

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño de un Sistema de Control de Parámetros de Operación del Reactor  
de digestión anaeróbica del CDTs

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Reinoso Tigre José Israel

Rosero Albuja Luis Antonio

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mis padres, por apoyo incondicional que me han brindado para llegar a este momento tan importante.

Al CDTS para que con este proyecto pueda seguir desarrollando más investigaciones acerca del tema.

Al club Robota para motivarlos a realizar investigaciones sobre estos temas.

### **José Reinoso Tigre**

Dedico este trabajo a mis padres por todo el apoyo que me han brindado desde siempre.

A todo el esfuerzo y dedicación que me ha costado y a los futuros ingenieros, que pueda servir como experiencia e inspiración.

### **Luis Rosero Albuja**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante.

A mis padres Por su apoyo incondicional para culminar mi carrera universitaria.

Al PhD Juan Manuel Peralta y al Ing. Edgar Vela por su colaboración para la elaboración de este documento.

### **José Reinoso Tigre**

Agradezco a Dios porque me ha brindado la fuerza y la sabiduría para llegar hasta este punto.

A mis padres por su infinito apoyo y ánimo.

Al PhD Juan Manuel Peralta y al Ing. Edgar Vela que aportaron en la elaboración de este trabajo.

### **Luis Rosero Albuja**

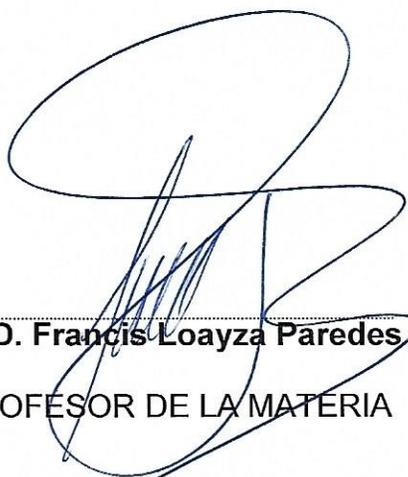
## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; José Reinoso Tigre y Luis Rosero Albuja damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

  
José Reinoso Tigre

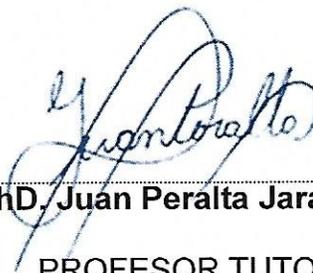
  
Luis Rosero Albuja

## EVALUADORES



PhD. Francis Loayza Paredes

PROFESOR DE LA MATERIA



PhD. Juan Peralta Jaramillo

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La biomasa es un tipo de energía renovable con un gran potencial de desarrollo ya que es capaz de generar combustible con un elevado poder calorífico de forma económica. Bajo esta premisa, el Centro de Desarrollo de Tecnología Sustentable (CDTS) de la Universidad Politécnica del Litoral (ESPOL) ha planteado el desarrollo de una unidad de biodigestión de bajo costo para la producción de biogás, en un trabajo anterior se adaptó un antiguo autoclave para que pueda realizar el proceso de biodigestión. Actualmente este proyecto se basa en el diseño de un sistema de control capaz de registrar los parámetros de operación del equipo antes mencionado para posteriormente poder mejorar la eficiencia del proceso biológico.

Por medio del proceso de diseño se elaboró el prototipo de un sistema de control para la unidad experimental de biodigestión del CDTS, el cual debía ser capaz de medir las condiciones internas del equipo como lo son: temperatura de mezcla líquida, temperatura de ambiente gaseoso, humedad y pH; y también, el nivel de concentración de gas metano, ácido sulfhídrico y monóxido de carbono del biogás producido, para adquirir toda la información de manera automática y poder realizar gráficas temporales. Finalmente, mediante una tarjeta Arduino MEGA controlamos válvulas solenoides en función del flujo volumétrico, para medir niveles de concentración, por otro lado, se controla, una bomba periférica de agua en función de la temperatura de la mezcla líquida para recircularla y medir las condiciones internas del tanque. Todo sensor fue debidamente calibrado.

**Palabras Clave:** Biodigestor, Biomasa, Biogás, Arduino.

## **ABSTRACT**

*Biomass is a kind of renewable energy with a good development potential since it can generate fuel with a high calorific value economically. Under this premise, the ESPOL's Sustainable Technology Development Center (CDTS) has proposed the development of a low-cost biodigestion unit for the biogas production, in a past work an old autoclave was adapted so you can perform the biodigestion process. Currently, this project is based on the design of a control system capable of recording the operation parameters of the equipment to subsequently improve the efficiency of the biological process.*

*Through the design process, the prototype of a control system for the experimental biodigestion unit of the CDTS was elaborated, which should be able to measure the internal conditions of the equipment, such as: liquid mixing temperature, gaseous environment temperature, humidity and pH; and also, the concentration level of methane gas, hydrogen sulfide and carbon monoxide from the biogas produced, to acquire all the information automatically and be able to make temporary graphs. Finally, through an Arduino MEGA we controlled solenoid valves based on the biogas volumetric flow, to measure concentration levels, in other hand is controlled a peripheral water pump as a function of the temperature of the liquid mixture to recirculate for internal conditions measures. All sensors were properly calibrated.*

**Keywords:** *Biodigester, Biomass, Biogas, Arduino.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
ÍNDICE DE PLANO .....	IX
CAPÍTULO 1 .....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación del proyecto .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco Teórico .....	2
CAPÍTULO 2 .....	8
2. Metodología .....	8
2.1 Sistema de medición de gases.....	10
2.2 Sistema de medición de condiciones internas del biodigestor .....	16
2.3 Calibración .....	21
2.3.1 Sensor de <i>pH</i> .....	22
2.3.2 Sensor de flujo volumétrico.....	23
2.3.3 Sensores de concentración de gases .....	24
2.3.4 Termocuplas sumergibles .....	25

CAPÍTULO 3 .....	26
3. Resultados Y Análisis .....	26
3.1 Sistema de medición de gases .....	26
3.2 Sistema de medición de condiciones internas .....	31
3.3 Sistema electrónico .....	35
3.4 Análisis de costos.....	37
CAPÍTULO 4 .....	39
4. Conclusiones Y Recomendaciones .....	39
4.1 Conclusiones.....	39
4.2 Recomendaciones.....	41
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CDTS	Centro de desarrollo tecnológico sustentable
GNU	General Public License
HRT	Tiempo de retención hidráulica
ORP	Potencial de reducción de la oxidación
RMSE	Error cuadrático medio
INEM	Instituto nacional de normalización
BIAS	Error Sistemático
PWM	Salida Analógica
UART	Puertos serie de Hardware
ICSP	Programación serial en circuito
PVC	Policloruro de Vinilo
PPM	Partículas por millón
Gnd	Toma de tierra
Vcc	Fuente de alimentación
UBEC	Circuito eliminador de batería

## SIMBOLOGÍA

mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo
Re	Numero de Reynolds
<i>le</i>	Longitud de entrada
Q	Flujo volumétrico
D	Diámetro interior del conducto
Vrms	Voltaje eficaz
Irms	Corriente eficaz
$\rho$	Densidad del fluido
$\mu$	Viscosidad dinámica
H	Altura
<i>v</i>	Velocidad
<i>f</i>	Factor de fricción
Rs	Sensor de resistencia de aire limpio
Ro	Sensor de resistencia a varias concentraciones de gas

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Tasa de crecimiento de microorganismos psicrófilos, mesofílicos y termofílicos. (Speece, 1996).....	5
Figura 2.1. Configuración de subsistema para medición de gases .....	11
Figura 2.2. Medición de flujo mediante flujómetro magnético .....	13
Figura 2.3. Medición de flujo mediante placa orificio .....	13
Figura 2.4. Configuración sin medidor de flujo.....	14
Figura 2.5. Apariencia final del sistema de medición de niveles de gases.....	16
Figura 2.6. Boceto de ubicación de sensores para medición de condiciones internas..	17
Figura 2.7. Apariencia final de sistema de recirculación de agua .....	21
Figura 3.1. Secciones conocidas donde se mide concentración de gases. ....	28
Figura 3.2. Concentración de monóxido de carbono vs Rs/Ro. (Matlab). ....	29
Figura 3.3. Concentración de ácido sulfhídrico vs Rs/Ro. (Matlab).....	30
Figura 3.4. concentración de gas metano vs Rs/Ro. (Matlab). ....	30
Figura 3.5. pH instrumento calibrado vs Voltaje de sensor. (Matlab). ....	33
Figura 3.6. Temperatura teórica vs temperatura experimental 0. (Matlab).....	34
Figura 3.7. Temperatura teórica vs temperatura experimental 1. (Matlab).....	34
Figura 3.8. Configuración de conexiones que conforman el sistema electrónico del diseño. (Fritzing).....	36
Figura 5.1. Diagrama de flujo de sistema de medición de gases .....	50
Figura 5.2. Diagrama de flujo de sistema de medición de condiciones internas .....	51
Figura 5.3. Válvula solenoide implementada .....	55
Figura 5.4. Dimensiones de sensor de pH.....	67
Figura 5.5. Sensor de pH .....	67
Figura 5.6. Calibración de sensor de pH .....	69
Figura 5.7. Solución patrón de nivel de pH.....	70
Figura 5.8. Calibración de flujómetro .....	70
Figura 5.9. Calibración de temperatura .....	71
Figura 5.10. Configuración de sistema de medición de gases.....	71
Figura 5.11. Biodigestor con sistema de control montado .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Condiciones de operación para una buena producción de metano. (Gerardi, 2003).....	4
Tabla 1.2. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica. (Lagrange, 1979).....	6
Tabla 2.1. Sensores seleccionados para monitoreo del sistema .....	9
Tabla 2.2. Simbología utilizada en gráficos de procesos .....	12
Tabla 2.3. Matriz de decisión para método de cálculo de tiempo de muestreo .....	14
Tabla 3.1. Comparación de turbulencia a la salida del tanque para diferentes parámetros .....	27
Tabla 3.2. Detalle de costos .....	37
Tabla 5.1. Viscosidad y densidad del aire a 1[atm]. (White, 2008).....	46
Tabla 5.2. Densidad y viscosidad del agua a 1 [atm].....	47
Tabla 5.3. Rugosidad para materiales comerciales. (White, 2008). .....	48
Tabla 5.4. Coeficiente de pérdidas por accesorios .....	49
Tabla 5.5. Datos de calibración de sensor de pH .....	52
Tabla 5.6. Datos de calibración MQ-4 .....	53
Tabla 5.7. Datos de calibración MQ-7 .....	53
Tabla 5.8. Datos de calibración MQ-136 .....	54
Tabla 5.9. Puertos de conexión digital.....	67
Tabla 5.10. Puertos de conexión analógica.....	68

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1. Sistema de medición de gases.....	74
Plano 2. Sistema de medición de condiciones internas .....	75
Plano 3. Sonda de condiciones internas del biodigestor.....	76

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

El Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) cuenta con una unidad experimental de digestión anaeróbica para la producción de bioenergía, la cual al momento solo cuenta con medidores carátula de presión y temperatura. Un punto importante para la operación y optimización de la generación de biogás es lograr el control en tiempo real de los parámetros físicos y químicos como lo son temperatura, humedad y  $pH$ , entre otros, los cuales permiten determinar el comportamiento del sistema biológico y establecer procedimientos de operación.

### 1.2 Justificación del proyecto

Actualmente la unidad experimental de biodigestión del CDTS no cuenta con la instrumentación adecuada para monitorear los parámetros físicos y químicos de su sistema biológico, los cuales afectan directamente la composición del biogás y no permite optimizar el proceso de biodigestión. En vista de que los costos de sistemas de control y monitoreo son elevados en el mercado, generalmente los equipos biodigestores carecen de ellos y difícilmente se aprovecha toda su capacidad. Por esta razón se plantea el proyecto de diseñar un sistema de control capaz de monitorear los parámetros fundamentales del biogás generado, adicionalmente se utilizará un microcontrolador Arduino MEGA (Arduino, 2005) y su correspondiente software para programar el sistema de medición, almacenamiento e importación datos para luego poder procesarlos en Matlab (Mathworks, 2017), y de esta manera determinar las condiciones necesarias para optimizar el proceso de producción de biogás.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de control de las variables de operación para la unidad experimental de Biodigestión del CDTS.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- 1.3.2.1 Diseñar el sistema de registro de los datos de temperatura, humedad y  $pH$ , obtenidos dentro del reactor de digestión anaeróbica
- 1.3.2.2 Diseñar el sistema de registro de los niveles de gas sulfhídrico, monóxido de carbono, metano y flujo de gases en la salida del reactor de digestión anaeróbica.
- 1.3.2.3 Desarrollar el sistema de adquisición de datos programando con Arduino basado en comunicación serial, para las variables de operación mínimas de la unidad de biodigestión y luego representar el resultado por medio de Matlab.

## **1.4 Marco Teórico**

En el año 2016 el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable planteó el proyecto de desarrollar una unidad de biodigestión, esto se logró por medio del trabajo final de graduación realizado por los ingenieros Durazno y Cabrera (2016). Como resultado se obtuvo un equipo biodigestor tipo batch o discontinuo a partir de la estructura de una autoclave fuera de servicio, con un volumen de  $0,45[m^3]$  este equipo opera con temperatura entre los 25 y 60[°C] y trabaja con una presión que va desde 2 hasta 8[psi]. Actualmente, se planteó un proyecto con la finalidad de integrar un sistema de control en este equipo, capaz de medir la concentración de los componentes principales del gas resultante y otros parámetros indispensables para mejorar la eficiencia del equipo. A continuación, se presentará información teórica importante para ofrecer una mejor comprensión del contenido de este documento.

La digestión anaeróbica es un proceso biológico por el cual se transforman los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales o vegetales) en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con presencia de otros elementos, este proceso de descomposición es realizado por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores. En la digestión anaeróbica más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en el crecimiento bacteriano frente a un 50% consumido en el proceso aerobio. (Acosta & Obaya, 2005)

En la digestión anaeróbica, las bacterias metanogénicas desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás al abandonar el sistema. Sin embargo, los diferentes componentes del biogás pueden complicar el manejo y aprovechamiento de este.

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable. Un biodigestor es un sistema diseñado para proporcionar un medio ambiente interno controlado y garantizar el crecimiento y desarrollo de microorganismos que realizan funciones metabólicas, con la finalidad de generar biogás.

Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos: vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. Por ejemplo, el uso más común del biogás en Alemania es para convertir el gas crudo en electricidad (Rohstoffe, 2010). Esta aplicación involucra el uso de un motor de combustión interna para impulsar un generador de electricidad, otras aplicaciones involucran

microturbinas de gas, celdas de combustible e incluso motores Stirling. Para que todo esto sea posible es muy importante que el biogás sea de muy buena calidad para así obtener una combustión adecuada, esto va a depender mucho de su composición y de las condiciones críticas de su proceso.

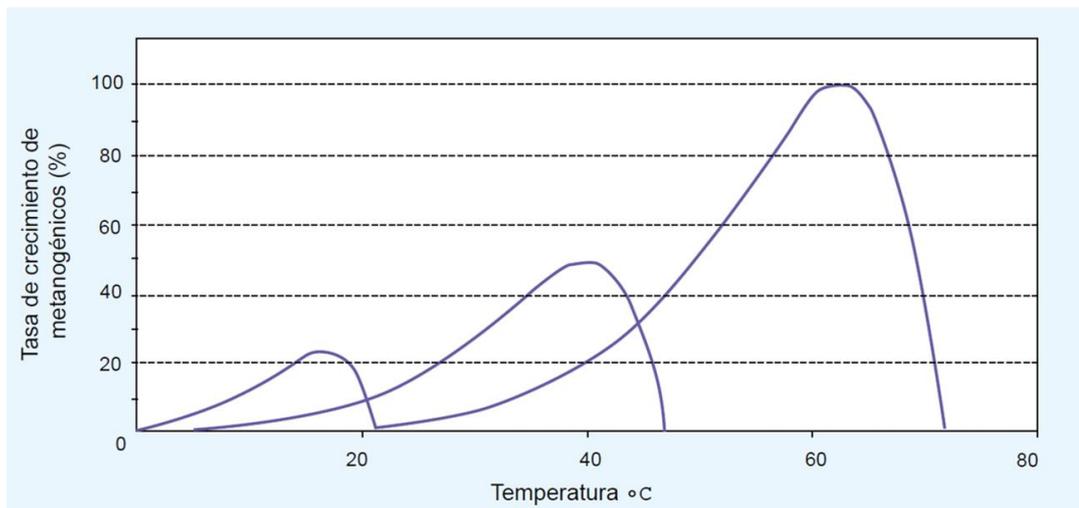
Las bacterias productoras de metano son estrictamente anaerobias y extremadamente sensibles a los cambios en la alcalinidad, el *pH* y la temperatura. Por lo tanto, las condiciones operacionales en el digestor deben monitorearse periódicamente y mantenerse dentro de rangos óptimos. Además de la alcalinidad, el *pH* y la temperatura, se deben controlar y mantener otras condiciones de funcionamiento dentro de intervalos óptimos para una actividad aceptable de las bacterias que forman metano. Estas condiciones son la composición del gas, el tiempo de retención hidráulica (HRT), el potencial de reducción de la oxidación (ORP) y la concentración de ácido volátil.

**Tabla 1.1 Condiciones de operación para una buena producción de metano. (Gerardi, 2003).**

Condición	Optimo
Alcalinidad, [mg/l] como CaCo3	1500 – 3000
<u>Composición del gas</u>	
Metano, % volumen	65 – 70
Dióxido de Carbono, % volumen	30 – 35
Tiempo de retención hidráulica, días	10 – 15
pH	6.8 – 7.2
Temperatura mesofílica, [°C]	30 – 35
Temperatura termofílica, [°C]	50 – 56
Ácidos volátiles, [mg/l] como ácido acético	50 – 500

La temperatura es un factor principal, influye en la actividad microbiana dentro de un biodigestor anaeróbico afectando al desempeño digestivo global. Tomando en cuenta que la producción de metano es fuertemente dependiente de la eficiencia del proceso biológico, debemos tener muy en cuenta que las fluctuaciones en la temperatura afectaran la actividad de las bacterias productoras de metano a un rango mayor que la temperatura de trabajo. La

mayoría de las bacterias productoras de metano son activas en tres rangos de temperatura, estos rangos son el rango de microorganismos anaeróbicos psicrófilos por debajo de 25[°C], mesófilos de 25 a 45[°C] y termófilos de 45 a 60[°C], a temperaturas entre 40 y 50[°C], las bacterias productoras de metano son inhibidas, mientras que la acción digestiva se debilita cerca a los 45[°C] ya que esto representa la transición de organismos mesofílicos a termofílicos. (Rohstoffe, 2010).



**Figura 1.1 Tasa de crecimiento de microorganismos psicrófilos, mesofílicos y termofílicos. (Speece, 1996)**

La temperatura también influye en las bacterias productoras de ácidos, nos podemos encontrar con fluctuaciones de temperatura en donde, un incremento de 10[°C] puede detener la producción de metano durante un plazo de 12 horas, pero consecuentemente aumenta la producción de ácidos volátiles. La influencia en el comportamiento de las bacterias productoras de ácidos produce cambios en la cantidad de ácidos orgánicos y alcohol producidos durante la fermentación. (Gerardi, 2003).

Tabla 1.2 Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica. (Lagrange, 1979).

<b>Fermentación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Tiempo de fermentación</b>
<i>Psycrophilica</i>	4-10[°C]	15-18[°C]	20-25[°C]	Sobre 100 días
<i>Mesophilica</i>	15-20[°C]	25-35[°C]	35-45[°C]	30-60 días
<i>Thermophilica</i>	25-45[°C]	50-60[°C]	75-80[°C]	10-15 días

El pH también tiene un papel importante durante la producción de biogás, es necesario alcanzar la suficiente alcalinidad para mantener un adecuado control del proceso. La actividad enzimática la cual representa el desempeño digestivo es influenciada directamente por el nivel de pH, es aceptable mantenernos por encima de 5.0[pH] para obtener un comportamiento aceptable por parte de las bacterias productoras de ácidos, pero también debemos mantener un nivel por debajo de 6.2[pH] para que las bacterias productoras de metano tengan la actividad enzimática requerida. Es necesario mantener los rangos correspondientes para obtener un funcionamiento adecuado y lograr aprovechar el sustrato de la mejor manera. En un biodigestor anaeróbico el pH es significativamente afectado por el contenido de dióxido de carbono del biogás, se mantiene estable mediante una alcalinidad alta. (Moreno, 2011).

Como ejemplo de desarrollo tecnológico podemos citar el trabajo realizado en la Universidad Autónoma de Querétaro, se realizó como proyecto de grado un biodigestor modular de estructura flexible con reciclado de lodos a pequeña escala, en donde se diseñó un sistema de control basado en los parámetros de temperatura y pH del biodigestor. A pesar de que se trata de un equipo que trabaja de manera continua, el proceso de fermentación es básicamente el mismo, en este caso se utiliza controladores difusos de temperatura en un microcontrolador (DsPIC30f4011) para programar la operación del sistema, y también contó con una interfaz gráfica la cual recibe información mediante comunicación USB. Como conclusión de este proyecto se enuncia que la temperatura es un parámetro fundamental en la calidad del

biogás y debe ser monitoreada en cada fase del proceso de biodigestión.  
(Aguilar, 2013).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En base a la información presentada en el capítulo anterior, se realizó el diseño de un sistema de control con capacidad de monitorear en tiempo real las variables fundamentales del proceso de generación de biogás, con el objetivo de mejorar su calidad. Se atendió a los requerimientos de diseño y las posibilidades de implementación, y a partir de ello se propusieron diferentes alternativas para el desarrollo de una solución viable.

En primer lugar, se identificaron las variables asociadas al proceso de generación el biogás y su grado de influencia en la calidad final del producto. Luego de esto se seleccionaron las variables que afectan significativamente al gas producido como lo son la temperatura, la humedad y el nivel de *pH*. De acuerdo con los requerimientos del cliente el diseño debía ser capaz de medir dos puntos de temperatura de la mezcla líquida, y un punto de temperatura y humedad de la mezcla gaseosa almacenando datos cada 10 minutos, también se necesitaba medir el nivel de *pH* de la mezcla líquida y almacenar el dato cada 30 minutos. La organización de cada sensor y las restricciones presentadas por la disponibilidad del mercado se detalla más adelante. Este diseño debía ser de bajo costo, buena precisión, facilidad de uso, facilidad de mantenimiento, seguridad y estética.

Se establecieron los rangos que debían mantenerse cada variable durante el proceso de biodigestión con el fin de asegurar el desarrollo del consorcio bacteriano que generan metano, siendo indispensable el continuo monitoreo. Por otra parte, también es de interés estimar cuantitativamente los niveles de concentración de la mezcla de gases (metano, ácido sulfhídrico y monóxido de carbono) a la salida del biodigestor; estos valores son asociados a la calidad de producción de biogás y de acuerdo con los requerimientos de diseño debían medirse una vez que el biogás esté listo para su almacenamiento.

El número de sensores necesarios para obtener el panorama completo de las condiciones del biodigestor fue determinado de acuerdo con los puntos de medición requeridos y para cumplir con un diseño de bajo costo y al mismo tiempo una buena precisión se seleccionaron los sensores presentados en la Tabla 2.

**Tabla 2.1 Sensores seleccionados para monitoreo del sistema**

Cantidad	Sensor	Parámetro
1	MQ-7	Concentración de monóxido de carbono
1	MQ-4	Concentración de metano
1	MQ-136	Concentración de ácido sulfhídrico
2	DS18B20	Temperatura de líquidos
1	DTH-11	Temperatura y humedad
1	PH-4502C	Nivel de pH
1	YF-S201	Flujo volumétrico

A continuación, se seleccionó un microcontrolador para programar el sistema, la tarjeta debía trabajar con el número de entradas necesarias para el número de sensores establecidos y contar con un lenguaje de programación de complejidad moderada, de preferencia haber tenido experiencia previa en su uso. A partir de estas características se propusieron tres tarjetas:

1. Arduino UNO: Tarjeta fácil de programar, pero no posee el número de entradas necesarias para el uso de los sensores requeridos a la vez.
2. FPGA: Tarjeta programable que posee el número de entradas necesarias, pero tiene un lenguaje de programación complejo.
3. Arduino MEGA: Tarjeta con un lenguaje de programación sencillo y cuenta con las entradas necesarias y los voltajes de operación correctos.

Debido a sus características y a experiencia previa se optó por adaptar el sistema de control por medio de una tarjeta Arduino MEGA. Tiene un voltaje de operación de 5V y consta de 54 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 15 se pueden usar

como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un ICSP, y un botón de reinicio. Se descartó la posibilidad de elaborar una tarjeta propia por su grado de complejidad, esto pudo requerir de mucho tiempo y no era necesario para este proyecto debido a que el producto final no será comercializado.

Por organización se redactará el desarrollo del sistema de control en dos subsistemas: medición de gases y medición de condiciones internas. Ambos subsistemas se conectaron al mismo controlador, pero debido a que se trabajó con dos medios distintos se tuvo que programar cada sistema independientemente, esto quiere decir que obedecen a variables distintas.

## **2.1 Sistema de medición de gases**

Durante la operación del biodigestor, el biogás se acumula en la parte superior del tanque por la diferencia de densidad, luego sigue el sustrato líquido y en el fondo hay asentamiento de sólidos. Los puntos de conexión para el equipo de medición serán las tomas de muestras superiores de la unidad, y el dispositivo medidor de gases formará parte del conducto entre el biodigestor y el gasómetro.

No fue necesaria la implementación de una bomba para mantener el flujo del biogás hacia el gasómetro porque la presión relativa en esta conexión es suficiente, aprovechando eso controlamos el sistema de medición de gases en función de la velocidad del flujo.

Para medir la concentración de los gases que componen el Biogás utilizamos los siguientes sensores: Sensor para gas metano (MQ-4), tiene un voltaje de operación de 5[V], detecta concentraciones entre 200 y 1000[ppm]. Sensor para monóxido de carbono (MQ-7), tiene un voltaje de operación de 5[V], detecta concentraciones entre 20 y 2000[ppm]. Sensor de ácido sulfhídrico (MQ-136), tiene un voltaje de operación de 5[V], detecta concentraciones entre 1 y 100[ppm].

Debido al considerable grado de corrosión que tiene el ácido sulfhídrico fue necesario separar los sensores de gas metano y monóxido de carbono en diferentes secciones, de tal manera que podamos proteger estos sensores de la corrosión cuando la concentración de ácido sulfhídrico sea peligrosa. Se planteó utilizar un acople en T y válvulas solenoides de cobre para aislar cada sección como se muestra en Ilustración 2.1, de tal manera, que cada vez que se detectaran altas concentraciones de ácido sulfhídrico en la muestra se cerraría el paso del gas hacia los sensores de gas metano y monóxido de carbono y se abre el paso hacia una vía alterna hacia el gasómetro.

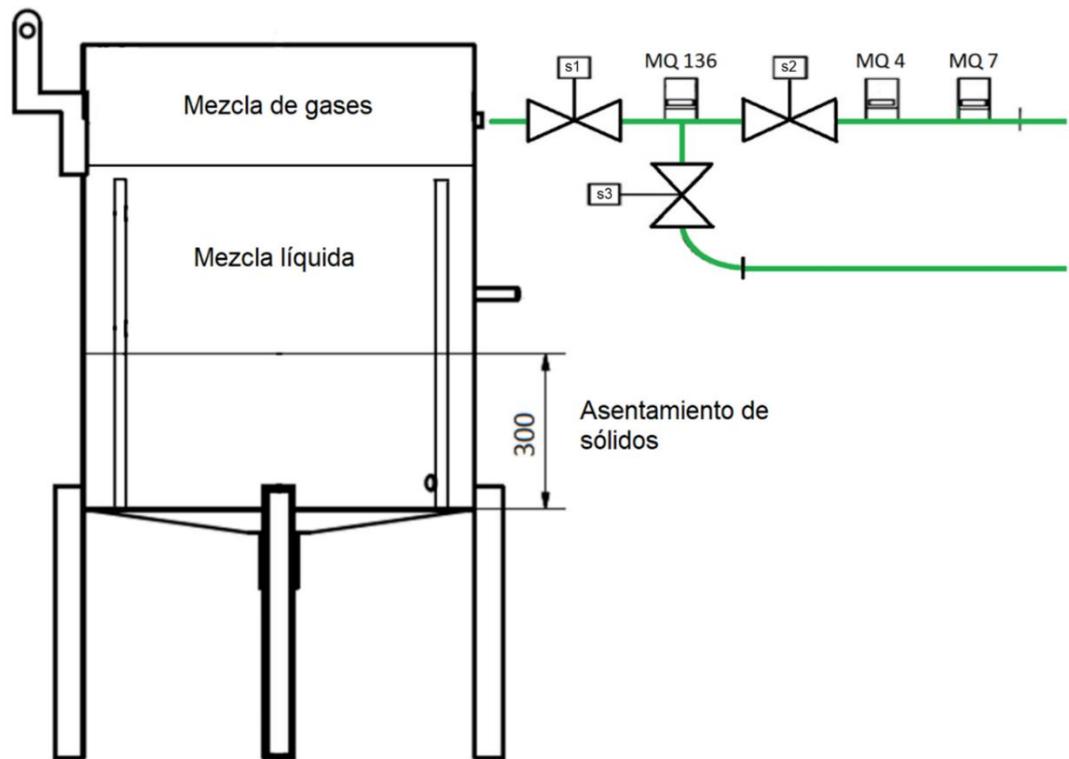
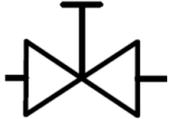
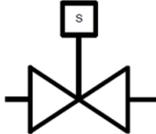
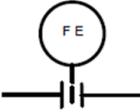


Figura 2.1 Configuración de subsistema para medición de gases

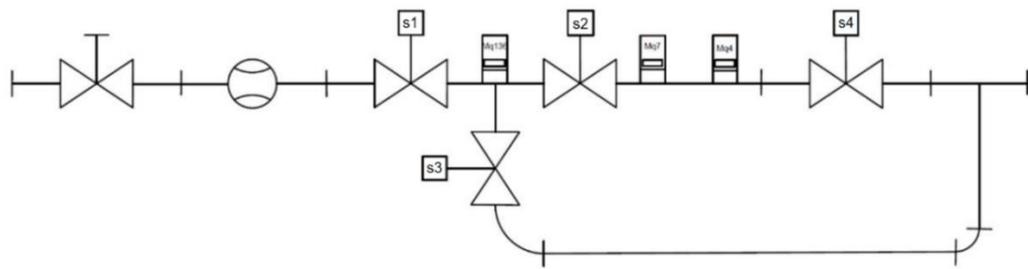
La configuración mostrada en la Ilustración 2.1 tiene la función de almacenar una muestra de gas dentro del acople en T, cuando la muestra de gas ingresa se cierran todas las válvulas, de esta manera se logró medir la concentración de un volumen definido. Para determinar el tiempo de apertura y cierre de las válvulas, y en el que la muestra será desplazada fue necesario conocer el

flujo volumétrico en cada instante de tiempo, para hacerlo se propusieron 3 alternativas:

**Tabla 2.2 Simbología utilizada en gráficos de procesos**

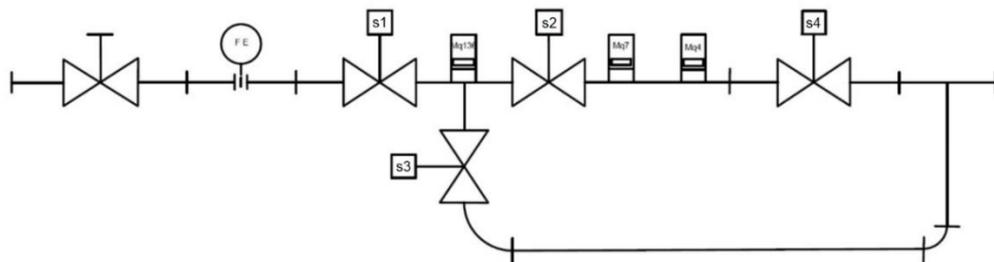
Símbolo	Nombre
	Llave de paso
	Válvula solenoide
	Placa orificio
	Flujómetro
	Medidor de gas

La primera propuesta fue implementar un medidor magnético de flujo (YF-201) para obtener datos en tiempo real de la velocidad del fluido. Opera en un rango de 1 a 30 [l/s], cuenta con una buena precisión y es fácil de instalar con la configuración propuesta porque solo se enrosca a la tubería, por lo tanto, representa un moderado costo de implementación.



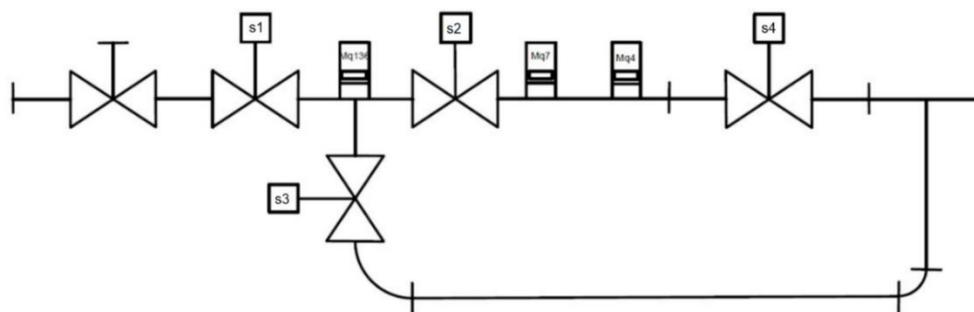
**Figura 2.2 Medición de flujo mediante flujómetro magnético**

La segunda propuesta fue utilizar un medidor de flujo tipo placa de orificio, un instrumento de muy buena precisión, pero la instalación sería relativamente complicada con respecto a las otras propuestas, debido a que se debían agregar sensores de presión, asegurarnos de realizar un trabajo de calidad para su construcción y posiblemente agregar más accesorios lo que incrementa considerablemente los costos. La instalación se basó en la norma ISO 5167.



**Figura 2.3 Medición de flujo mediante placa orificio**

La tercera propuesta se trataba de un sistema sin medidor de flujo en el que simplemente controlaríamos el sistema en base a la presión producida dentro del tanque. Esta propuesta podría proporcionar un gran porcentaje de error porque el flujo volumétrico se vuelve una medida indirecta que podía variar de acuerdo con las condiciones producidas dentro del tanque porque no se puede asegurar un buen aprovechamiento del tiempo para realizar el muestreo de la concentración del gas. Representaba menor costo, pero no tiene una precisión considerable porque se basa en prueba y error.



**Figura 2.4 Configuración sin medidor de flujo**

No se realizó un cálculo minucioso del flujo volumétrico debido a que la composición del biogás es compleja, pero se tomó en consideración un análisis de turbulencia asumiendo un flujo de aire a condiciones estándar para tener una idea del comportamiento del gas dentro de la tubería. De esta manera determinamos el diámetro y la distancia necesarios para que el flujómetro capte una medida considerablemente estable.

Por medio de una matriz de decisión (Tabla 3) se determinó que era más conveniente trabajar con la propuesta número uno, para esto se utilizó un flujómetro magnético (YF-S201), trabaja con un voltaje de 5[V], con un rango operación de 1 a 30 [l/min] y un rango de temperatura de operación entre 25 a 80[°C].

**Tabla 2.3 Matriz de decisión para método de cálculo de tiempo de muestreo**

	Valor			
Precisión	0,4	0,4	0,3	0,1
Costo	0,3	0,1	0,4	0,5
Facilidad de implementación	0,2	0,1	0,4	0,5
Total		0,21	0,32	0,29

Una vez definida la configuración a utilizar construimos el dispositivo mediante tubería y accesorios PVC, justificando este material por su buena resistencia mecánica y resistencia a la corrosión. Las válvulas solenoides representan un peso considerable en el diseño, pesan alrededor de medio kilo cada una y se justifica el uso de las 4 válvulas porque delimitan dos secciones de muestreo distintas.

Para determinar el tamaño de las tuberías nos adaptándonos al tamaño de las entradas y dispositivos que utilizaríamos. Se realizó un modelo idealizado en donde determinamos el régimen del flujo que sale del biodigestor de tal manera que calculamos la distancia que debemos considerar para que el flujo pueda desarrollarse y evitar errores en la medición del flujómetro, para esto se asumieron los parámetros a condiciones estándar del aire como referencia debido a que la composición del biogás es variable.

Primero utilizamos el principio de Bernoulli detallado en la ecuación 2.1, donde P es presión y  $\rho$  densidad del fluido, para determinar la velocidad de salida del flujo desde el tanque considerando una presión máxima de 2[PSI], con la velocidad se procedió a calcular el número de Reynolds con la ecuación 2.2, donde  $\mu$  es viscosidad dinámica, D el diámetro interior del conducto y v velocidad del fluido, para conocer el régimen del flujo, en esta ecuación utilizamos diferentes diámetros para conocer el panorama completo y construimos una tabla en donde detallamos el número de Reynolds y la longitud de desarrollo del flujo determinado por la ecuación 2.3 en el caso de ser de régimen laminar o por la ecuación 2.4 en caso de que el flujo tenga régimen turbulento. (White, 2008).

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} \quad (2.1)$$

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} \quad (2.2)$$

$$l_e \approx 0.06 Re \quad (2.3)$$

$$\frac{l_e}{D} \approx 4.4 Re^{1/6} \quad (2.4)$$

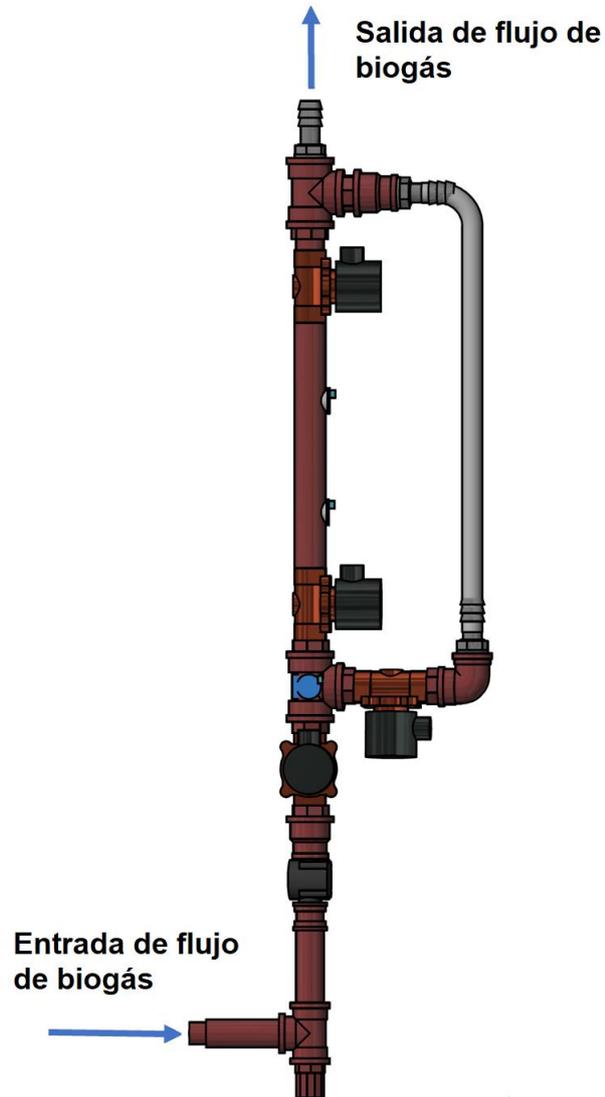


Figura 2.5 Apariencia final del sistema de medición de niveles de gases

## 2.2 Sistema de medición de condiciones internas del biodigestor

Se conocía por experiencia previa que la cantidad de sólidos y líquidos que se acumulaban en el biodigestor varía de acuerdo con el sustrato suministrado. La cantidad de cada componente que comúnmente se

agregaba para el sustrato del biodigestor acumulaba sólidos a no más de 30 [cm] de altura desde el fondo y acumulación de líquido hasta aproximadamente 50 [cm] desde el fondo. El ambiente dentro del biodigestor se caracteriza por ser altamente corrosivo y debido a esto se propuso a trabajar de la siguiente manera:

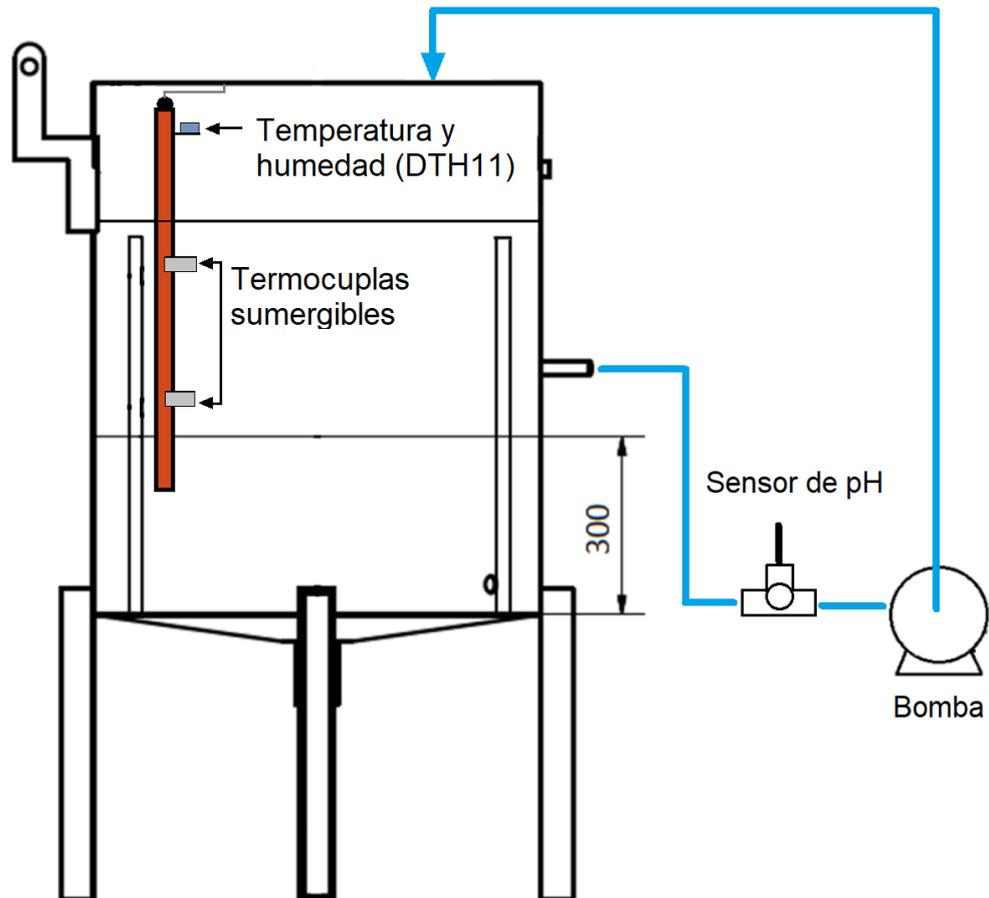


Figura 2.6 Boceto de ubicación de sensores para medición de condiciones internas

Como se puede observar en la Figura 2.5, se aprovechó la salida ubicada cerca de la mitad del equipo donde se planteó extraer la composición líquida mediante una bomba a través de una tubería para medir el pH desde el exterior del biodigestor y volver a depositar la composición líquida por una de las entradas de la parte superior. Se hizo esto por la sensibilidad del instrumento ante ambientes corrosivos, de esta manera el sensor no estaría continuamente expuesto al ambiente corrosivo dentro del biodigestor y debe

conservarse en cloruro de potasio cuando no se encuentra en uso. Para la selección de equipos se trabajó de la siguiente manera:

- 1) Se determinó la potencia hidráulica requerida y la corriente pico necesaria para instalar una bomba periférica que extraiga la composición líquida y la pueda llevar hasta la parte superior del tanque.

Para determinar la potencia hidráulica establecimos el flujo volumétrico requerido por medio de la ecuación 1 donde A es el área transversal al flujo y v la velocidad, luego la ecuación 2 representa la potencia hidráulica requerida donde  $\rho$  es la densidad del fluido, g la gravedad, Q el flujo volumétrico y H la altura a la que se desea elevar el fluido. (Mott, 2006).

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.5)$$

$$Q = A v \quad (2.6)$$

$$P_w = \rho g Q H \quad (2.7)$$

También se determinó las pérdidas por fricción (2.8) y pérdidas por accesorios (2.9) en las tuberías para estimar que tanta más potencia puede requerirse en el caso de que se utilice una bomba más precisa en el futuro. (White, 2008).

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (2.8)$$

$$h_m = \frac{v^2}{2g} \sum K \quad (2.9)$$

Fue necesario utilizar la ecuación de Colebrook (White, 2008) para determinar el factor de fricción a partir de la rugosidad del material de la tubería:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2 \log \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re f^{1/2}} \right) \quad (2.10)$$

Para determinar la corriente pico fue necesario obtener antes el voltaje RMS a partir de la ecuación 2.11 donde V es voltaje, y luego la corriente RMS a partir de la ecuación 2.12 donde P es potencia, con esto podemos determinar por experiencia previa que la corriente pico es 3 veces la corriente RMS como se muestra en la ecuación 2.13. (Hayt, Kemmerly, & Durbin)

$$V_{RMS} = 0.707 V \quad (2.11)$$

$$I_{RMS} = \frac{P}{V_{RMS}} \quad (2.12)$$

$$I_{pico} = 3 I_{RMS} \quad (2.13)$$

- 2) Se colocó una malla en la parte interior de la salida del tanque para evitar la succión de sólidos y un filtro de sedimentos en el exterior del tanque para evitar que las impurezas dentro de la mezcla produzcan daños en la bomba.
- 3) Se instaló el bulbo de vidrio del sensor de pH por medio de una prensaestopa a un acople en T de tal manera que la altura a la que se lo ubicó evitó el impacto directo con el flujo de agua, además de esta manera

es fácil de desinstalar para conservarlo, evitar cualquier descalibración y se pueda realizar mantenimiento periódico.

- 4) Desde el equipo hasta la bomba se instaló un sistema de tubería hasta la bomba en donde se seleccionaron accesorios apropiados adaptándonos a las medidas disponibles, a partir de la bomba se utilizó manguera recubierta en vinil para la retroalimentación.
- 5) Se conectó la bomba a un relé para controlar el encendido del equipo cada vez que las termocuplas sumergibles tengan una diferencia de temperatura de 1[°C] debido a que esto significa que el nivel del agua dentro del tanque no está a un nivel apropiado para realizar la retroalimentación.

Para monitorear la temperatura se seleccionaron tres puntos: dos ubicados dentro de la zona donde se acumula líquido para asegurarnos de la homogeneidad de la mezcla y uno ubicado dentro de la zona donde se acumula el gas. Los sensores se mantendrán dentro del equipo adheridos a la superficie por medio de un aislante dieléctrico.

El programa permite controlar el funcionamiento del sistema de bombeo, esto sucederá cada 30 minutos durante 5 minutos a partir de que se inicia el programa, 1 minutos después se almacena el dato del nivel de pH, a menos que las termocuplas sumergibles registren una diferencia de temperatura de 1[°C], en este caso no puede realizarse el bombeo.

Para medir la acidez del sustrato se utilizó un sensor de pH de señal analógica con rango de operación de 0 a 14[pH], precisión de  $\pm 0.1$ [pH], tiempo de respuesta menor o igual a 1 minuto y temperatura de operación de 0 a 60[°C].

Para medir la temperatura de utilizamos termocuplas sumergibles (DS18B20) con resolución de 12 bits, un rango de operación entre -55 y 125[°C] y precisión de  $\pm 0.5$ [°C].

Para medir la temperatura del gas utilizamos un sensor (DTH11) con resolución de 8 bits, un rango de operación de 0 a 50[°C] y precisión de  $\pm 1$ [°C]. Este sensor también permitió medir humedad relativa del gas con una resolución de 8 bits, un rango de operación de 0 a 90[%RH] y precisión de  $\pm 4$ [%RH].

En la ilustración 2.5 puede observarse la ubicación de los sensores antes mencionados, en el interior del tanque donde medimos temperatura y humedad donde protegemos las conexiones y circuitos mediante un tubo PVC de 1 pulgada, y en el exterior del tanque donde realizamos recirculación de agua por medio de una bomba periférica para homogeneizar la mezcla, eliminar bolsas de aire y medir el nivel de pH de una forma segura para el instrumento.

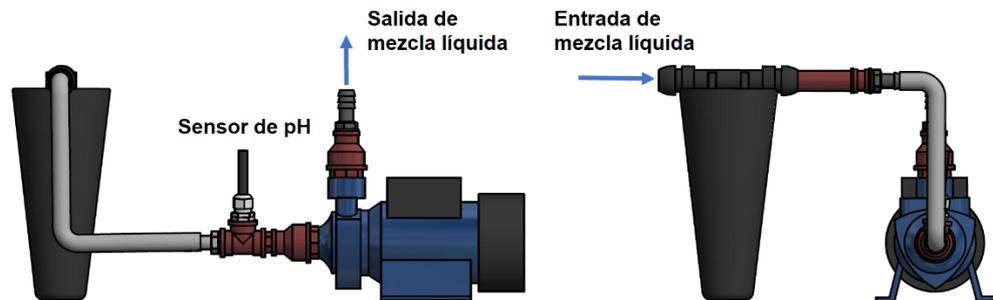


Figura 2.7 Apariencia final de sistema de recirculación de agua

### 2.3 Calibración

Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema se realizó la calibración de los sensores analógicos y digitales que lo componen, para este proyecto se realizó la calibración de: sensor de  $pH$ , sensor de flujo volumétrico y verificación de operación de los sensores de concentración de gases. Los

sensores de temperatura y humedad ya constaban con una calibración previa como se muestra en su información técnica.

Los procedimientos de calibración que detallamos a continuación se realizaron de acuerdo con la información proporcionada por la ficha técnica de cada sensor y con los recursos disponibles.

### **2.3.1 Sensor de *pH***

El medidor de *pH* se compuso de una sonda analógica y una tarjeta que tenía la función de acondicionar la señal para que pueda ser interpretada como una señal digital. Para comprobar el funcionamiento del sensor y la interpretación de los datos por parte de la tarjeta Arduino se siguió el siguiente procedimiento (Centro español de metrología, 2008):

- 1) Se calibró el voltaje del convertidor de señal del sensor de *pH* el cual está en un rango de 0 a 5[V], esta calibración se la realizó graduando el potenciómetro, hasta que la placa llegó a 2.5[V] en donde se marcó el nivel de *pH* neutro como 7.
- 2) Para generar la curva de calibración se sometió al sensor junto a un instrumento calibrado (Testo 206 -pH1) a una solución patrón, es decir que esta solución tenía un nivel de *pH* conocido.
- 3) A partir de esto esperamos unos minutos a que la medición se estabilice y registramos el dato de voltaje experimental que generaba el sensor para la solución.
- 4) Secamos el bulbo de vidrio de los sensores y volvimos a someter el sensor acompañado del instrumento a una solución patrón con un nivel de *pH* distinto. Se realizó este procedimiento para soluciones con nivel de *pH* de: 4.16, 5, 6.3, 7.12 y 9.13.
- 5) Realizamos una gráfica de voltaje experimental en función del voltaje teórico y mediante regresión lineal determinamos la función de transferencia del dispositivo.

- 6) Programamos en Arduino donde se tenía el valor analógico del voltaje y por medio de la función de transferencia se logró obtener el valor del nivel de pH.

Las soluciones patrón que se utilizaron se denominan soluciones “buffer”, se prepararon con agua destilada dentro de un vaso de precipitación. Fue necesario que la solución cubra por completo el electrodo del sensor, en donde se colocó el sensor de *pH* y el instrumento calibrado dentro de la solución patrón para comparar con el valor de la solución, corregimos el valor del sensor por medio del programa de Arduino.

La ecuación 2.14 en donde N es la cantidad de tomas realizadas nos permite conocer el error en el proceso de calibración:

$$BIAS = \frac{\sum_{i:1}^n (pH_{experimental\ i} - pH_{teorico\ i})}{N} 100\% \quad (2.14)$$

La ecuación 2.15 describe el error del sistema:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i:1}^n (pH_{experimental\ i} - pH_{teorico\ i})^2}{N}} \quad (2.15)$$

### 2.3.2 Sensor de flujo volumétrico

Para obtener el valor del flujo volumétrico de biogás a la salida del equipo se utilizó un medidor magnético de flujo (YF S201). Este sensor responde con pulsos digitales en un rango de 1 a 30[L/min], debido a que no tiene una curva de calibración en su información técnica para controlar la respuesta mediante la tarjeta Arduino se realizó el siguiente procedimiento para comprobar su correcto funcionamiento (López, 2011):

- 1) Se genero un flujo de aire a través de una tubería adaptada al medidor de flujo utilizando un pequeño soplador eléctrico.
- 2) Se colocó una válvula de cuarto de giro a la salida del soplador eléctrico para cuantificar la apertura a partir del ángulo de giro de la válvula y de esta manera controlar el flujo saliente.
- 3) Se utilizo un medidor de hilo caliente calibrado como dato teórico para comparar en la curva de calibración para el sensor YF S201.
- 4) Se tomaron medidas a 30°, 60° y 90° grados de apertura de la válvula para las dos velocidades del soplador y a partir de eso se graficó la curva de calibración.
- 5) Por medio de regresión lineal se calculó la función de transferencia para programar en el Arduino la salida de datos del sensor de flujo.

### **2.3.3 Sensores de concentración de gases**

Para calibrar los sensores de concentración de gases utilizamos la información de la hoja técnica de cada sensor, en donde se mostraban curvas para escalar el funcionamiento de cada sensor a diferentes unidades de concentración, en este caso uno de los requerimientos de diseño fue trabajar con partes por millón [ppm].

Para calibrar individualmente la interpretación de cada sensor utilizamos la información obtenida a partir de las hojas técnicas de cada uno, pero debido a que nos proporcionan las curvas, pero no las ecuaciones de transferencia, realizamos método de regresión lineal para estimar las ecuaciones. Se utilizó Matlab, donde mediante la herramienta "Curve Fitting" se graficó la relación de resistencias ( $R_s/R_o$ ), que representan la sensibilidad de cada sensor, en función de la concentración de cada gas correspondiente en [ppm]. Por último, se realizó una prueba para comprobar el funcionamiento de cada sensor donde se buscó fuentes de monóxido de carbono, metano y ácido sulfhídrico para verificar que se obteniendo información.

Posterior a esto, verificamos el sistema de medición de gases comparándolo con un instrumento medidor de biogás calibrado de la Universidad Estatal de Bolívar en Guaranda. En donde se realizó un experimento en el cual se tomaron datos midiendo diferentes bolsas de biogás, a partir de los datos tomados se realizaron gráficas y comparamos su comportamiento y desplazamiento para de esta manera aproximar el resultado con el instrumento patrón. De esta manera calibramos el tiempo y probamos la efectividad de nuestro dispositivo.

#### **2.3.4 Termocuplas sumergibles**

Para medir las condiciones internas del biodigestor utilizamos dos termocuplas sumergibles (DS18B20) a diferentes alturas dentro de la mezcla líquida del sustrato, su función es verificar que la mezcla se mantenga homogénea y deben monitorear el comportamiento durante el proceso de producción de biogás. Las calibramos de la siguiente manera:

- 1) En un recipiente se calentó agua hasta llegar al punto de ebullición y dejamos enfriar por un momento para empezar a medir alrededor de los 80[°C].
- 2) Se introdujeron las termocuplas sumergibles y un instrumento calibrado dentro del agua caliente y tomamos datos de temperatura a medida que el agua se va enfriando hasta la temperatura ambiente.
- 3) Se realizan las curvas de calibración de las termocuplas en función del dato de temperatura teórica y se determina la función de transferencia por medio de regresión lineal.
- 4) Se programa en el Arduino de tal manera que las dos termocuplas tienen la misma referencia para que sus valores sean lo suficientemente similares para la aplicación requerida.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se analiza los resultados del diseño del sistema de control de parámetros de operación para el biodigestor del CDTS. Partiendo de los requerimientos establecidos y las restricciones encontradas, este capítulo describe la forma final del prototipo y sus especificaciones técnicas.

De acuerdo con los requerimientos de diseño establecidos anteriormente se realizó un sistema de control proporcional para la apertura de válvulas solenoides en función del flujo volumétrico que sale del tanque y para el encendido de la bomba periférica de agua en función de la diferencia de temperatura entre las termocuplas sumergibles.

### 3.1 Sistema de medición de gases

Para el sistema de medición de gases fue necesario realizar un análisis de turbulencia donde se justificó la distancia y diámetro de las tuberías utilizadas a la salida del tanque para el cual consideramos los parámetros de densidad y viscosidad del aire a condiciones normales.

A partir de la Ecuación de Bernoulli (Ecuación 2.1) se obtuvo la velocidad del fluido a la salida del tanque la cual en condiciones críticas se mantendrá alrededor de 5 [m/s]. A partir de esto calculamos el número de Reynolds (Ecuación 2.2) para diferentes diámetros y la longitud de entrada en la que se desarrollara el flujo.

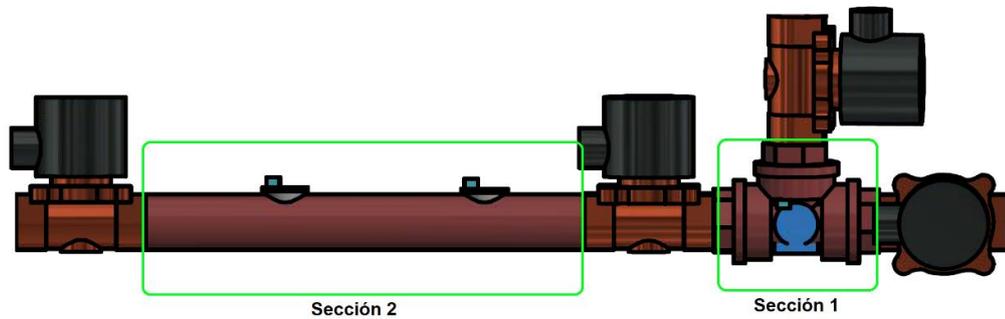
**Tabla 3.1 Comparación de turbulencia a la salida del tanque para diferentes parámetros**

	Reynolds	Velocidad [m/s]	Diámetro [m]	Longitud de entrada [m]
<b>60°C</b>	1054.78	4	0.005	0.316
	1898.61	4	0.009	1.025
	2742.43	4	0.013	0.214
	3586.25	4	0.017	0.293
	4641.04	4	0.022	0.395
<b>50°C</b>	1112.58	4	0.005	0.334
	2002.65	4	0.009	1.081
	2892.72	4	0.013	0.216
	3782.78	4	0.017	0.295
	4895.36	4	0.022	0.399
<b>40°C</b>	1175.18	4	0.005	0.353
	2115.33	4	0.009	1.142
	3055.47	4	0.013	0.218
	3995.62	4	0.017	0.298
	5170.80	4	0.022	0.403
<b>30°C</b>	1243.59	4	0.005	0.373
	2238.46	4	0.009	1.209
	3233.33	4	0.013	0.220
	4228.21	4	0.017	0.301
	5471.79	4	0.022	0.406

La Tabla 5 muestra cómo se desarrolla la turbulencia dentro de tuberías con diferentes diámetros y temperaturas, a partir de eso se determinó la longitud de entrada (Ecuaciones 2.3 y 2.4) para la cual iba a desarrollarse el flujo. Para mantener la menor distancia posible con el tanque se utilizaron tuberías de 1/2 pulgada con diámetro interior de 1.3 [cm], de esta manera reducimos los niveles de turbulencia para que la medida en el flujómetro no cambie de manera exagerada.

Para conectar las válvulas solenoides se utilizaron tuberías de 3/4 pulgadas para poder enroscar las válvulas a las tuberías sin ningún tipo de acople, logrando un aumento de sección lo que permite disminuir la velocidad del flujo y aumentar el volumen de muestreo, se controló el paso por medio de la apertura y cierre de las válvulas. Se determinó el volumen de las secciones mostradas en la ilustración 3.1 modelando las tuberías y accesorios por medio

de Inventor (Autodesk, 2018), el volumen debía ser el mismo para las dos secciones de tal manera que utilizaran el mismo tiempo apertura para medir la concentración de cada muestra de biogás de manera continua, por medio de barrido se mantiene el flujo, esto quiere decir que será empujado por la presión del tanque hasta que la presión en el gasómetro lo permita.



**Figura 3.1 Secciones conocidas donde se mide concentración de gases.**

Los sensores que se utilizaron para medir la concentración de los componentes del biogás son de la serie MQ, son sensores electroquímicos analógicos que posee un calentador encargado de aumentar la temperatura interna y con esto el sensor pueda reaccionar con los gases provocando un cambio en el valor de la resistencia. Encontramos que tan pronto como se alimenta el módulo este empieza a calentarse, es necesario esperar unos minutos para obtener un censado adecuado, lo cual influyo en la estructura de nuestro programa obedeciendo prioritariamente al tiempo de muestreo ante el tiempo de llenado de cada sección que al comienzo de la operación sería muy corto, si el sensor no ha sido utilizado durante un mes o más tiempo debe calentarse por más tiempo (entre 24 a 72 horas) para que pueda censar adecuadamente.

Los sensores presentaban la relación de la lectura analógica con el valor leído no lineal, por lo cual se calibraron de manera individual se utilizó la información contenida en su correspondiente hoja técnica, en ella se encuentran curvas que nos permiten determinar la función de transferencia de trabajo de cada sensor y escalarlas para diferentes unidades. En las Figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se muestran las gráficas de concentración en [PPM] vs la relación de resistencias que

describe la cuantificación en voltios del sensor. Debido a que la hoja técnica nos da la curva y no nos da la ecuación la debemos estimar utilizando métodos de regresión lineal, en este caso se usó la herramienta “Curve Fitting” de Matlab. Esta es la primera calibración que debía realizarse para asegurarnos de que los sensores estaban trabajando, posteriormente se realizó la comparación del prototipo con un sistema similar calibrado.

Sensor MQ 7:

$$f(x): 12220e^{-13.50x} + 464.1e^{-1.552x} \quad (3.1)$$

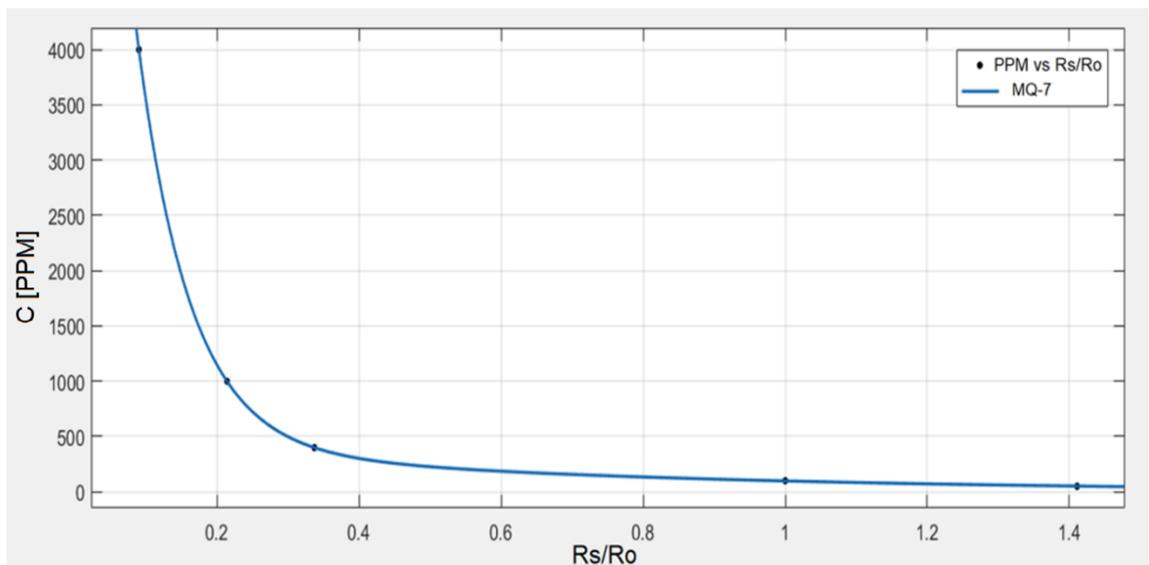


Figura 3.2 Concentración de monóxido de carbono vs Rs/Ro. (Matlab).

Sensor MQ 136:

$$f(x): 1384e^{-19.53x} + 132e^{-8.39x} \quad (3.2)$$

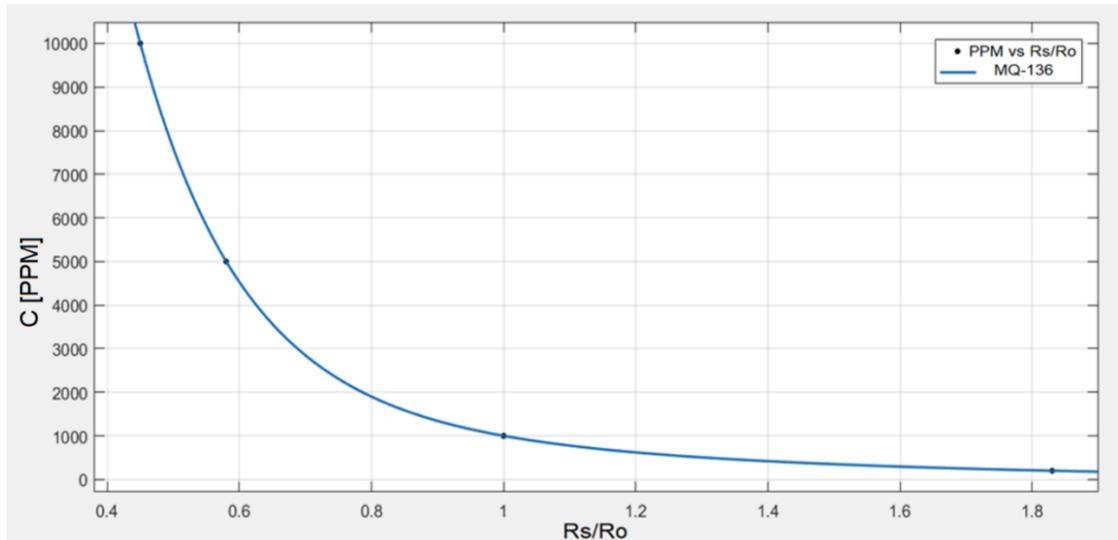


Figura 3.3 Concentración de ácido sulfhídrico vs Rs/Ro. (Matlab).

Sensor MQ 4:

$$f(x): 154200e^{-6.55x} + 4052e^{-1.64x} \quad (3.3)$$

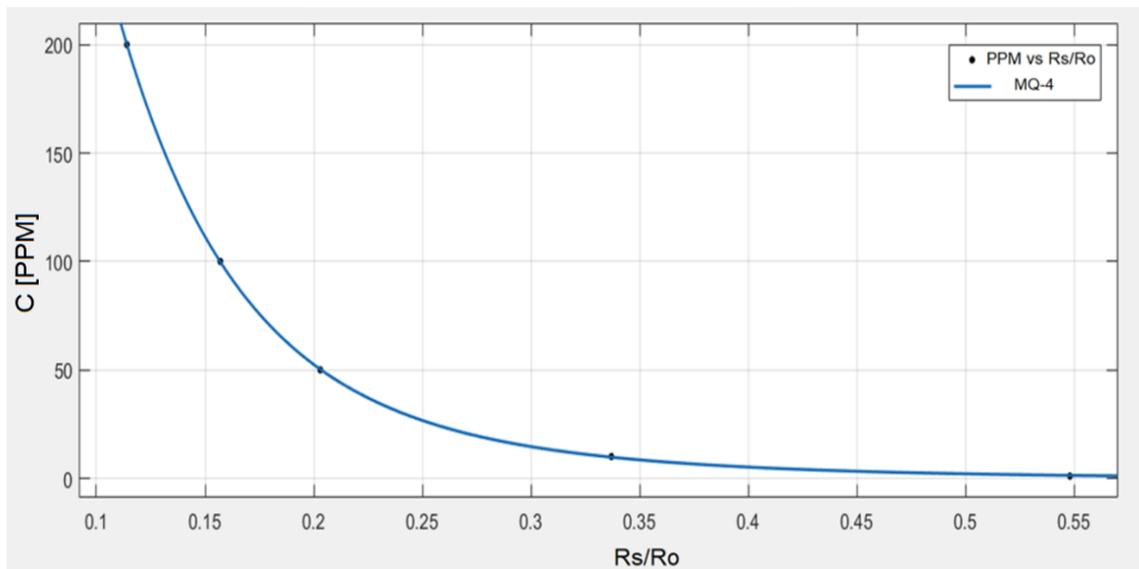


Figura 3.4 concentración de gas metano vs Rs/Ro. (Matlab).

### 3.2 Sistema de medición de condiciones internas

Como parte del diseño del sistema se ha considerado la protección y el funcionamiento de cada instrumento de medición a partir de las condiciones de registro durante todo el proceso de producción de biogás. A medida que se desarrolló su construcción nos encontramos con ciertos cambios en la forma que inicialmente se estaba programando el sistema debido a las restricciones de diseño que se iban presentando con la implementación.

Se determinó que para poder realizar la recirculación de agua por el exterior del tanque era necesaria una potencia hidráulica de 0.04[HP] determinada a partir de las ecuaciones 1 y 2, pero por disponibilidad del mercado nos adaptamos con una bomba de 0.5 [HP] de potencia nominal la cual debía cumplir con una corriente pico límite de 7.5 [A] determinada por las ecuaciones 3, 4 y 5 a partir de las especificaciones del equipo, encontramos de que a medida que el amperaje nominal de la bomba disminuía su precio en el mercado era mayor.

Para medir la temperatura interna del tanque se ubicaron dos termocuplas sumergibles a diferentes alturas dentro de la sección donde se estimó que se encontraría la mezcla líquida y un sensor de temperatura y humedad (DTH11) en la parte superior para medir las condiciones del biogás generado utilizando de soporte un tubo PVC al cual se adhirieron los sensores mediante resina epoxi adhesiva especial para aplicaciones con plástico y protegimos los circuitos sensibles mediante un recubrimiento proporcionado por un dieléctrico líquido especializado en ambientes corrosivos y de alta temperatura, la misma tecnología que actualmente se utiliza en biodigestores de materiales poliméricos.

El control se basó en la diferencia de temperatura entre las dos termocuplas sumergibles, en teoría la mezcla líquida debería ser homogénea para que la diferencia de temperatura sea nula, entonces, cuando esto no sucede, puede deberse a dos situaciones: solo se sumerge la termocupla inferior sobre la

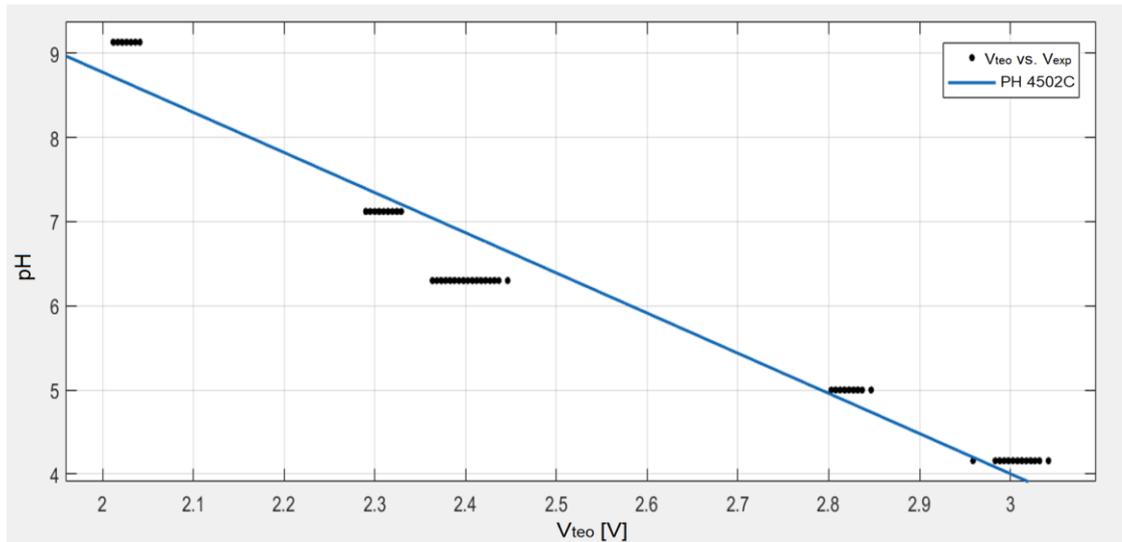
mezcla líquida o hay una bolsa de aire que interrumpe la medición. Estas dos situaciones son peligrosas para la bomba porque al no succionar agua se produce cavitación y dañaría el sistema, razón por la cual se detiene automáticamente el bombeo y enciende una alerta hasta que el operador agregue agua al tanque y la temperatura vuelva a estabilizarse.

La calibración de cada instrumento se realizó de forma individual con el fin de asegurar correcto funcionamiento y poder programarlos de tal forma que se manejen los rangos requeridos. Para la calibración del sensor de pH se emplearon soluciones patrón (soluciones buffer) como medio de comparación. La sonda que utilizamos para medir pH realizaba mediciones analógicas, entonces, tomamos medida de la cantidad de voltaje que generaba cada medición a partir de la tarjeta de acondicionamiento de señal y la comparamos con la medida del instrumento calibrado para cada situación. Analizamos 5 niveles diferentes de pH mediante las soluciones patrón y generamos la gráfica y la ecuación que describe su comportamiento por medio de la herramienta "Curve Fitting" de Matlab.

Puesto que los sensores de pH trabajan en rangos cortos tuvimos que ajustar dos gráficas de diferente pendiente a una sola ecuación, de esta manera conseguimos calibrar nuestro sensor para un rango de 5 a 8 [pH].

Función de transferencia para el medidor de pH:

$$f(x) = -4.768x + 18.31 \quad (3.4)$$



**Figura 3.5 pH instrumento calibrado vs Voltaje de sensor. (Matlab).**

Para la estimación de error se utiliza la ecuación 2.10. Finalmente, se obtuvo un error de 4.4% que está dentro del rango permisible para este tipo de experimentos.

Asimismo, fue necesario estimar el margen de error de la temperatura, para lo cual, las dos termocuplas deberán presentar resultados similares de tal manera que una diferencia de 1 [°C] detiene el sistema. Se realizó la calibración de las dos termocuplas sumergibles al mismo tiempo con las mismas condiciones. Se observó una diferencia aproximadamente de 1.5 [°C] entre ellas, inaceptable en este caso, y este resultado variaba dependiendo de los rangos de temperatura en los que se realizaban las mediciones.

En las ilustraciones 3.6 y 3.7 Se muestran las gráficas temperatura teórica vs temperatura experimental obtenidas de cada sensor, determinamos la ecuación en función de la temperatura teórica para programar respecto al mismo punto de referencia.

Termocupla 0:

$$y = 0.9834 x_0 + 0.01457 \quad (3.5)$$

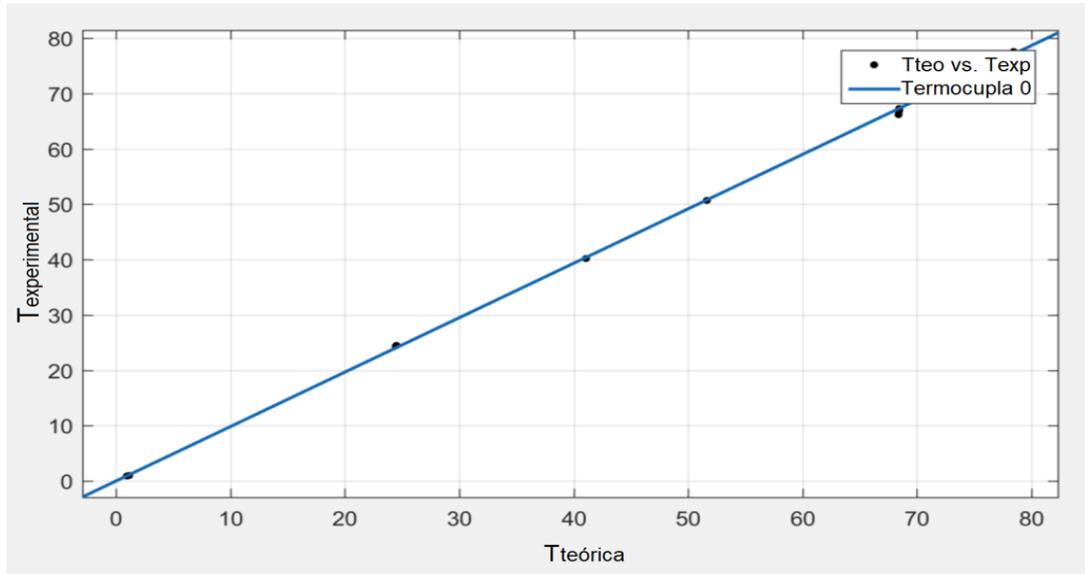


Figura 3.6 Temperatura teórica vs temperatura experimental 0. (Matlab).

Termocupla 1:

$$y = 0.9722 x_1 + 0.8442 \quad (3.6)$$

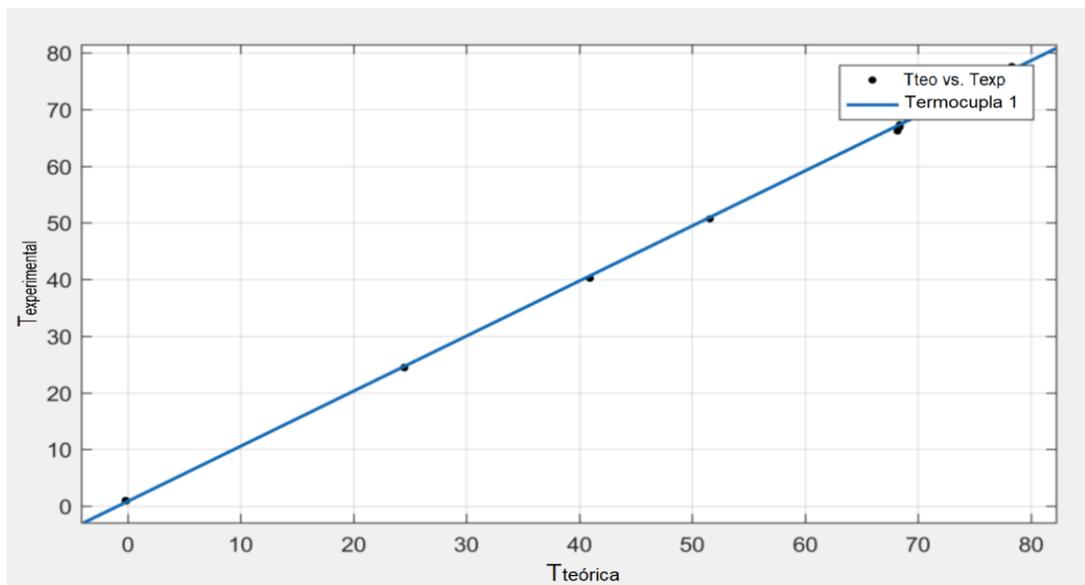


Figura 3.7 Temperatura teórica vs temperatura experimental 1. (Matlab).

### 3.3 Sistema electrónico

Como fue mencionado en el capítulo anterior el sistema se controla por medio de una tarjeta Arduino MEGA, la cual se seleccionó por su facilidad de trabajar con diferentes dispositivos por el número de entradas y la información disponibles en sus bibliotecas con respecto a la configuración de dispositivos.

En la ilustración 3.8 se muestra la configuración del sistema electrónico donde se pueden observar los componentes requeridos para que cada componente del sistema pueda ser adaptados a la tarjeta Arduino. Debido a que no todos los dispositivos trabajan al mismo voltaje se tuvo que realizar el acondicionamiento de las diferentes señales agregando componentes adicionales, activamos las válvulas y la bomba de agua por medio de relés, conectando todo el sistema a una batería de 12 [V]. La bomba periférica de agua funcionaba con un voltaje de 110 [V] así que tuvimos que adaptarla al voltaje del microcontrolador mediante un circuito de eliminación de voltaje (UBEC), que sirve para regular el voltaje de motores a 5 o 6 [V] que es con lo que trabaja la tarjeta Arduino.

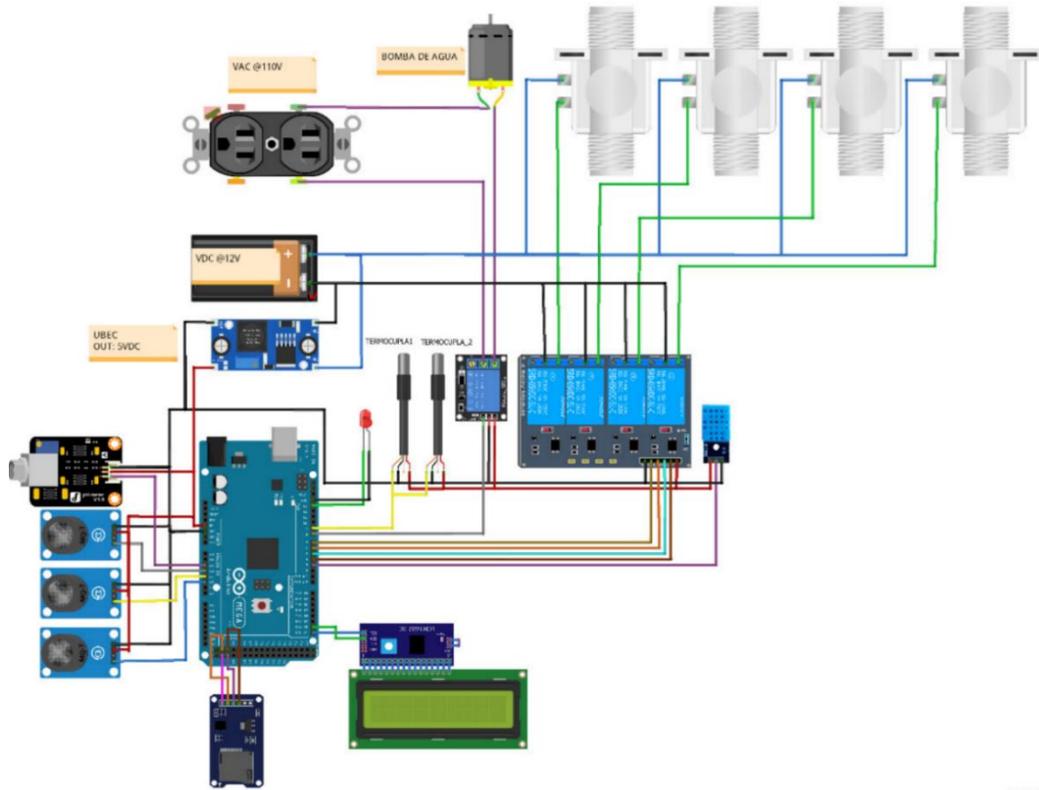


Figura 3.8 Configuración de conexiones que conforman el sistema electrónico del diseño. (Fritzing).

Los sensores de concentración de gases y el sensor de pH incluyen sus tarjetas de acondicionamiento de señal las cuales convierten la señal analógica de entrada en señal digital la cual fue correspondientemente calibrada con la información de las funciones de transferencia determinadas a partir de las curvas de calibración. Entonces interpretamos la señal de cada sensor de la siguiente manera: los sensores de concentración de gases y el sensor de nivel de pH que se utilizaron son de tipo analógico para interpretar su información se utilizó la función AnalogRead de Arduino, para el flujómetro se determina el número de vueltas que se da en un determinado tiempo, se lee este dato en forma de frecuencia y luego se lo transforma a litros por hora, el sensor DHT11 se lee mediante una librería que ya está implementada en Arduino porque envía datos binarios que Arduino los interpreta como temperatura y humedad y toda esta información se guarda en una tarjeta SD como texto separado por comas.

### 3.4 Análisis de costos

En esta sección se mencionan los costos más representativos, tanto de materia prima como elementos o trabajos de mano de obra necesarios para realizar la construcción del prototipo.

Tabla 3.2 Detalle de costos

Nombre	Cantidad	Costo u.	Total
Sensor de monóxido de carbono (MQ 7)	1	\$ 4.60	\$ 4.60
Sensor de metano (MQ 4)	1	\$ 4.60	\$ 4.60
Sensor de Sulfhídrico (MQ 136)	1	\$ 47.00	\$ 47.00
Rollo de cable jumper (10 ft)	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Pines y protectores para cable jumper (caja)	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Modulo SD	1	\$ 5.00	\$ 5.00
Tarjeta Arduino Mega	1	\$ 21.00	\$ 21.00
Batería Forza 12V 9A	1	\$ 26.00	\$ 26.00
Pantalla Lcd 20x4	1	\$ 23.00	\$ 23.00
UBEC DC/DC Step-Down (Buck) Convertidor 5V @ 3A	1	\$ 18.00	\$ 18.00
Electroválvula de 3/4"	4	\$ 58.00	\$ 232.00
Sensor de flujo volumétrico (YF-S201)	1	\$ 8.00	\$ 8.00
Sensor de temperatura y humedad (DTH11)	1	\$ 6.00	\$ 6.00
Medidor de pH (PH-4502C)	1	\$ 60.00	\$ 60.00
Termocupla sumergible	2	\$ 2.50	\$ 5.00
Módulo de relé	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Banco de relés	1	\$ 8.00	\$ 8.00
Aislante eléctrico liquido (118 ml)	1	\$ 14.00	\$ 14.00
Resina epóxica para PVC	1	\$ 3.5	\$ 3.5
Tarjeta SD (16Gb)	1	\$ 10.00	\$ 10.00

Cable termo retráctil	3 [m]	\$ 0.60	\$ 1.80
Espiral para cable	1	\$ 5.60	\$ 5.60
Extensión eléctrica de 15 m	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Cable calibre 14	4 [m]	\$ 0.60	\$ 2.40
Unión de cable	2	\$ 1.00	\$ 2.00
Led rojo	1	\$ 0.25	\$ 0.25
Switch	1	\$ 0.40	\$ 0.40
Impresiones 3D	1	\$ 12.50	\$ 15.00
Perforación para montaje de los sensores	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Tubería para agua caliente 1"	1 [m]	\$ 1.50	\$ 1.50
Tubería para agua caliente 3/4"	0.5 [m]	\$ 0.60	\$ 0.60
T de plástico de 3/4"	1	\$ 1.35	\$ 1.35
T de plástico de 1/2"	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Neplo corrido rosca tuerca de 3/4"	7	\$ 0.66	\$ 3.30
Neplo corrido rosca tuerca de 1/2"	2	\$ 0.5	\$ 1.00
Neplo de 1/2"	2	\$ 1.10	\$ 2.20
Bushing 3/4 a 1/2"	4	\$ 0.28	\$ 1.12
Acople de manguera 1/2"	2	\$ 0.80	\$ 1.60
Cinta Teflón (3/4x7m)	2	\$ 1.25	\$ 2.50
Manguera de hilo 1/2"	1.5 [m]	\$ 8.00	\$ 8.00
Manguera de 1/2"	1 [m]	\$ 0.70	\$ 0.70
Bomba periférica para agua (1/2 HP)	1	\$ 50.00	\$ 50.00
<b>TOTAL</b>			\$ 632.02

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta sección se analizan los resultados obtenidos basándonos en los objetivos proyectados inicialmente, se discutirá respecto a la importancia de su alcance y el aporte a la sociedad actual.

### 4.1 Conclusiones

- Por medio del proceso de diseño se elaboró el prototipo de un sistema de control para la unidad experimental de biodigestión del CDTs capaz de registrar de manera continua información de las condiciones internas del equipo y el nivel de concentración de gases producidos durante su operación. De acuerdo con los requerimientos de diseño se realizó un equipo de bajo costo y buena precisión en comparación con equipos similares de comercialización en el mercado. Todos los instrumentos de medición fueron debidamente calibrados en base a su funcionamiento en relación con un instrumento calibrado, de las curvas obtenidas se determinó la función de transferencia para su programación.
- El sistema de medición de gases se compone por tubería de PVC la cual tiene la capacidad de soportar temperaturas hasta de 82[°C] a 125 [PSI], además de una buena resistencia a la corrosión y son fáciles de instalar. Considerando las válvulas solenoides e instrumentación implementada, el equipo tiene una dimensión de alrededor de 1[m] de longitud lo cual nos llevó a instalarlo de manera vertical para evitar pandeo y que la estructura de soporte no provoque incomodidades en la operación de la unidad. Para medir el flujo volumétrico se utilizó un flujómetro magnético de paletas, asimismo con el fin de minimizar errores de medición por flujo turbulento se realizó un análisis por el cual se determinó que la tubería de media pulgada sería la más apropiada para conducir el flujo al inicio del sistema, con una longitud de entrada de 20[cm] se evitan picos de velocidad por turbulencia. Adicionalmente, el control de válvulas solenoides ayudo a

diferenciar las muestras de gas para censar la concentración de sus componentes. Los sensores de la familia MQ para medición de concentración de gases son una buena alternativa para el prototipo, derivado que se cuenta con toda la información respecto a su configuración. Uno de los factores que demora la medición de niveles de concentración de gases es el tiempo de muestreo de los sensores MQ es indispensable dejarlos calentando 12 horas antes de usarse y hasta 48 horas si no se han utilizado en mucho tiempo, esto es debido al material electroquímico que los compone.

- El sistema de medición debido a las condiciones internas fue diseñado de tal manera que se permita la protección de los instrumentos dentro del ambiente corrosivo del biodigestor. En cuanto a las termocuplas no presentaron mayor dificultad de calibración e instalación, pero el sensor de temperatura y humedad DTH11 tuvo que ser recubierto con aislante dieléctrico para evitar la corrosión de sus circuitos, sin alterar el proceso de medición. Debido a que el medidor de pH es muy sensible a ambientes corrosivos y además debe conservarse en cloruro de potasio para mantenerse calibrado cuando no se realiza medición, se tuvo que diseñar un sistema de recirculación de líquido por fuera del tanque compuesto por tubería PVC, que permite desmontar el sensor de pH con facilidad para guardarse en su unidad de calibración y homogeneizar la mezcla continuamente.
- La programación fue realizada en una tarjeta Arduino MEGA por su capacidad y facilidad de uso. Toda la información se guarda en una tarjeta SD como vectores para posteriormente representar el resultado en gráficos temporales, de esta manera se puede realizar un análisis del proceso de biodigestión, el cual toma varios días, permitiendo que el operador no esté pendiente todo el tiempo de los cambios del sistema, y finalmente se agregó el registro de condiciones internas que antes no se tomaban en cuenta.

- Es importante destacar que el control proceso biológico y del ambiente del biodigestor es fundamental para generar un biogás de buena calidad que puede ser utilizado como materia prima en procesos térmicos.

## **4.2 Recomendaciones**

- El sensor de pH debe ser conservado en cloruro de potasio para evitar que se descalibre cuando no se emplee para la medición, si se desea utilizar el sistema y omitir las mediciones de pH es importante recordar que debe reemplazarse la prensaestopa por un tapón. Se recomienda cambiar el filtro de sedimentos cada vez que se utilice el sistema, la mezcla líquida producida en el biodigestor tiene una gran cantidad de impurezas que desgastan el filtro rápidamente, si no se cambia el filtro podría obstruirse todo el sistema.
- El sistema es totalmente automático, sin embargo, se instalaron válvulas de paso para poder detener el flujo de agua o de gas bajo cualquier imprevisto, permitiendo que el operador únicamente tiene que activar el sistema y en caso de que se encuentre encendido el led rojo de emergencia del sistema de condiciones internas se debe agregar agua al tanque.
- Se recomienda reducir el tamaño de la tarjeta del controlador a una sola placa para poder aprovechar mejor el espacio y que el modelo sea comercial, también la instalación de un puerto de conexión wifi para una mejor comunicación con el equipo y pueda generar los gráficos de forma continua durante el proceso.

# BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y. L., & Obaya, M. C. (2005). La digestión Anaerobia. Aspectos teóricos. *Instituto cubano de investigaciones de los derivados de la caña de azúcar*, 14.
- Acuña, M. (1984). Manual técnico para construcción y mantenimiento de biodigestores.
- Aguilar, G. (2013). Control de temperatura y pH aplicado en biodigestores modulares de estructura flexible con reciclado de lodos a pequeña escala. Querétaro, México.
- Arduino. (2005).
- Centro español de metrología. (2008). Procedimiento para la calibración de pHmetros digitales. Madrid.
- Esposito, G., Frunzo, L., Liotta, F., Panico, A., & Pirozzi, F. (2012). Bio-Methane potential test to measure the biogas production from the digestion an co-digestion of complex organic substrates. *The open environmental engineering*, (pág. 8).
- Gerardi, M. H. (2003). *The microbiology of anaerobic digesters*.
- Hayt, W., Kemmerly, J., & Durbin, S. (s.f.). *Analisis de circuitos de ingenieria* . Mc Graw Hill.
- Instituto ecuatoriano de normalización. (2010). Instalaciones de gases combustibles para uso residencial, comercial e industrial. Requisitos. En *Norma técnica ecuatoriana*. Quito.
- Lagrange, B. (1979). *Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation*. Energies Alternatives.
- López, J. R. (2011). *Calibración de instrumentos de medición de flujo*. Guatemala.
- Mathworks. (2017).
- Moreno, M. T. (2011). *Manual del biogás*. Santiago, Chile.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson.
- Poulsen, T. (2003). Anaerobic digestion. En *Solid waste managment* (pág. 23).
- Pulido, A., & Espitia, J. (2016). Diseño e implementación de un sistema de supervisión, monitoreo y control de temperatura, presión y tiempo de proceso en un sistema de digestión anaerobia de biomasa a escala de laboratorio. Bogotá.
- Quipuzco, L., Baldeón, W., & Tang, O. (2011). Evaluación de la calidad del biogás y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vacas en biodigestores tubulares de PVC.

- Rámon, J., Valencia, J., & Rozo, D. (2015). Sistema y monitoreo basado en el software RTMC aplicado al proceso de biodigestión anaeróbica. *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, 8.
- Rohstoffe, F. N. (2010). *Guía sobre el biogás*.
- Salame, A. C., & Palacios, G. D. (2016). Diseño y adecuación de una unidad de biodigestión. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Solano, O. R., Vargas, M. F., & Watson, R. G. (2010). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Tecnología en marcha*, 8.
- Speece, R. E. (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatments*. Nashville, TN, USA: Archae Press.
- Virgen, A., Gonzáles, T., & Benítez, O. (2011). Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás., (pág. 9).
- White, F. (2008). *Mécanica de fluidos*. Mc Graw Hill.
- Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física universitaria*. México: Pearson.

# **ANEXOS**

## ANEXO A – CÁLCULOS

### Análisis de turbulencia

Se demostrará la determinación de la longitud de entrada tomando como ejemplo un dato laminar y uno turbulento para explicar el funcionamiento de las ecuaciones. A partir de la Ecuación (2.1) también conocida como la ecuación de Bernoulli determinamos la velocidad del flujo de salida del tanque, considerando una presión máxima de 15 [PSI] y que la velocidad dentro del tanque es nula. Las condiciones del aire las tomamos de la tabla 5.1:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2}$$
$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(2)}{2.34E-3} \left[ \frac{PSI}{slug/ft^3} \right]} = 13 \left[ \frac{ft}{s} \right] = 4 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Con la ecuación 2.2 Determinamos el número de Reynolds, en este caso tomaremos diferentes diámetros para obtener dos resultados distintos.

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu}$$

Para un diámetro interno de 0.005[m]:

$$Re = \frac{1.22 (0.005)(4)}{1.8E-5} = 1054.78$$

El flujo tiene un numero de Reynolds menor a 2500 por lo tanto tiene régimen laminar por lo tanto utilizamos la ecuación 2.3 para determinar la longitud de entrada:

$$l_e \approx 0.06 Re = 0.006(1054.78) = 0.316 [m]$$

Para un diámetro interno de 0.017[m]:

$$Re = \frac{1.22 (0.017)(4)}{1.8E - 5} = 3586.25$$

El flujo tiene un numero de Reynolds mayor a 2500 por lo tanto tiene régimen turbulento por lo tanto utilizamos la ecuación 2.3 para determinar la longitud de entrada:

$$\frac{l_e}{D} \approx 4.4 Re^{1/6}$$

$$l_e \approx 4.4 Re^{1/6} D = 4.4 (3586.25)^{1/6} (0.017) = 0.293 [m]$$

**Tabla 0.1 Viscosidad y densidad del aire a 1[atm]. (White, 2008)**

$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\mu, \text{N} \cdot \text{s/m}^2$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$	$T, ^\circ\text{F}$	$\rho, \text{slug/ft}^3$	$\mu, \text{lb} \cdot \text{s/ft}^2$	$\nu, \text{ft}^2/\text{s}$
-40	1.52	$1.51 \times 10^{-5}$	$0.99 \times 10^{-5}$	-40	$2.94 \times 10^{-3}$	$3.16 \times 10^{-7}$	$1.07 \times 10^{-4}$
0	1.29	$1.71 \times 10^{-5}$	$1.33 \times 10^{-5}$	32	$2.51 \times 10^{-3}$	$3.58 \times 10^{-7}$	$1.43 \times 10^{-4}$
20	1.20	$1.80 \times 10^{-5}$	$1.50 \times 10^{-5}$	68	$2.34 \times 10^{-3}$	$3.76 \times 10^{-7}$	$1.61 \times 10^{-4}$
50	1.09	$1.95 \times 10^{-5}$	$1.79 \times 10^{-5}$	122	$2.12 \times 10^{-3}$	$4.08 \times 10^{-7}$	$1.93 \times 10^{-4}$
100	0.946	$2.17 \times 10^{-5}$	$2.30 \times 10^{-5}$	212	$1.84 \times 10^{-3}$	$4.54 \times 10^{-7}$	$2.47 \times 10^{-4}$
150	0.835	$2.38 \times 10^{-5}$	$2.85 \times 10^{-5}$	302	$1.62 \times 10^{-3}$	$4.97 \times 10^{-7}$	$3.07 \times 10^{-4}$
200	0.746	$2.57 \times 10^{-5}$	$3.45 \times 10^{-5}$	392	$1.45 \times 10^{-3}$	$5.37 \times 10^{-7}$	$3.71 \times 10^{-4}$
250	0.675	$2.75 \times 10^{-5}$	$4.08 \times 10^{-5}$	482	$1.31 \times 10^{-3}$	$5.75 \times 10^{-7}$	$4.39 \times 10^{-4}$
300	0.616	$2.93 \times 10^{-5}$	$4.75 \times 10^{-5}$	572	$1.20 \times 10^{-3}$	$6.11 \times 10^{-7}$	$5.12 \times 10^{-4}$
400	0.525	$3.25 \times 10^{-5}$	$6.20 \times 10^{-5}$	752	$1.02 \times 10^{-3}$	$6.79 \times 10^{-7}$	$6.67 \times 10^{-4}$
500	0.457	$3.55 \times 10^{-5}$	$7.77 \times 10^{-5}$	932	$0.89 \times 10^{-3}$	$7.41 \times 10^{-7}$	$8.37 \times 10^{-4}$

### Análisis de potencia

Se determino la potencia necesaria para que la bomba pueda levantar la mezcla liquida a 1[m] de altura. Para esto se consideraron las propiedades del agua como referencia como se indica en la tabla 5.2. Para la tubería seleccionada de diámetro interior de 0.013 [m] utilizamos la ecuación 2.5 para determinar el flujo volumétrico necesario de la siguiente manera:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0.013^2)}{4} = 0.000132 [m^2]$$

$$Q = 0.000132 (4) = 0.000528 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Luego con la ecuación 2.6 se determinó la potencia hidráulica con la que debía cumplir al menos la bomba:

$$P_w = \rho g Q H = 1000(9.8)(0.000132)(2) = 10.34 [W] = 0.01386 [HP]$$

**Tabla 0.2 Densidad y viscosidad del agua a 1 [atm]**

$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$\mu, \text{N} \cdot \text{s/m}^2$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$	$T, ^\circ\text{F}$	$\rho, \text{slug/ft}^3$	$\mu, \text{lb} \cdot \text{s/ft}^2$	$\nu, \text{ft}^2/\text{s}$
0	1000	$1.788 \times 10^{-3}$	$1.788 \times 10^{-6}$	32	1.940	$3.73 \times 10^{-5}$	$1.925 \times 10^{-5}$
10	1000	$1.307 \times 10^{-3}$	$1.307 \times 10^{-6}$	50	1.940	$2.73 \times 10^{-5}$	$1.407 \times 10^{-5}$
20	998	$1.003 \times 10^{-3}$	$1.005 \times 10^{-6}$	68	1.937	$2.09 \times 10^{-5}$	$1.082 \times 10^{-5}$
30	996	$0.799 \times 10^{-3}$	$0.802 \times 10^{-6}$	86	1.932	$1.67 \times 10^{-5}$	$0.864 \times 10^{-5}$
40	992	$0.657 \times 10^{-3}$	$0.662 \times 10^{-6}$	104	1.925	$1.37 \times 10^{-5}$	$0.713 \times 10^{-5}$
50	988	$0.548 \times 10^{-3}$	$0.555 \times 10^{-6}$	122	1.917	$1.14 \times 10^{-5}$	$0.597 \times 10^{-5}$
60	983	$0.467 \times 10^{-3}$	$0.475 \times 10^{-6}$	140	1.908	$0.975 \times 10^{-5}$	$0.511 \times 10^{-5}$
70	978	$0.405 \times 10^{-3}$	$0.414 \times 10^{-6}$	158	1.897	$0.846 \times 10^{-5}$	$0.446 \times 10^{-5}$
80	972	$0.355 \times 10^{-3}$	$0.365 \times 10^{-6}$	176	1.886	$0.741 \times 10^{-5}$	$0.393 \times 10^{-5}$
90	965	$0.316 \times 10^{-3}$	$0.327 \times 10^{-6}$	194	1.873	$0.660 \times 10^{-5}$	$0.352 \times 10^{-5}$
100	958	$0.283 \times 10^{-3}$	$0.295 \times 10^{-6}$	212	1.859	$0.591 \times 10^{-5}$	$0.318 \times 10^{-5}$

Para determinar las pérdidas por fricción utilizamos la ecuación 2.8, donde  $f$  es el factor de fricción y  $L$  el largo de la tubería, de la siguiente manera:

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

Se determinó el factor de fricción a partir de la ecuación de Colebrook (2.9) partiendo de los parámetros de la tabla 5.3 para tubería plástica:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2 \log \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re f^{1/2}} \right)$$

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2 \log \left( \frac{0.0000015/0.013}{3.7} + \frac{2.51}{2742.43 f^{1/2}} \right)$$

$$f = 4.48E - 2$$

$$h_f = 4.48E - 2 \frac{2}{0.013} \frac{4^2}{2(9.8)} = 5.62 [m]$$

**Tabla 0.3 Rugosidad para materiales comerciales. (White, 2008).**

Material	Condición	ε		Incertidumbre, %
		ft	mm	
Acero	Lámina metálica, nueva	0.00016	0.05	±60
	Inoxidable	0.000007	0.002	±50
	Comercial, nuevo	0.00015	0.046	±30
	Estriado	0.01	3.0	±70
	Oxidado	0.007	2.0	±50
Hierro	Fundido, nuevo	0.00085	0.26	±50
	Forjado, nuevo	0.00015	0.046	±20
	Galvanizado, nuevo	0.0005	0.15	±40
	Fundición asfáltica	0.0004	0.12	±50
Latón	Laminado, nuevo	0.000007	0.002	±50
Plástico	Tubo laminado	0.000005	0.0015	±60
Vidrio	—	Liso	Liso	
Hormigón	Liso	0.00013	0.04	±60
	Rugoso	0.007	2.0	±50
Caucho	Liso	0.000033	0.01	±60
Madera	En duelas	0.0016	0.5	±40

Para determinar las pérdidas por accesorios utilizamos la ecuación 2.10, donde K es el coeficiente de pérdida por fricción obtenido de la tabla 5.4 para cada accesorio utilizado, de la siguiente manera:

$$h_m = \frac{v^2}{2g} \sum K$$

$$h_m = \frac{4^2}{2(9.8)} (14 + 2(2) + 0.9) = 15.42 [m]$$

**Tabla 0.4 Coeficiente de pérdidas por accesorios**

	Diámetro nominal, in								
	Roscado				Acoplado				
	$\frac{1}{2}$	1	2	4	1	2	4	8	20
Válvulas (abiertas):									
Esférica	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5
Compuerta	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03
De retención	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Angulo	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0
Codos:									
45° normal	0.39	0.32	0.30	0.29					
45° suave					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° normal	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° suave	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° normal	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° suave					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Tes:									
Flujo directo	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Flujo lateral	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

La potencia final sería:

$$P_w = \rho g Q H = 1000(9.8)(0.000132)(2 + 6 + 16) =$$

$$= 31 [W] = 0.042 [HP]$$

### Análisis de corriente pico

Por medio del uso de las ecuaciones 2.11, 2.12 y 2.13 analizamos los parámetros nominales para saber si la bomba era adecuada para los relés a implementar:

$$V_{RMS} = 0.707 V = 0.707(110) = 155.56 [V]$$

$$I_{RMS} = \frac{370}{155.56} = 2.37 [A]$$

$$I_{pico} = 3 (2.37) = 7.11 [A]$$

## ANEXO B – DIAGRAMAS DE FLUJO

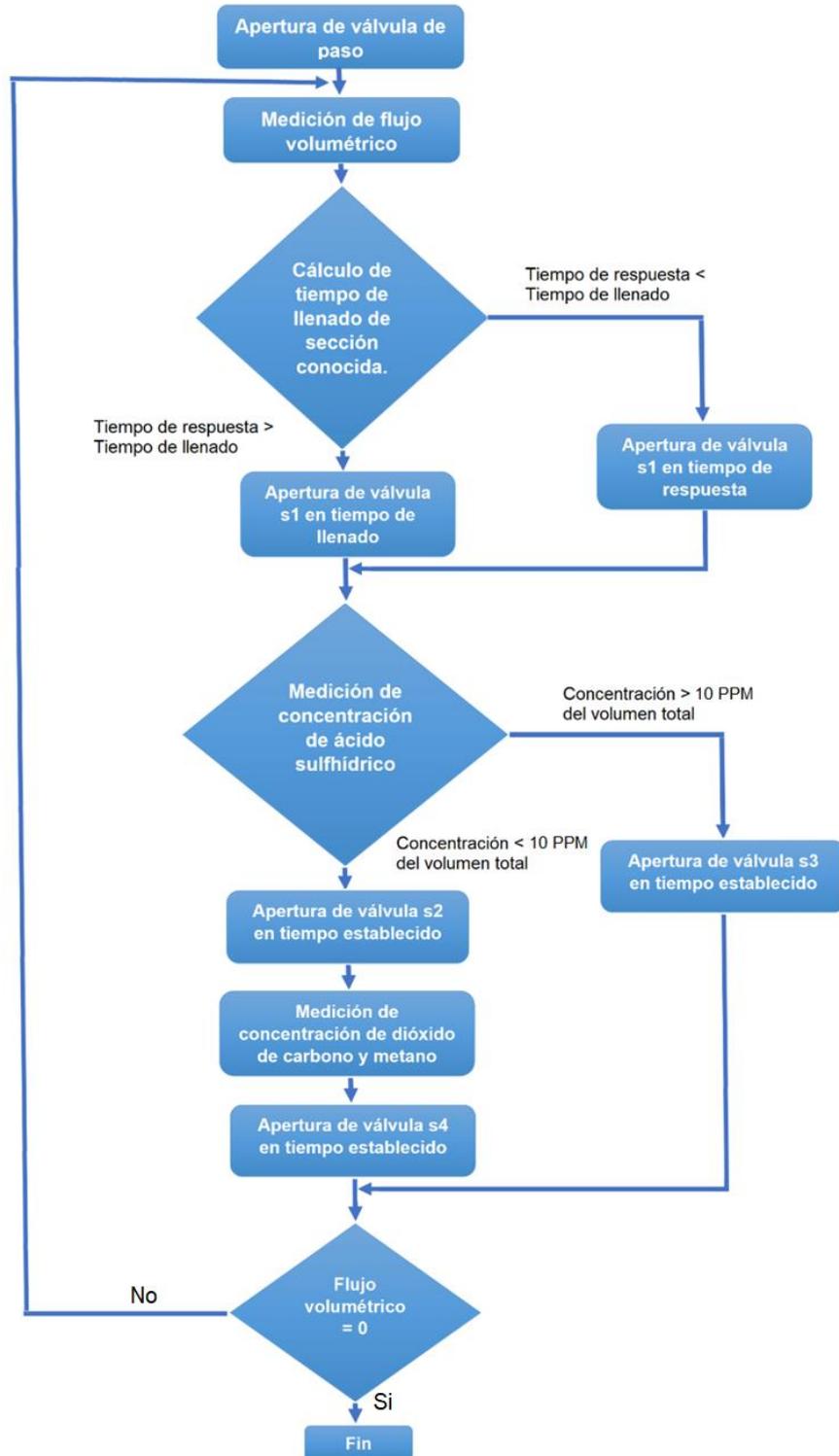


Figura 0.1 Diagrama de flujo de sistema de medición de gases

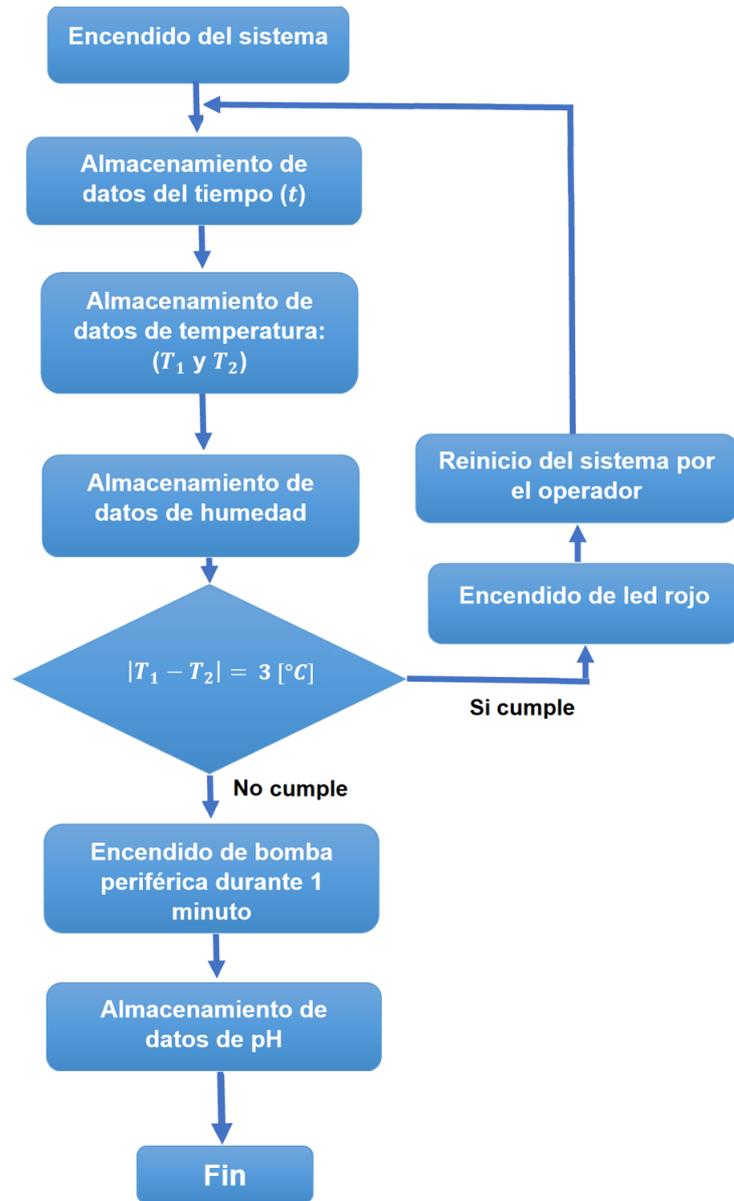


Figura 0.2 Diagrama de flujo de sistema de medición de condiciones internas

## ANEXO C – DATOS DE CALIBRACIÓN

### Sensor de pH

Tabla 0.5 Datos de calibración de sensor de pH

Voltaje	PH	Voltaje	PH	Voltaje	PH	Voltaje	PH	Voltaje	PH
30.273		28.274		24.023		23.096		20.313	
30.322		28.223		24.072		23.096		20.264	
30.078		28.174		23.975		23.145		20.361	
30.127		28.174		24.023		23.096		20.313	
30.127		28.125		24.023		23.096		20.410	
30.127		28.174		24.023		23.096		20.361	
30.176		28.076		23.877		23.047		20.361	
30.029		28.125		23.877		23.047		20.361	
29.932		28.223		23.975		23.047		20.361	
30.127		28.223		23.877		23.047		20.313	
30.029		28.223		23.926		23.047		20.117	
30.078		28.174		23.779		22.949		20.166	
30.225		28.174		23.633		22.949		20.117	
30.273		28.174		23.730		22.998		20.215	
30.127	4,16	28.076	5	23.730	6,3	22.998	7,12	20.215	9,13
30.176		28.076		23.730		23.047		20.215	
30.176		28.076		23.877		23.047		20.166	
30.225		28.076		23.877		23.047		20.166	
30.127		28.076		23.828		23.047		20.215	
30.029		28.271		23.926		23.047		20.166	
30.127		28.271		23.877		23.047		20.215	
30.078		28.271		23.926		23.047		20.264	
30.078		28.320		24.023		23.145		20.264	
30.127		28.174		24.121		23.096		20.215	
30.078		28.174		24.023		23.145		20.264	
29.980		28.271		24.072		23.096		20.313	
29.980		28.223		24.072		23.096		20.313	
29.980		28.174		24.023		23.047		20.264	
29.980		28.125		23.926		23.047		20.264	
29.980		28.125		23.877		23.096		20.264	

30.029	28.369	23.926	23.047	20.264
30.029	28.320	23.926	22.998	20.264
30.078	28.320	23.975	23.047	20.215
30.029	28.271	23.828	22.949	20.215
30.127	28.320	23.779	22.949	20.117
30.127	28.271	23.730	22.998	20.166
30.127	28.320	23.975	22.998	20.215
30.078	28.271	23.877	22.998	20.166
30.176	28.271	23.926	22.998	20.215
30.127	28.223	23.877	23.047	20.264

## Sensores de niveles de concentración

Tabla 0.6 Datos de calibración MQ-4

MQ-4	
PPM	Rs/Ro
200	1,83
1000	1
5000	0,58
10000	0,45

Tabla 0.7 Datos de calibración MQ-7

MQ-7	
PPM	Rs/Ro
50	1,411
100	1
400	0,377
1000	0,214
4000	0,09

**Tabla 0.8 Datos de calibración MQ-136**

<b>MQ-136</b>	
<b>PPM</b>	<b>Rs/Ro</b>
1	0,584
10	0,337
50	0,203
100	0,1571
200	0,1142

## ANEXO D – ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Válvula solenoide

Medida nominal: 3/4 [pulg.]

Voltaje: 12 [V]

Marca: U.S. SOLID



Figura 0.3 Válvula solenoide implementada

### Bomba periférica

Voltaje: 110[V]

Corriente: 5[A]

Potencia de la bomba: 370[W]

### Información técnica de los sensores

## Sensor MQ-4

# TECHNICAL DATA

# MQ-4 GAS SENSOR

### FEATURES

- \* High sensitivity to CH<sub>4</sub>, Natural gas.
- \* Small sensitivity to alcohol, smoke.
- \* Fast response .      \* Stable and long life      \* Simple drive circuit

### APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of CH<sub>4</sub>, Natural gas, LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

### SPECIFICATIONS

#### A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V <sub>c</sub>	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V <sub>H</sub>	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
P <sub>L</sub>	Load resistance	20KΩ	
R <sub>H</sub>	Heater resistance	33Ω ± 5%	Room Tem
P <sub>H</sub>	Heating consumption	less than 750mw	

#### B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T <sub>ao</sub>	Using Tem	-10℃-50℃	
T <sub>as</sub>	Storage Tem	-20℃-70℃	
R <sub>H</sub>	Related humidity	less than 95%Rh	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

#### C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R <sub>s</sub>	Sensing Resistance	10KΩ - 60KΩ (1000ppm CH <sub>4</sub> )	Detecting concentration scope: 200-10000ppm CH <sub>4</sub> , natural gas
α (1000ppm/ 5000ppm CH <sub>4</sub> )	Concentration slope rate	≤ 0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65% ± 5%	V <sub>c</sub> : 5V ± 0.1 V <sub>H</sub> : 5V ± 0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

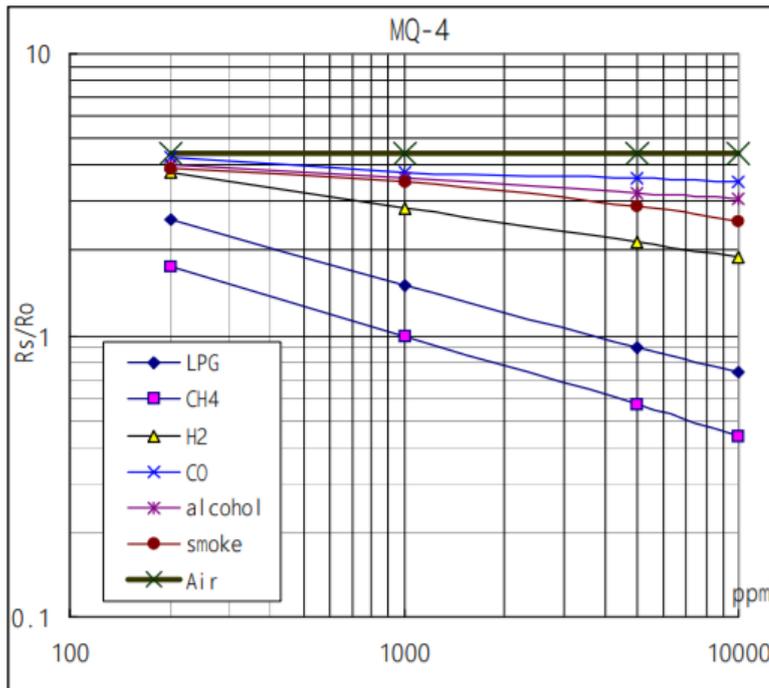


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-4

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4 for several gases. in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%, O<sub>2</sub> concentration 21% RL=20k Ω  
 Ro: sensor resistance at 1000ppm of CH<sub>4</sub> in the clean air.  
 Rs:sensor resistance at various concentrations of gases.

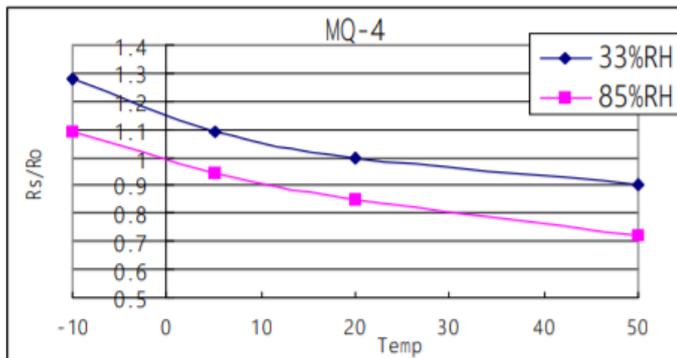


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-4 on temperature and humidity. Ro: sensor resistance at 1000ppm of CH<sub>4</sub> in air at 33%RH and 20 degree.  
 Rs: sensor resistance at 1000ppm of CH<sub>4</sub> in air at different temperatures and humidities.

## Sensor MQ-7

### TECHNICAL DATA

### MQ-7 GAS SENSOR

#### FEATURES

- \* High sensitivity to carbon monoxide
- \* Stable and long life

#### APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

#### SPECIFICATIONS

##### A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V ± 0.1	Ac or Dc
VH (H)	Heating voltage (high)	5V ± 0.1	Ac or Dc
VH (L)	Heating voltage (low)	1.4V ± 0.1	Ac or Dc
RL	Load resistance	Can adjust	
RH	Heating resistance	33 Ω ± 5%	Room temperature
TH (H)	Heating time (high)	60 ± 1 seconds	
TH (L)	Heating time (low)	90 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

##### b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20 °C-50 °C	
Tas	Storage temperature	-20 °C-50 °C	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

##### c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	Rs (300ppm)/Rs(100ppm)
Standard working condition	Temperature	-20°C ± 2°C	relative humidity 65% ± 5% RL: 10K Ω ± 5%
	Vc: 5V ± 0.1V	VH: 5V ± 0.1V	
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

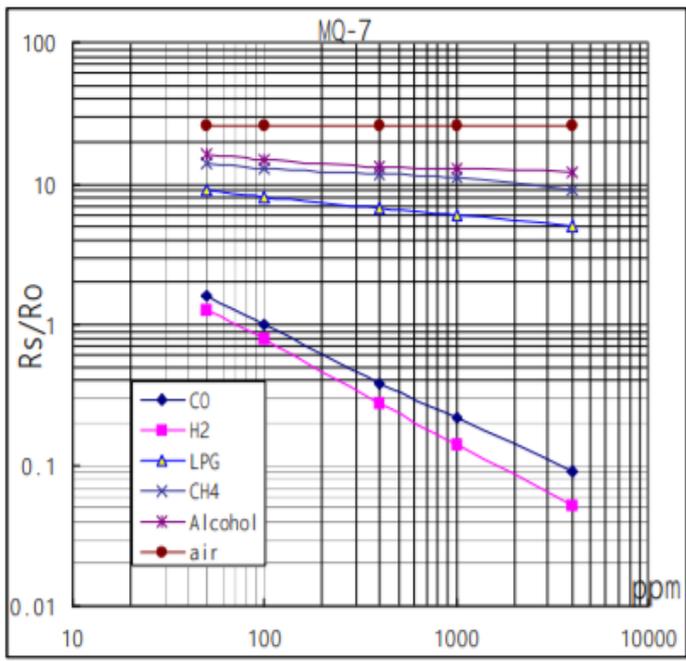


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases. in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%, O<sub>2</sub> concentration 21% RL=10k Ω

Ro: sensor resistance at 100ppm CO in the clean air.

Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

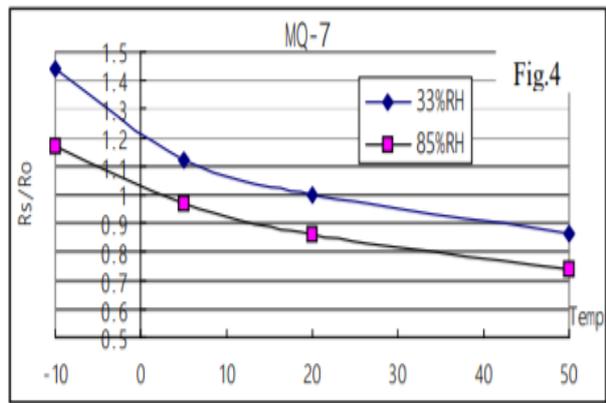


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.

Ro: sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 20degree.

Rs: sensor resistance at 100ppm CO at different temperatures and humidities.

## Sensor MQ-136

# TECHNICAL DATA

# MQ-136 GAS SENSOR

### FEATURES

Fast response and High sensitivity  
 Stable and long life                      Simple drive circuit

### APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of H<sub>2</sub>S.

### SPECIFICATIONS

#### A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V <sub>c</sub>	Circuit voltage	5V± 0.1	AC OR DC
V <sub>H</sub>	Heating voltage	5V± 0.1	AC OR DC
R <sub>L</sub>	Load resistance	can adjust	
R <sub>H</sub>	Heater resistance	31 Ω ± 5%	Room Tem
P <sub>H</sub>	Heating consumption	less than 800mw	

#### B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T <sub>ao</sub>	Using Tem	-10 C -45 C	
T <sub>as</sub>	Storage Tem	-20 C -70 C	
R <sub>H</sub>	Related humidity	less than 95%Rh	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

#### C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R <sub>s</sub>	Sensing Resistance	30K Ω -200K Ω (10ppm H <sub>2</sub> S)	Detecting concentration scope: 1-100ppm H <sub>2</sub> S
$\alpha$ (20/5) H <sub>2</sub> S	Concentration Slope rate	≤ 0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20 C ± 2 C    V <sub>c</sub> : 5V± 0.1 Humidity: 65%± 5%    V <sub>H</sub> : 5V± 0.1		
Preheat time	Over 24 hour		

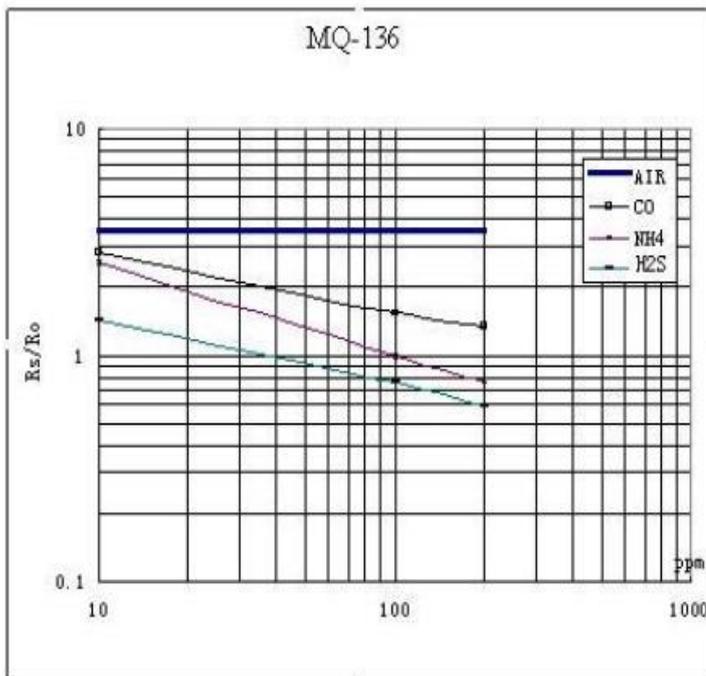


Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-136 for several gases. in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%, O<sub>2</sub> concentration 21%, RL=20kΩ. Ro: sensor resistance at 10ppm of H<sub>2</sub>S in the clean air. Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-136

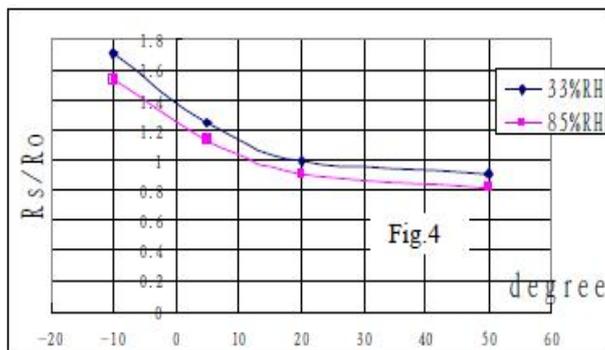
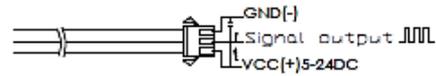


Fig.4 shows the typical dependence of the MQ-136 on temperature and humidity. Ro: sensor resistance at 10ppm of H<sub>2</sub>S at 33%RH and 20 degree. Rs: sensor resistance at 10ppm of H<sub>2</sub>S at different temperatures and humidity.

## Sensor de Flujo YF-201

### YIFA the plastics Ltd Product Introduction

- 1.Modle:YF-21
- 2.Product Name:Hall sensor
- 3.Flow Range: 1-30L/MIN
- 4.(1)Connection Method



(2)Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic:F=7Q(L/M

(3)Extent of error:±5%.

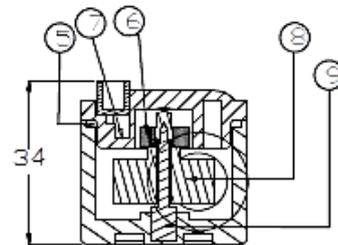
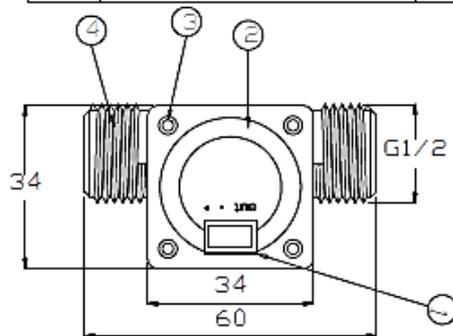
(4)Flow-Pulse

2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ

8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

#### 5.Bom

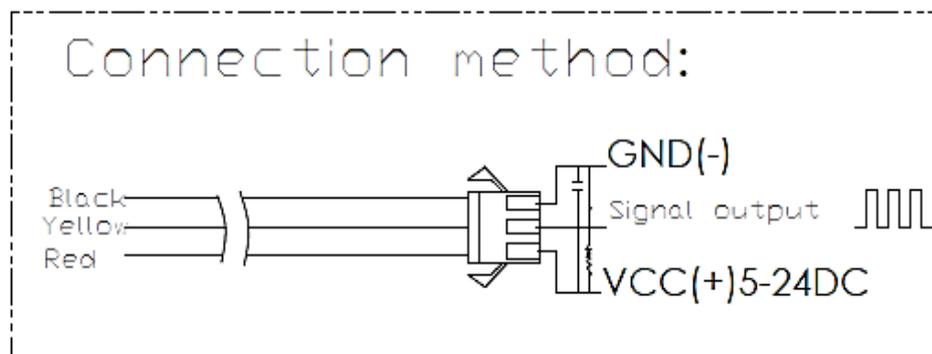
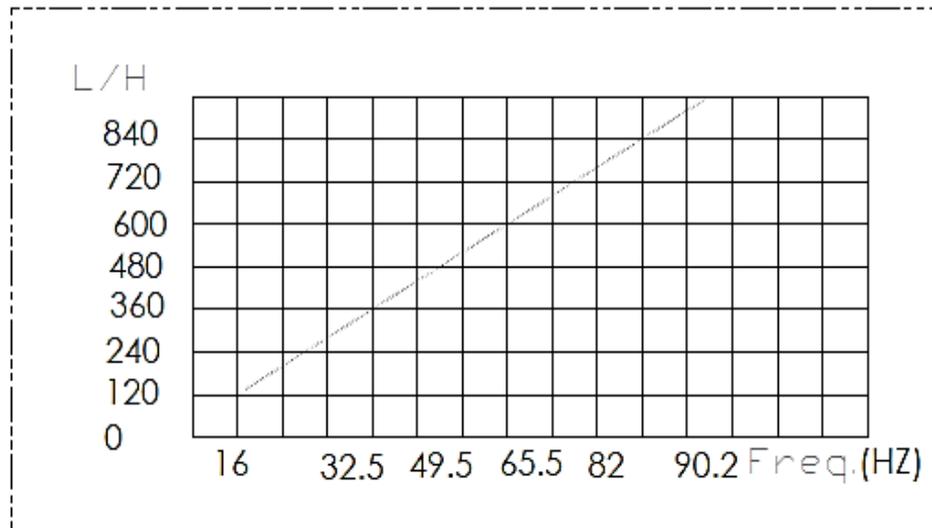
No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			



Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
------------	------------	-------------------

—Flow Range:100L/H-/1800H-L/H

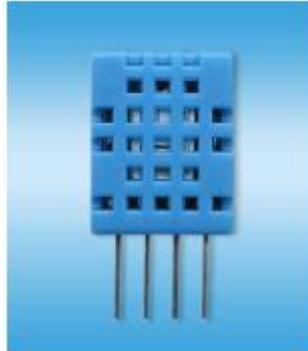
Flow (L/H)	Frezq.(HZ)	Erro range
120L/H	16	±10
240L/H	32.5	
360L/H	49.3	
480L/H	65.5	
600L/H	82	
720L/H	90.2	



# Sensor de humedad DT-H11

## 1、Product Overview

DHT11 digital temperature and humidity sensor is a composite Sensor contains a calibrated digital signal output of the temperature and humidity. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a resistive sense of wet components and an NTC temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller.



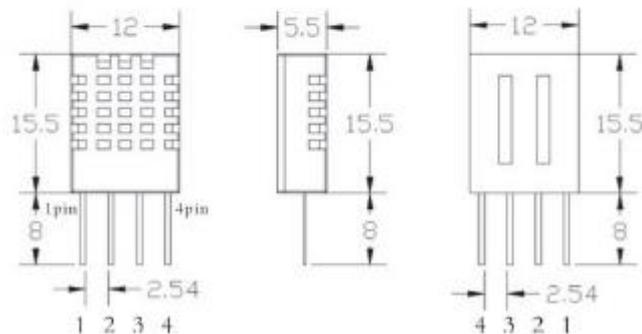
## 2、Applications

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, weather stations, home appliances, humidity regulator, medical and other humidity measurement and control.

## 3、Features

Low cost, long-term stability, relative humidity and temperature measurement, excellent quality, fast response, strong anti-interference ability, long distance signal transmission, digital signal output, and precise calibration.

## 4、Dimensions (unit: mm)



## 5、 Product parameters

Relative humidity

Resolution: 16Bit

Repeatability:  $\pm 1\%$  RH

Accuracy: At 25°C  $\pm 5\%$  RH

Interchangeability: fully interchangeable

Response time: 1 / e (63%) of 25°C 6s

1m / s air 6s

Hysteresis:  $< \pm 0.3\%$  RH

Long-term stability:  $< \pm 0.5\%$  RH / yr in

Temperature

Resolution: 16Bit

Repeatability:  $\pm 0.2^\circ\text{C}$

Range: At 25°C  $\pm 2^\circ\text{C}$

Response time: 1 / e (63%) 10S

Electrical Characteristics

Power supply: DC 3.5 ~ 5.5V

Supply Current: measurement 0.3mA standby 60 $\mu$  A

Sampling period: more than 2 seconds

Pin Description

1, the VDD power supply 3.5 ~ 5.5V DC

2 DATA serial data, a single bus

3, NC, empty pin

4, GND ground, the negative power

## Termocupla Sumergible DS18B20

### General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

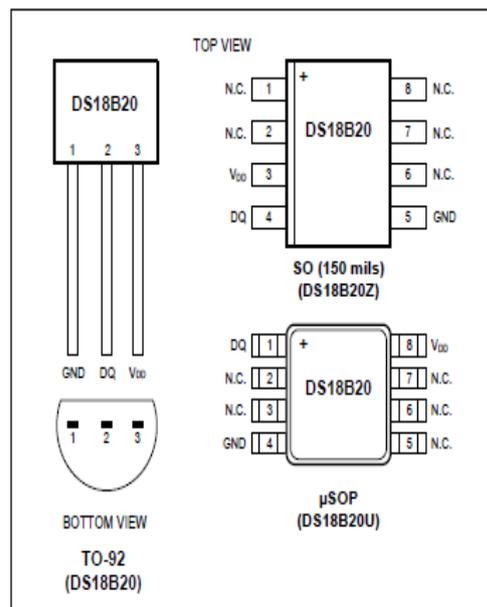
### Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

### Benefits and Features

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
  - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
  - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
  - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
  - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
  - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin  $\mu$ SOP, and 3-Pin TO-92 Packages

### Pin Configurations



Ordering Information appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

## Sensor de PH-4502C

### Especificaciones:

- Module power: 5[V]

- Module size: 43x32[mm<sup>2</sup>]
- Measuring range: 0-14 [pH]
- Accuracy:  $\pm 0.1$ [pH] (25°C)
- Response time: 1 [min]

### pH Electrode Size

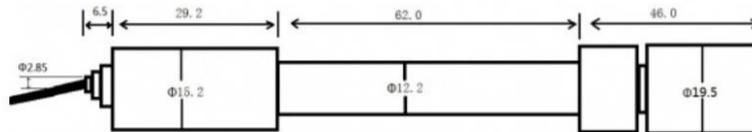


Figura 0.4 Dimensiones de sensor de pH

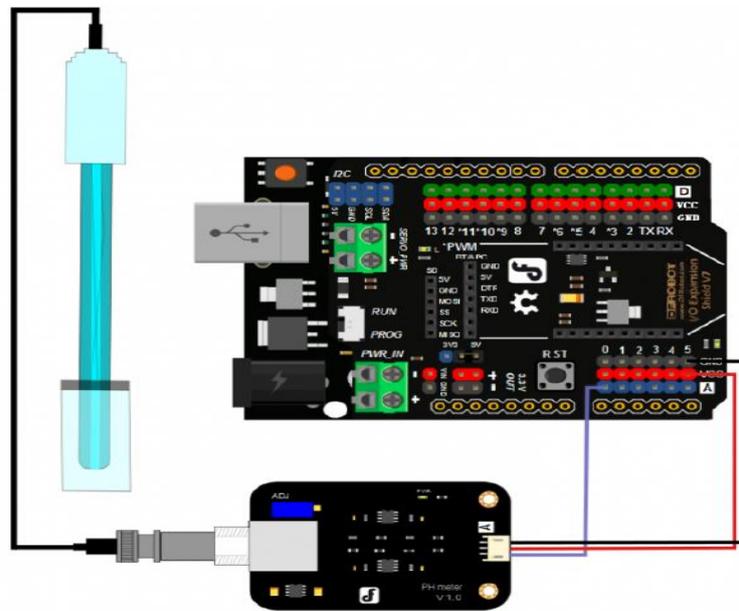


Figura 0.5 Sensor de pH

## Conexión de los sensores en la tarjeta Arduino Mega

Tabla 0.9 Puertos de conexión digital

Sensor	Pin
Flujo	2
Humedad	3

Válvula 1 (Entrada Mq-136)	4
Válvula 2 (Entrada Mq-4 – Mq-7)	5
Válvula 3 (Salida Mq-4 – Mq-7)	6
Válvula 4 (Desfogue)	7
Bomba de agua	8
Termocuplas	9
Calentador de sensor de gases	12
Luz led	13

**Tabla 0.10 Puertos de conexión analógica**

Sensor	Pin
Medición PH	2
Mq-136	3
Mq-4	4
Mq-7	5

## ANEXO E – FOTOGRAFÍAS

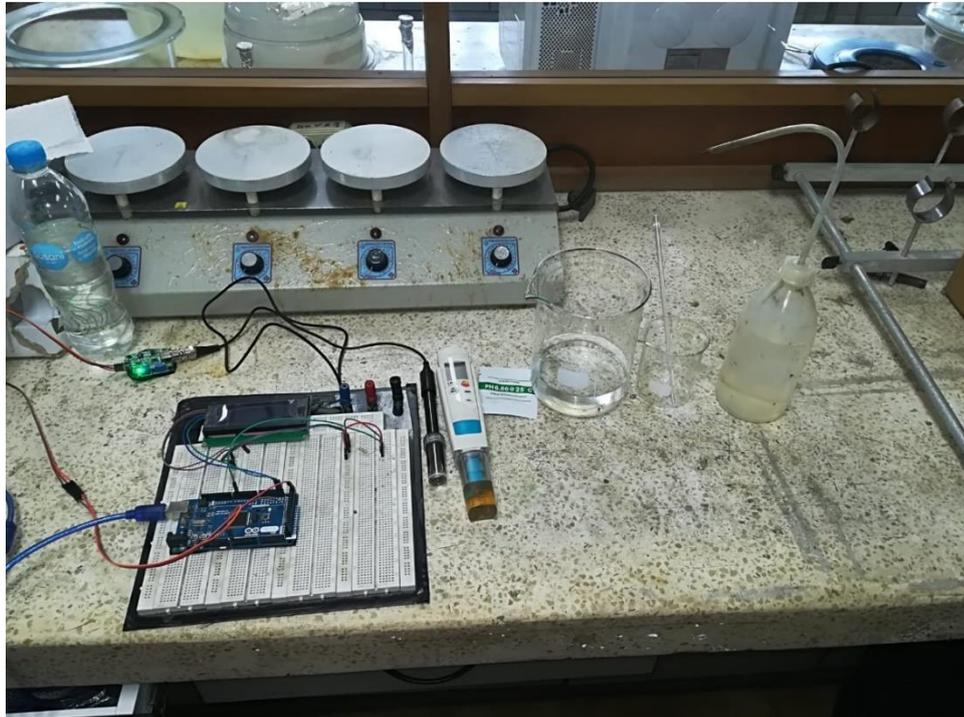
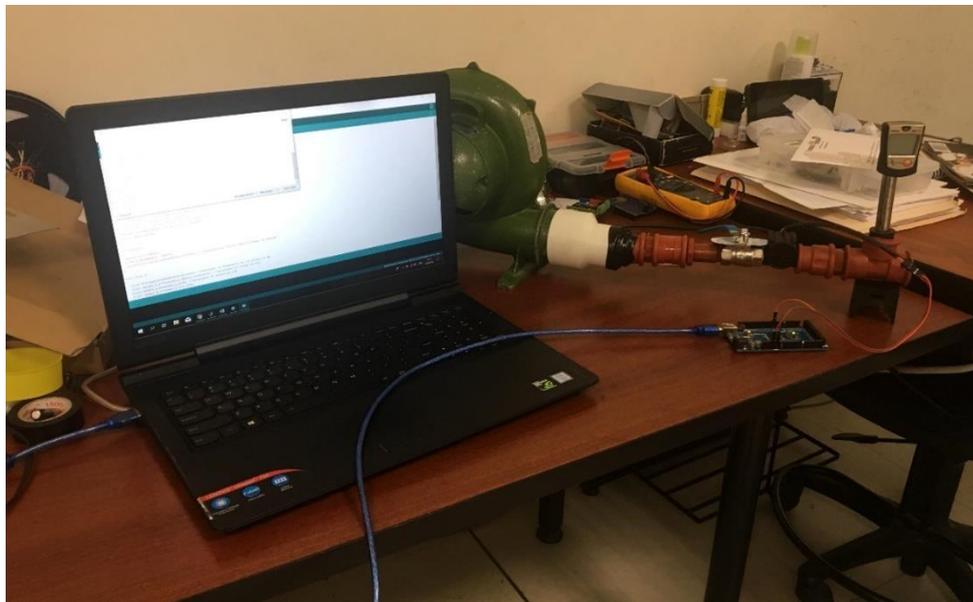


Figura 0.6 Calibración de sensor de pH



**Figura 0.7 Solución patrón de nivel de pH**



**Figura 0.8 Calibración de flujómetro**



**Figura 0.9 Calibración de temperatura**

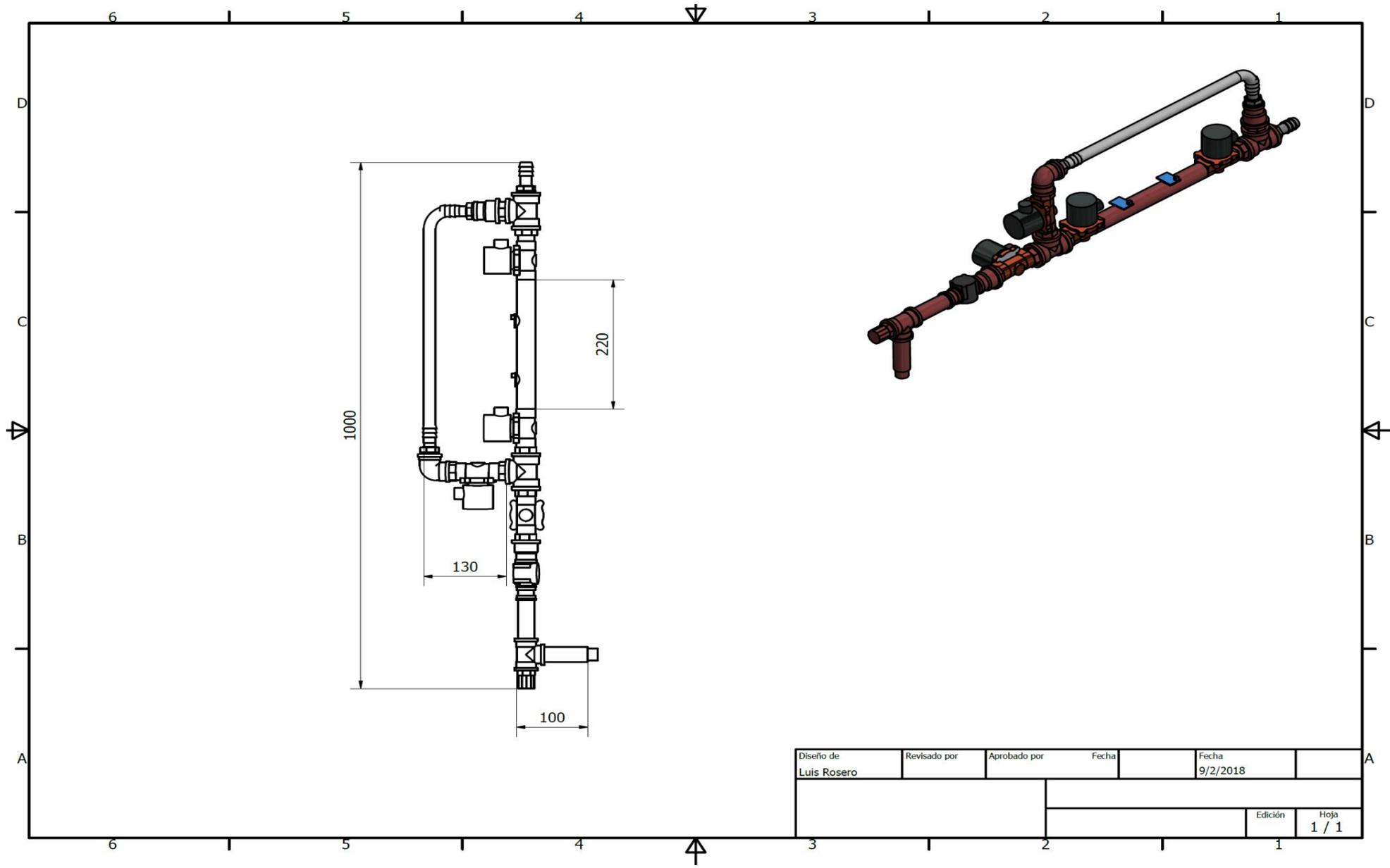


**Figura 0.10 Configuración de sistema de medición de gases**

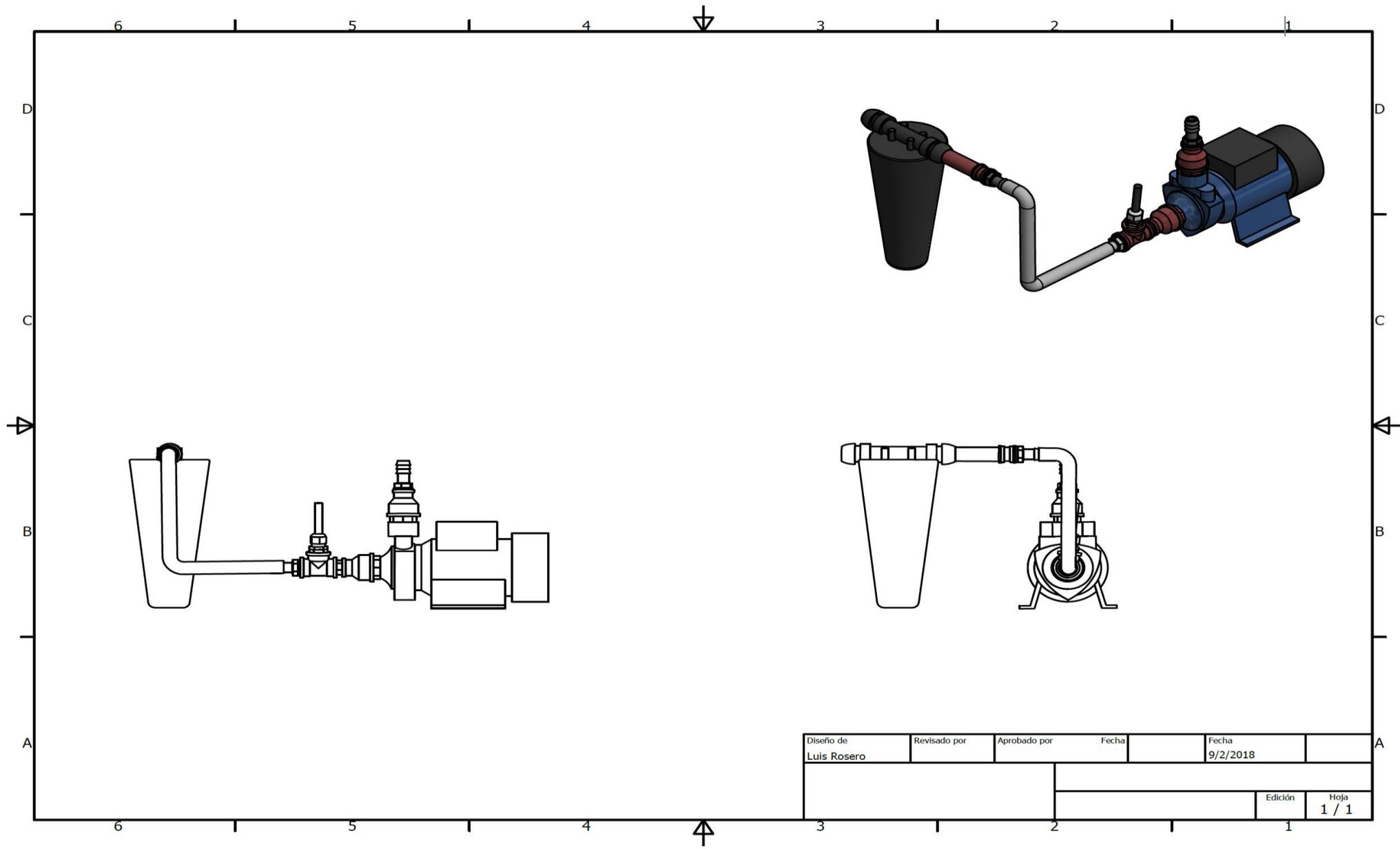


**Figura 0.11 Biodigestor con sistema de control montado**

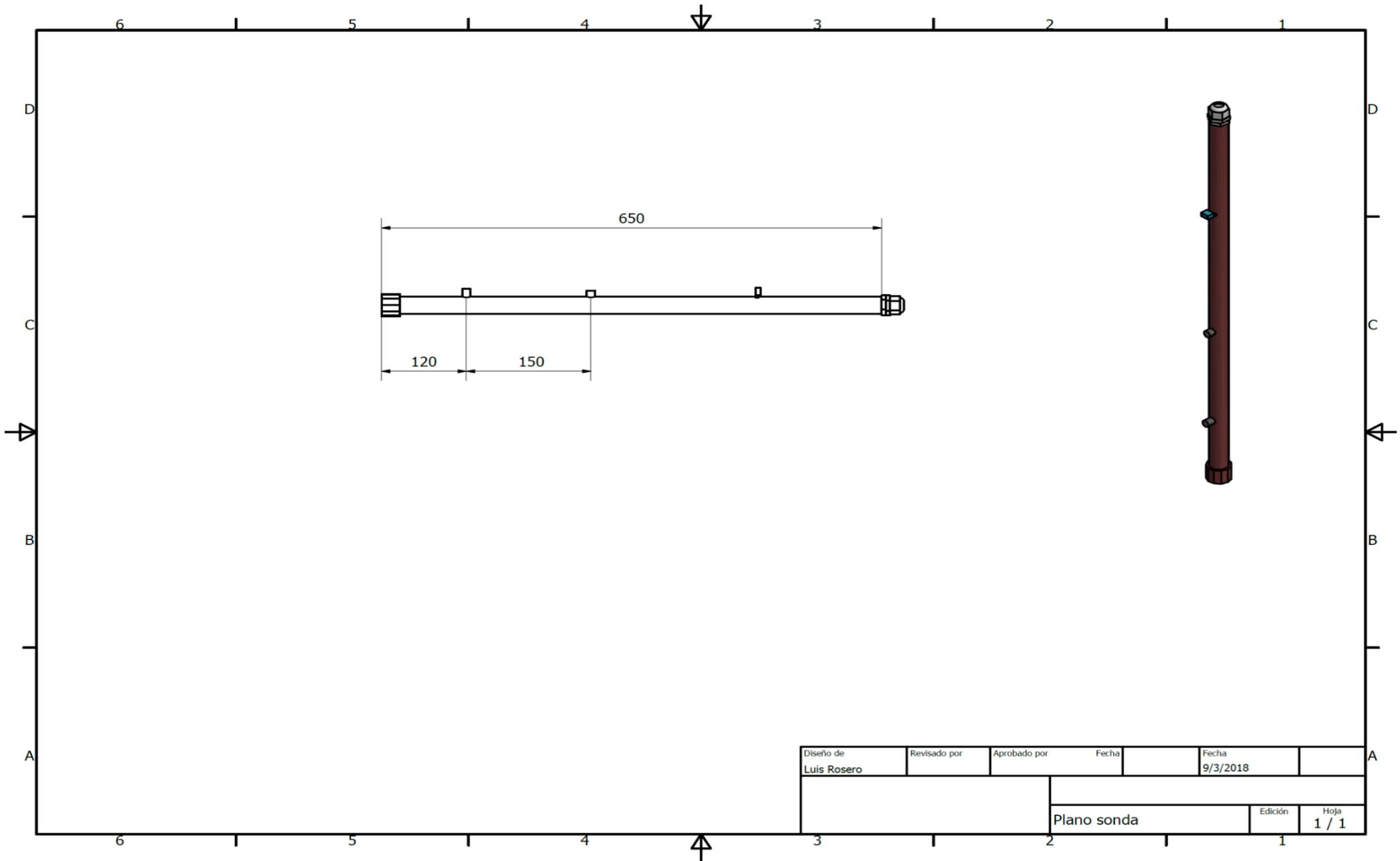
## **ANEXO F – PLANOS**



Plano 1. Sistema de medición de gases



Plano 2. Sistema de medición de condiciones internas



Diseño de Luis Rosero	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 9/3/2018
Plano sonda			Edición 1	Hoja 1 / 1

Plano 3 Sonda de condiciones internas del biodigestor