sup> para las partículas.

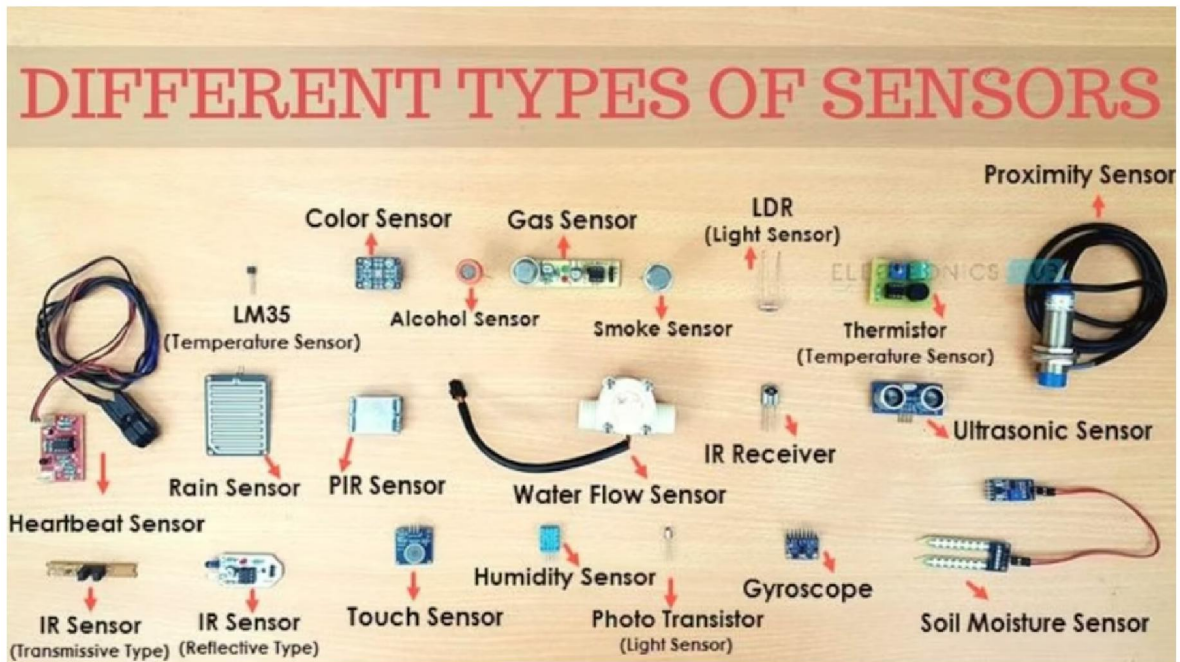
Problemas de corrosión en los materiales en presencia de O<sub>2</sub> y otras impurezas. Necesidad de utilizar inhibidores para reducir los problemas asociados a este fenómeno.

La demanda de energía es muy alta en la regeneración de disolventes.

La penalización asociada al proceso de absorción-desorción se estima en un 10 % de la potencia de la planta.

Por fin se están produciendo líquidos iónicos: sales orgánicas con puntos de fusión cercanos a la temperatura ambiente. Estos compuestos ofrecen varias ventajas significativas, especialmente una alta solubilidad del CO<sub>2</sub>, mayores tasas de absorción y desorción en comparación con los compuestos orgánicos, presiones de vapor extremadamente bajas, alta estabilidad térmica y no inflamabilidad. Actualmente, su alto requerimiento energético para la regeneración y su significativa viscosidad restringen severamente su aplicación práctica en el campo.

## 2.4 SENSORES.

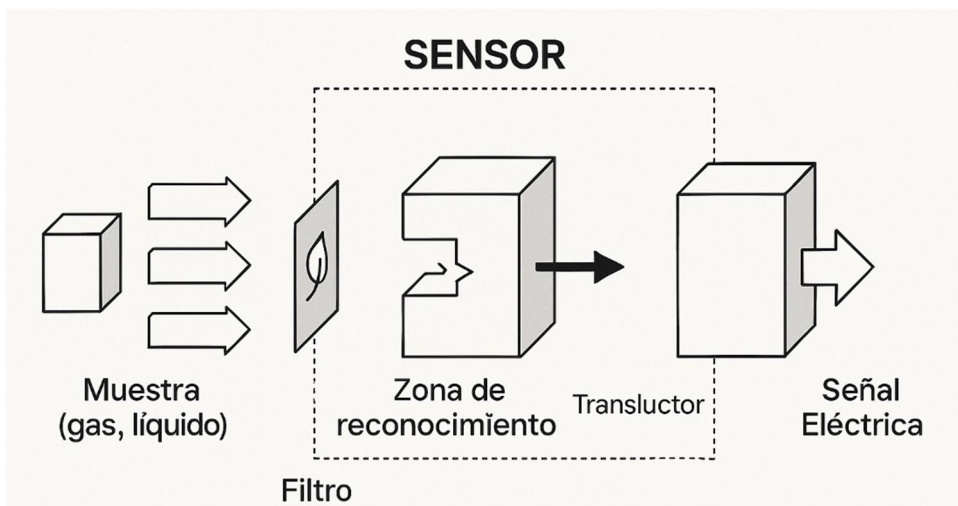


Un sensor es un dispositivo capaz de detectar o medir una magnitud física del entorno y convertirla en una señal, generalmente eléctrica o digital, que puede ser interpretada por un sistema electrónico, una máquina o un software.

En otras palabras:

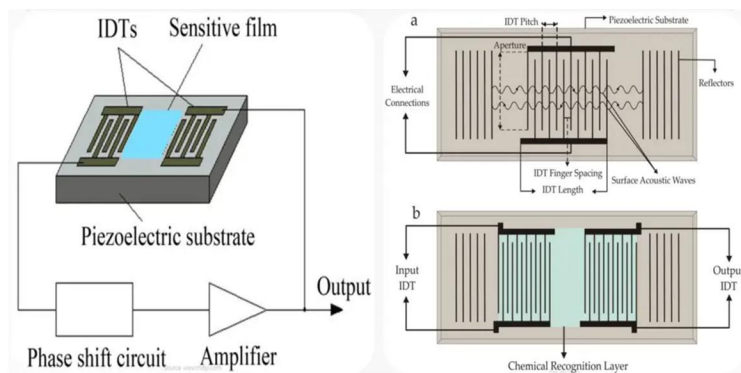
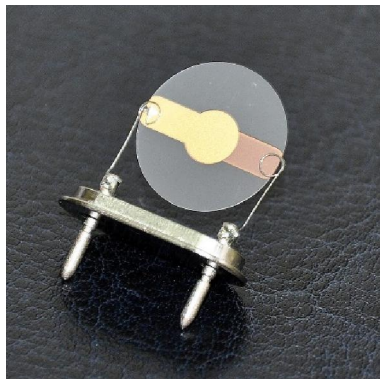
Un sensor “percibe” un fenómeno del mundo real (como temperatura, presión, luz, distancia, movimiento, humedad, etc.) y lo transforma en información útil para t

omar decisiones, controlar procesos o registrar datos. La figura muestra la estructura operativa básica de un sensor. Según el origen de la información química generada en el sensor y la naturaleza del transductor que lo compone, podemos clasificar los sensores químicos en electroquímicos, piezoeléctricos y ópticos. Estos tres tipos son los que más se han desarrollado en los últimos años.



## Sensores piezoeléctricos

Los sensores piezoeléctricos se basan en la microgravimetría, es decir, la medición de los cambios de masa debidos a la interacción de especies químicas con el sensor. Su arquitectura está compuesta por un material piezoeléctrico sometido a oscilación. La respuesta de estos dispositivos se muestra en términos de cambios en su frecuencia de resonancia o frecuencia base, que se producen ante los cambios en la masa de las especies químicas detectadas por el recubrimiento en la fase de detección del sensor. Se ha informado de que la frecuencia de resonancia depende principalmente del espesor del cristal piezoeléctrico, del recubrimiento de la fase de detección y de las propiedades viscoelásticas del cristal. Los sensores piezoeléctricos se han desarrollado según el tipo de vibración a la que está expuesto el material y se dividen en microbalanzas de cristal de cuarzo o QCM y sensores de onda acústica superficial o SAW.



## Sensores electroquímicos

Los sensores electroquímicos son dispositivos que detectan una sustancia química o analizan una propiedad de una disolución mediante la medición de señales eléctricas generadas por reacciones electroquímicas. Funcionan midiendo parámetros como el potencial, la corriente o la conductividad que se producen cuando un analito interactúa con un electrodo. Se utilizan ampliamente en monitoreo ambiental, biomédico, industrial y en control de procesos.

### Sensores potenciométricos

Los sensores potenciométricos miden la diferencia de potencial eléctrico (voltaje) que se genera entre dos electrodos cuando no circula corriente significativa.

Este potencial está relacionado con la concentración del ion que se desea medir, siguiendo normalmente la ecuación de Nernst.

Qué miden: voltaje generado por la actividad iónica.

Ejemplos: electrodo de pH, electrodos selectivos de iones ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ).

Ventaja: medición rápida y de bajo consumo de energía.



## Sensores voltamétricos

Los sensores voltamétricos miden la corriente eléctrica producida al aplicar un potencial controlado entre un electrodo de trabajo y un electrodo de referencia.

La corriente generada depende de las reacciones de oxidación o reducción del analito en la superficie del electrodo.

Qué miden: corriente como función del voltaje aplicado.

Uso típico: detección de metales, contaminantes, glucosa y compuestos orgánicos.

Ventaja: alta sensibilidad, permite detectar concentraciones muy bajas.

## Sensores conductométricos

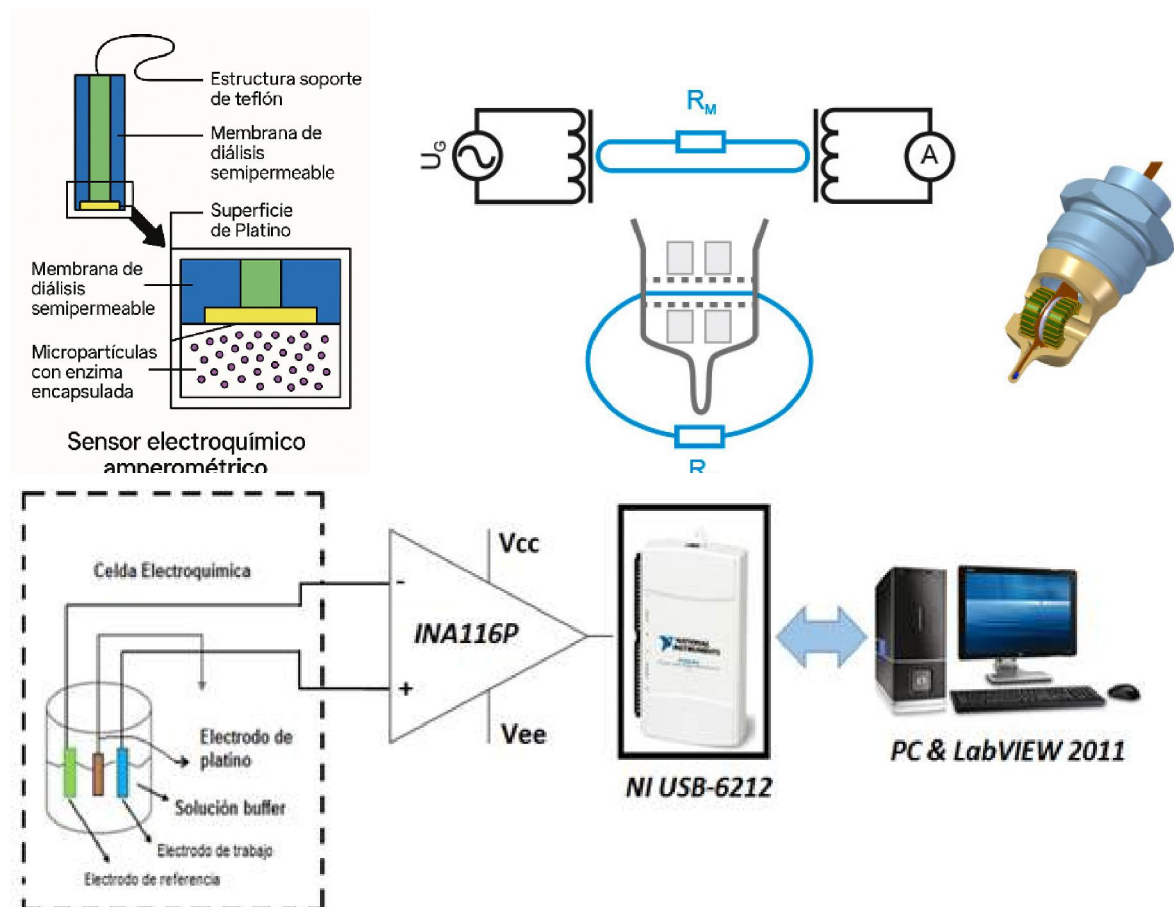
Los sensores conductométricos miden la conductividad eléctrica de una disolución, es decir, la capacidad de una solución para conducir corriente debido a la presencia de iones.

Qué miden: cambios en la conductancia o resistencia eléctrica.

Aplicaciones: calidad del agua, control de pureza, concentración de sales y electrolitos.

Ventaja: diseño simple, mediciones rápidas y sin necesidad de referencia electroquímica.

Sensor electroquímico potenciométrico.



## Sensores ópticos

Un sensor óptico es un dispositivo que detecta o mide una magnitud física mediante la interacción de la luz con un objeto, material o entorno, y convierte esa interacción en una señal eléctrica o digital interpretable por un sistema electrónico.

Cómo funcionan

Los sensores ópticos emiten, reciben o modifican luz (visible, infrarroja o láser) y analizan características como la intensidad, frecuencia, fase, polarización o tiempo de vuelo para obtener información del medio.

Qué pueden medir

Presencia o ausencia de objetos

Distancia o proximidad

Color o intensidad de luz

Movimiento o velocidad

Cambios físicos o químicos en un material

Concentración de sustancias (en sensores óptico-químicos)

Ejemplos

Barreras fotoeléctricas

Sensores de proximidad IR

Sensores LIDAR

Indicadores ópticos de pH o gases

Sensores de fibra óptica para deformación o temperatura

Ventajas

Alta precisión

Inmunes al ruido eléctrico

Funcionan sin contacto físico

Pueden operar en ambientes hostiles

## Sensores de temperatura

Entre los dispositivos más comunes y populares para la medición de la temperatura se incluyen:

- termopares
- termistores
- RTD
- Detectores de temperatura por infrarrojos.





Diferentes tipos de sensores de temperatura. De izquierda a derecha: termopar, termistores y RTD.

### Características Principales de Diferentes Sensores de Temperatura

| Tipo de Sensor                       | Termistor     | RTD           | Termopar      |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Rango de Temperatura (típico)</b> | -100 to 325°C | -200 to 650°C | 200 to 1750°C |
| <b>Exactitud (típica)</b>            | 0.05 to 1.5°C | 0.1 to 1°C    | 0.5 to 5°C    |

| Tipo de sensor                            | Termistor                                        | RTD                           | Termopar                                 |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Estabilidad a largo plazo @ 100°C</b>  | 0.2°C/año                                        | 0.05°C/año                    | Variable                                 |
| <b>Linearidad</b>                         | Exponencial                                      | Bastante lineal               | No-lineal                                |
| <b>Potencia requerida</b>                 | Voltaje o corriente constante                    | Voltaje o corriente constante | Autoalimentado                           |
| <b>Tiempo de respuesta</b>                | Rápido 0.12 a 10s                                | Generalmente lento 1 a 50s    | Rápido 0.10 a 10s                        |
| <b>Susceptibilidad al ruido eléctrico</b> | Raramente susceptible Alta resistencia solamente | Raramente susceptible         | Susceptible / Compensación de unión fría |
| <b>Costo</b>                              | Bajo a moderado                                  | Alto                          | Bajo                                     |

## Termopares

Un termopar es un sensor de temperatura formado por la unión de dos metales diferentes que, al ser sometidos a una diferencia de temperatura entre sus extremos, generan un voltaje proporcional a dicha temperatura.

Este fenómeno se basa en el efecto Seebeck, que describe cómo una unión metálica sometida a calor produce una fuerza electromotriz (FEM).

Cómo funciona un termopar

Tiene dos uniones:

Unión caliente: donde se mide la temperatura.

Unión fría o de referencia: donde se compara la temperatura.

La diferencia de temperatura entre ambas uniones genera un pequeño voltaje ( $\mu\text{V}$  a  $\text{mV}$ ) que se interpreta como temperatura mediante tablas o ecuaciones.

## Tipos de termopares

Los termopares están estandarizados por la norma ANSI y se designan con letras. Cada tipo usa una combinación distinta de metales y tiene diferente rango y sensibilidad.

1. Termopar Tipo K (Cromel–Alumel)

Metales: Níquel–Cromo / Níquel–Aluminio

Rango aprox.:  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1370\text{ }^{\circ}\text{C}$

Características: Muy común, económico, versátil; buena estabilidad.

2. Termopar Tipo J (Hierro–Constantán)

Metales: Hierro / Cobre–Níquel

Rango aprox.:  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$

Características: Adecuado para ambientes reductores; no apto en oxidación.

3. Termopar Tipo T (Cobre–Constantán)

Metales: Cobre / Cobre–Níquel

Rango aprox.:  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$

Características: Alta precisión en rangos bajos; ideal para criogenia.

4. Termopar Tipo E (Cromel–Constantán)

Metales: Níquel–Cromo / Cobre–Níquel

Rango aprox.:  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$

Características: Alta salida en mV; muy sensible.

5. Termopar Tipo N (Nicrosil–Nisil)

Metales: Níquel–Cromo–Silicio / Níquel–Silicio

Rango aprox.:  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$

Características: Gran estabilidad y resistencia en ambientes de alta temperatura.

6. Termopar Tipo S (Platina–Rodio)

Metales: Pt–10% Rh / Pt

Rango aprox.:  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$

Características: Alta precisión; usado en laboratorios y hornos.

7. Termopar Tipo R (Platina–Rodio)

Metales: Pt–13% Rh / Pt

Rango aprox.:  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$

Características: Muy similar al tipo S, más sensible.

## 8. Termopar Tipo B (Platina–Rodio)

Metales: Pt–30% Rh / Pt–6% Rh

Rango aprox.: 0 °C a 1700 °C

Características: Extremadamente estable; ideal para temperaturas muy altas.

### Pros y Contras de los Diferentes Tipos de Sensores de Temperatura

|                  | Pros                                                                         | Contras                                                                                                                                                                                                       | Mejor Aplicación                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Termopar</b>  | Amplio rango de medición<br>Autoalimentado Simple de conectar Robusto Barato | No-Linear Referencia CJC Requerida<br>No inherentemente aislado                                                                                                                                               | Miles de aplicaciones en monitoreo de temperatura industrial, de procesos y de fábrica.<br>Pruebas ambientales automotrices<br>Combustión interna y pruebas de motores híbridos Pruebas de motores eléctricos y turbinas.<br>Vigilancia médica y sanitaria.<br>Pruebas de sistemas de control y motores aeroespaciales. |
| <b>RTD</b>       | Más Estables<br>Más Precisos<br>Más lineales que los termopares              | Costoso<br>Fuente actual requerida<br>Pequeño $\Delta R$<br>Baja resistencia absoluta<br>Autocalentamiento<br>Error de resistencia de conducción<br>Tiempo de respuesta<br>resistencia de vibración<br>Tamaño | Productos farmacéuticos, fabricación de medicamentos.<br>Procesamiento de alimentos<br>Mediciones científicas precisas                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Termistor</b> | Alto nivel de salida<br>Respuesta rápida Fácil instalación Muy barato        | La salida debe convertirse del cambio de resistencia a una lectura de temperatura<br>Rango limitado a ~ 200 °C<br>Frágil                                                                                      | Monitoreo de circuito eléctrico<br>Aplicaciones de motores automotrices Consumo Eléctrico<br>Alarmas contraincendios Control del termostato                                                                                                                                                                             |

## Sensores de humedad.

Un sensor de humedad es un dispositivo que mide la cantidad de vapor de agua presente en el aire o dentro de un material y convierte esa información en una señal eléctrica interpretable por un sistema electrónico. Su función principal es cuantificar la humedad relativa, la humedad absoluta o el contenido de humedad en sólidos, dependiendo del tipo de sensor.

Qué miden los sensores de humedad

Según su diseño, pueden medir:

Humedad relativa (HR): porcentaje de vapor de agua contenido en el aire respecto al máximo posible a esa temperatura.

Humedad absoluta: cantidad real de vapor de agua por unidad de volumen de aire.

Humedad en materiales: contenido de agua en su estructura (suelo, madera, alimentos, textiles).

Cómo funcionan

Generalmente detectan cambios en alguna propiedad física que varía con la presencia de humedad, como:

Capacitancia

Resistencia eléctrica

Constante dieléctrica

Variaciones térmicas

Estas variaciones son convertidas en una señal eléctrica analógica o digital.

## TIPOS DE SENSORES

### 1. Sensores capacitivos

Miden la variación de la capacitancia en un material dieléctrico sensible a la humedad.

Populares en aplicaciones industriales y HVAC.

### 2. Sensores resistivos

Detectan cambios en la resistencia eléctrica de un material higroscópico.

Económicos y usados en equipos de consumo.

### 3. Sensores térmicos

Miden la diferencia térmica generada por la absorción de humedad.

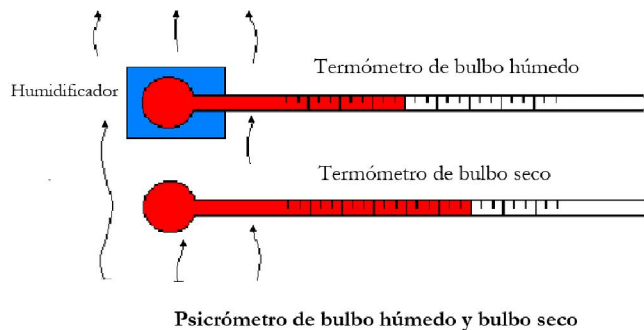
Usados para medir humedad absoluta.

### 4. Sensores ópticos de humedad

Utilizan cambios en propiedades ópticas (índice de refracción, absorción). Aplicación en investigación y monitoreo especializado.

### Psicometría por bulbo húmedo/bulbo seco Temperatura Psicrométrica

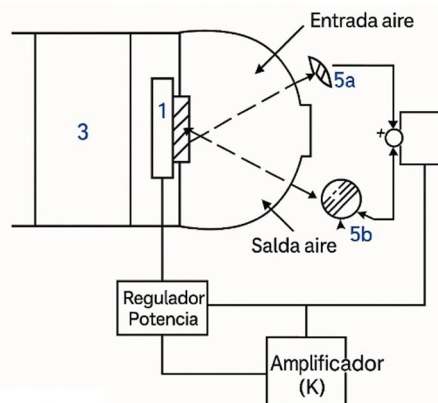
La psicometría ha sido durante mucho tiempo uno de los métodos más populares para la monitorización de la humedad debido a su simplicidad y bajo coste inherente. Un psicrómetro industrial consta de un par de termómetros eléctricos o de líquido en vidrio acoplados, uno de los cuales opera en estado húmedo. Durante su funcionamiento, la evaporación del agua enfría el termómetro húmedo, y se puede medir la diferencia entre la temperatura del bulbo húmedo y la del bulbo seco. Cuando el bulbo húmedo alcanza su máxima caída de temperatura, la humedad se puede determinar comparando las temperaturas de ambos termómetros con una carta psicrométrica o mediante cálculos. Este psicrómetro tiene una alta precisión cerca del punto de saturación (100 % HR) y es fácil de operar y reparar. Sin embargo, con baja humedad relativa (inferior al 20 % HR), su rendimiento puede ser deficiente, por lo que se requiere un mantenimiento más frecuente. No se puede utilizar a temperaturas inferiores a 0°C, y dado que el psicrómetro en sí mismo es una fuente de humedad, no se puede utilizar en ambientes pequeños o cerrados.



### Sensor por condensación

El punto de rocío es una variable para la medición de la humedad relativa. Estas lecturas se realizan con un dispositivo conocido como higrómetro óptico de espejo frío, cuyo funcionamiento es el siguiente:

Donde:  
1- Resistencia calefactora  
2- Espejo  
3- Equipo de refrigeración  
4- Fuente luminosa  
5= (a y b) Foto-resistencias

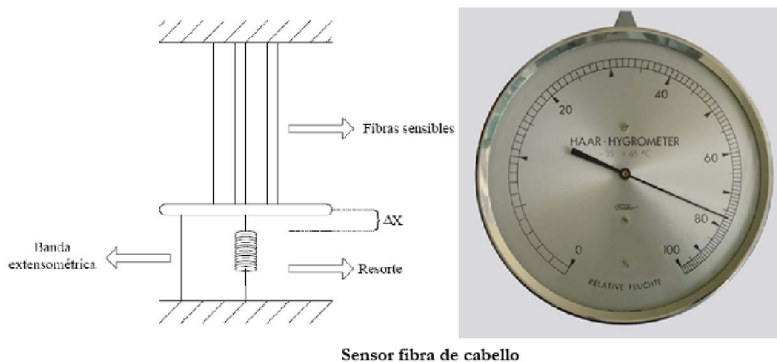


Sensor óptico de espejo frío

La mezcla de gases circula a través de una cámara que contiene un espejo (2). Este espejo se puede enfriar o calentar, respectivamente, mediante una unidad de refrigeración (3) o un calentador (1), de manera que el vapor se condense en el espejo o el agua se evapore de él. Además, una fuente de luz (4) se proyecta sobre el espejo, reflejando el haz hacia una fotorresistencia (5a). La luz también incide directamente sobre una segunda fotorresistencia (5b). Esto genera una medición a partir de la intensidad de la luz (5b) y una medición distorsionada basada en la condensación en la superficie del espejo (5a). La diferencia entre ambas se amplifica mediante estos dispositivos para ajustar el regulador de potencia que controla el calentador. En resumen, se trata de un sistema de control de lazo cerrado que logra regular la temperatura de la superficie del espejo para que alcance el punto de rocío. Basta con tomar el valor de la temperatura superficial y consultar ecuaciones, tablas o gráficos psicrométricos para obtener el %HR.

### Sensores mecánicos (por absorción o deformación)

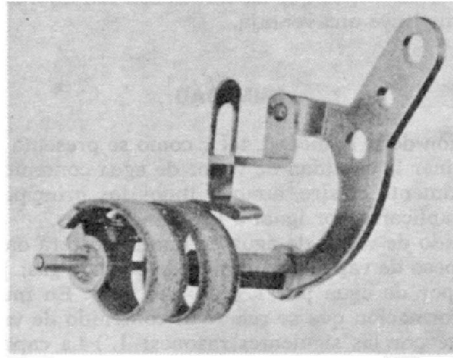
La idea detrás de estos sensores es aprovechar los cambios dimensionales que experimentan ciertos materiales en presencia de humedad. Los materiales más afectados son algunas fibras orgánicas, como el cabello humano, el pelaje animal, la madera y el papel, así como fibras sintéticas como el nailon. A medida que aumenta la humedad relativa, las fibras se alargan.



Sensor fibra de cabello

Esta deformación debe amplificarse mediante mecanismos mecánicos o circuitos electrónicos y calibrarse según su proporcionalidad con la humedad relativa. El error de medición de estos sensores es del 3 % de humedad relativa, y su principal ventaja radica en su facilidad de reproducción. Sin embargo, no son muy robustos ni resultan muy útiles en aplicaciones industriales. Su rango de funcionamiento abarca una humedad relativa entre el 15 % y el 95 %, a temperaturas ambiente entre -20 °C y +70 °C. Para obtener una medición más fiable, es necesario que el aire circule a una velocidad de 3 m/s a través del sensor de deformación, formado por una tira de madera, papel o plástico enrollada en espiral o hélice sobre una tira metálica.





Higrómetro, sensor deformación

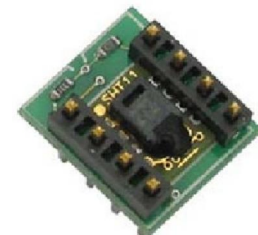
### Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos (polímeros orgánicos capacitivos) se fabrican generalmente mediante placas o filamentos paralelos intercalados. Los materiales dieléctricos absorben o liberan vapor de agua del ambiente en función de la humedad relativa. Esto provoca variaciones en la constante dieléctrica, lo que a su vez modifica las características eléctricas del dispositivo, cuya impedancia varía con la humedad. Una variación de la constante dieléctrica de aproximadamente el 30 % corresponde a una variación de la humedad relativa del 0 % al 100 %. La superficie del material sensor es muy delgada para permitir la detección de grandes diferencias de señal en función de la humedad. Esto facilita la entrada y salida del vapor de agua, lo que a su vez permite un secado rápido para una calibración eficiente del sensor. Como se ha mencionado, este tipo de sensor es idóneo para entornos de alta temperatura debido a su bajo coeficiente de temperatura y a la estabilidad térmica del polímero dieléctrico. Los sensores capacitivos también pueden utilizarse en aplicaciones que requieren una gran sensibilidad incluso con niveles de humedad muy bajos, donde responden con relativa rapidez. El sensor se satura y su respuesta se vuelve no lineal a humedades relativas superiores al 85 %.



### Sensor de temperatura y humedad integrado

Los métodos de fabricación CMOS industriales permiten manejar estas condiciones, integrando el sensor y el componente de procesamiento de señal electrónica en un solo chip, lo que le confiere máxima fiabilidad y estabilidad a largo plazo. Este sensor detecta la temperatura y la humedad ambiental.

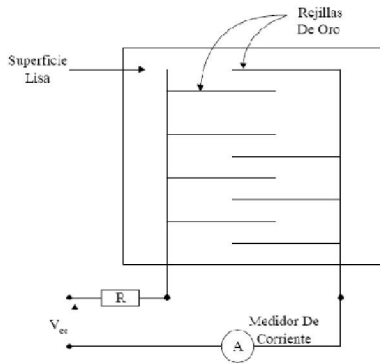


Sensor integrado

### Sensor de bloque de polímero resistivo

Básicamente, utiliza sensores capacitivos para medir la humedad y termistores para la temperatura. Consta de un sustrato cerámico aislante sobre el que se deposita la rejilla de electrodos. Estos electrodos están recubiertos con una sal sensible a la humedad embebida en una resina (polímero). La resina se cubre con una capa protectora permeable al vapor. Al fluir la humedad a través de la capa protectora, el polímero se ioniza y estos iones penetran en la resina. Al aplicar una corriente a los electrodos, la impedancia del sensor cambia y, al medirla, se determina el porcentaje de humedad relativa. La precisión de estos sensores no se ve afectada significativamente por la contaminación superficial, que podría influir en su tiempo de respuesta debido a su diseño. Gracias a sus valores de resistencia a niveles de humedad inferiores al 20 % HR, el sensor es resistente a la humedad extrema, por lo que resulta adecuado para rangos de humedad elevados.





## EFFECTOS NEGATIVOS EN LAS MEDICIONES

Un aparato bien calibrado no se mantendrá, ya que, de hecho, diversos factores influyen en el correcto funcionamiento de un sensor:

### Temperatura

Algunos sensores son sensibles a la temperatura, especialmente aquellos calibrados a temperaturas constantes específicas. Además, si el sensor incluye resistencias y condensadores como elementos críticos en la medición, el sistema de control de temperatura debe diseñarse para minimizar su impacto.

### Presión

Durante la calibración del sensor, las variaciones de presión pueden afectarlo; sin embargo, esto representa un problema menor, ya que el valor de la variación de presión se obtiene fácilmente, lo que permite compensar cualquier fluctuación que experimente el instrumento.

### Contaminantes.

Es importante proteger el sensor de todo tipo de impurezas que puedan alterar su funcionamiento. Esto es especialmente relevante para los sensores capacitivos, ya que la presencia de materiales extraños podría modificar su constante dieléctrica. Los sensores con materiales higroscópicos requieren un cuidado especial, puesto que la composición química de la sal utilizada puede alterarse, lo que podría generar errores no deseados.

### Filtros de protección.

Generalmente se utilizan filtros para proteger el sensor de humedad de los contaminantes que afectan las mediciones. Cuando el sensor no cuenta con ventilación artificial o forzada, se utilizan filtros con baja sensibilidad a los cambios para prevenir daños causados por variaciones bruscas.



Tipos de filtros

Se recomienda la protección mediante filtros a temperaturas superiores a 80 °C, altas presiones y velocidades superiores a 75 m/s, prestando especial atención a la porosidad. Es importante destacar que estos poros deben ser lo suficientemente pequeños como para retener las partículas en suspensión que podrían dañar el sensor. Los filtros se clasifican en tres tipos básicos:

- Metal poroso: Utilizado en entornos extremos, tiene una respuesta lenta a los cambios bruscos;
- Malla: La porosidad de la malla es relativamente pequeña, pero tiene una respuesta rápida;
- Plástico abierto: Se utiliza únicamente para protección y no como filtro, ya que el sensor queda expuesto al ambiente.

## 2.5 Microcontroladores

### 2.5.1 Arduino

Las placas Arduino son placas electrónicas de código abierto basadas en hardware y software fáciles de usar. Una placa Arduino cuenta con diversas entradas personalizables (sensores de luz, pulsadores, sensores infrarrojos, detectores de humo, sensores de calor, sensores de humedad, etc.) y salidas que pueden ser (un motor, una bombilla, un sistema de riego, etc.). Si bien cuando hablamos de Arduino solemos referirnos a sus placas, en realidad es mucho más que eso. Existe un ecosistema de software para el desarrollo de proyectos, comunidades enteras, grupos de estudio, desarrolladores y mucho más. Fue creada en 2005 en el Instituto de Diseño Interactivo de Ivrea, Italia, para ofrecer a las instituciones educativas una solución de bajo coste y alta capacidad. Su popularidad fue tal que se convirtió en un fenómeno mundial, atrayendo a multitud de personas interesadas. Como es de imaginar, debido a su simplicidad, no es apta para proyectos que requieren mucha potencia, lo cual representa una gran limitación para este tipo de placa. Además, al tratarse de una placa integrada extremadamente básica, estas unidades son muy baratas y se pueden comprar en grandes cantidades por el precio de una sola Raspberry Pi.

### 2.5.2 Raspberry Pi

Una placa Arduino es increíble y está llena de posibilidades, pero tiene un inconveniente. Por eso, un equipo de ingenieros decidió ir un paso más allá con el concepto Arduino. Así nació la Raspberry Pi en 2011, una computadora de placa única mucho más potente y versátil. Utilizando la idea de Arduino para enseñar electrónica en las aulas y llevándola a un nuevo nivel, también se enseñó informática en las escuelas. Al igual que la placa italiana, se convirtió rápidamente en un éxito gracias a su potencia y versatilidad. Existen cientos de proyectos basados en ella. Los usuarios han desarrollado servidores de juegos, sistemas de escaneo 3D, videoporteros, espejos inteligentes y cientos de proyectos más. Cuenta con grandes comunidades e incluso algunas revistas especializadas que trabajan en los diferentes proyectos. Este tipo de proyectos son fáciles de encontrar en línea, y mucha gente participa incluso sin tener muchos conocimientos para construir sus propios dispositivos, porque son más sencillos, potentes y portátiles. Se obtienen niveles de rendimiento aún mejores con esta solución más potente, disponible en varias versiones. Esto tiene un gran impacto en algunos proyectos; A menudo, su potencia equivale a la de un ordenador en miniatura. Además, está en constante desarrollo: se lanzan nuevas actualizaciones junto con nuevos complementos que permiten aprovechar mejor estos dispositivos, como la función que permite insertar una unidad SSD M.2 en una placa de expansión con un conector para trabajar con esta unidad.

#### *Ventajas y desventajas de Arduino*

Al hablar de las ventajas de Arduino, la primera que destaca es su compatibilidad con cualquier sistema operativo. Además, es muy fácil de aprender, de código abierto, popular con una enorme base de usuarios y mucho más asequible que Raspberry Pi. En cuanto a las desventajas de Arduino que limitan considerablemente su utilidad, la conectividad es fundamental. Esto supone una desventaja respecto a Raspberry Pi, al menos en su versión básica, por lo que se necesitan accesorios adicionales que incrementan el precio final. Por otro lado, debido a su limitada capacidad de procesamiento, no es la mejor opción para cálculos intensivos que pueden tardar días. Además, está diseñado para realizar una sola tarea a la vez.

Esto lo podemos tomar tanto como un punto negativo como uno positivo, el hecho de que únicamente pueda hacer una tarea permite que su uso sea mucho más específico, permitiendo una mayor configuración que las Raspberry Pi en este aspecto. Pero a su vez como bien hemos indicado también es una parte negativa si necesitas que se centre en varias tareas como es por ejemplo ejecutar varios servicios de forma simultánea.

#### *Ventajas y desventajas de Raspberry Pi*

La Raspberry Pi es una computadora con múltiples puertos y conectividad que permite ejecutar un sistema operativo completo para realizar diversas tareas simultáneamente. Al igual que Arduino, existe una gran comunidad de usuarios detrás de la Raspberry Pi, siempre dispuestos a colaborar y a compartir sus proyectos de forma altruista para que cualquiera pueda implementarlos. Sin embargo, en cuanto a las desventajas, la primera que debemos destacar es su consumo energético, que, como computadora completa, es mucho mayor que el de Arduino. Para aprovecharla al máximo se requieren más conocimientos de programación, principalmente de Linux, y su precio es considerablemente superior al de las placas Arduino.

En este aspecto también cabe destacar que los proyectos a su vez resultan bastante más limitados dependiendo del modelo que elija el usuario. Hay algunos que se asemejan más a un Arduino, pero que incorporan funciones adicionales de conectividad manteniendo la base de lo que sería la propia Raspberry Pi.

#### *Raspberry Pi vs Arduino, principales diferencias.*

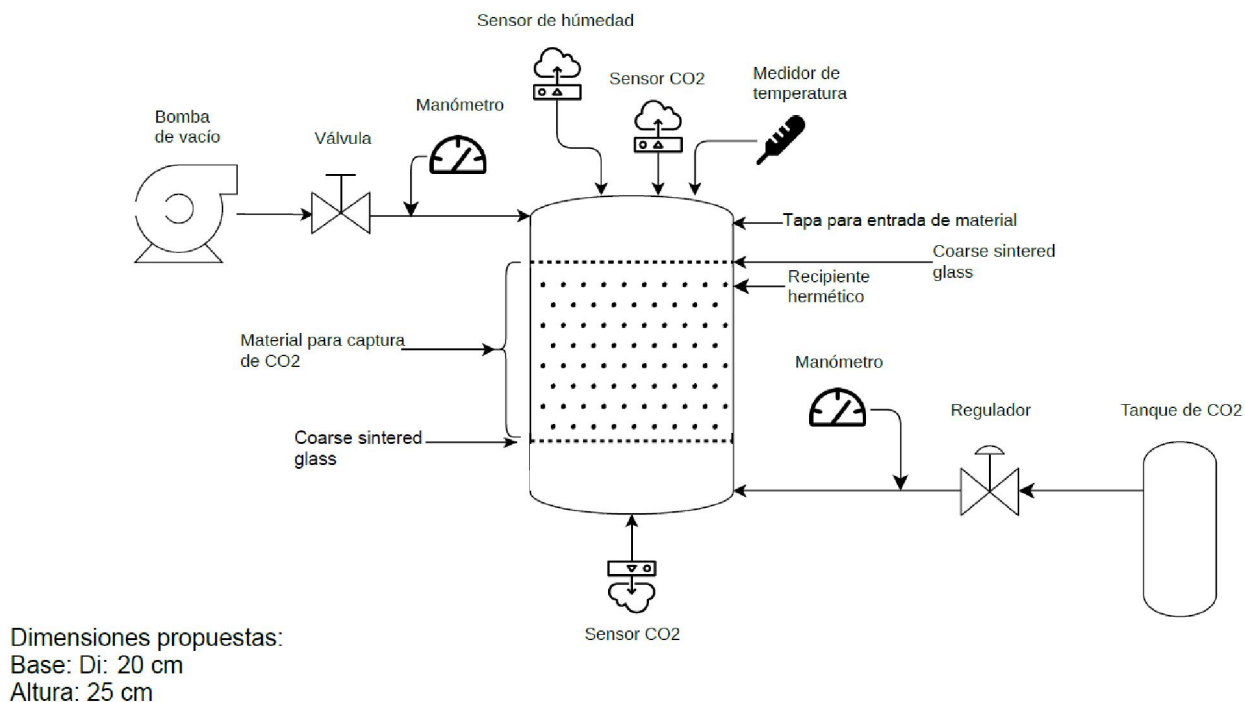
Son dos dispositivos fundamentalmente diferentes. Arduino no ejecuta un sistema operativo, ya que solo puede ejecutar un programa a la vez, por lo que no lo necesita. Ejecutará el mismo programa repetidamente de forma indefinida hasta que reciba señales externas que lo cancelen. Por lo tanto, Arduino es perfecto para desarrollar periféricos básicos y conectarlos a un ordenador. También podemos usarlo para crear herramientas domésticas sencillas. Una Raspberry Pi es un ordenador más tradicional. Aunque utiliza un procesador ARM con gráficos integrados, su almacenamiento y RAM son externos al chip principal, y tiene la capacidad de soportar un sistema operativo complejo. En otras palabras, puede realizar multitarea y muchas cosas a la vez. Pero no es recomendable usar esta placa para tareas que podrían realizarse con una más sencilla, como una placa Arduino. Las diferencias entre ambas plataformas se muestran en la tabla siguiente. Sin embargo, si recordamos que un microcontrolador solo recibe datos de entrada sin procesar para su programación y que su código solo funciona con hardware externo, dado que el programa interno del Arduino se almacena en memoria integrada, es necesario tener esto en cuenta al considerar cualquier hardware. A diferencia de otros microcontroladores, como los populares PIC, Arduino no requiere aprender un lenguaje ensamblador propio, sino que utiliza C++, específicamente una biblioteca dedicada. Esto ha facilitado su uso como placa para proyectos de electrónica amateur.

## CAPITULO 3. DESARROLLO

### 3.1 DISEÑO DEL CUERPO DEL REACTOR

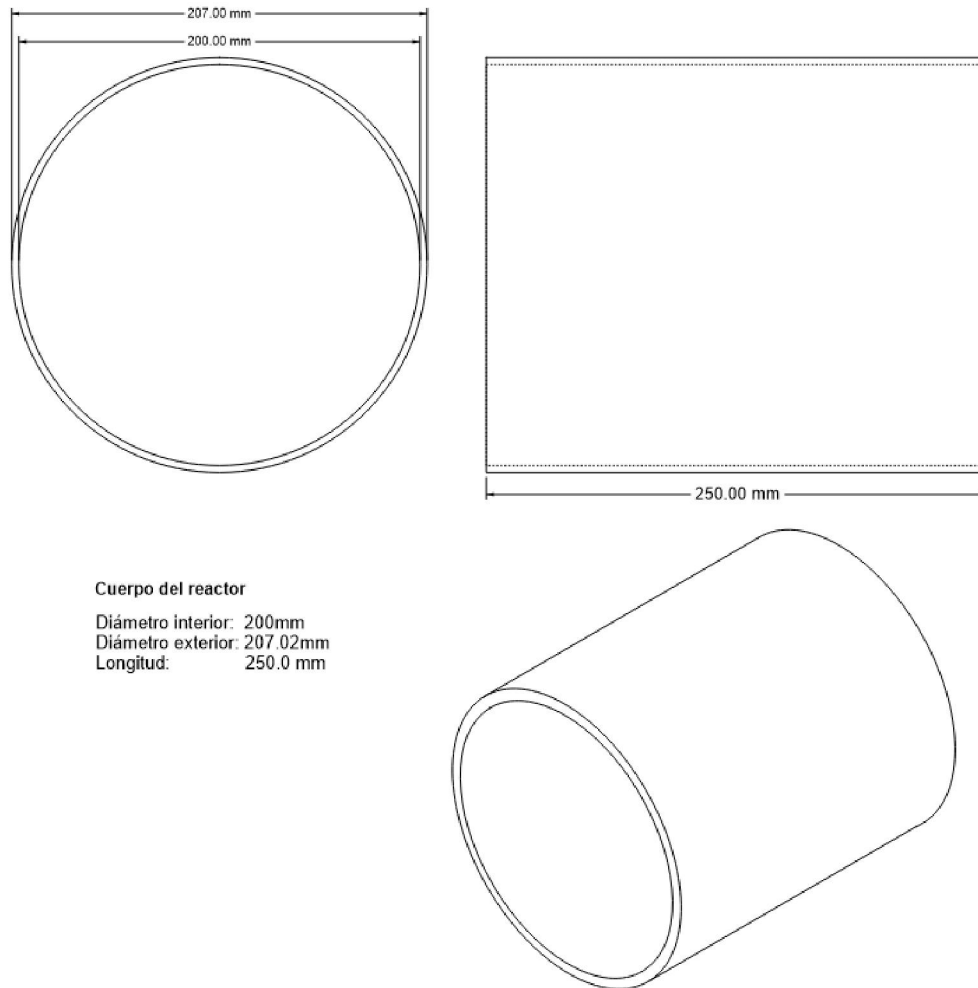
Para llevar a cabo el diseño es necesario analizar a conciencia el diagrama esquemático del prototipo para la captura y medición de CO<sub>2</sub>, como podemos apreciarlo en la imagen el sistema se basa en un reactor dentro del cual será colocado el material para captura de CO<sub>2</sub>, en nuestro caso un bio-compuesto funcionalizado a base de aminas para captación de CO<sub>2</sub> por medio de un proceso químico.

Diagrama esquemático de prototipo para la captura y medición de CO<sub>2</sub>

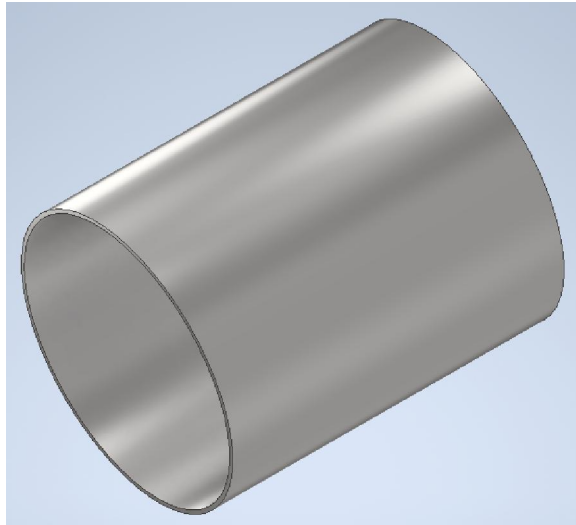


La cantidad de bio-compuesto con la que se va a experimentar es en principio una cantidad muy pequeña, del orden de los 10 gramos por lo que su volumen es igualmente pequeño y en pruebas posteriores se pretende incrementar el volumen del bio-compuesto para hacer experimentos con mini escalamiento del sistema, siendo esto lo que nos lleva a la necesidad de diseñar y desarrollar un dispositivo de soporte que mantenga la muestra dentro del reactor y que permita el paso de un gas desde la parte inferior del reactor hasta la parte superior del reactor por lo que en el caso del CO<sub>2</sub> se deberán colocar 2 sensores; uno en la etapa de entrada de gas y otro en la etapa de salida del gas. La entrada está conformada por un tanque de CO<sub>2</sub> con manómetro de presión regulable manualmente y adicionalmente se colocará un medidor y un regulador digital de presión para poder monitorear y controlar la presión desde el microcontrolador. En cuanto a la etapa de salida del reactor deberá incluir sensores de: temperatura, humedad, presión, una válvula y una bomba de vacío igualmente a cargo del microcontrolador. Adicionalmente se debe instalar el microcontrolador del sistema y una pantalla de interface visual para el usuario del equipo en la que deberá poder establecer parámetros de los sensores para controlar los actuadores que en este caso serían tres: la bomba de vacío, la válvula de salida y la válvula de control de presión de la entrada.

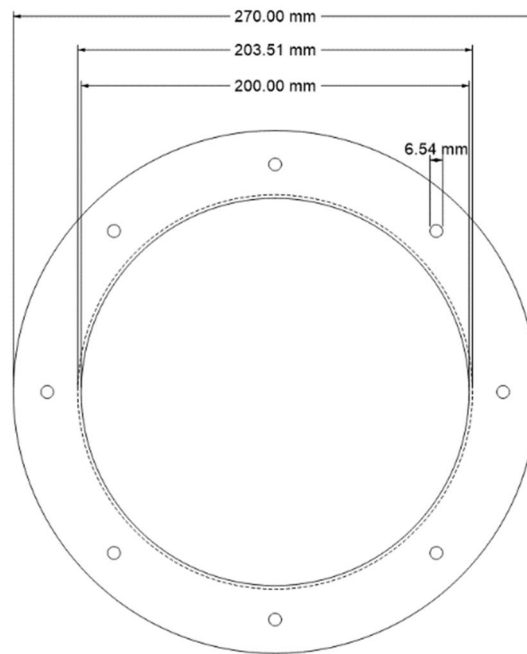
Para el diseño del soporte de bio-compuesto debemos contar primero con el reactor de acero inoxidable. En primer lugar, se desarrolló el cuerpo del reactor en placa de acero inoxidable de 3.51mm de espesor considerando las medidas internas del mismo de 200mm de diámetro interno y 250mm de altura interna.



El cilindro para el cuerpo del reactor terminado quedaría como un trozo de tubo de 200mm de diámetro interior, 207mm de diámetro exterior y con una altura de 250mm y se vería como la siguiente figura:

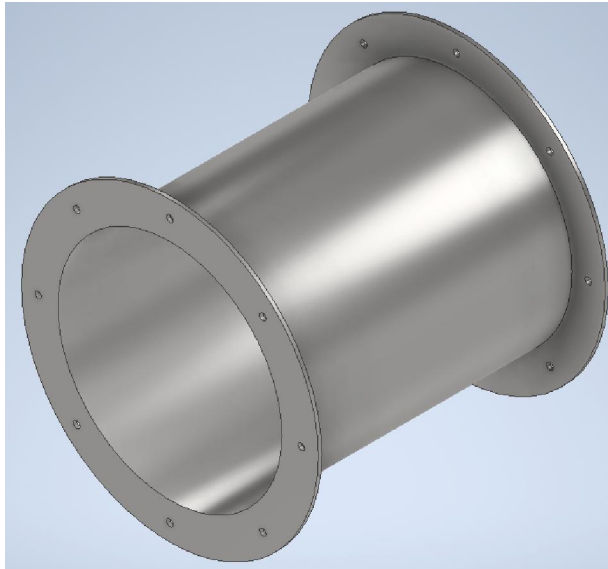


Posteriormente al cilindro del reactor le serán soldados en cada uno de los extremos una brida de 270 mm de diámetro con 8 orificios para tornillos de 1/4" para poder ajustar a cada extremo del reactor las tapas correspondientes de la entrada y salida del reactor acorde al siguiente diseño x 2 piezas:



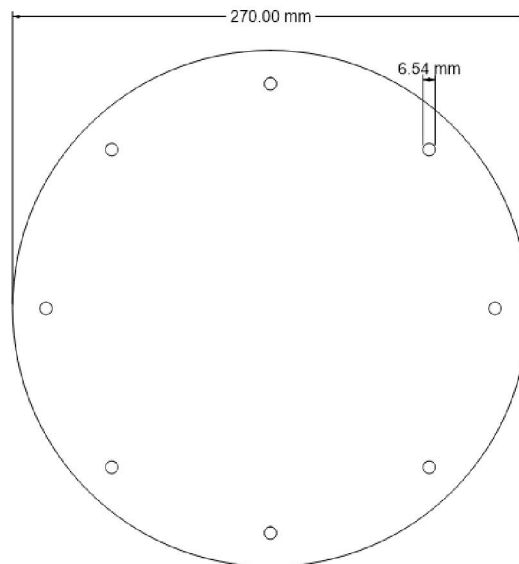
Se soldarán las 2 bridas en ambos extremos del cilindro del cuerpo del reactor. Es importante que la soldadura de las mismas no presente fallas ya que el reactor será un recipiente a presión por lo que no podrá existir ninguna fuga.

Se muestra a continuación el dibujo de cómo deberá quedar el cuerpo del reactor terminado.



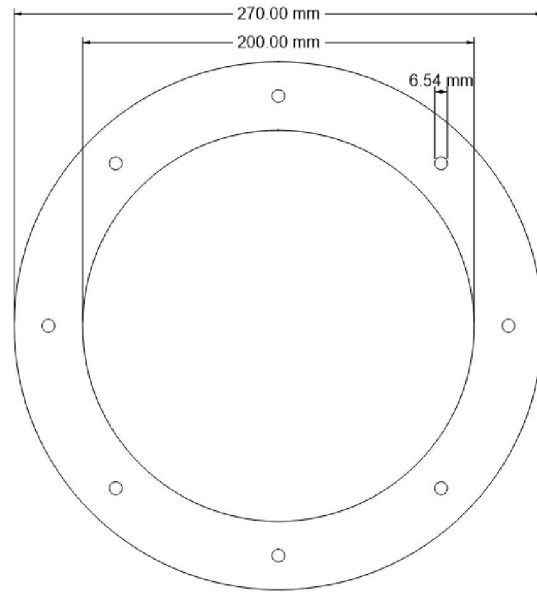
El siguiente paso es el diseño y fabricación de las dos tapas, la de entrada y la de salida del reactor que serán del mismo material que el reactor: placa de acero inoxidable de 3.51mm de espesor. Hasta este punto serán diseñadas las tapas únicamente con los ocho orificios para los tornillos de sujeción y más adelante, posterior a haber definido los sensores a utilizar en el prototipo se diseñará la tapa modificada para que incluya los orificios donde los sensores serán colocados.

A continuación, se observa el plano de las 2 tapas a fabricar:

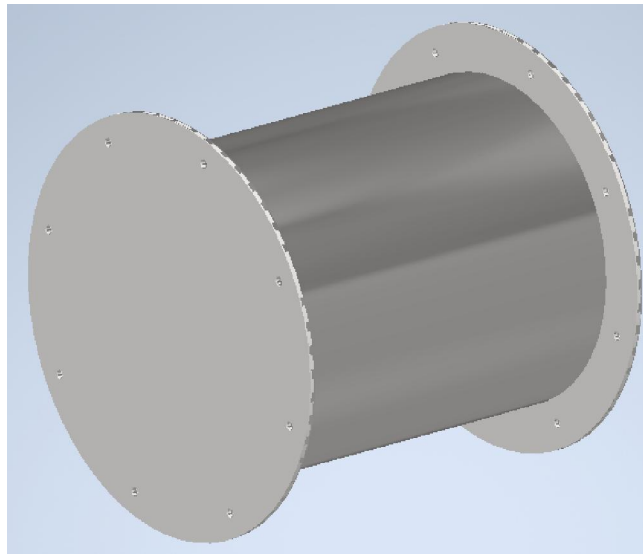


Debido a que las tapas del reactor deberán quedar instaladas de manera hermética al cuerpo del reactor se deberán fabricar un par de juntas de teflón de 1.5mm de espesor que servirán como sello. Se muestra a continuación el diseño para las 2 juntas:





Al cuerpo del reactor le serán colocadas las juntas en cada uno de los extremos y las tapas, para fijarlas se utilizarán 16 tornillos de acero inoxidable de cabeza exagonal con rondana plana en la cabeza y rondana de presión en la tuerca y el torque de los tornillos deberá irse dando progresivamente de forma gradual y secuenciada apretando parcialmente cada uno de los tornillos en un patrón circular para asegurar que la tapa quede asentada de forma homogénea en toda la superficie de la junta de teflón. El reactor con sus tapas quedaría de la siguiente manera:



### 3.2 DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE SOPORTE DE BIO-COMPUESTO

Una vez que contamos con el diseño del reactor podemos proceder al diseño del dispositivo de soporte de bio-compuesto, como ya se mencionó un requerimiento del usuario del reactor es que pueda ser

posible el mini escalamiento del volumen del bio-compuesto de entre XXX ml a 5 litros de capacidad máxima, de modo que consideraremos como volumen máximo 5 litros de capacidad nos dá:

Para calcular el volumen de un cilindro, usamos la fórmula:

$$V = \pi r^2 h$$

**Donde:**

- **r** es el radio del cilindro
- **h** es la altura
- $\pi \approx 3.1416$

**Datos:**

- Diámetro = 200 mm → Radio = 100 mm
- Volumen = 5,000,000 mm<sup>3</sup>

**Despejar la altura**

- $h = V / \pi r^2$

**Cálculo:**

$$h = 5,000,000 / \pi * (100)^2 = 5,000,000 / \pi * 10,000$$
$$h = 5,000,000 / 31,416 \approx \mathbf{159.15mm}$$

**Resultado:**

La altura debe ser aproximadamente de 159.15 mm para que el soporte del bio-compuesto contenga 5 litros de la muestra.

Con el propósito de lograr que el dispositivo de soporte permita la mini escalabilidad debemos diseñar el dispositivo con capacidad de adaptarse a muestras desde 50 ml y hasta 5000 ml.

Además de poder contener la muestra se debe considerar que debe quedar sobre un sello garantice el flujo del gas únicamente en el área en que se encuentra el bio-compuesto.

Se iniciará el diseño considerando un cilindro con capacidad interior de 50 ml y un diámetro interior de 50.8mm (2") para el cual:

Paso 1: Convertir unidades

Sabemos que:

- 1 ml = 1 cm<sup>3</sup> = 1,000 mm<sup>3</sup>
- Entonces, 50 ml = 50,000 mm<sup>3</sup>

Paso 2: Usar fórmula de volumen del cilindro

$$V = \pi r^2 h \rightarrow h = V / \pi r^2$$

### Paso 3: Sustituir valores

- Diámetro = 50.8 mm → Radio = 25.4 mm
- Volumen = 50,000 mm<sup>3</sup>

$$h = 50,000 / \pi * (25.4)^2 = 50,000 / \pi * 645.16$$

$$h = 50,000 / 2,026.83 \approx \mathbf{24.66 \text{ mm}}$$

Así que para la primera escala de soporte se deberá mantener un cilindro de 50.8 mm de diámetro por 24.66 mm de alto en el interior del reactor y de esta misma forma realizamos los cálculos para los demás volúmenes especificados como se muestra en la siguiente tabla:

Dimensiones de cilindros contenedores acorde a volúmenes solicitados.

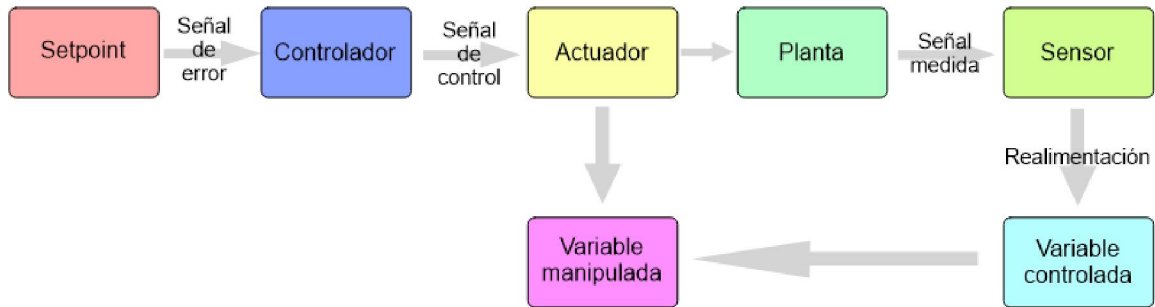
| No. | Volumen | Diámetro      | Altura    |
|-----|---------|---------------|-----------|
| 1   | 50 ml   | 50.8 mm (2")  | 24.66 mm  |
| 2   | 100 ml  | 50.8 mm (2")  | 49.32 mm  |
| 3   | 250 ml  | 50.8 mm (2")  | 123.3 mm  |
| 4   | 500 ml  | 76.2 mm (3")  | 109.63 mm |
| 5   | 1000 ml | 101.6 mm (4") | 123.38 mm |
| 6   | 2500 ml | 152.4 mm (6") | 137.09 mm |

Una vez definidos los cilindros necesarios se diseñará el dispositivo permitiendo sostener en el centro del reactor cada uno de los diferentes tamaños de cilindros teniendo en la base de los cilindros el filtro sinterizado para permitir el paso del gas a través del bio-compuesto. En este punto debido a que se pretende llevar a cabo el registro de patente del dispositivo diseñado no se incluyen todos los detalles técnicos del diseño del mismo.

### 3.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES

Se elegirán los componentes considerando diversos factores que pueden afectar o mejorar su rendimiento para la aplicación específica en que los emplearemos.

Se utilizará un sistema de control retroalimentado, ya que el sistema comprende varios componentes críticos que, en conjunto, regulan la salida de un sistema dinámico para garantizar que este siga el punto de referencia deseado a pesar de las perturbaciones externas e internas. El diagrama de bloques de un sistema de control retroalimentado se muestra en la siguiente figura.



- SetPoint:** Es el valor deseado que se busca alcanzar o mantener en la variable controlada.  
 El sistema de control compara constantemente el setpoint con la medida real para determinar si existe error.
- Controlador:** Es el elemento encargado de comparar el setpoint con la variable medida y calcular el error.  
 A partir de ese error, genera una señal de salida según una estrategia de control (P, PI, PID, lógica difusa, etc.) para corregir el sistema y llevarlo al valor deseado.
- Actuador:** Dispositivo que ejecuta físicamente las órdenes del controlador.  
 Convierte la señal de control (generalmente eléctrica) en una acción mecánica, hidráulica, neumática o térmica que actúa directamente sobre la planta.  
 Ejemplos: válvulas, motores, resistencias calefactoras, bombas, servomotores.
- Planta:** Es el sistema físico sobre el cual se desea ejercer control.  
 Puede ser una máquina, un proceso industrial, un sistema térmico, un circuito eléctrico, etc. La planta responde a la acción del actuador y tiene una dinámica característica.
- Sensor:** Es el elemento que mide la variable controlada en la planta y la convierte en una señal eléctrica interpretable por el controlador.  
 Permite retroalimentar el sistema para cerrar el lazo de control.
- Variable controlada:** Es la magnitud física que se desea mantener o regular mediante el sistema de control.  
 Es la variable que el sensor mide y que se compara con el setpoint.  
 Ejemplos: temperatura, velocidad, presión, nivel, caudal, posición.
- Variable manipulada:** Es la variable ajustada por el actuador para influir en la planta y lograr que la variable controlada alcance el valor deseado.  
 Es la salida del controlador.  
 Ejemplos: potencia entregada a un calentador, apertura de una válvula, velocidad de un motor, posición de un servomotor.

### 3.3.1 SELECCIÓN DE SENSORES

En este apartado fueron seleccionados los sensores de CO<sub>2</sub>, humedad, presión y temperatura de acuerdo a diferentes criterios como se muestra a continuación.

#### 3.3.1.1 SENSOR DE HUMEDAD

Para poder elegir el sensor de humedad adecuado se describen a continuación los criterios de selección de sensores de humedad y temperatura:

I. Introducción Los transmisores de temperatura y humedad son componentes esenciales en diversas aplicaciones, incluidos sistemas HVAC, equipos de laboratorio, centros de datos, invernaderos y muchos otros. Desempeñan un papel crucial en el seguimiento y control de los niveles de temperatura y humedad en estos entornos, garantizando el confort, la salud y la seguridad de las personas y los equipos involucrados. Sin embargo, elegir el transmisor de temperatura y humedad adecuado puede resultar un desafío, especialmente para quienes no están familiarizados con los aspectos técnicos involucrados. Este blog tiene como objetivo ayudarle a tomar una decisión informada destacando los factores clave que debe considerar al elegir un buen transmisor de temperatura y humedad.

II. Exactitud: Uno de los aspectos más críticos a considerar al elegir un transmisor de temperatura y humedad es la precisión. Las lecturas precisas de temperatura y humedad son esenciales para garantizar que el ambiente se mantenga dentro de los parámetros deseados. La precisión de un transmisor de temperatura y humedad generalmente se expresa en términos de porcentaje de humedad relativa (RH) y grados Celsius (°C) o grados Fahrenheit (°F). Al elegir un transmisor de temperatura y humedad, busque un dispositivo que tenga un alto nivel de precisión, generalmente dentro del 2 % de humedad relativa y  $\pm 0,5$  °C o  $\pm 0,9$  °F.

III. Rango: Otro factor importante a considerar es el rango del transmisor de temperatura y humedad. El rango se refiere a los valores máximos y mínimos que el transmisor puede medir. Es fundamental elegir un transmisor de temperatura y humedad que tenga un rango que se ajuste a sus requisitos específicos. Por ejemplo, si desea monitorear los niveles de temperatura y humedad de un centro de datos, es posible que necesite un dispositivo con un rango de 0 a 50 °C y de 0 a 95 % de humedad relativa.

IV. Tiempo de respuesta: El tiempo de respuesta de un transmisor de temperatura y humedad se refiere al tiempo que tarda el dispositivo en proporcionar una lectura precisa después de que se produce un cambio de temperatura o humedad. Un tiempo de respuesta rápido es fundamental en aplicaciones donde los cambios rápidos de temperatura y humedad pueden tener consecuencias graves. El tiempo de respuesta de un transmisor de temperatura y humedad normalmente se mide en milisegundos y es esencial elegir un dispositivo con un tiempo de respuesta que cumpla con sus requisitos específicos.

V. Resolución: La resolución de una temperatura y el transmisor de humedad se refiere al incremento o disminución más pequeño detectado por el dispositivo. Una alta resolución es esencial en aplicaciones donde es necesario un control preciso de la temperatura y la humedad. Por ejemplo, en

un laboratorio, es necesario un transmisor de temperatura y humedad con alta resolución para garantizar lecturas precisas y un control preciso del medio ambiente.

VI. Durabilidad: es otro factor clave a la hora de elegir un transmisor de temperatura y humedad. El dispositivo debe resistir las condiciones a las que estará expuesto y continuar funcionando de manera precisa y confiable a lo largo del tiempo. Factores como temperaturas extremas, humedad, vibraciones y otros factores ambientales pueden afectar la durabilidad del dispositivo. Es esencial elegir un transmisor de temperatura y humedad que esté diseñado para ser duradero y que pueda soportar las condiciones a las que estará expuesto en su aplicación específica.

VII. Conectividad: La conectividad es un aspecto importante a considerar al elegir un transmisor de temperatura y humedad. El dispositivo debería poder transmitir datos de forma inalámbrica o mediante una conexión por cable a un sistema de monitoreo central. Esto le permite monitorear y controlar de forma remota los niveles de temperatura y humedad en su entorno, brindándole más control y flexibilidad. Al elegir un transmisor de temperatura y humedad, busque un dispositivo que ofrezca opciones de conectividad que satisfagan sus requisitos específicos.

VIII. Calibración: La calibración es fundamental para cualquier transmisor de temperatura y humedad, ya que garantiza que el dispositivo proporcione lecturas precisas. Es necesaria una calibración periódica para mantener la precisión del dispositivo a lo largo del tiempo. Al elegir un transmisor de temperatura y humedad, busque un dispositivo que ofrezca opciones de calibración fáciles y convenientes, como calibración in situ o calibración a través de una computadora o dispositivo móvil. También es importante elegir un dispositivo fabricado por una empresa que ofrezca servicios continuos de soporte y mantenimiento, como calibración, reparación y reemplazo.

IX. Compatibilidad: Al elegir un transmisor de temperatura y humedad, es importante considerar la compatibilidad con otros componentes de su sistema. Esto incluye compatibilidad con su sistema de monitoreo central, así como compatibilidad con otros sensores y transmisores de temperatura y humedad. Asegúrese de elegir un transmisor de temperatura y humedad compatible con sus sistemas existentes que pueda funcionar perfectamente con otros componentes.

X. Costo: El coste es un factor importante a la hora de elegir un transmisor de temperatura y humedad. Si bien es esencial invertir en un dispositivo de alta calidad que cumpla con sus requisitos específicos, también es importante mantenerse dentro de su presupuesto. Al elegir un transmisor de temperatura y humedad, busque un dispositivo que ofrezca las funciones y capacidades que necesita a un costo asequible y razonable.

En conclusión, elegir el transmisor de temperatura y humedad adecuado es esencial para monitorear y controlar los niveles de temperatura y humedad en diversas aplicaciones. (Gd-Admin, 2023)

Al considerar los factores clave descritos, como precisión, alcance, tiempo de respuesta, resolución, durabilidad, conectividad, calibración, compatibilidad y costo; para medir la humedad relativa en el interior del reactor se eligió un sensor de la marca Atlas Scientific Enviromental Robotics, el cual es un sensor embebido de calidad industrial con las siguientes características:

#### Descripción:

Desde procesos industriales hasta monitoreo ambiental, esta sonda de humedad se puede utilizar en innumerables aplicaciones. La sonda de humedad de acero inoxidable es versátil y duradera; ideal para monitorear la humedad tanto en interiores como en exteriores. El sensor de humedad integrado EZO proporciona las mismas lecturas que nuestro circuito EZO-HUM. No hay diferencia en las lecturas ni en la precisión, solo en el diseño.



Esta sensor viene completamente calibrado y listo para usar desde el primer momento.

El EZO-HUM-P-STM incluye:

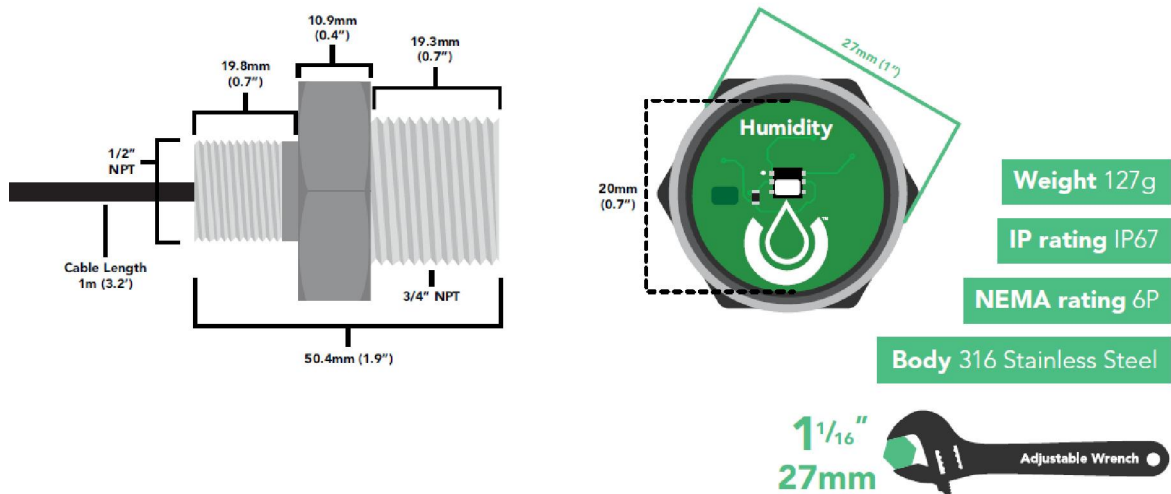
|                                           |                                                                                              |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lectura                                   | Humedad relativa (HR)<br>Punto de rocío<br>Temperatura del aire                              |
| Rango                                     | 0 – 100% HR                                                                                  |
| Calibración                               | Calibrado de fábrica                                                                         |
| Tiempo de respuesta                       | 1 lectura por segundo (modo UART)<br>1 lectura cada 300 milisegundos (modo I <sup>2</sup> C) |
| Precisión                                 | ±2 % de la lectura, del 5 al 95 % HR                                                         |
| Material del cuerpo                       | acero inoxidable 316                                                                         |
| Conector                                  | cable de datos de 5 hilos                                                                    |
| Longitud del cable                        | 1 metro                                                                                      |
| Protocolo de datos                        | UART e I <sup>2</sup> C                                                                      |
| Dirección I <sup>2</sup> C predeterminada | 111 (0x6F)                                                                                   |
| Formato de datos                          | ASCII                                                                                        |
| Voltaje de funcionamiento                 | 3,3 V - 5 V                                                                                  |
| Clasificación IP                          | IP67 (resistente al agua hasta 1 metro)                                                      |
| Clasificación NEMA                        | 6P                                                                                           |
| Vida útil                                 | 10 años                                                                                      |

Una sonda de humedad integrada con cuerpo de acero inoxidable, un cable de datos con conector macho de 5 pines, una contratuerca y una junta tórica.

#### Especificaciones:

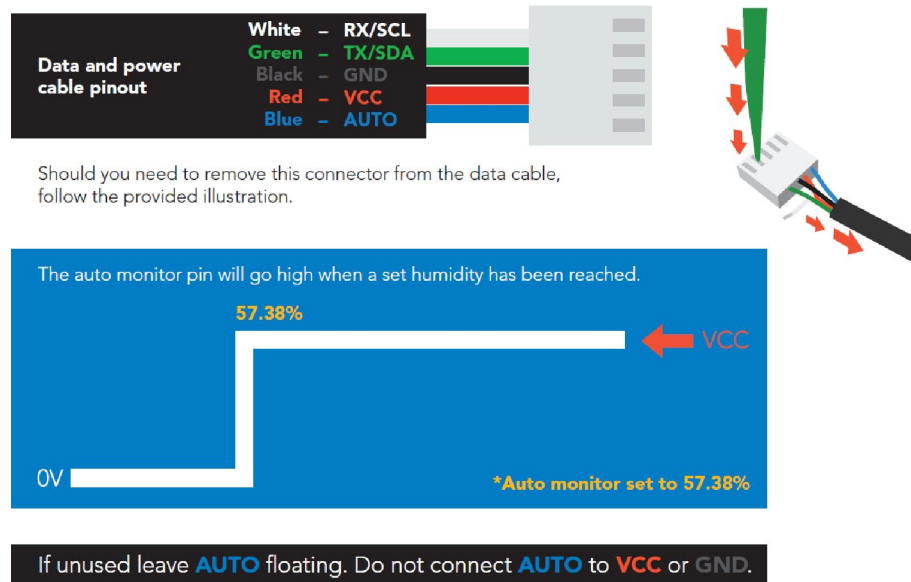
A continuación, se muestran las propiedades físicas del sensor:

# Physical properties



La descripción de los pines del conector:

## Pin out



El sensor de temperatura es compatible para ser conectado directamente al microcontrolador por utilizar un voltaje CD en un rango de 3.3V a 5V y un bajo consumo en operación. Se muestra a continuación la tabla correspondiente:



## Power consumption

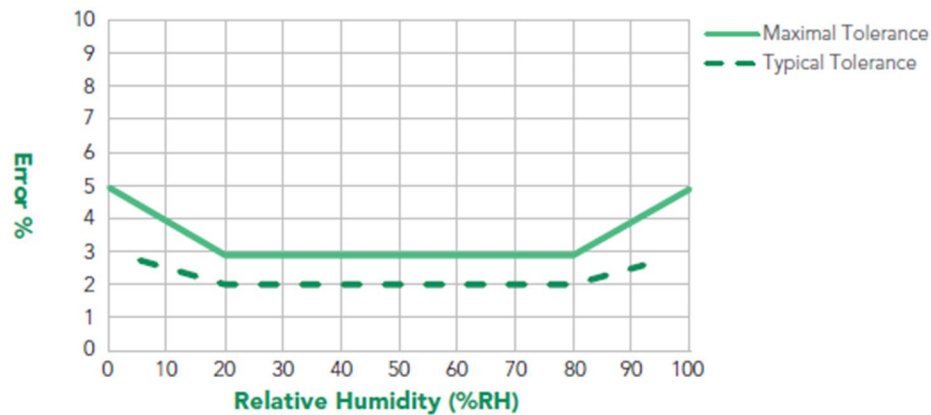
|             | LED | MAX    | SLEEP  |
|-------------|-----|--------|--------|
| <b>5V</b>   | ON  | 2.6 mA | 0.5 mA |
|             | OFF | 2.4 mA |        |
| <b>3.3V</b> | ON  | 2.2 mA | 0.3 mA |
|             | OFF | 2.0 mA |        |

## Absolute max ratings

| Parameter               | MIN    | TYP   | MAX   |
|-------------------------|--------|-------|-------|
| Storage temperature     | -30 °C |       | 90 °C |
| Operational temperature | -20 °C | 25 °C | 80 °C |
| VCC                     | 3.3V   | 3.3V  | 5.5V  |

En cuanto a la respuesta de lectura de humedad y temperatura la precisión disminuye del 5 % al 0 % de HR y del 100 % al 95 % de HR. Esto significa que algunos sensores podrían no alcanzar nunca el 0 % ni el 100 % de HR.

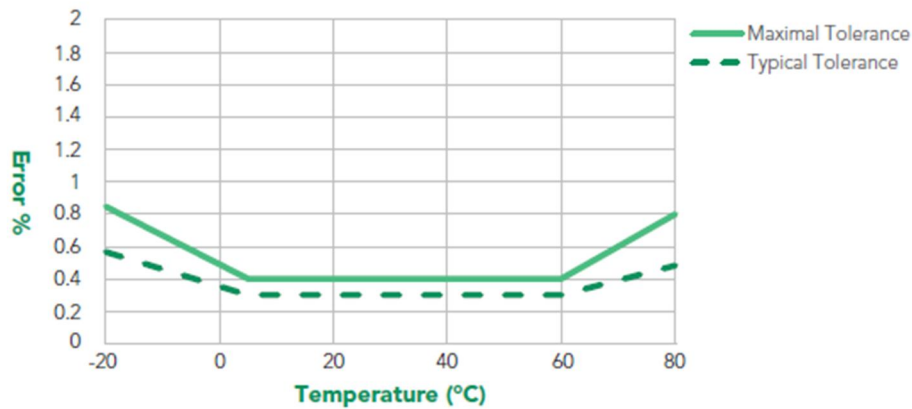
## Humidity



Para la medición de temperatura la gráfica a continuación nos muestra los niveles de tolerancia máxima y típica. La mayoría de los sensores de humedad no necesitan calibración. Sin embargo, si las lecturas requieren un ajuste, se utilizará el comando "Tcal" para calibrar el sensor de temperatura integrado.

Las lecturas de humedad dependen en gran medida de la temperatura. Incluso una pequeña discrepancia en la temperatura puede tener un gran efecto en la humedad.

# Air temperature



## 3.3.1.2 SENSOR DE CO<sub>2</sub>

Debido a la naturaleza del proyecto este es el sensor de mayor importancia para la adquisición de datos del proceso por tal motivo se analizaron los criterios de selección de sensores de CO<sub>2</sub> descritos a continuación:

Un sensor de CO<sub>2</sub> es un dispositivo diseñado para medir la concentración de dióxido de carbono presente en el aire u otros gases. Para realizar esta medición, el sensor detecta cambios físicos, químicos u ópticos relacionados con la presencia de CO<sub>2</sub> y los convierte en una señal eléctrica interpretable por un sistema electrónico.

Se utilizan en ventilación, automatización de edificios (HVAC), calidad del aire, agricultura, laboratorios y procesos industriales.

Tipos de sensores de CO<sub>2</sub>:

### 1. Sensores NDIR (Infrarrojo No Dispersivo)

Principio de funcionamiento:

Detectan la absorción de luz infrarroja en una longitud de onda específica que el CO<sub>2</sub> absorbe.

Mientras más CO<sub>2</sub> haya, mayor es la absorción.

### 2. Sensores electroquímicos para CO<sub>2</sub>

Principio de funcionamiento:

Detectan CO<sub>2</sub> por medio de reacciones electroquímicas que generan una corriente proporcional a la concentración.

### 3. Sensores de estado sólido (MOS – Metal Oxide Semiconductor)

Principio de funcionamiento:

Utilizan óxidos metálicos (como  $\text{SnO}_2$ ) cuya resistencia eléctrica cambia cuando reaccionan con gases, incluidos  $\text{CO}_2$  o compuestos relacionados.

### 4. Sensores fotoacústicos (PAS – Photo Acoustic Spectroscopy)

Principio de funcionamiento:

Emiten luz infrarroja que provoca vibraciones en moléculas de  $\text{CO}_2$ ; estas vibraciones generan ondas acústicas detectables por un micrófono de alta sensibilidad.

### 5. Sensores ópticos basados en colorimetría (químicos)

Principio de funcionamiento:

Utilizan un material sensible al  $\text{CO}_2$  que cambia de color al absorberlo; un sistema óptico interpreta el cambio.

Mayor eficiencia energética

| Tipo de sensor | Precisión  | Costo      | Vida útil | Ventajas principales   | Desventajas principales                |
|----------------|------------|------------|-----------|------------------------|----------------------------------------|
| NDIR           | Alta       | Medio-alto | Larga     | Precisión, estabilidad | Costo y mantenimiento óptico           |
| Electroquímico | Media      | Medio      | Media     | Bajo consumo           | Interferencias, menor exactitud        |
| MOS            | Baja-media | Bajo       | Media     | Económico, rápido      | Poco específico, afectado por ambiente |
| Fotoacústico   | Muy alta   | Alto       | Larga     | Sensibilidad superior  | Costo, sensibilidad a ruido            |
| Colorimétrico  | Baja       | Muy bajo   | Corta     | Simples y baratos      | Baja precisión y durabilidad           |

La nueva tecnología de sensores de bajo consumo permite que los sensores de  $\text{CO}_2$  se desplieguen de forma remota o con baterías en sistemas de alimentación. Estas mejoras ayudan a reducir el consumo de energía, manteniendo una alta precisión y fiabilidad. Inteligencia artificial, análisis predictivo, etc. La inteligencia artificial y los sensores de  $\text{CO}_2$  se integran para el mantenimiento predictivo y el análisis de datos. Los algoritmos de IA detectan patrones en las tendencias de concentración de  $\text{CO}_2$ , lo que permite a las industrias anticipar futuras amenazas a la seguridad.

Considerando lo anterior el sensor de  $\text{CO}_2$  para el proyecto se eligió en base a sus características y no en base a su precio. Se eligió un sensor robusto con una alta confiabilidad. Sensor de  $\text{CO}_2$  marca Atlas Scientific Enviromental Robotics EZO- $\text{CO}_2$  con las siguientes características:



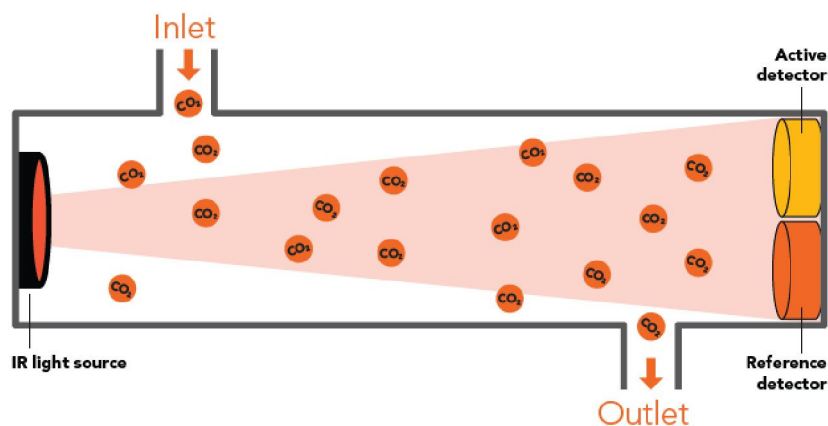
|                                                |                                  |
|------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Lectura</b>                                 | <b>CO2 gaseoso</b>               |
| <b>Rango</b>                                   | <b>0 – 10,000 ppm</b>            |
| <b>Calibración</b>                             | <b>Calibrado de fábrica</b>      |
| <b>Presión</b>                                 | <b>Solo atmósfera</b>            |
| <b>Tiempo de respuesta</b>                     | <b>1 lectura por segundo</b>     |
| <b>Resolución</b>                              | <b>1 ppm</b>                     |
| <b>Precisión</b>                               | <b>(+/-5%) + (+/- 50 ppm)</b>    |
| <b>Tiempo de calentamiento</b>                 | <b>10 seg.</b>                   |
| <b>Conector</b>                                | <b>cable de datos de 5 hilos</b> |
| <b>Longitud del cable</b>                      | <b>1 metro</b>                   |
| <b>Protocolo de datos</b>                      | <b>UART e I<sup>2</sup>C</b>     |
| <b>Dirección I<sup>2</sup>C predeterminada</b> | <b>105 (0x69)</b>                |
| <b>Formato de datos</b>                        | <b>ASCII</b>                     |
| <b>Voltaje de funcionamiento</b>               | <b>3,3 V - 5 V</b>               |
| <b>Vida útil</b>                               | <b>≈ 5.5 años</b>                |

No se recomienda realizar instalaciones de 2 sensores opuestos uno al otro. Este sensor de CO2 emite una pequeña cantidad de luz infrarroja; el sensor opuesto la detectará. Tras varias horas, las lecturas de CO2 se volverán inestables y adoptarán una forma de onda sinusoidal.

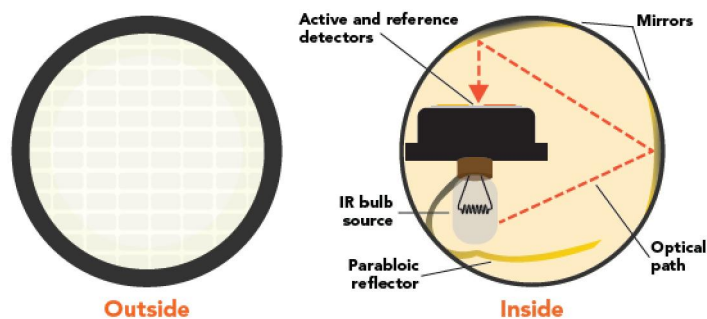
### **Principio de operación.**

El sensor de CO2 integrado Atlas Scientific EZO-CO2™ utiliza una celda de detección de gases infrarroja no dispersiva (NDIR) para determinar el contenido de CO2 en una matriz gaseosa. La celda de detección NDIR es un espectrofotómetro de longitud de onda única diseñado específicamente para detectar radiación infrarroja de 4,2μm.

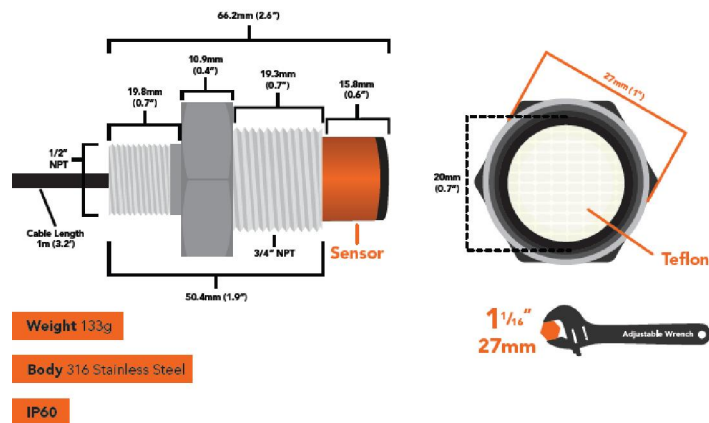
Se muestra a continuación el esquema de operación del sensor:



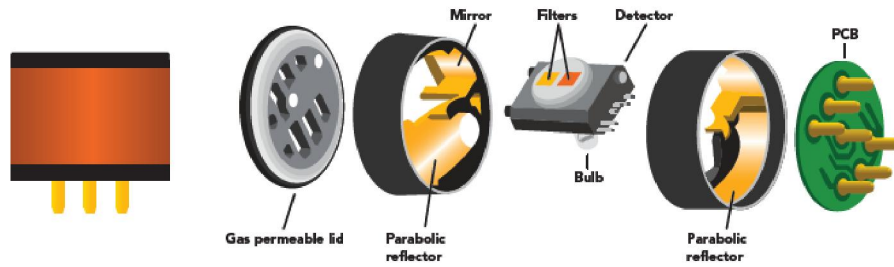
El CO<sub>2</sub> gaseoso presenta una banda de absorción prominente centrada en 4,2  $\mu$ m. El contenido de CO<sub>2</sub> se obtiene cuantificando la energía luminosa perdida al viajar a través de una matriz gaseosa a lo largo de una distancia fija.



Propiedades físicas del sensor de CO<sub>2</sub>. El sensor EZO-CO<sub>2</sub><sup>TM</sup> solo detecta niveles de CO<sub>2</sub> gaseoso. Este dispositivo no puede leer niveles de CO<sub>2</sub> disuelto. NO PUEDE SER SUMERJIDO EN LÍQUIDO.

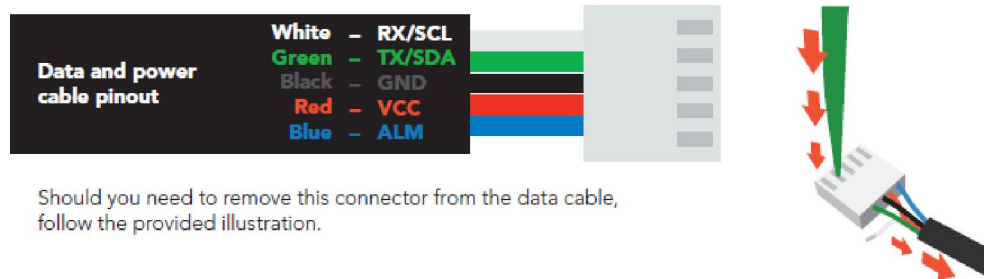


Propiedades del sensor:

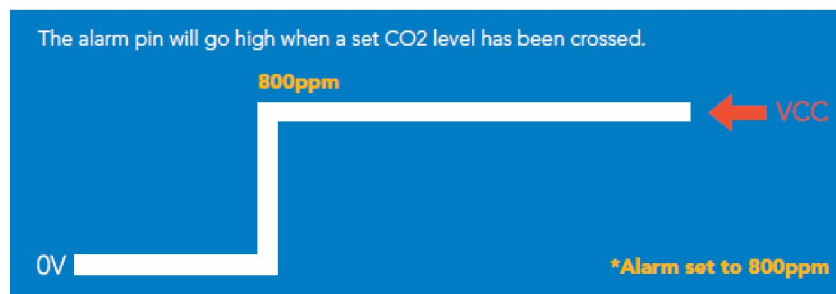


Utilización de cables del conector del sensor:

## Pin out



Should you need to remove this connector from the data cable, follow the provided illustration.



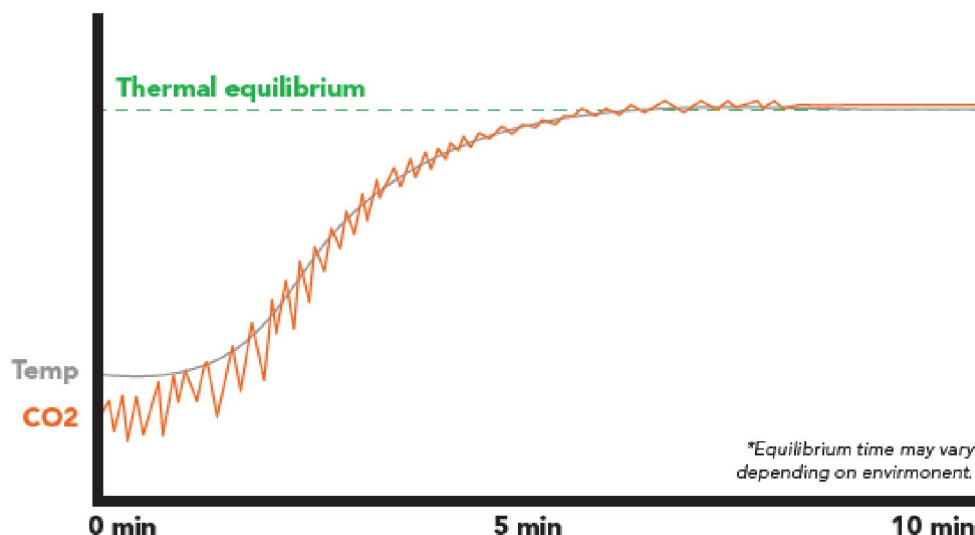
If unused leave **ALM** floating. Do not connect **ALM** to **VCC** or **GND**.

El sensor de CO2 al igual que el de temperatura es compatible para ser conectado directamente al microcontrolador por utilizar un voltaje CD en un rango de 3.3V a 5V y un bajo consumo en operación. Se muestra a continuación la tabla correspondiente:

| Power consumption |     |       |        | Absolute max ratings                      |        |       |       |
|-------------------|-----|-------|--------|-------------------------------------------|--------|-------|-------|
| 5V                | LED | MAX   | SLEEP  | Parameter                                 | MIN    | TYP   | MAX   |
|                   | ON  | 45 mA | 3.4 mA | Storage temperature                       | -65 °C |       | 75 °C |
| 3.3V              | OFF | 44 mA |        | Operational temperature                   | -20 °C | 25 °C | 50 °C |
|                   | ON  | 42 mA | 3.0 mA | VCC                                       | 3.3V   | 3.3V  | 5.5V  |
|                   | OFF | 41 mA |        | Humidity Range 0 to 95% rh non-condensing |        |       |       |
|                   |     |       |        | IP60                                      |        |       |       |

Calentamiento del sensor. Al encender por primera vez el sensor de CO2 integrado Atlas Scientific EZO-CO2™ (o al reactivarlo del modo de suspensión), debe calentarse antes de poder generar lecturas. El calentamiento tarda 10 segundos.

Durante los primeros 10 segundos de funcionamiento, la salida será: \*warm. Una vez finalizado el calentamiento, se emitirán las lecturas de CO2. El dispositivo continuará calentándose durante varios minutos. A medida que la temperatura interna se estabilice, también lo harán las lecturas de CO2.



Para ver la temperatura interna del sensor y observar cómo se estabiliza, utilice el comando “O” que se encuentra en la página 25.

El sensor de CO2 integrado Atlas Scientific EZO-CO2™ viene precalibrado y no necesita recalibración. Atlas Scientific realiza una calibración de fábrica de dos puntos como parte del proceso de fabricación.

Calibración de punto bajo = 0 ppm

Calibración de punto alto = 4000 ppm

Los datos de calibración de fábrica se almacenan permanentemente en el sensor y no se pueden borrar.

Se puede realizar una calibración de uno o dos puntos en cualquier momento. Al usar la calibración personalizada, se ignorará la calibración de fábrica. Para volver a la calibración de fábrica, simplemente borre la calibración personalizada.

### *3.3.1.3 SENSOR DE PRESION*

#### **Características:**

Excelente precisión de medición, buena estabilidad a largo plazo, alta repetitividad, carcasa de acero inoxidable, tamaño compacto para instalación en espacios reducidos.

Aplicación: Ampliamente utilizado en la medición de presión manométrica de gases y líquidos, así como de presión absoluta, especialmente en equipos medianos y pequeños para la medición de presión

Modelo del fabricante: **zija**

- Transmisor de presión de acero inoxidable
- Tamaño: 83x22mm/3.27x0.87"(H x W)
- Longitud del cable: 90cm/35.4"
- Rango de operación: 0 ~ 10BAR
- Fuente de alimentación: 24VDC
- Señal de salida: 0-10V
- Conector: G 1/4
- Salida 0 – 10 V



### *3.3.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA*

Termopar Tipo K sensor de temperatura

#### **DESCRIPCIÓN**

El Termopar tipo K con módulo MAX6675 es un sistema de medición de temperatura diseñado para registrar valores en rangos muy altos, típico en procesos industriales y de laboratorio. El termopar tipo K está formado por dos metales diferentes (cromel y alumel) unidos en un extremo, que generan un pequeño voltaje proporcional a la temperatura medida. Este voltaje es muy bajo y requiere conversión para ser interpretado por un microcontrolador; aquí interviene el MAX6675, un convertidor digital que amplifica la señal, la compensa por unión fría y la convierte en datos digitales con resolución de 0.25 °C. La comunicación con el microcontrolador se realiza mediante interfaz SPI, lo que permite una lectura rápida y precisa. Gracias a esta combinación, es posible medir temperaturas de hasta aproximadamente 1024 °C de forma estable y confiable.



El Termopar tipo K con módulo MAX6675 se utiliza en aplicaciones que requieren medir temperaturas elevadas con precisión, como en hornos industriales, calderas, extrusoras de impresión 3D, motores de combustión, procesos metalúrgicos, sistemas de soldadura y monitoreo de procesos térmicos en laboratorios. Su capacidad para operar en rangos de hasta 1024 °C lo hace ideal en



entornos donde los sensores comunes, como los termistores o sensores de silicio, no soportan el calor. Es ampliamente compatible con tarjetas de desarrollo como Arduino (UNO, Mega, Nano), ESP32, ESP8266, Raspberry Pi, STM32, PIC y Teensy, gracias a que el módulo MAX6675 convierte directamente la señal analógica del termopar a datos digitales mediante la interfaz SPI, facilitando su integración en sistemas de control y monitoreo de temperatura.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Tipo de sensor: Termopar tipo K (cromel-alumel).
- Voltaje de operación (módulo): 3.3 V a 5.5 V
- Consumo máximo de 1.5 mA
- Rango de medición: 0 °C a 1024 °C (con el MAX6675).
- Resolución de lectura: 0.25 °C.
- Precisión típica:  $\pm 2$  °C.
- Tiempo de conversión:  $\sim 0.25$  s por lectura.
- Interfaz de comunicación: SPI (Serial Peripheral Interface).
- Temperatura de operación del módulo:  $-20$  °C a  $+85$  °C.
- Material de la sonda: Acero inoxidable (en la mayoría de modelos).
- Longitud del cable del termopar: 1 m aprox. (varía según el modelo).
- Aislamiento eléctrico: Fibra de vidrio o teflón (según versión).
- Frecuencia de reloj SPI máxima: 4.3 MHz.
- Dimensiones: 3.0 cm x 1.5 cm x 1.5 cm.
- Peso: 19 g.

## 3.4 SELECCIÓN DE BOMBA DE VACÍO

### Criterios de selección de bombas de vacío:

Varios factores influyen en la eficiencia y el funcionamiento de una bomba de vacío. Cada bomba requiere un proceso específico, tiene su propio rango de operación y características, ventajas y desventajas. A continuación, se presentan cuatro de estas características:

Nivel de vacío

Impacto del proceso en la bomba

Impacto de la bomba en el proceso

Costos y mantenimiento

## Nivel de vacío

Dado que el nivel de vacío es uno de los factores más influyentes. Los rangos/clasificaciones comunes de vacío son:

|                            |                                  |
|----------------------------|----------------------------------|
| Vacío aproximado:          | $10^3$ mbar a 1 mbar             |
| Vacío medio:               | 1 mbar a $10^{-3}$ mbar          |
| Alto vacío:                | $10^{-3}$ mbar a $10^{-7}$ mbar  |
| Ultra alto vacío:          | $10^{-7}$ mbar a $10^{-12}$ mbar |
| Vacío extremadamente alto: | $< 10^{-12}$ mbar                |

## Impacto del proceso en una bomba.

El impacto del proceso en una bomba de vacío se refiere al conjunto de efectos que las condiciones operativas del sistema, como el tipo de gas aspirado, la presión de trabajo, la presencia de vapores, partículas o contaminantes, así como la temperatura y el ciclo de operación, tienen sobre el rendimiento, la vida útil y el mantenimiento de la bomba.

En otras palabras, describe cómo el proceso que la bomba atiende influye directamente en su funcionamiento y fiabilidad.

## Impacto de las bombas en el proceso

El impacto de la bomba de vacío en el proceso se refiere a cómo el rendimiento, capacidad y características operativas de la bomba influyen directamente en la calidad, estabilidad, velocidad y eficiencia del proceso que requiere condiciones de vacío.

En otras palabras, es la manera en que el desempeño de la bomba contribuye positiva o negativamente al cumplimiento de los objetivos del proceso.

## Costos y mantenimiento.

La selección adecuada de una bomba de vacío no depende únicamente de su capacidad o nivel de vacío, sino también de una evaluación integral de los costos totales y de las exigencias de mantenimiento a lo largo de su vida útil. Estos factores determinan la rentabilidad, confiabilidad y continuidad operativa del sistema.

Costos a considerar

Los costos asociados a una bomba de vacío pueden dividirse en tres categorías principales:

**Costo inicial (CAPEX)** Corresponde al precio de adquisición de la bomba y, en algunos casos, de los accesorios obligatorios.

Las bombas de menor precio pueden requerir mantenimiento frecuente o tener menor vida útil.

**Costos de operación (OPEX)**

Incluyen todos los gastos necesarios para mantener la bomba funcionando diariamente:

Consumo eléctrico, aceite o fluidos operativos, repuestos, servicios de limpieza o regeneración, tiempo de paro del proceso durante mantenimientos.

Una bomba más eficiente energéticamente o libre de aceite puede reducir considerablemente los costos operativos.

Costos de ciclo de vida (LCC – Life Cycle Cost)

Representan la suma de todos los costos desde su adquisición hasta su retiro:

Compra, instalación, operación, mantenimiento, reparaciones mayores, vida útil y eliminación o sustitución

El análisis LCC permite seleccionar la opción económicamente más favorable a largo plazo, no solo la más barata al inicio.

Consideraciones de mantenimiento

El mantenimiento determina la confiabilidad y disponibilidad de la bomba. Los siguientes factores deben evaluarse al elegirla:

Frecuencia del mantenimiento

Cada tipo de bomba requiere un nivel diferente de intervención:

Bombas de paletas rotativas (lubricadas):

Cambios de aceite frecuentes, reemplazo de paletas, filtros.

Bombas libres de aceite (scroll, diafragma):

Mantenimiento reducido, pero con reemplazos completos en intervalos largos.

Bombas de tornillo / dry screw:

Bajo mantenimiento, pero reparaciones más costosas cuando ocurren.

La frecuencia del mantenimiento afecta directamente el tiempo de paro del proceso.

Disponibilidad de repuestos y servicio técnico

Una bomba con buen soporte técnico garantiza mayor continuidad operativa.

Sensibilidad a las condiciones del proceso

El mantenimiento dependerá de:

Tipo de gas (corrosivo, húmedo, con partículas), ciclos de operación, temperaturas, contaminantes o vapores condensables.

Bombas más tolerantes reducen la necesidad de protección extra (filtros, trampas) y por lo tanto bajan los costos totales.

Una vez analizados los criterios de selección se describirá la bomba de vacío que se utilizará para la salida del reactor:



## DESCRIPCIÓN:

- Bomba de vacío de una etapa Orion Motor Tech + motor de cobre de 1/4 hp para un servicio rápido de climatización. Con un caudal de 3.5 cfm, se puede utilizar en cualquier sistema hasta 37.5 micrones (5 Pa).
- Funcionamiento seguro y estable: Su carcasa de aleación de aluminio, una bomba de vacío de CA automática y autónoma, está diseñada para una larga vida útil con una eficiente disipación del calor y resistencia a la corrosión.
- Diseño práctico: El depósito de aceite de esta bomba de vacío de CA cuenta con un visor y una escala para visualizar el nivel de aceite y facilitar el rellenado rápido. El asa antideslizante facilita su transporte.
- Aplicación versátil: Esta bomba de vacío para climatización se puede utilizar en aplicaciones con mangueras de 1/4", 1/2" y 3/8", desde proyectos de servicio de climatización automotriz hasta envasado al vacío, degasificación de vino y termoformado.

### Características:

- Marca Orion Motor Tech
- Color: Negro
- Material: Aleación de aluminio, Cobre, Goma
- Estilo: Etapa única
- Dimensiones: 27,4 cm largo x 10,9 cm ancho x 21,6 cm alto.

## 3.5 SELECCIÓN DE ACTUADORES

Considerando las características de la bomba de vacío se seleccionarán ahora los actuadores del sistema, que para el proyecto son tres: el actuador de la bomba de vacío, el actuador de válvula de paso de gas de salida y el actuador regulador de presión de gas de entrada.

### 3.5.1 SELECCIÓN DEL ACTUADOR DE LA BOMBA DE VACÍO.

Como es necesario poder activar/desactivar la bomba de vacío con una señal del microcontrolador lo haremos por medio de un relevador de estado sólido.

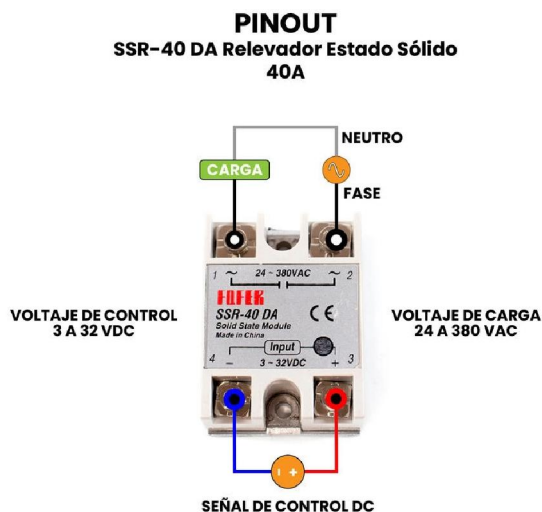
El SSR-40 Relevador de Estado Sólido 40A AA/DD/DA es un dispositivo electrónico diseñado para conmutar cargas eléctricas de alto voltaje y corriente sin partes mecánicas móviles, lo que le da mayor durabilidad y velocidad de respuesta en comparación con los relevadores electromecánicos tradicionales. Su función principal consiste en aislar eléctricamente el circuito de control del circuito

de potencia y permitir el encendido o apagado de cargas de hasta 40 amperios, ya sean de corriente alterna (AA), corriente directa (DD) o universales (DA), según el modelo. El SSR se activa mediante una señal de control de bajo voltaje aplicada a su entrada, la cual dispara un semiconductor interno (como un triac, tiristor o transistor de potencia) que conduce la corriente hacia la salida, permitiendo el paso de la energía hacia la carga.

El SSR-40 Relevador de Estado Sólido 40A AA/DD/DA tiene una amplia variedad de usos y aplicaciones en sistemas donde se requiere controlar cargas de potencia con seguridad y eficiencia. Se emplea en automatización industrial para manejar motores, resistencias calefactoras, hornos eléctricos y lámparas de alto consumo sin desgaste mecánico. También se utiliza en control de temperatura mediante controladores PID para regular calentadores y sistemas de climatización. En el ámbito de la iluminación, permite encender y apagar reflectores, lámparas LED de gran potencia o alumbrado público sin generar ruidos eléctricos. En sistemas de energía renovable, se aplica para conmutar cargas de corriente continua o alterna en inversores y controladores solares. Además, es muy útil en máquinas CNC, impresoras 3D y equipos electrónicos donde se requiere conmutación rápida, estable y libre de chispas, garantizando una larga vida útil y un funcionamiento confiable.

#### ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS

- Serie: SSR-40.
- Corriente de conmutación: 40 A.
- Led Indicador.
- Dimensiones: 65 mm x 45 mm x 25 mm.
- Peso: 100 g.
- DA SSR-40 Relevador Estado Sólido 40 A
- Modelo: SSR-40 DA.
- Tipo de relevador: DA (control DC – carga AC).
- Voltajes:
- Control: DC 3 – 32 VDC.
- Carga: AC 24 – 380 VCA.
- Modo de conexión:



### 3.5.2 ACTUADOR VALVULA DE PASO PARA GAS DE SALIDA

Acorde al diagrama esquemático del proceso que se va a controlar la válvula de para para gas de salida se instalará entre la salida del reactor y la bomba de vacío. Es importante considerar varios criterios para la selección de la misma:

#### 1. Material:

Estas electroválvulas se fabrican con diversos materiales, como latón, acero inoxidable, PVC, cobre y aluminio.

Algunos factores que influyen en su fabricación son el entorno al que estarán expuestas, el material de la propia válvula, la temperatura de funcionamiento, la presión y el proceso para el que se requiere.

El material de la válvula determinará su aplicación. Este es un aspecto crucial, ya que condiciona la selección del cuerpo de la válvula, el material del diafragma interno y el mecanismo de accionamiento. El material elegido debe ser capaz de soportar las condiciones de los materiales empleados en su construcción.

#### Latón



#### PVC



#### Acero inoxidable



#### 2. Tipo de conexión y tamaño del puerto

El tamaño del puerto dependerá de las conexiones que tenga en su aplicación ya que existen las electroválvulas roscadas, bridadas, de conexión Namur, de conexión rápida, entre otras. Estos se encuentran en medidas estándar como por ejemplo 1/8, 1/4, 1/2, 3/8, 3/4, 1" hasta máximo 2", dependiendo del modelo.

#### Conexión Namur

#### Conexión Roscada



### 3. Normalmente abierta o normalmente cerrada

Esta propiedad de la electroválvula se elige según la aplicación en la que se vaya a utilizar. Normalmente cerrada: está cerrada en su estado pasivo e impide el paso o flujo del material que se está manipulando. Solo cambia de estado cuando se le aplica una tensión. Normalmente abierta: está abierta en su estado pasivo, lo que significa que permite el paso libre del material hasta que se le aplica una tensión, momento en el que cambia a estado cerrado.

### 4. Número de vías:

Existen válvulas de 2, 3, 4 y 5 vías en 2 posiciones. Esto quiere decir que el número de vías es el número de conductos de entrada y salida que tendrá la válvula y el número de posiciones son las posiciones en que se pondrá la válvula respecto al actuador, en este caso el solenoide.

Ejemplo:

Válvula 3/2 = 3 vías 2 posiciones

Válvula 5/2 = 5 vías 2 posiciones

#### 2 vías



#### 3 vías



#### 5 vías



### 5. Presión

En este caso, se requiere una presión mínima y una presión máxima para seleccionar la válvula correcta. Algunas válvulas requieren una presión mínima para funcionar correctamente y también tienen una presión diferencial máxima de operación (PDMTO), la cual no debe excederse. De lo

contrario, la válvula podría averiarse o reventar. Existen varias unidades de presión. Las más comunes para las electroválvulas son el bar, el pascal, el psi, el kilogramo, etc.

## **6. Caudal**

El caudal requerido indica el volumen total necesario para nuestro proyecto o aplicación. Defina el caudal requerido para el llenado o vaciado.

Por ejemplo, si tenemos un sistema de llenado de contenedores con un caudal mayor al requerido y el tiempo de apertura de la válvula permanece constante, se producirá un derrame de líquido durante el proceso de llenado. El caudal indica la cantidad de fluido que se mueve a través del sistema; por ejemplo, en el caso de nuestro sistema, el caudal de llenado es mayor que el requerido. El caudal se define como la cantidad de fluido que pasa a través del sistema por unidad de tiempo; también se conoce como caudal volumétrico. El coeficiente de flujo se denomina “kv” o “cv”. Este coeficiente se determina según la unidad de medida. Por ejemplo, kv = litros/minuto y  $cv = kv * 0,26 =$  galones por minuto.

## **7. Temperatura**

Para la elección del material del diafragma utilizado en una válvula es necesario considerar la temperatura máxima y mínima a utilizar en el fluido que pasará por la misma. De esto depende el tipo de material a utilizar ya que por ejemplo el material de diafragma buna tiene una resistencia a temperaturas desde -10°C hasta +90°C por lo tanto arriba de esta temperatura es seguro que se reventará. Por ejemplo, si fuéramos a usar vapor a 140°C recomendaríamos usar el material de teflón que cuenta con una resistencia desde -40°C hasta +180°C. De esta manera podemos estar seguros que nuestra válvula funcionará correctamente.

## **8. Voltaje**

El voltaje para la bobina solenoide que lleva la válvula se elegirá en base al diseño del proyecto o aplicación. Existen diversos voltajes en los cuales se puede utilizar una válvula solenoide, ya sea en corriente directa (vdc) o en corriente alterna (vac), entre los cuales están los siguientes voltajes en vac: 48, 127, 220 y en vdc: 12, 24, 48.

## **9. Bobina**

El tipo de bobina que se utilizará se elegirá en base a condiciones ambientales en la cual estará trabajando la válvula, ya que existen bobinas a prueba de explosión, así como bobinas con grado de seguridad IP65. Es importante considerar manejar una bobina a prueba de explosión al manejar productos altamente inflamables y evitarnos algún riesgo de explosión.

**Bobina 30 mm serie «B»**

**Bobina Atex ExnA**





Se determinó que las características de la válvula serán:

- 1.- Material: Acero inoxidable.
- 2.- Gas, CO<sub>2</sub>
- 3.- Tipo de conexión: Roscada. Tamaño del puerto: ¼" NPT
- 4.- Normalmente cerrada
- 5.- Número de vías: 2
- 6.- Presión: 312 psi.
- 7.- Caudal: se desconoce el dato
- 8.- Temperatura: -40°C a 132°C
- 9.- Voltaje: 12V
- 10.- Bobina: Serie A.

Válvula seleccionada: Válvula Solenoide AFC 123



### 3.5.3 REGULADOR DE PRESION DE GAS DE ENTRADA

Para poder controlar la presión de entrada del proceso se eligió el uso de un regulador electro neumático, estos son componentes críticos en la automatización industrial, que proporcionan un control preciso sobre los sistemas neumáticos al convertir señales eléctricas en presión de aire proporcional. Los reguladores electro neumáticos ITV se destacan por su alta precisión, confiabilidad y adaptabilidad. A continuación, exploraremos sus características clave en detalle, destacando por qué es una opción ideal para el prototipo.

#### **Control de presión proporcional: cómo garantizar un ajuste neumático preciso**

Una de las características más esenciales de la ITV Regulador electro neumático es su mecanismo de control de presión proporcional. A diferencia de los reguladores neumáticos tradicionales que dependen de ajustes mecánicos, el Regulador electro neumático traduce las señales eléctricas en niveles precisos de presión de aire. Esta característica ofrece numerosas ventajas:

#### **Integración perfecta con sistemas automatizados**

El regulador funciona con unidades de control eléctrico como PLC (controladores lógicos programables) y sistemas SCADA (control de supervisión y adquisición de datos), lo que permite realizar ajustes precisos sin intervención manual.

#### **Ajuste de presión en tiempo real**

Cuando la señal eléctrica de entrada cambia, el regulador modifica inmediatamente la presión del aire, lo que lo hace ideal para aplicaciones dinámicas como brazos robóticos, mecanizado CNC y dispositivos médicos.

#### **Eliminación de la calibración manual**

Dado que el regulador se ajusta automáticamente en función de las señales de entrada, no hay necesidad de realizar ajustes manuales frecuentes, lo que reduce los costos de mano de obra y aumenta la eficiencia operativa.

#### **Alta precisión y estabilidad: manteniendo un rendimiento constante**

La precisión es un factor crítico en la automatización industrial y los reguladores electro neumáticos ITV están diseñados para ofrecer un control de presión de aire de alta precisión. Varias características de diseño contribuyen a su estabilidad:

#### **Sistema de retroalimentación de circuito cerrado:**

El sensor de presión incorporado monitorea continuamente la presión de salida y proporciona información en tiempo real al circuito de control. Esto permite que el sistema se ajuste en consecuencia, minimizando las desviaciones y asegurando que la presión se mantenga en el nivel deseado.

#### **Compensación por fluctuaciones de presión:**

Los factores externos, como los cambios de temperatura y las variaciones de presión del aire de suministro, pueden afectar la presión de aire de salida. El regulador ITV compensa estas fluctuaciones, manteniendo un rendimiento constante y estable.

#### **Desviación de presión mínima:**

Los sistemas neumáticos tradicionales suelen sufrir variaciones de presión debido al desgaste mecánico. El regulador ITV minimiza este problema al utilizar un control electrónico en lugar de resortes y diafragmas mecánicos, lo que garantiza una salida más estable durante períodos prolongados.

#### **Tiempo de respuesta rápido: optimización de la eficiencia operativa.**

En entornos industriales de ritmo rápido, el tiempo de respuesta es crucial. Los reguladores electro neumáticos ITV están diseñados para proporcionar una respuesta rápida a los cambios de la señal de entrada, lo que permite realizar ajustes de presión inmediatos. Los beneficios de esta característica incluyen:

#### **Productividad mejorada**

En industrias como la impresión, el embalaje y la fabricación de automóviles, los tiempos de respuesta rápidos garantizan que la maquinaria funcione con la máxima eficiencia, reduciendo el tiempo de inactividad.

#### **Adaptación de procesos en tiempo real**

Cuando las condiciones cambian dentro de un sistema (por ejemplo, un brazo robótico requiere más o menos fuerza), el regulador se adapta rápidamente al nuevo requisito de presión, lo que garantiza un funcionamiento suave y eficiente.

#### **Reducción de problemas de retraso y demora**

Los reguladores neumáticos tradicionales suelen tener un retraso en los ajustes de presión, lo que puede generar ineficiencias. Los Reguladores electro neumáticos minimizan este retraso, garantizando modificaciones de presión en tiempo real que mantengan el sistema funcionando sin problemas.

#### **Eficiencia energética: reducción del consumo de aire y energía**

El consumo de energía es una preocupación importante en los entornos industriales y los reguladores electro neumáticos ITV están diseñados teniendo en cuenta la eficiencia energética. Esto se logra mediante:

#### **Funcionamiento optimizado de la electroválvula**

El regulador controla con precisión la válvula solenoide, garantizando que solo se libere la cantidad de aire necesaria. Esto evita el desperdicio innecesario de aire y reduce los costos de energía.

#### **Menor consumo de aire en comparación con los reguladores tradicionales**

Dado que el regulador ITV convierte directamente las señales eléctricas en ajustes de presión de aire, elimina el exceso de descarga de aire que es común en los reguladores mecánicos tradicionales.

#### **Vida útil extendida del equipo**

La reducción de las fluctuaciones innecesarias de la presión del aire y del desgaste mecánico da como resultado un mantenimiento menos frecuente y una vida útil más larga, ahorrando costos en reparaciones y reemplazos.

#### **Diseño compacto y ligero: fácil integración e instalación**

Los componentes industriales deben ser flexibles y fáciles de integrar, especialmente en sistemas donde el espacio es limitado. El regulador electro neumático ITV está diseñado teniendo en cuenta estos requisitos:

### **Factor de forma compacto**

El regulador es lo suficientemente pequeño para ser instalado en espacios reducidos, lo que lo hace adecuado para maquinaria compleja con espacio limitado.

### **Construcción ligera**

A pesar de su diseño robusto, el regulador es liviano, lo que garantiza que no agregue una carga excesiva al sistema.

### **Opciones de montaje flexibles**

El diseño permite múltiples orientaciones de montaje, lo que garantiza que pueda adaptarse a diferentes configuraciones de sistemas neumáticos.

### **Amplia gama de señales de entrada: compatibilidad con varios sistemas de control**

La versatilidad es clave en la automatización industrial, y el regulador electro neumático ITV admite múltiples tipos de señales de entrada, lo que lo hace adaptable a diferentes requisitos del sistema:

#### **Compatibilidad de entrada de voltaje**

Admite señales de 0 a 5 V, 0 a 10 V, lo que lo hace adecuado para la mayoría de los sistemas de control basados en PLC.

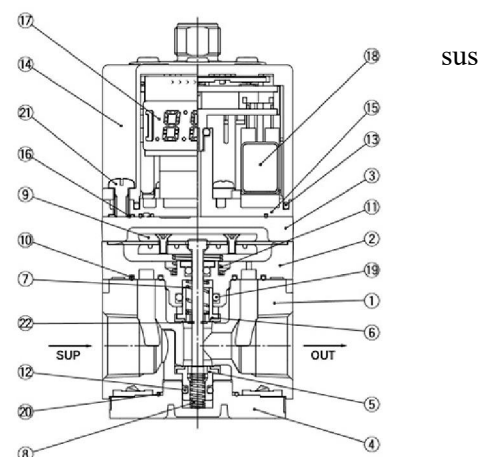
#### **Compatibilidad de entrada actual**

Admite señales de 4-20 mA, que se utilizan comúnmente en la automatización industrial y el control de procesos.

#### **Integración de control digital:**

Se puede utilizar con controladores digitales, lo que permite una automatización perfecta y ajustes remotos.

Por lo anterior se eligió el controlador de presión electro neumático Modelo: SMC ITV2030; con una entrada de control de 0 a 5V y 0 a 10V, entrada de conectores roscados de 1/4" y un rango de presión de trabajo de 0.005 a 0.9 MPa. A continuación, se detallan características:





| Número | Nombre de la pieza                            | Material                                                  |
|--------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1      | Cuerpo                                        | Aleación de aluminio                                      |
| 2      | Cuerpo intermedio                             | Aleación de aluminio                                      |
| 3      | Cubierta                                      | Aleación de aluminio                                      |
| 4      | Guía de válvula                               | Aleación de aluminio                                      |
| 5      | Válvula (válvula de suministro)               | HNBR/latón                                                |
| 6      | Válvula (válvula de escape)                   | HNBR/latón                                                |
| 7      | Resorte de válvula                            | Acero inoxidable                                          |
| 8      | Resorte de válvula                            | Acero inoxidable                                          |
| 9      | Conjunto de diafragma                         | Aleación de aluminio/NBR resistente a la intemperie/Acero |
| 10     | Sello                                         | NBR                                                       |
| 11     | Resorte de sesgo                              | Acero inoxidable                                          |
| 12     | Anillo O                                      | NBR                                                       |
| 13     | Sello                                         | NBR                                                       |
| 14     | Conjunto de recipiente                        | Resina                                                    |
| 15     | <u>Subplaca</u>                               | Goma de silicona                                          |
| 16     | Sello                                         | Resina                                                    |
| 17     | Conjunto de circuito de control               | -                                                         |
| 18     | Válvula solenoide                             | -                                                         |
| 19     | Anillo O                                      | NBR                                                       |
| 20     | Anillo O                                      | NBR                                                       |
| 21     | Tornillo de cabeza redonda con ranura cruzada | Acero                                                     |
| 22     | Anillo de retención                           | Acero inoxidable                                          |

### Configuración de Especificaciones

| Especificación                           | Valor     |
|------------------------------------------|-----------|
| Regulador, Válvula de Aumento de Presión | Regulador |
| Fluido Aplicable                         | Aire      |
| Entorno Operativo                        | Estándar  |
| Función de Corriente Adversa             | No        |
| Diámetro del Lado de Suministro          | 1/4       |
| Diámetro del Lado de Control             | 1/4       |

|                                          |                                         |
|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Señal de Entrada / Señal de Comunicación | [DC0-5V] Fuente de Voltaje Tipo DC 0-5V |
| Unidad de Presión                        | kPa                                     |
| Especificaciones                         | Tipo 2000                               |
| Salida del Monitor                       | Salida analógica 1 a 5 V DC             |
| Rango de Presión                         | 0.5 MPa                                 |

### Configuración Adicional

| Configuración                 | Valor              |
|-------------------------------|--------------------|
| Tipo de Regulador             | Electroneumático   |
| Forma                         | Estándar           |
| Mecanismo de Escape           | No                 |
| Tipo Conexión Lado Suministro | Rc                 |
| Tipo Conexión Lado Control    | Rc                 |
| Medidor de Presión            | No                 |
| Accesorio                     | Soporte tipo plano |

### Especificaciones Personalizadas

| Elemento                    | Valor                            |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Voltaje Fuente Alimentación | 24 V DC                          |
| Tipo Conector Cable         | Tipo ángulo recto, longitud: 2 m |

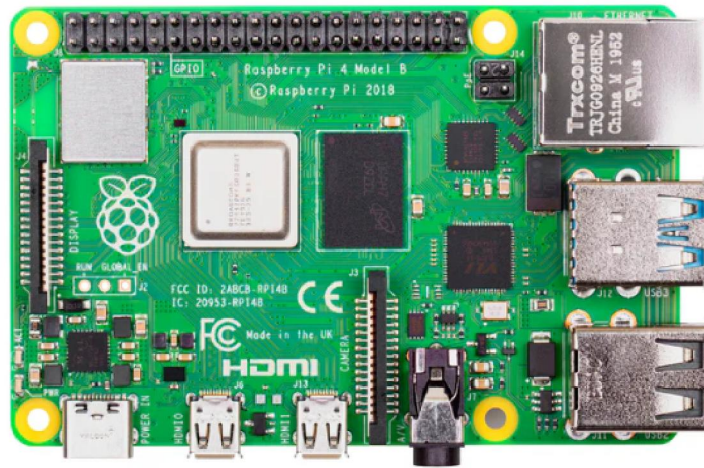
## 3.6 SELECCIÓN DE MICROPROCESADOR

Debido a que nuestro proceso a controlar requiere de varios sensores y actuadores con un programa y la capacidad de almacenamiento de datos se eligió trabajar con un microprocesador Raspberry. A continuación, se detallan los criterios de selección del modelo del mismo.

Debido a las necesidades del proyecto se hizo la elección únicamente entre los modelos 4b y 5 de raspberry pi. Si muestra la tabla de características de los mismos:

|                                   | <b>Raspberry Pi 4</b>                                                                                                                                                                   | <b>Raspberry Pi 5</b>                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CPU</b>                        | Broadcom BCM2711<br>Quad-core<br>64-bit @ 1,8 GHz                                                                                                                                       | Broadcom BCM2712<br>Quad-core<br>64-bit @ 2,4GHz                                                                                                                          |
| <b>GPU</b>                        | VideoCore VI @<br>OpenGL ES 3.1 a 500 MHz, Vulkan<br>1.0                                                                                                                                | VideoCore VII @<br>800 MHz OpenGL ES 3.1, Vulkan<br>1.2                                                                                                                   |
| <b>Salida de pantalla</b>         | 2x Micro-HDMI<br>4K @ 60Hz (pantalla única)                                                                                                                                             | 2x Micro-HDMI<br>4K @ 60Hz (pantallas duales)                                                                                                                             |
| <b>Memoria</b>                    | LPDDR4-3200 SDRAM<br>1GB, 2GB, 4GB u 8GB                                                                                                                                                | LPDDR4X-4267 SDRAM<br>2GB, 4GB o 8GB                                                                                                                                      |
| <b>Red</b>                        | Wi-Fi, Bluetooth, Gigabit Ethernet<br>PoE habilitado (con <a href="#">HAT</a> )                                                                                                         | Wi-Fi, Bluetooth, Gigabit Ethernet<br>PoE habilitado (con HAT)                                                                                                            |
| <b>Puertos USB</b>                | 2x USB 2.0<br>2x USB 3.0                                                                                                                                                                | 2x USB 2.0<br>2x USB 3.0 @ 5Gbps                                                                                                                                          |
| <b>Otros conectores</b>           | Conector <a href="#">GPIO</a> de 40 pines, puerto<br>de pantalla MIPI<br>DSI de 2 carriles, puerto<br>de cámara CSI MIPI de 2 carriles,<br>puerto de audio estéreo y vídeo<br>compuesto | Cabezal<br>GPIO de 40 pines, puerto<br>de pantalla MIPI DSI de 2 carriles,<br>puerto<br>de cámara CSI MIPI de 2 carriles,<br>puerto de audio estéreo y vídeo<br>compuesto |
| <b>Almacenamiento</b>             | Ranura para tarjetas Micro-SD                                                                                                                                                           | Soporte para ranura<br>para tarjeta Micro-SD M.2 (con<br>HAT)                                                                                                             |
| <b>Requisitos de potencia</b>     | 5V/3A vía USB-C (15W)                                                                                                                                                                   | 5V/5A vía USB-C (27W)                                                                                                                                                     |
| <b>Características especiales</b> | –                                                                                                                                                                                       | Botón<br>de encendido Reloj en tiempo real<br>(RTC)<br>puerto de depuración UART                                                                                          |
| <b>Precio</b>                     | 35 – 75<br>\$ (dependiendo de la cantidad de<br>RAM)                                                                                                                                    | 60 – 80 dólares<br>(dependiendo de la cantidad de<br>RAM)                                                                                                                 |

Acorde a las características analizadas, la Raspberry pi 4B cubre las necesidades de procesamiento del proyecto y su costo es menor al modelo 5 por lo que se decidió utilizar la Raspberry Pi modelo 4B de 8GB.



### 3.7 SELECCIÓN DE DISPLAY

Criterios de selección de pantalla LCD para Raspberry Pi 4B

#### **Tamaño y resolución de pantalla**

El tamaño y la resolución ideales de la pantalla dependen completamente de los requisitos de su proyecto. Las pantallas más pequeñas (por ejemplo, 3.5 pulgadas) son perfectas para proyectos portátiles o sistemas integrados donde el espacio es una prima. Las pantallas más grandes (por ejemplo, 7 pulgadas y superiores) son más adecuadas para aplicaciones más exigentes como centros de medios o reemplazos de escritorio. Las resoluciones más altas proporcionan imágenes más nítidas y más detalles, pero también aumentan las demandas en la potencia de procesamiento de su Raspberry Pi y potencialmente su consumo de energía. Considere la compensación entre la fidelidad visual y el rendimiento al tomar su decisión.

#### **Tipo de interfaz**

Diferentes pantallas LCD usan diferentes interfaces para comunicarse con Raspberry Pi. Las interfaces comunes incluyen SPI, I2C y HDMI. SPI e I2C son generalmente más flexibles y a menudo se usan con pantallas más pequeñas, lo que requiere menos potencia de procesamiento de Raspberry Pi. HDMI se usa típicamente para pantallas más grandes y proporciona un mayor ancho de banda para señales de video. Comprender la interfaz que utiliza la pantalla elegida es vital para la compatibilidad y la configuración adecuada. Algunas pantallas pueden incluso ofrecer múltiples opciones de interfaz.

#### **Funcionalidad de la pantalla táctil**

Para proyectos interactivos, una pantalla LCD con pantalla táctil puede mejorar significativamente la experiencia del usuario. En pantalla táctil LCD las opciones están disponibles en varios tamaños y resoluciones. La adición de una pantalla táctil agrega complejidad, pero desbloquea un mundo de



control intuitivo y posibilidades de interfaz. Considere las ventajas y desventajas de incorporar una pantalla táctil basada en las necesidades de su proyecto.

### **Consumo de energía**

El consumo de energía de la pantalla LCD elegida es un factor crucial, especialmente para proyectos con baterías. Un menor consumo de energía equivale a una mayor duración de la batería. Verifique las especificaciones de la pantalla para ver su sorteo de energía y evaluar su idoneidad para su fuente de energía. La gestión de energía eficiente es esencial para muchos sistemas integrados.

### **Facilidad de configuración y compatibilidad**

Algunas pantallas son más fáciles de configurar que otras. Busque pantallas con controladores fácilmente disponibles y borre las instrucciones de instalación. La buena compatibilidad con el sistema operativo de Raspberry Pi (como Raspberry Pi OS) simplificará enormemente su configuración y evitará la frustración. Consulte los foros y revisiones en línea para obtener comentarios de los usuarios sobre la facilidad de instalación y configuración de diferentes modelos.

### **Recomendaciones LCD de Top Raspberry Pi**

(Nota: las recomendaciones específicas del producto deben basarse en la disponibilidad y popularidad del mercado actuales. Siempre verifique las últimas revisiones y compare los precios antes de comprar).

Varios fabricantes ofrecen pantallas de buena calidad. Opciones de investigación de Adafruit, Waveshare y otras compañías similares conocidas por sus productos y soporte son confiables. Considere factores como la calidad de la pantalla, la facilidad de uso y el apoyo de la comunidad al elegir. Leer revisiones en línea es una excelente manera de medir las experiencias de los usuarios antes de comprar.

Acorde a los criterios de selección se eligió la pantalla táctil capacitiva LCD IPS de 10.1" y resolución de 1024x600. Con las siguientes especificaciones:

1. Tipo de pantalla: pantalla IPS
  2. Tamaño de pantalla: 10,1 pulgadas
  3. Resolución: 1024x600
  4. Ajuste de retroiluminación: conmutación y ajuste del interruptor de Dial
  5. Ajuste de volumen: conmutación y ajuste del interruptor de Dial
  6. Tipo de pantalla táctil: Pantalla táctil capacitiva
  7. IC táctil: GT9271
  8. Alimentación: Micro USB (5V)
  9. de los altavoces Potencia: 8  $\Omega$  2W
  10. Interfaz de entrada de vídeo: compatible con HDMI
  11. Interfaz audio output: interfaz de salida 3,5mm + Salida de altavoz dual ESTÉREO
  12. Tamaño del módulo (largo x ancho x Alto): 164,90  $\times$  102,00  $\times$  ( $\pm$  0,2 14,25) mm
- Peso del producto (incluido el paquete) 900g aprox.

### 3.8 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL PROTOTIPO

Considerando las dimensiones del reactor, de la bomba de vacío y de los componentes que será necesario montar para la operación del prototipo se realiza el diseño del soporte. Para poder contar con una estructura robusta que además sea de fácil fabricación se optó por utilizar perfil estructural de aluminio y se aprovechó la plataforma web de la empresa ITEM que cuenta de manera gratuita con un software de diseño estructural que permite diseños en línea de manera intuitiva.

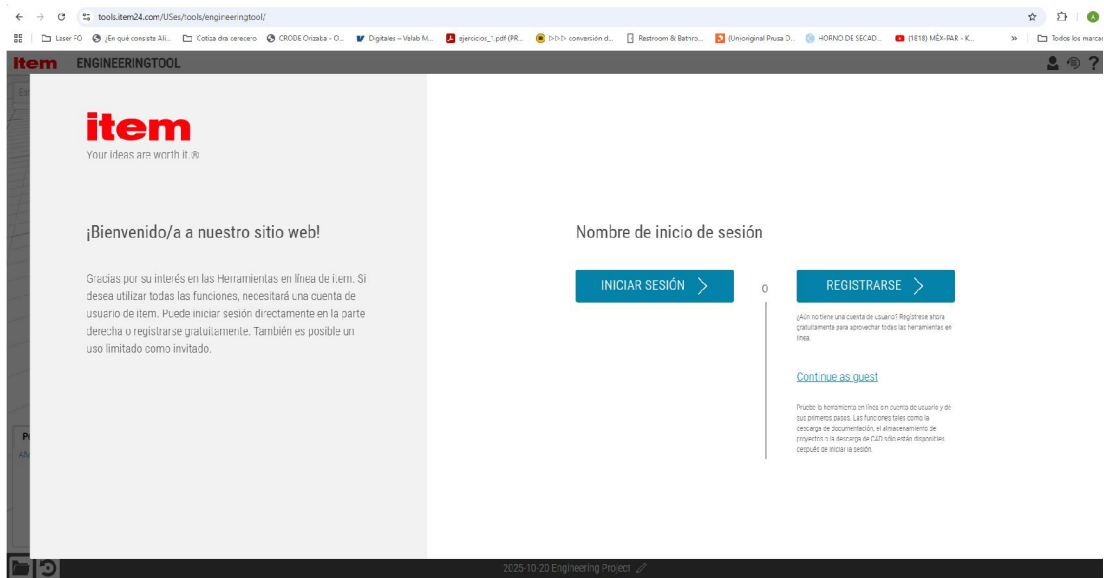
Entre las ventajas del uso de aluminio estructural destacan las siguientes:

Los perfiles de aluminio del sistema de construcción modular MB de item ofrecen soluciones universales para una amplia gama de aplicaciones en la construcción de máquinas y equipos.

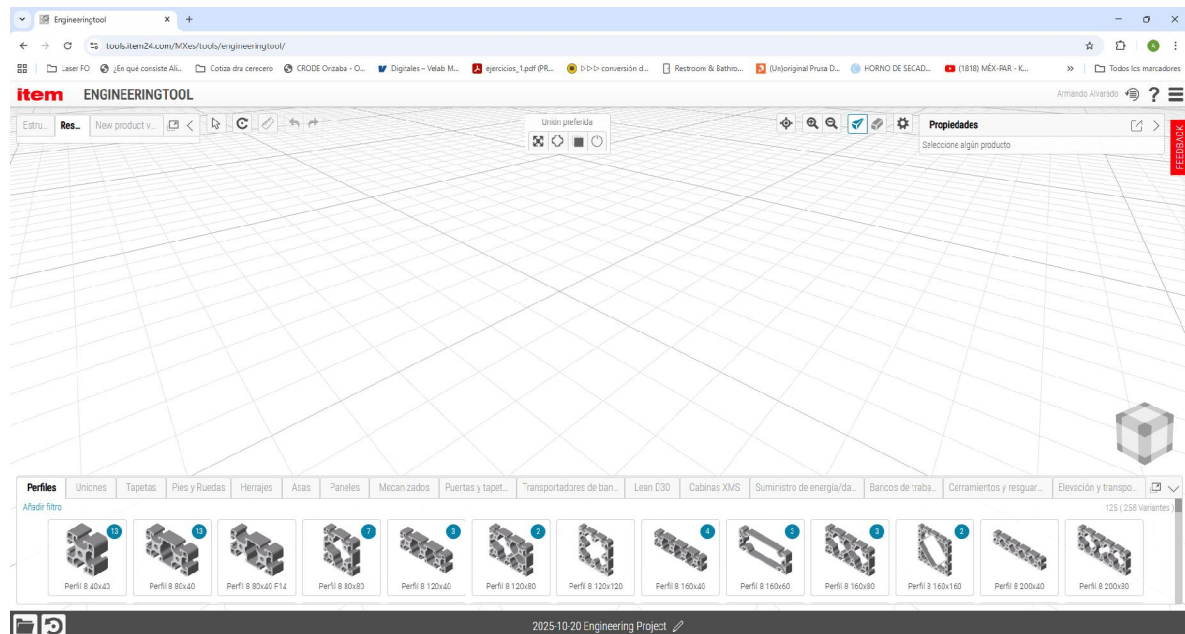
Perfiles serie 5: Perfiles compactos y ligeros

Gracias a su ligereza y tamaño compacto, los perfiles de la serie 5 son ideales para estructuras elegantes y estables. Por ejemplo, en sistemas lineales, los perfiles de la serie 5 con sección transversal plana se utilizan como perfiles para transportadores. También son perfectos para la fabricación de estructuras ligeras y soportan una carga de tracción máxima de 500 N en la ranura para perno M5. Los elementos de conexión de los perfiles de aluminio del sistema de construcción modular MB son estables y fiables. La innovadora tecnología de conexión de este producto garantiza la sujeción segura de las estructuras incluso bajo cargas elevadas. La unión, fuerte y permanente, se consigue mediante

el pretensado lateral de los perfiles de aluminio. Su diseño modular permite realizar modificaciones posteriores en pocos pasos.



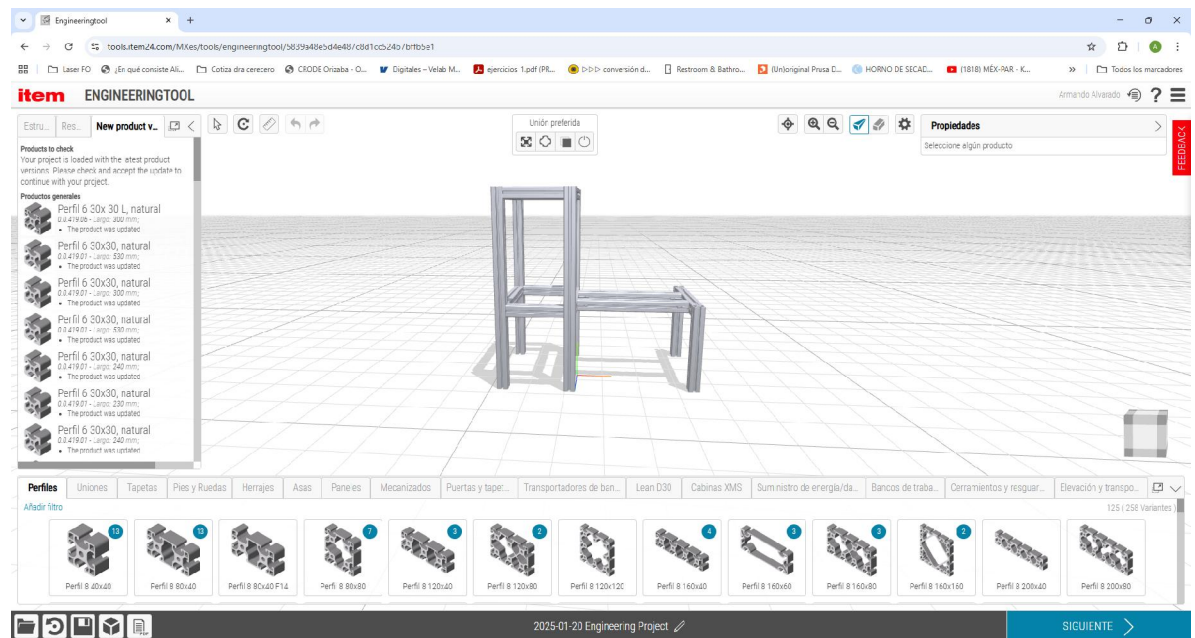
Página de inicio de herramienta de diseño intuitivo Ítem.



Herramienta de diseño de estructuras ítem ingresando como usuario registrado

Una vez obtenido el acceso a la herramienta de diseño se procede a ir colocando los perfiles y configurando su tamaño y posición.

En la siguiente imagen podemos ver el diseño del soporte del prototipo.



Una vez verificado el diseño de nuestra estructura nos permite exportar el documento del diseño estructural terminado, así como el despiece, la lista de los materiales y las dimensiones. De igual forma nos permite obtener directamente la cotización de nuestra estructura.

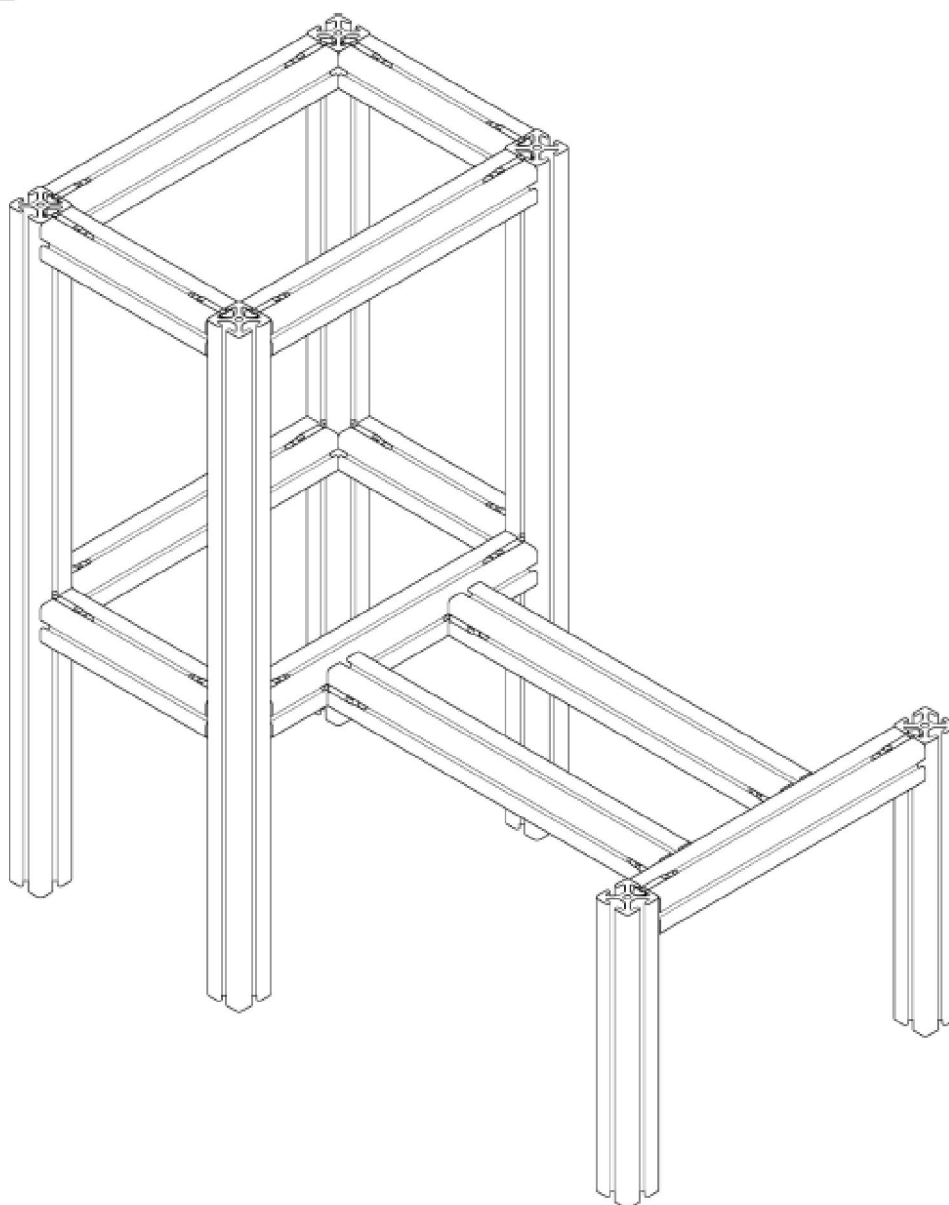
## Vista general del proyecto

Nombre del proyecto: 2025-01-20 Engineering Project

Número de proyecto: 5839a48e5d4e487c8d1cc524b7bffb5e1



<https://www.item.com/24.ws/hXKbw18z>



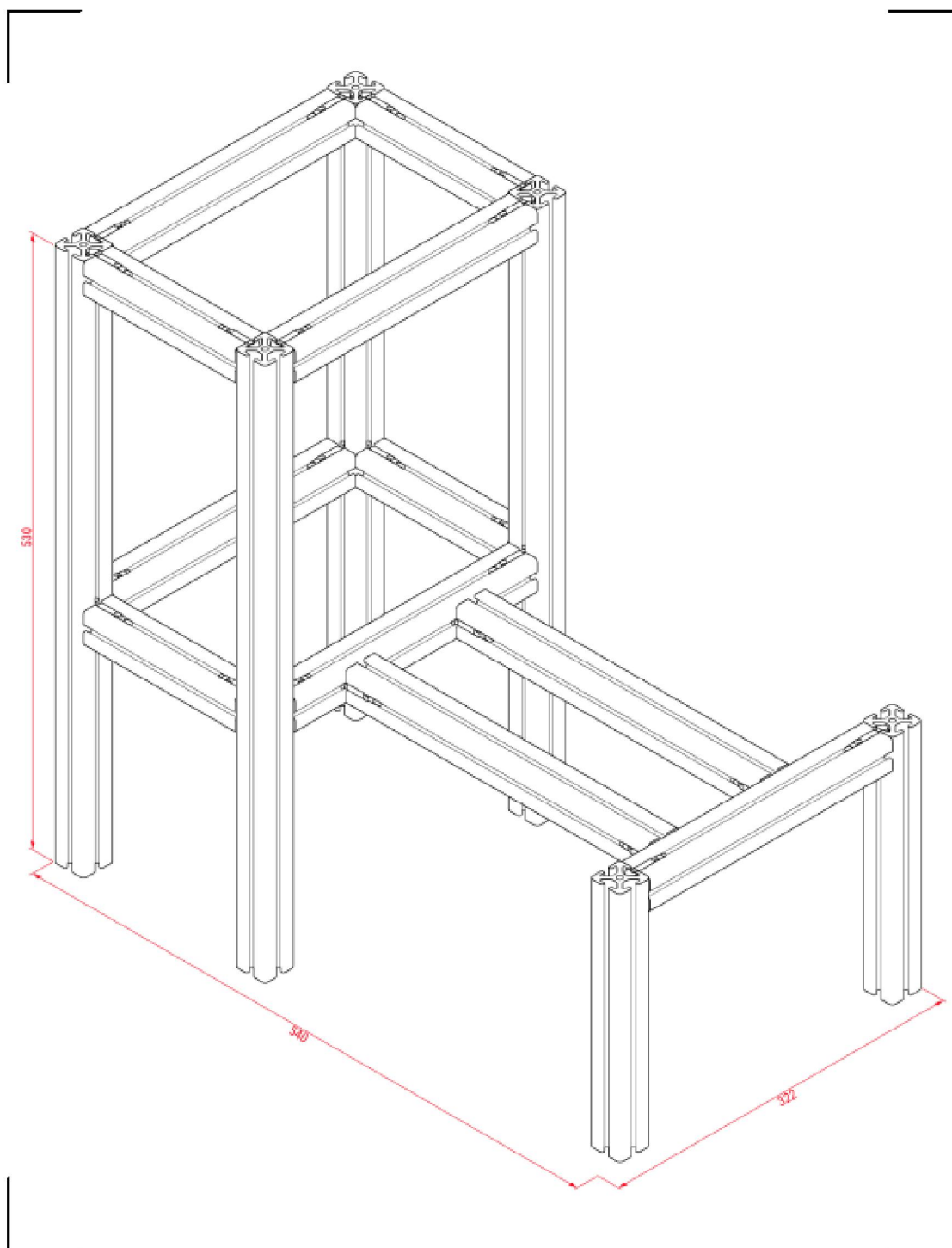
### Lista de piezas

| Posición | Designación del artículo                 | N.º de artículo | Cantidad |
|----------|------------------------------------------|-----------------|----------|
| 1        | Perfil 6 30x30, natural, Largo: 230mm    | 0.0.419.01      | 2        |
| 2        | Perfil 6 30x30, natural, Largo: 240mm    | 0.0.419.01      | 5        |
| 3        | Perfil 6 30x30, natural, Largo: 300mm    | 0.0.419.01      | 1        |
| 4        | Perfil 6 30x30, natural, Largo: 530mm    | 0.0.419.01      | 4        |
| 5        | Perfil 6 30x 30 L, natural, Largo: 150mm | 0.0.419.06      | 4        |
| 6        | Perfil 6 30x 30 L, natural, Largo: 300mm | 0.0.419.06      | 1        |
| 7        | Kit unión automática 6, zincado          | 0.0.419.71      | 44       |

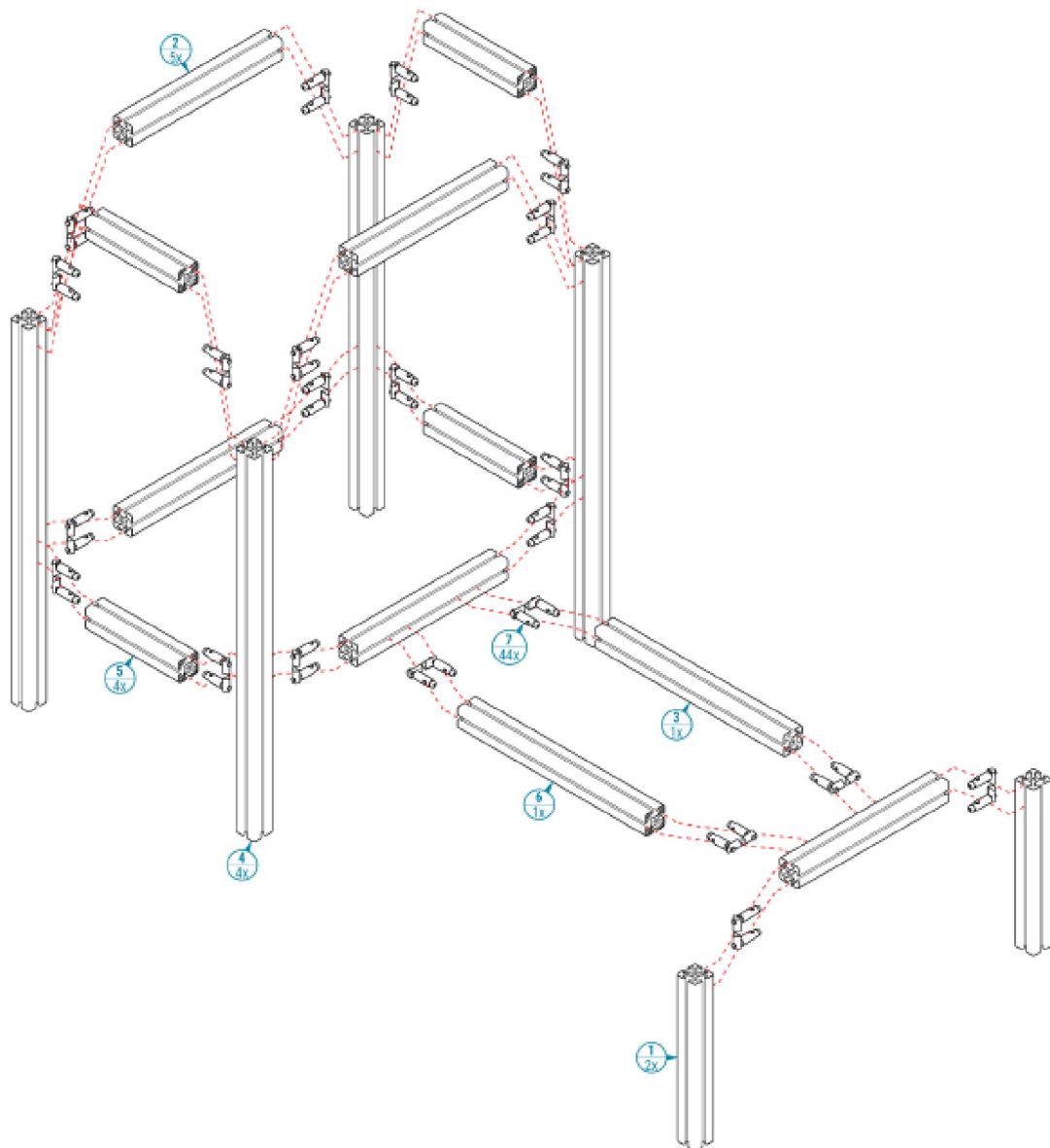
### Uniones ( Todos juntos )



Vista isométrica Conjunto de montaje 1 / 1



Vista en despiece Conjunto de montaje 1 / 1



12  
3x Posición  
Número en la assembly



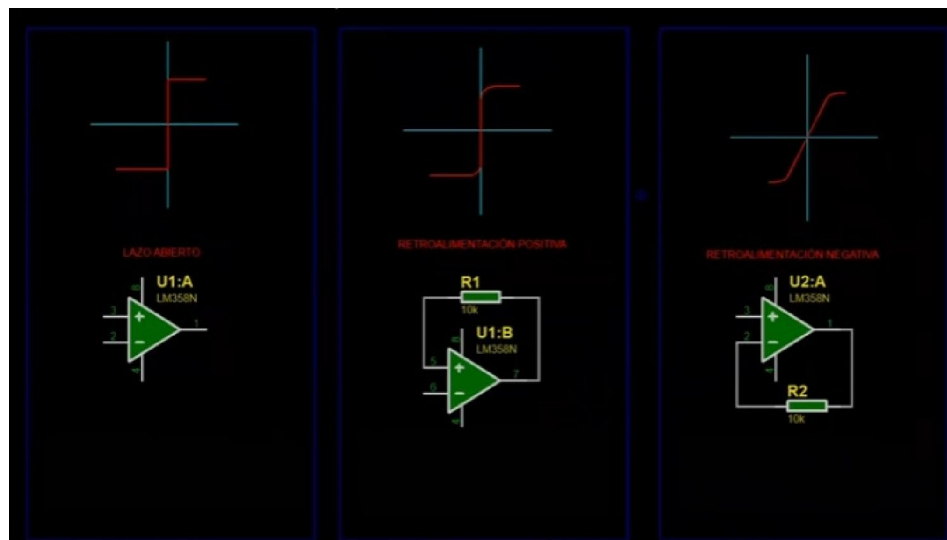
### 3.9 DISEÑO DE LA INTERFAZ

En cuanto a la interfaz del prototipo nos ocupamos de dos tipos de interfaz, la que lleva a cabo la conexión física de los dispositivos y la interfaz de usuario del equipo.

#### 3.9.1 Interfaz electrónica para sensores de presión

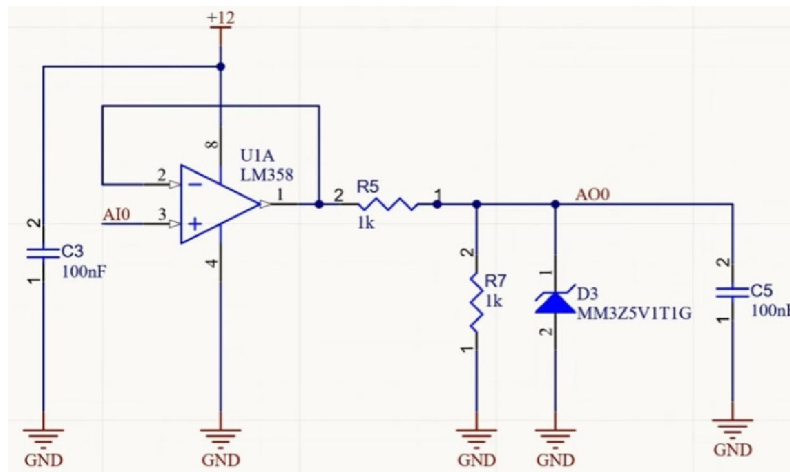
En cuanto a la conexión física de los dispositivos nos encontramos en primer lugar con la señal de salida de los sensores de presión; la cual nos arroja una salida proporcional de 0 a 10 VDC. De acuerdo a los materiales a los que tenemos acceso se realizará la conexión utilizando un circuito atenuador de voltaje de 0-10V a 0-5V para poder introducir dicha señal a un arduino nano y de ahí pasarla al microcontrolador Raspberry por medio de una señal serial.

Para poder acondicionar la señal utilizaremos un circuito con amplificador operacional LM358 para el cual existen tres configuraciones principales: lazo abierto, retroalimentación positiva y retroalimentación negativa mostrando su gráfica de comportamiento en la siguiente figura:



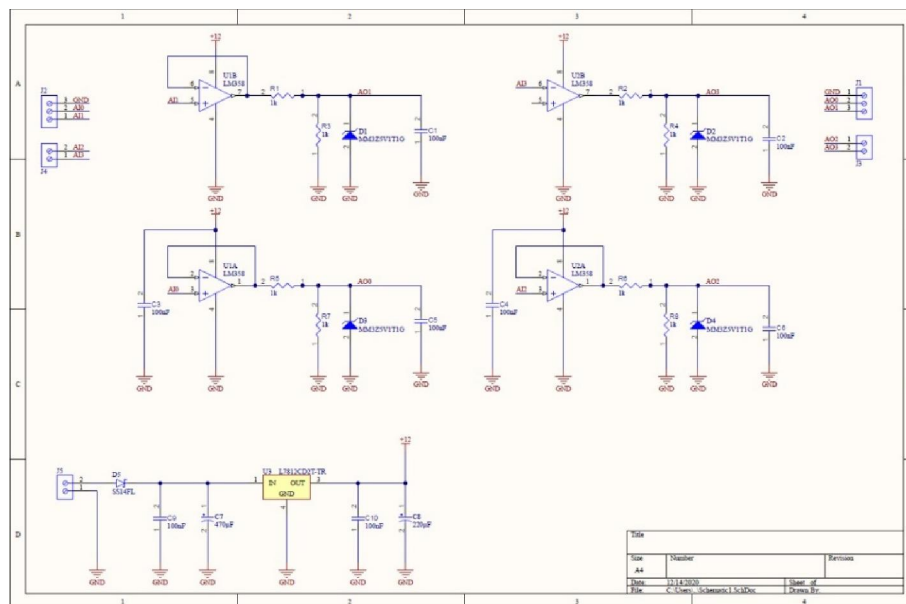
De acuerdo al comportamiento del amplificador utilizaremos la configuración de retroalimentación negativa para que la salida no sea un cambio brusco de señal alta o baja.

El diagrama esquemático del acondicionador de señal quedaría de la siguiente forma:



En el diagrama se puede observar la entrada de nuestra señal 0-10V AI0 al positivo del amplificador operacional; el pin de salida del amplificador se conecta como realimentación a la entrada negativa del mismo y a la salida del amplificador conectamos lo que es el divisor de voltaje, en este caso las resistencias R5 y R7 ambas de 1 K Ohm las cuales al ser del mismo valor dividen entre 2 el voltaje de salida del amplificador. Ahora como una protección para la entrada del microcontrolador colocamos un diodo zener de 5.1 volts que nos asegurará que la salida no sobrepase el voltaje requerido.

Debido a que tenemos 2 sensores se llevará a cabo un circuito con 4 acondicionadores de señal como se observa en el diagrama esquemático siguiente:



Los componentes necesarios para el circuito son los siguientes:

| Categoría     | Cant. | Referencias             | Valor      |
|---------------|-------|-------------------------|------------|
| Condensadores | 1     | C1                      | 220uF      |
| Condensadores | 2     | C2,C4                   | 100nF      |
| Condensadores | 1     | C3                      | 470uF      |
| Condensadores | 6     | C5,C6,C7,C8,C9,C10      | 100nF      |
| Resistencias  | 8     | R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8 | 1k         |
| Integrados    | 1     | U1                      | 7812       |
| Integrados    | 2     | U2,U3                   | LM358N     |
| Diodos        | 1     | D1                      | SS14-TP    |
| Diodos        | 4     | D2,D3,D4,D5             | MM3Z5V1T1G |
| Miscelánea    | 2     | J1,J4                   | TBLOCK-M3  |
| Miscelánea    | 3     | J2,J3,J5                | TBLOCK-M2  |

El circuito acondicionador de señal terminado queda de la siguiente manera:

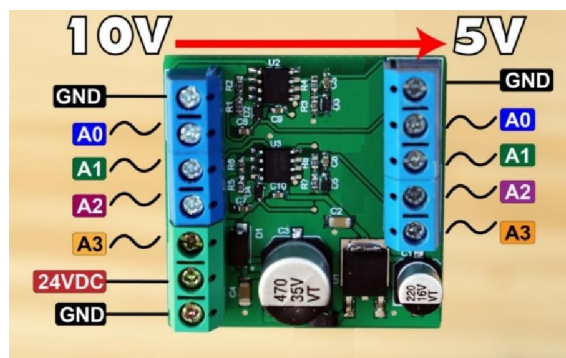


Figura: Placa de circuito acondicionador de señal.

Con este circuito podemos conectar la salida analógica de 0-5V directo al arduino nano al cual solo le conectaremos la tierra y las salidas A0 – A3 a las entradas A0-A3 del arduino.

Y del Arduino nano hacia la Raspberry Pi conectaremos los pines A4 y A5 para una señal I2C.

Se realiza la prueba conectando los pines de Arduino nano A4 (línea de datos I2C), A5 (línea de reloj I2C) y tierra a los pines del header de 40 pines de la raspberry pi GPIO2 (pin 3) y GPIO3 (pin5) y tierra.

**Arduino A4 (SDA) → Raspberry Pi GPIO 2 (pin 3)**

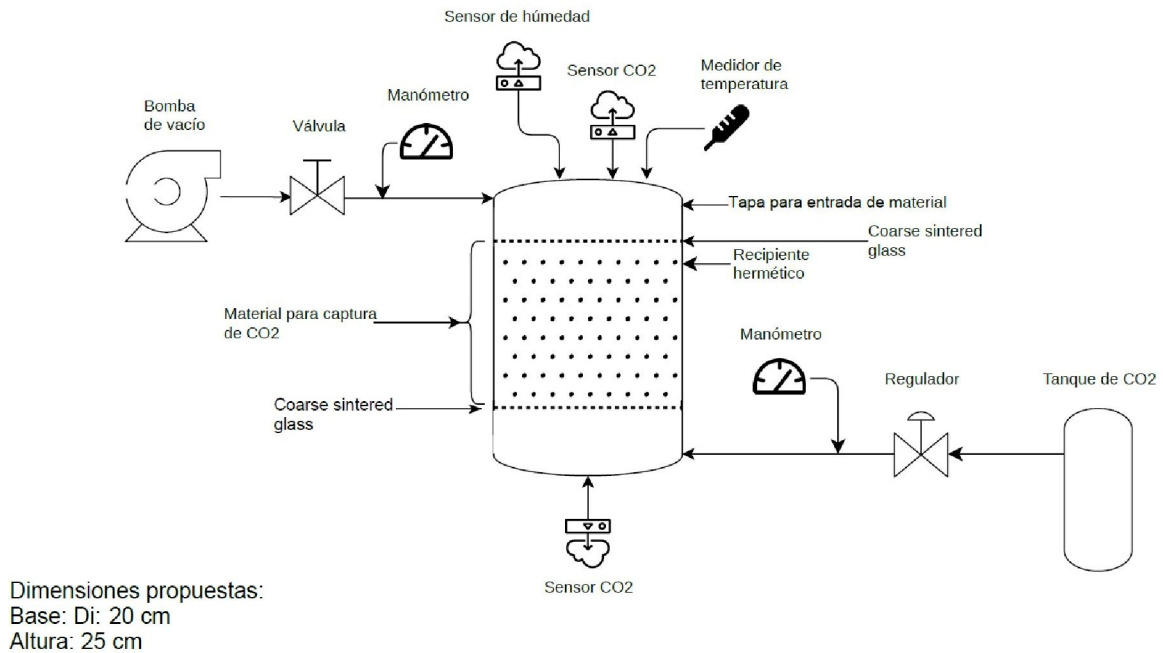
**Arduino A5 (SCL) → Raspberry Pi GPIO 3 (pin 5)**

**Arduino GND → Raspberry Pi GND (pin 6)**

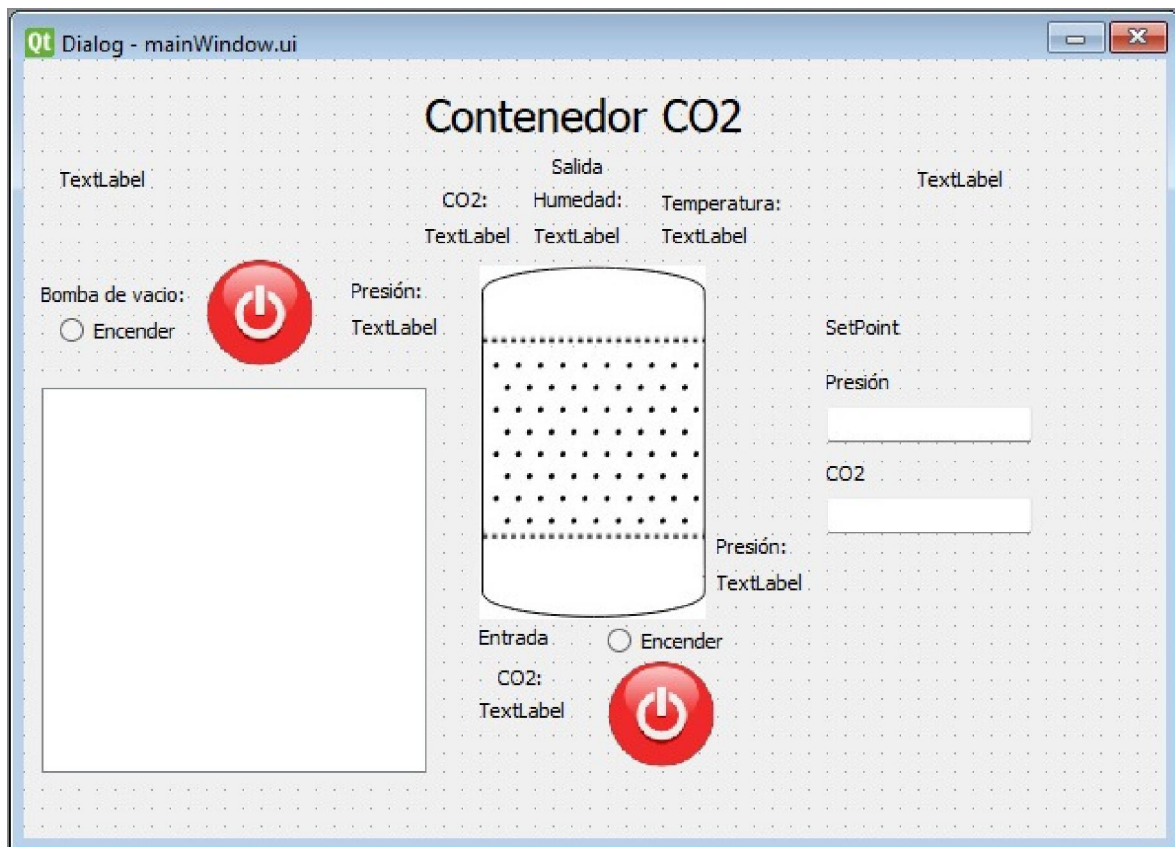
### 3.9.2 INTERFAZ GRÁFICA PARA EL USUARIO.

Para llevar a cabo el diseño de lo que será la interfaz gráfica del equipo tomamos como base el diagrama esquemático del proceso a controlar:

Diagrama esquemático de prototipo para la captura y medición de CO<sub>2</sub>



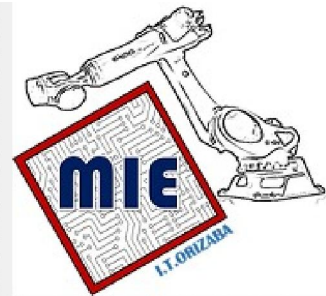
Para hacer que la interfaz sea amigable al usuario se diseñó acorde al diagrama del proceso y en base a los datos que hasta ahora ha proporcionado el usuario del proceso. Se llevó a cabo un primer diseño con los datos básicos:



Se le presentó el diseño al usuario y se llegó a una serie de observaciones que permitieron rediseñar la interfaz agregando algunas imágenes y cambiando el aspecto, quedando de la siguiente manera:



## Contenedor CO2



Bomba de vacío:  
☐ Encender



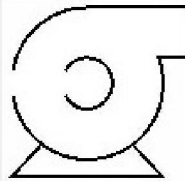
CO2:  
100



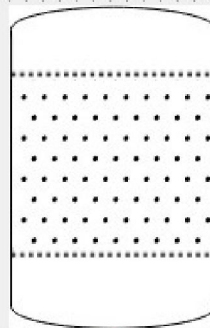
Salida  
Humedad:  
90.83



Temperatura:  
16.84



Presión:  
6.82



Presión:  
7.45

Regulador  
☐ Encender



Entrada



CO2:  
540

### 3.10 DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Una vez definidos los componentes se ensamblan los componentes del prototipo y se generará el código de programación para la Raspberry. Como primer paso se lleva a cabo el ensamble de la estructura de soporte del prototipo en base al diseño de la plataforma ítem. Se muestra en la siguiente figura la estructura real terminada.



Imagen. Estructura de aluminio ensamblada.

Una vez terminada la estructura se coloca el reactor de acero inoxidable al cual ya le fueron instalados los sensores de CO<sub>2</sub> a la entrada en la tapa inferior, el sensor de CO<sub>2</sub> a la salida en la tapa superior junto con el sensor de Humedad y temperatura, así como los conectores Quick connect de entrada y salida para una manguera rígida de 8mm. También se instaló en el interior del reactor el dispositivo de soporte para bio-compuesto y 2 juntas para el sello hermético de las tapas. Se muestra a continuación la imagen de la estructura y el reactor montado:



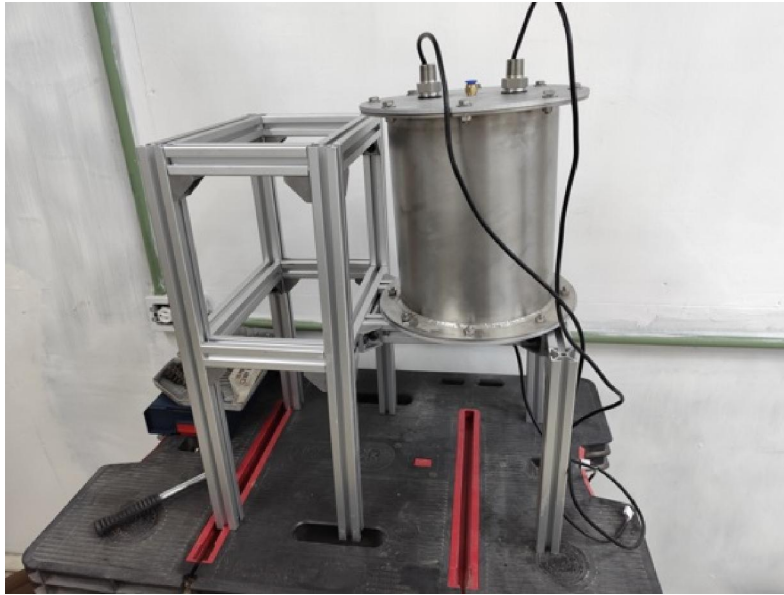


Figura: Reactor montado en estructura de aluminio.

Se cortaron 2 rectángulos de MDF de 6mm como soporte temporal para la bomba de vacío y el microcontrolador con la pantalla. Una vez que se haya validado el diseño los soportes serán cambiados por acrílico o nylamid según las observaciones del usuario considerando los materiales a ser utilizados en la experimentación. Se monta ahora en el espacio a la misma altura que el reactor la bomba considerando el acceso a las conexiones de manguera de aire y alimentación eléctrica, así como el mantenimiento al nivel de aceite de la misma como se muestra en la imagen:



Figura: Estructura con reactor y bomba de vacío.



Se conecta ahora la salida del reactor a la bomba de vacío y el último paso es llevar a cabo la colocación de la electrónica que incluye el microcontrolador, la pantalla, la fuente de alimentación y los relevadores de control de válvula y bomba de salida. Se muestra a continuación el montaje del microcontrolador y la pantalla.



El prototipo terminado para poder llevar a cabo las pruebas de validación del mismo queda como se muestra a continuación:



Figura: Prototipo terminado.

### 3.11 CODIGOS DE PROGRAMACIÓN

Para poder hacer que el microcontrolador lleve a cabo la lectura de las variables con los sensores y que controle los actuadores es necesario llevar a cabo la programación del mismo, se llevaron a cabo una serie de programas por separado que posteriormente se unirían para formar el programa de control completo.

Iniciamos con el código para el microcontrolador Arduino Nano que trabajará como esclavo del Raspberry Pi para el acondicionamiento de la señal de los dos sensores de presión. El código queda de la siguiente manera:

```
#include <Wire.h>

// Dirección I2C del Arduino (esclavo)
#define SLAVE_ADDR 0x08

// Variables para lecturas analógicas
int sensor1 = 0;
int sensor2 = 0;

void setup() {
    Wire.begin(SLAVE_ADDR);    // Inicia Arduino como esclavo I2C
    Wire.onRequest(requestEvent); // Función cuando el maestro solicita datos
}

void loop() {
    // Lee sensores analógicos
    sensor1 = analogRead(A2);
    sensor2 = analogRead(A3);
    delay(100); // Pequeño retardo para estabilidad
}

void requestEvent() {
    // Convertimos los valores a 2 bytes cada uno (MSB, LSB)
    byte data[4];
    data[0] = highByte(sensor1);
    data[1] = lowByte(sensor1);
    data[2] = highByte(sensor2);
    data[3] = lowByte(sensor2);
}
```

```
// Enviamos los 4 bytes al maestro (Raspberry Pi)

Wire.write(data, 4);

}
```

Con éste código el Arduino Nano actúa como esclavo I<sup>2</sup>C en la dirección 0x08; cada vez que la Raspberry Pi (maestro) solicite datos, el Arduino leerá los valores analógicos de A2 y A3 (0–1023 → 0–5 V) y enviará 4 bytes: dos por cada sensor (alta y baja del valor ADC).

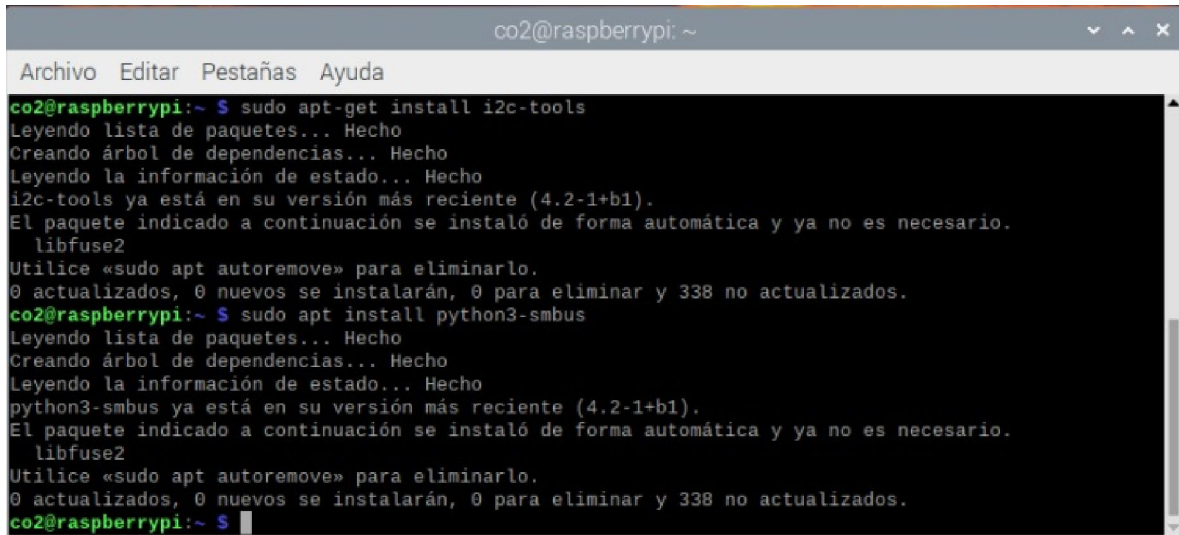
Ahora para la Raspberry Pi la solicitud de los datos al Arduino Nano sería de la siguiente manera:

```
import smbus2
import time

I2C_ADDR = 0x08
bus = smbus2.SMBus(1)

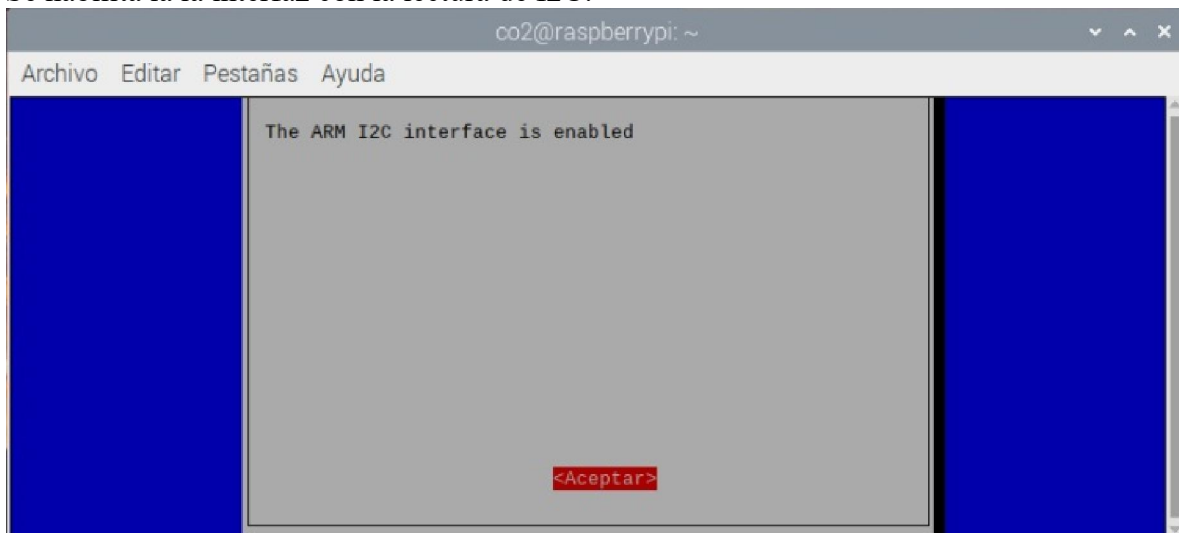
while True:
    data = bus.read_i2c_block_data(I2C_ADDR, 0, 4)
    sensor1 = (data[0] << 8) | data[1]
    sensor2 = (data[2] << 8) | data[3]
    print(f"Sensor1: {sensor1}, Sensor2: {sensor2}")
    time.sleep(1)
```

El programa para los sensores de humedad, temperatura y Co2 es similar; en primer lugar se realiza la instalación de drivers de los sensores.



```
co2@raspberrypi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
co2@raspberrypi:~$ sudo apt-get install i2c-tools  
Leyendo lista de paquetes... Hecho  
Creando árbol de dependencias... Hecho  
Leyendo la información de estado... Hecho  
i2c-tools ya está en su versión más reciente (4.2-1+b1).  
El paquete indicado a continuación se instaló de forma automática y ya no es necesario.  
  libfuse2  
Utilice «sudo apt autoremove» para eliminarlo.  
0 actualizados, 0 nuevos se instalarán, 0 para eliminar y 338 no actualizados.  
co2@raspberrypi:~$ sudo apt install python3-smbus  
Leyendo lista de paquetes... Hecho  
Creando árbol de dependencias... Hecho  
Leyendo la información de estado... Hecho  
python3-smbus ya está en su versión más reciente (4.2-1+b1).  
El paquete indicado a continuación se instaló de forma automática y ya no es necesario.  
  libfuse2  
Utilice «sudo apt autoremove» para eliminarlo.  
0 actualizados, 0 nuevos se instalarán, 0 para eliminar y 338 no actualizados.  
co2@raspberrypi:~$
```

Se habilita la la interfaz con la lectura de I2C:



Se ingresa el código para probar la lectura de un sensor:

```
co2@raspberrypi: ~/Raspberry-Pi-sample-code
Archivo  Editar  Pestañas  Ayuda

70: -- -- -- -- --
co2@raspberrypi:~ $ sudo i2cdetect -y 1
    0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00: -- -- -- -- --
10: -- -- -- -- --
20: -- -- -- -- --
30: -- -- -- -- --
40: -- -- -- -- --
50: -- -- -- -- --
60: -- -- -- -- -- 69 -- -- -- -- --
70: -- -- -- -- --

co2@raspberrypi:~ $ cd ~/Raspberry-Pi-sample-code
co2@raspberrypi:~/Raspberry-Pi-sample-code $ sudo python i2c.py

>> Atlas Scientific I2C sample code
>> Any commands entered are passed to the default target device via I2C except:
- Help
  brings up this menu
- List
  lists the available I2C circuits.
  the --> indicates the target device that will receive individual commands
- xxx:[command]
  sends the command to the device at I2C address xxx
  and sets future communications to that address
  Ex: "102:status" will send the command status to address 102
- all:[command]
  sends the command to all devices
- Poll[,x.xx]
  command continuously polls all devices
  the optional argument [,x.xx] lets you set a polling time
  where x.xx is greater than the minimum 1.50 second timeout.
  by default it will poll every 1.50 seconds
>> Pressing ctrl-c will stop the polling

--> C02 105
>> Enter command: list
--> C02 105
>> Enter command: List
--> C02 105
>> Enter command: 
```

Y como se puede ver en la imagen se comprueba la lectura de los datos del sensor. Se modifica el código para la lectura de múltiples sensores agregando sus direcciones lógicas:

```
-----press ctrl-c to stop the polling
Success C02 101 : 251
Success C02 105 : 516
Success HUM 111 : 60.51
-----press ctrl-c to stop the polling
Success C02 101 : 251
Success C02 105 : 516
Success HUM 111 : 60.52
-----press ctrl-c to stop the polling
Success C02 101 : 251
Success C02 105 : 516
Success HUM 111 : 60.50
-----press ctrl-c to stop the polling
Success C02 101 : 250
Success C02 105 : 515
Success HUM 111 : 60.49
-----press ctrl-c to stop the polling
Success C02 101 : 249
Success C02 105 : 514
Success HUM 111 : 60.46
-----press ctrl-c to stop the polling
```

## 4 RESULTADOS

La interfaz del usuario con la programación diseñada muestra en pantalla la lectura de los sensores de CO<sub>2</sub> de entrada y salida, el porcentaje de humedad relativa, la temperatura y los dos sensores de presión. Permite también controlar la presión de entrada asignando un valor a la casilla correspondiente y controla la válvula de salida de gas y el encendido/apagado de la bomba de vacío de forma manual y adicionalmente se incluye en la programación una rutina que permite al usuario configurar el encendido y apagado de la bomba de vacío y la apertura de la válvula de salida acorde a un rango de valores asignados a una las 4 variables monitoreadas o a la condición en conjunto de dos de ellas. Por lo anterior el diseño cumple con requerido por el usuario del sistema. Queda pendiente la experimentación del proceso para que pudieran realizarse mejoras al sistema de monitoreo y control diseñado.



## Referencias

- Abanades, J. &. (2015). CO<sub>2</sub> Capture technology at high scale - Spanish (Captura CO<sub>2</sub>: tecnologías para una captación a gran escala).
- Alonso, R. (2025, Octubre 7). *Raspberry Pi vs Arduino, ¿en qué se diferencian y para qué se usan?* Retrieved from Hardzone: <https://hardzone.es/reportajes/comparativas/raspberry-pi-vs-arduino/>
- Amaya Orozco, N. A. (2021). Automatización de un fotobiorreactor airlift para la disminución en la concentración de CO<sub>2</sub> proveniente de una emisión obtenida por pirolisis de biomasa lignocelulósica. *Fundación Universidad de América*, Trabajo de grado.
- BBC News Mundo. (2021). Los graficos que muestran que mas del 50% de las emisiones de CO<sub>2</sub> ocurrieron en los ultimos 30 años. *BBC News*.
- Chen, P. C. (2019). Optimization in the Stripping Process of CO<sub>2</sub> Gas Using Mixed Amines. *Energies*, 12(11) <https://doi.org/10.3390/en12112202>.
- Chocho Cabrera, A. (2019). Diseño a escala laboratorio de un reactor para la obtención de BioDME a partir de CO<sub>2</sub>. *Repositorio institucional*, <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/17152>.
- Córdoba Fernández, C. (2021). Desarrollo de adsorbentes de CO<sub>2</sub> sostenibles a partir de residuos de la industria alimentaria. *Universidad de Oviedo*, Trabajo de fin de máster.
- Dalian Oriental Display Co., Ltd. (n.d.). *Mejor salida de pantalla LCD Raspberry Pi*. Retrieved from Dalian Oriental Display Co., Ltd.: <https://www.ed-lcd.com/es/best-raspberry-pi-lcd-screen-exit/>
- Determinar la evolución de la ingeniería de sistemas de medición de niveles de co<sub>2</sub> en relación con los niveles de dióxido de carbono en zonas estratégicas de la ciudad de pasaje en los años 2023-2025. (2024). *Ciencia Latina*, Vol. 8 Num. 4.
- Dubey, R., Telles, A., Nikkel, J., Cao, C., Gewirtzman, J., Raymond, P., & Lee, X. (2024). Low-Cost CO<sub>2</sub> NDIR Sensors: Performance Evaluation and Calibration Using Machine Learning Techniques. *Sensors*, 24, 5675. <https://doi.org/10.3390/s24175675>.
- Esade. (2020, Octubre 14). Tecnologías para la transición energética: Captura directa de aire. *Esade*.
- Esade. (2025, septiembre 12). El papel y los limites de la captura directa de carbono en la transición energética. *Do Better by Esade*.
- Forbes Staff. (2023). *Forbes*. Retrieved from Forbes: <https://forbes.com.mx/asi-es-como-las-energias-limpias-ayudaron-a-frenar-el-crecimiento-de-emisiones-de-co2-en-2023/>
- Gd-Admin, &. G.-A. (2023, Febrero 14). *How to Choose A Good Temperature and Humidity Sensor?* Retrieved from Hengko: <https://www.hengko.com/es/news/how-to-choose-a-good-temperature-and-humidity-sensor/>
- Greenfacts. (2008). *Captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>*. Greenfacts.

- Lezcano, J. F. (2025). Estado actual y futuro de las medidas para la mitigación del cambio climático. *TERys*, 199 208 <https://doi.org/10.56845/terys.v4i1.516>.
- Naciones Unidas Mexico. (2023). *Estado de la poblacion mundial 2023: 8.000 millones de vidas, infinitas posibilidades*. Naciones Unidas.
- Navas-Ciendúa, M. A. (2022). Estudio sobre los diferentes métodos de captura de CO<sub>2</sub> y aplicaciones de la descarga luminiscente anormal. *Revista Habitus: Semilleros de investigación*, 2(4), e13647. <https://doi.org/10.19053/22158391.13647>.
- Ochoa-Garfías, A. &.-B.-G.-Á. (2024). Captura, almacenamiento y conversión de CO<sub>2</sub>: nuevas técnicas de reducción. *PÁDI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 1-8. 10.29057/icbi.v11i22.11056.
- Pneumatic. (2025, Marzo 3). *La guía definitiva sobre reguladores electroneumáticos (ITV): cómo funcionan y 6 características que debe conocer - 百灵Pneumatic*. Retrieved from Blpneumatic: <https://www.blpneumatic.com/es/news/how-electro-pneumatic-regulators-work/>
- Radar Energético. (2023). Los combustibles fosiles aun representan el 82% del consumo mundial de energia primaria. *Radar Energético*.
- Smith, G. M. (2025, Marzo 4). *¿Qué es un sensor y qué hace? Soluciones de Adquisición de Datos (DAQ)*. Retrieved from Dewesoft: <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-sensor>
- Vega, C. &.-F. (2012). Los sensores químicos y su utilidad en el control de gases contaminantes. *Revista de Ingeniería UC.*, 19. 74-88.
- Winson. (n.d.). *Sensores industriales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): herramientas fundamentales para garantizar la seguridad y la eficiencia en entornos industriales*. Retrieved from Winsen-sensor: <https://es.winsen-sensor.com/knowledge/industrial-co2-sensors.html?campaignid>