



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR INSTRUMENTADO
ELECTRÓNICAMENTE
PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS
EN CASA HABITACIÓN**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

ELÉCTRICA –SISTEMAS ELECTRÓNICOS

P R E S E N T A :

HORACIO ALDO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

TUTOR:

M. I. LUIS ARTURO HARO RUIZ

2012





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Peña Cabrera Mario

Secretario: M.I. Santiago Cruz Lauro

Vocal: M.I. Haro Ruiz Luis Arturo

1^{er}. Suplente: Dr. Tinoco Magaña Julio César

2^{do}. Suplente: M.I. Álvarez Castillo Jesús

FACULTAD DE INGENIERÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATEMÁTICAS APLICADAS Y EN
SISTEMAS

TUTOR DE TESIS:

M. I. LUIS ARTURO HARO RUIZ

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A mis padres como un testimonio de gratitud y eterno reconocimiento, por el apoyo que siempre me han brindado. Con todo mi cariño y respeto.

A mi familia porque con sus consejos, su tiempo, su apoyo y su amor desinteresado son lo mejor que tengo.

A mis amigos porque siempre me han tendido la mano. Por compartir lo más valioso que tienen, su tiempo y su corazón, sin esperar nada a cambio. A los cuales admiro por muchas razones, a cada uno en particular.

A todos los profesores y guías que he tenido por transmitirme sus conocimientos y su alegría por enseñar. A los malos maestros por mostrarme de cerca lo que no debo ser.

A mi profesión porque me ha permitido entender cómo funciona el mundo que me rodea y no sólo estar parado en él sin sentido.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

Al M.I. Luis Arturo Haro Ruiz por haber creído en este proyecto

A la Dra. Alejandra Castro González por el conocimiento compartido hacia esta investigación.

Al Ing. Ignacio Mendoza Nucamendi por sus invaluable colaboraciones y su apoyo incondicional para la realización de este proyecto.

A la Lic. Valeria Cruz Blancas porque no tengo las palabras correctas para agradecer su ayuda.

A la Coordinación de Estudios de Posgrado por el apoyo económico proporcionado para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por creer en mí, en particular a la gente del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas por brindarme un espacio donde concretar una idea que ahora rinde frutos.

Al Instituto Politécnico Nacional por ser mi Alma Máter.

Y finalmente a mi comité tutorial por sus acertadas observaciones.

ÍNDICE

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	I
OBJETIVO.....	II
JUSTIFICACIÓN	II
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	III
INTRODUCCIÓN.....	IV
CAPÍTULO PRIMERO	1
¿QUÉ ES EL BIOGÁS Y CÓMO SE OBTIENE?	1
1. GENERALIDADES DEL BIOGÁS.....	1
1.1. Parámetros de operación de los sistemas de generación de biogás	2
1.2. Tipos de biodigestores	4
1.3. Usos del biogás.....	4
1.4. Dimensionamiento del sistema de biogás.....	5
CAPÍTULO SEGUNDO	8
ESTADO DEL ARTE.....	8
2. LOS BIODIGESTORES EN PEQUEÑA ESCALA.....	8
2.1. Alemania.....	8
2.2. Argentina	9
2.3. Costa Rica.....	10
2.4. Estados Unidos de Norteamérica	10
2.5. México	11
2.6. Información adicional	13
CAPÍTULO TERCERO.....	14
DESARROLLO DE LA PLANTA PILOTO	14
3. SELECCIÓN DEL TIPO DE REACTOR Y CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	14
3.1. Cálculo teórico de producción de biogás por ecuación de Buswell.....	15
3.2. Construcción del biodigestor	15
3.3. Conexiones para biogás.....	16
3.4. Carga y descarga de biomasa	16
3.5. Sistema de mezclado	16
3.6. Aislamiento y calefacción	17
3.7. Rangos dinámicos de las variables a controlar.....	17
CAPÍTULO CUARTO.....	18
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	18
4. LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA	18
4.1. Sensores	18
4.2. Sensores de temperatura.....	18
4.3. Sensores de presión	19
4.4. Sensores de contacto.....	19

4.5. Sensor de pH	20
4.6. Adquisición de datos (DAQ)	20
4.7. Sistema de adquisición de datos vía USB	20
4.8. Arquitectura cliente-servidor.....	21
4.9. Microcontroladores en comparación con otros sistemas de automatización	21
4.10. Lenguajes de programación.....	22
4.11. Simuladores electrónicos	22
4.12. Instrumentación virtual	22
4.13. El amplificador de instrumentación	23
4.14. Actuadores	23
CAPÍTULO QUINTO	24
SELECCIÓN DE COMPONENTES Y HERRAMIENTAS DE DISEÑO.....	24
5. DIAGRAMA ELECTROMECAÁNICO DEL SISTEMA.....	24
5.1. Necesidades del proyecto.....	26
5.2 Criterios de selección	26
CAPÍTULO SEXTO	31
DESARROLLO	31
6. DESARROLLO DE SOFTWARE Y HARDWARE	31
6.1. Desarrollo del software.....	31
6.2. Desarrollo del hardware	36
6.3. Medición de la temperatura.....	37
6.4. Medición de presión en el reactor y diagrama de conexiones.....	42
6.5. Medición de nivel de líquidos	45
6.6. Medición del pH.....	48
6.7. Firmware del microcontrolador.....	52
6.8 Sistema electrónico completo	55
RESULTADOS.....	56
RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
ANEXOS.....	60
A1. INFORMACIÓN ADICIONAL SOBRE EL BIOGÁS Y TIPOS DE BIODIGESTORES.....	60
A2. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES SELECCIONADOS.....	68
A3. COSTOS DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO	79
GLOSARIO DE TÉRMINOS	80
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	83

RESUMEN

Ante el grave problema del cambio climático existe la motivación y exigencia para desarrollar tecnología que permita reducir las emisiones contaminantes y optimizar el uso de energías renovables.

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema *biodigestor* y su control electrónico basado en un microcontrolador, PIC 18F4550 de la compañía MICROCHIP, como cerebro del mismo. Dicho biodigestor se alimentará con los desechos orgánicos producidos en los hogares tanto de las grandes ciudades, como de las pequeñas poblaciones rurales y contará con los dispositivos de medición necesarios para poder brindar un servicio, constante, estable y con la menor intervención por parte del usuario.

El controlar un aparato biodigestor que pueda aprovechar los residuos y desperdicios orgánicos generados en un entorno casero resultará en un efecto multiplicador positivo que, además de lograr un ahorro económico, contribuirá sustancialmente a disminuir la emisión de *Gases de Efecto Invernadero* (GEI) a la atmósfera y fomentará el uso de energías renovables, en particular del gas *metano*, cuya combustión es significativamente menos contaminante que el gas en su estado natural.

ABSTRACT

Given the serious problem of climate change, there is motivation and demand on technology development that allow us to reduce emissions and optimize the use of renewable energies.

The present project aims to develop an electronic system based on MICROCHIP PIC 18F4550 microcontroller to be applied on a digester fed with household organic waste, even if cities or rural, and having measurement devices necessities to provide a continuous, stable and almost unmannered service.

Being capable of manage a digester that can take advantage of household organic waste, will result in a positive multiplier effect. In addition to achieving cost savings, result in a substantial contribution to reducing greenhouse gas emissions to the atmosphere and reduce global warming through energy substitution and utilization, particularly methane gas, whose combustion itself is significantly less polluting than gas in its natural state.

OBJETIVO

Diseñar un biodigestor y el control electrónico correspondiente, basado en un microcontrolador e instrumentación virtual, para su operación de forma autónoma en un digestor de residuos orgánicos de casa habitación.

JUSTIFICACIÓN

El proceso de digestión anaerobia está basado en un complejo sistema de especies de bacterias anaeróbicas que degradan la materia orgánica.

A escala industrial los procesos de digestión anaerobia han sido ampliamente usados desde finales de los años setenta hasta la fecha, más de 1,300 digestores han sido referenciados alrededor del mundo [1].

Sin embargo, muchos industriales siguen reacios al uso de plantas anaeróbicas, probablemente por causa de su eficiencia. Pueden ser inestables bajo ciertas circunstancias. Desórdenes como variaciones en las condiciones de operación de los procesos pueden llevar a la desestabilización del sistema y toma desde semanas hasta meses para que el reactor se recupere [2]. Durante este periodo, ningún tratamiento puede ser realizado por la unidad. Es por esto un gran reto para las ciencias de instrumentación y control, hacer este proceso más confiable y utilizable a escala industrial.

La investigación que aquí se presenta pretende transportar este tipo de procesos a una escala doméstica, para que los desechos puedan ser tratados desde su generación en un entorno casero, antes que depender de un servicio de recolección de basura encargado de disponer de esos desechos ya sea en instalaciones de relleno sanitario o macro plantas de tratamiento y sin la necesidad de un usuario experto que supervise el proceso.

El valor agregado para el usuario de esta tecnología es la obtención de gas metano, que puede utilizarse para cocción de alimentos o en el calentamiento de agua para aseo personal y actividades varias.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un biodigestor que pueda degradar materia orgánica para generación de gas metano, contribuye al no permitir que esta descomposición se realice en un entorno sin control y que los gases producto de la misma vayan directamente a la atmósfera del planeta.

Los países industrializados han elaborado acuerdos como el Protocolo de Kioto en el cual se comprometen a reducir de manera significativa las emisiones de GEI principalmente CO_2 (dióxido de carbono), el gas metano es 24 veces más contaminante que el propio CO_2 . Producir y quemar el gas metano en casa para obtener energía libera a la atmósfera un gas mucho menos nocivo para el ambiente y permite a los usuarios depender en menor medida de los combustibles fósiles que dicho sea de paso son no renovables.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende que el ciudadano promedio tenga en su hogar la tecnología necesaria para procesar de manera efectiva los desechos orgánicos que genera su actividad diaria.

El problema en el uso de esta tecnología surge debido a que el ciudadano promedio no es por lo general un técnico especializado en áreas como la electrónica, química o biología. Por esta razón el dispositivo debe operarse de la manera más autónoma posible, esto es, que su uso no debe ser más complejo que el de cualquier otro sistema doméstico. Es por esto un reto para la presente investigación, el poder desarrollar una tecnología de fácil uso, que permita a prácticamente cualquier persona operar un sistema de estas características.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo es el resultado de la investigación realizada en el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) de la Facultad de Ingeniería, desarrollado con la finalidad de aportar una alternativa más para el uso de energías renovables.

Para su análisis la tesis se divide en seis capítulos que describen poco a poco las características e implicaciones del proyecto.

El primer capítulo tiene como finalidad proporcionar al lector una visión general de cómo se produce el biogás y qué parámetros hay que tomar en cuenta para generarlo. A partir de aquí, se muestran las ecuaciones necesarias para determinar el tamaño requerido de un biodigestor que dependerá de la cantidad de materia orgánica disponible y permitirá saber cuánto biogás es posible obtener con ella.

Una vez familiarizados con el tema, el segundo capítulo presenta distintos tipos de biodigestores, que van desde simples sistemas manuales hasta plantas para estudios biológicos completos. Esta revisión se realiza con la finalidad de mostrar los desarrollos que hay en el mercado y evidenciar que los biodigestores caseros existentes son completamente manuales e incluso rústicos. Por otro lado, las plantas a pequeña escala con sistemas de instrumentación complejos -además de ser costosas- se utilizan para la investigación por lo cual su fin no es obtener biogás como producto de consumo.

En el tercer capítulo, con base en consideraciones de diseño de ingeniería, se presenta el desarrollo de la planta piloto y los cálculos de la producción teórica máxima de biogás que puede obtenerse con ella. Se muestran los sistemas físicos del biodigestor y se da un primer acercamiento a las variables críticas del proceso.

El cuarto capítulo da un panorama general de las herramientas de ingeniería que fueron empleadas para realizar la parte electrónica del biodigestor.

Con la planta en operación manual, fue necesario seleccionar componentes electrónicos y herramientas de diseño para el desarrollo del controlador electrónico encargado de la automatización del proceso. El capítulo quinto muestra esta selección y explica las características más importantes de los dispositivos.

El sexto capítulo contiene paso a paso el desarrollo del software y el hardware del sistema. Posteriormente se presentan los resultados obtenidos, así como las conclusiones y recomendaciones para el proyecto.

Se incluye además un apartado llamado Anexos en el cual se encuentra información adicional que puede ser necesaria para una mejor comprensión de los temas tratados en los capítulos que componen la tesis tales como información adicional acerca del biogás, hojas técnicas de componentes electrónicos, entre otros. También se incluye un glosario para términos técnicos que se presentan a lo largo de la tesis y que se encuentran escritos con letras cursivas.

CAPÍTULO PRIMERO

¿QUÉ ES EL BIOGÁS Y CÓMO SE OBTIENE?

1. GENERALIDADES DEL BIOGÁS

El *biogás* es un gas combustible que se puede obtener a partir de la *biomasa*, tal como son los desechos de humanos y de animales, residuos agrícolas, aceites vegetales y plantas acuáticas, por mencionar algunos. Este gas puede ser utilizado, por ejemplo, como combustible para motores que mueven una bomba de agua, en alumbrado y en la cocción de alimentos.

El mecanismo predominante para la conversión de la biomasa en biogás es la conversión bioquímica o digestión de biomasa orgánica, que debe entenderse como un proceso natural que involucra varios procesos bacterianos y enzimáticos simultáneamente.

El método más común de producción de biogás es la digestión anaeróbica llevada a cabo en un tanque cerrado llamado biodigestor. La biomasa se mezcla en el biodigestor con agua para formar una suspensión, en la cual la digestión anaeróbica se realiza en dos pasos. En el primer paso, llamado licuefacción, la materia orgánica es descompuesta por *hidrólisis enzimática* y fermentada para producir principalmente ácidos y alcoholes. Seguidamente, en la etapa de gasificación, las bacterias metanogénicas rompen los ácidos y los alcoholes, para producir metano y dióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfhídrico. El diagrama de la Figura 1.1 indica las diversas etapas de la digestión.

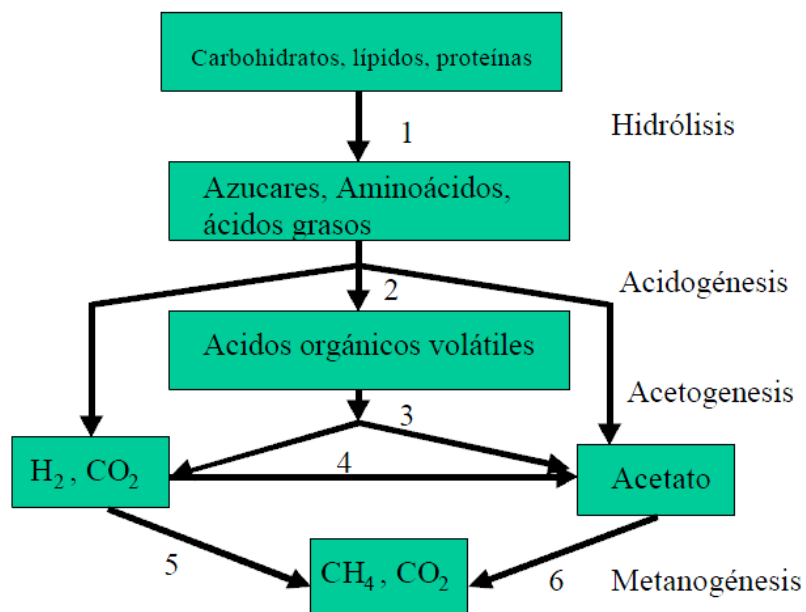


Figura 1.1. Etapas de la digestión anaerobia.

El biogás obtenido en esta transformación está constituido por una mezcla de gases combustibles y su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción, y de las condiciones de operación de los reactores donde ocurre la transformación. Este producto contiene aproximadamente un 60% de metano y 40% de dióxido de carbono; la pequeña cantidad de ácido sulfhídrico da al gas un olor a huevos podridos. El valor calorífico del biogás es 20 – 30 MJ de energía calórica por m³ de gas.

1.1. Parámetros de operación de los sistemas de generación de biogás

Los procesos bacterianos y enzimáticos de la digestión anaeróbica son sensibles a variaciones en la temperatura, contenido de agua y composición general de la mezcla en el biodigestor. El biogás se produce únicamente si se excluye el aire del digestor de forma tal que se pueda desarrollar la condición anaeróbica. En consecuencia, el tanque del digestor debe estar herméticamente cerrado.

1.1.1. Contenido de agua de la mezcla

Un contenido insuficiente de agua en la mezcla alimentada al biodigestor ocasiona que las bacterias y otros microorganismos no obtengan el entorno apropiado para que puedan funcionar efectivamente y la cantidad de biogás producido será pequeña. Si la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción de biogás es limitada.

Si se usa primordialmente excreta humana y orines, estiércol y desechos de agricultura como alimento para el digestor, entonces la razón de biomasa-agua debe estar entre 1:1 y 1:2. Por consiguiente por cada 100 kg de heces y orina se requieren entre 100 y 200 litros de agua. Si el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere de más agua, en una razón de 1:3 o 1:4.

Es esencial proporcionar una buena mezcla en el digestor para promover una biodegradación efectiva, especialmente si se utiliza biomasa cruda con alto contenido leñoso.

1.1.2. Temperatura y período de retención

La temperatura de la mezcla en el digestor es un factor importante para la eficiencia del proceso de digestión. La mayoría de las bacterias anaeróbicas funcionan mejor en el rango de temperatura de 30 a 35 °C y este rango es el óptimo para la producción de biogás. La temperatura en el tanque digestor siempre debe estar por encima de 20 °C, porque a temperaturas menores, se produce poco biogás y por debajo de 10° C la digestión cesa completamente.

El periodo de retención es el tiempo que permanecerá la biomasa en descomposición dentro del digestor, periodos de retención de 10 a 25 días para la mezcla en el tanque digestor son usuales para la mayoría de los países tropicales. Si las temperaturas ambientales son altas, por ejemplo, en promedio entre 30 y 35° C, puede ser suficiente

un periodo de retención más corto, de 15 días. En climas más fríos, son comunes periodos de retención más largos, de 80 a 90 días.

1.1.3. Acidez/Alcalinidad de la mezcla

Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a las variaciones en acidez/alcalinidad (pH) de la mezcla del digestor. Para un funcionamiento óptimo, el valor del pH de la mezcla debe mantenerse dentro del rango de 6.8 a 7.5, esto es, neutral a ligeramente alcalino. Durante el proceso de digestión se producen ácidos orgánicos, y si no se controlan, la mezcla en el tanque puede gradualmente tornarse ácida, lo que puede inhibir los procesos bacterianos y enzimáticos en el biodigestor. La regulación del pH en el rango deseado se logra agregando regularmente a la mezcla materiales alcalinos, tales como cal o cenizas.

1.1.4. Nutrientes

El nitrógeno es esencial para el crecimiento y la actividad de las bacterias. La materia prima que contiene una baja razón carbono/nitrógeno es digerida fácilmente, pero los residuos agrícolas leñosos, tales como la paja de trigo o de arroz, requieren un suministro de nitrógeno para una digestión eficiente.

El alto contenido de celulosa de los pastos y residuos agrícolas hace que sean difíciles de digerir. Las heces humanas y orines, y también los desechos de animales son ricos en nitrógeno y nutrientes necesarios para el crecimiento y multiplicación de las bacterias anaeróbicas. Para una producción óptima de biogás, se deben alimentar los diversos tipos de biomasa en proporciones cuidadosamente balanceadas y mezcladas. Se recomienda que la razón carbono-nitrógeno de los materiales combinados de alimentación se mantenga menor de 30:1. Un resumen de los rangos óptimos de los parámetros para la producción de biogás está dado en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Rangos óptimos de los parámetros de producción de biogás.

PARÁMETRO	RANGO ÓPTIMO
Temperatura(° C)	30-35
PH	6.8-7.5
Relación C/N	20-30
Tiempo de Retención (días)	10-25*
Relación agua/Sólidos	6-10

* Países tropicales temperaturas en rango óptimo.

1.1.5. Agitación

La generación del biogás depende fundamentalmente del íntimo contacto entre bacterias, la materia prima en degradación y los compuestos intermedios producto de las diferentes etapas del proceso fermentativo. En consecuencia, la agitación de la masa en digestión es sumamente beneficiosa para el buen funcionamiento del proceso. Con biodigestores operando en el nivel *mesofílico* se requiere una suave agitación, siendo suficiente un movimiento intermitente realizado con algún elemento mecánico.

En el caso de instalaciones que trabajan a nivel *termofílico*, la agitación debe ser continua para mantener una temperatura uniforme en todo el reactor. Esta operación puede realizarse mediante el reciclo del contenido del digestor por bombeo, agitación mecánica con paletas o recirculación del biogás comprimido, con un compresor adecuado, desde la parte superior hacia el fondo del tanque.

1.2. Tipos de biodigestores

Existen muchos diseños de biodigestores, que van desde una simple bolsa de polietileno hasta los más elaborados que se encuentran en las grandes plantas de generación de biogás, para más información acerca de este tipo de sistemas ver Anexo 1.

1.3. Usos del biogás

El biogás obtenido puede ser empleado para generación de energía, en iluminación y como medio de calentamiento para cocción de alimentos, como combustible para una caldera, para calentar un espacio o en equipos de refrigeración. El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los equipos que funcionan a base del biogás.

1.3.1. Estufas de biogás

Las estufas que emplean biogás deben ser de fácil y simple operación, flexibles en cuanto a tamaño, fáciles de limpiar y reparar, de bajos costos y alta eficiencia en el uso de combustible.

Los quemadores deben estar bien regulados y en buenas condiciones de funcionamiento, así se mantiene un alto rendimiento. El rendimiento es bueno, si por ejemplo, un litro de agua hierve rápidamente (entre 8-12 minutos). Este proceso es más largo si el quemador no está bien regulado, en tal caso, el rendimiento es bajo.

El suministro de gas influye considerablemente sobre el rendimiento. Una presión de gas de 0.5 hasta 2 kPa es la más apropiada para cocinar.

1.3.2. Alumbrado

En pueblos no conectados a una red eléctrica, la iluminación es una necesidad básica. Bajo esta situación el uso de lámparas de biogás se hace adecuado para este tipo de comunidades. La luz brillante reflejada por las lámparas de biogás se debe al calor que produce la quema del mismo y que induce luminosidad en metales especiales como son el Torio, Cerio y Lantano a temperaturas de 1000-2000 °C. Alrededor de 130-160 candelas (cd) los flujos de luz alcanzados son equiparables con los obtenidos con lámparas incandescentes de 25-75 W.

1.3.3. Motores que usan biogás como combustible

Los motores con ignición por chispa pueden funcionar solamente con biogás, mientras que los motores diésel requieren algunas modificaciones para permitirles que funcionen principalmente con una mezcla de biogás y diésel. Esto es una operación de "combustible dual" con hasta el 60% del requerimiento de combustible diésel reemplazado por biogás.

La experiencia demuestra que no es práctico reemplazar una mayor proporción del requerimiento de diésel, debido a las limitaciones operacionales de los motores diésel. La temperatura de la cámara de combustión del motor es mayor (aproximadamente 700° C) al final de la carrera de compresión, pero esto es menor que la temperatura a la cual la mezcla biogás/aire hace ignición espontáneamente. De esta forma, siempre se requiere inyección de un pequeño suplemento de combustible diésel para asegurar la ignición fácil de la mezcla de biogás/aire.

La mayoría de los motores diésel pueden ser modificados para su operación con combustible dual. En muchos casos el arreglo más sencillo es el de conectar el tubo del suministro de biogás directamente al tubo de admisión de aire del motor, después del filtro. Para asegurar una operación satisfactoria con combustible dual, el ácido sulfhídrico del biogás debe ser removido por purificación. La potencia pico de salida de un motor diésel modificado que funciona con biogás es del 25 al 35 % menor que cuando se usa combustible diésel exclusivamente.

En principio, los motores de gasolina también pueden funcionar con biogás, usando un poco de gasolina para arrancar. Se puede utilizar un carburador estándar para alimentar el biogás, pero los carburadores diseñados exclusivamente para gas generalmente darán mejores resultados. La presión del gas puede ser baja porque los motores succionan el gas.

1.4. Dimensionamiento del sistema de biogás

El tamaño de la planta de biogás depende de la cantidad, calidad y clase de biomasa disponible [3].

1.4.1. Tamaño del biodigestor

El tamaño del biodigestor (Vd en m^3) se determina sobre la base del tiempo de retención seleccionado (RT en días) y la cantidad de sustrato de entrada (biomasa disponible) (Sd en kg).

$$Vd = Sd * RT \quad (m^3)$$

La entrada de sustrato depende de la cantidad de agua adicionada para ajustar el contenido de sólidos del sustrato que generalmente está alrededor del 4 al 8%.

$$\text{Cantidad de sustrato } (Sd) = \text{Biomasa } (B) + \text{Agua } (W) \frac{m^3}{\text{día}}$$

1.4.2. Cálculo de la producción diaria de gas

La cantidad de biogás generada cada día (G) se calcula sobre la base del gas producido (Gy) por unidad de sustrato y la cantidad diaria de sustrato. El valor de Gy puede ser estimado a partir de datos de la literatura y representa la cantidad de gas equivalente producido por unidad de sólidos volátiles o de masa húmeda o por animal doméstico.

De esta manera el cálculo se puede realizar en términos de:

Contenido de sólidos volátiles:

$$G = \text{Sólidos volátiles} \left(\frac{kg}{\text{día}} \right) * Gy \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) \text{ de biogás por unidad de sólidos volátiles}$$

El peso de la masa húmeda:

$$G = Kg \text{ de biomasa} * Gy \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) \text{ de biogás por unidad de masa húmeda}$$

Valores estándar por animal doméstico:

$$G = \# \text{ de animales} * Gy \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) \text{ de biogás por unidad de especies domésticas}$$

1.4.3. Establecimiento de los parámetros de la planta

La seguridad de haber seleccionado un tamaño correcto del sistema puede incrementarse revisando los siguientes parámetros:

Producción específica de gas (Gp): Relación entre la producción diaria de gas y el volumen del digestor:

$$Gp = G * Vd \quad \left(\frac{m^3 \text{ gas}}{\text{día}} * m^3 \text{ de digestor} \right)$$

Carga del digestor (Ld): Entrada de sólidos totales o volátiles por volumen de digestor

$$Ld = \frac{St \text{ o } Sv \text{ a la entrada}}{m^3 \text{ del digestor}} = \left(\frac{Kg \text{ St}(Sv)}{\text{día}} * m^3 \text{ de digestor} \right)$$

Los parámetros anteriormente calculados deben ser comparados contra los datos obtenidos en plantas existentes en la región o de la literatura.

1.4.4. Tamaño del tanque de almacenamiento de biogás

La experiencia práctica indica que el 40 – 60% de la producción diaria de gas normalmente tiene que ser almacenada, por lo tanto en la mayoría de los casos se requiere de un tanque de almacenamiento del biogás.

El tamaño del tanque de almacenamiento (Volumen) depende de las velocidades relativas de generación y de consumo de biogás y éste puede ser dimensionado para:

Cubrir la velocidad pico de consumo (Vg1): En este caso el tamaño se determina con base al máximo consumo de gas.

$$Volumen \text{ del tanque a máximo consumo de gas} = (Gc, \text{max}) * (tc, \text{max})$$

Donde:

Gc, max = máximo consumo gas horario.

tc, max = tiempo de máximo consumo (h).

Mantener el gas producido durante el periodo de cero consumo: en este caso el tamaño se determina con base en el tiempo de cero consumo de gas.

$$Volumen \text{ del tanque en periodo de cero consumo} = (G) * (tz, \text{max})$$

Donde:

G = producción de gas.

tz, max = tiempo máximo de cero consumo.

El tamaño final se selecciona dependiendo del mayor valor obtenido de la situación A o B. Un margen de seguridad del 10 al 20% debe ser agregado. Un factor importante en el dimensionamiento del sistema tiene que ver con la relación Volumen del digestor / volumen del tanque de almacenamiento. Para una planta de biogás agrícola, la relación Vd/Vg está en el rango de 3:1 a 10:1; recomendándose la relación 5:1 a 6:1.

Si bien es cierto que el biogás en muchas circunstancias no representa el 100% del consumo de una instalación, es un buen apoyo y puede sustituir, si se emplea adecuadamente, hasta un 60-70% del gas consumido ya sea natural o LP (Licuado Propano).

CAPÍTULO SEGUNDO

ESTADO DEL ARTE

2. LOS BIODIGESTORES EN PEQUEÑA ESCALA

Existe una amplia variedad de biodigestores que con ingeniosos diseños producen biogás, éstos van desde los biodigestores rurales construidos con bolsas de polietileno hasta las macroplantas productoras que pueden abastecer a una comunidad completa. De los diseños aquí presentados es necesario destacar que los biodigestores instrumentados a pequeña escala son fabricados normalmente para procesos de investigación y proyección de macroplantas. Por el contrario, los biodigestores que se construyen para el abastecimiento de pequeñas familias carecen de instrumentación alguna, con lo cual la obtención de biogás es más un asunto de prueba y error que de certidumbre de lo que ocurre con el proceso de metanogénesis.

Las siguientes secciones muestran algunos biodigestores de pequeña escala y detallan sus características principales.

2.1. Alemania

El grupo Aqua Limpia consultores ofrece un libro para la correcta planeación de una planta generadora de biogás donde se incluyen características de los generadores eléctricos a base de biogás, sistemas de calefacción, sistemas de bombeo y en general todos los dispositivos periféricos necesarios para la producción de este biocombustible. Cabe mencionar que dadas las dimensiones de estos sistemas, cada parte del proceso se trata como un sistema independiente.

Ofrecen además biodigestores prefabricados, de tipo *geomembrana*, la medida más pequeña es de veinticinco metros cúbicos. También cuentan con biodigestores más sencillos de tipo salchicha. Dichos sistemas son por sus características los de funcionamiento más básico. Es decir que no cuentan con ningún tipo de automatización.

Fabrican también plantas piloto que tienen agitador integrado, además de toda la instrumentación necesaria para medir la producción de metano [4].

Las principales desventajas de los sistemas de pequeña escala son:

No son energéticamente sustentables puesto que su función es ayudar a tomar muestras del proceso para plantas grandes, no en sí la generación de biogás para su uso.



Figura 2.1. Planta piloto para biogás Aqua Limpia.

2.2. Argentina

Por otro lado, el Grupo de Estudios Sobre Energía y Medio Ambiente (GESE) de la Universidad Tecnológica Nacional en Argentina, plantea un sistema de control en condiciones de simulación de un biodigestor, a través de la adquisición de variables representativas del proceso y actuación sobre la planta para llevar un registro de los valores de variables representativas.

Este desarrollo se hizo basándose en el microcontrolador MC68HC11y el diseño de un software de control, mientras que para el registro de datos, se estableció una comunicación asincrónica entre el sistema de control y una PC a la que se vuelcan los datos oportunamente. Se logró la operación satisfactoria del sistema de control en condiciones de laboratorio. El control fue diseñado como parte de un proyecto de investigación que lleva adelante el GESE, el cual consiste en un biodigestor cilíndrico, con agitación mecánica, de 64 m³ de capacidad, pensado como alternativa energética para poblaciones rurales dispersas.

Este sistema se probó en condiciones de laboratorio y se evaluó el funcionamiento del sistema microcontrolado, por medio de la adquisición de datos de temperaturas y pH, en donde ambas variables fueron tomadas de un recipiente que contenía un líquido al cual se le aplicaba calor y en el mismo se agregaron distintas soluciones buffer para alterar su acidez.

Durante las pruebas se evaluó la eficacia del algoritmo por medio de la observación de un mímico con leds en el cual se simulaba la actuación de la planta, y mediante una PC, que permitió observar los valores adquiridos fuesen congruentes con la simulación efectuada [5].

Cabe mencionar que no se realizaron pruebas en un sistema con condiciones constantes de trabajo. El presente proyecto cuenta con un sistema de prueba con capacidad de diez litros y actualmente genera biogás. Las mediciones y tomas de muestra se realizan directamente en la planta piloto.

2.3. Costa Rica

La empresa Durman fabrica una microplanta de tratamiento de aguas residuales en tres pasos, la finalidad no es la generación de biogás, sino el tratamiento de agua.

Descripción: La EP6 de DURMAN es una planta de tratamiento compacta y de alta eficiencia, desarrollada y certificada en la Comunidad Económica Europea, la cual permite dar un nivel de tratamiento óptimo a las aguas residuales generadas por residencias, edificios públicos o pequeñas comunidades [6].

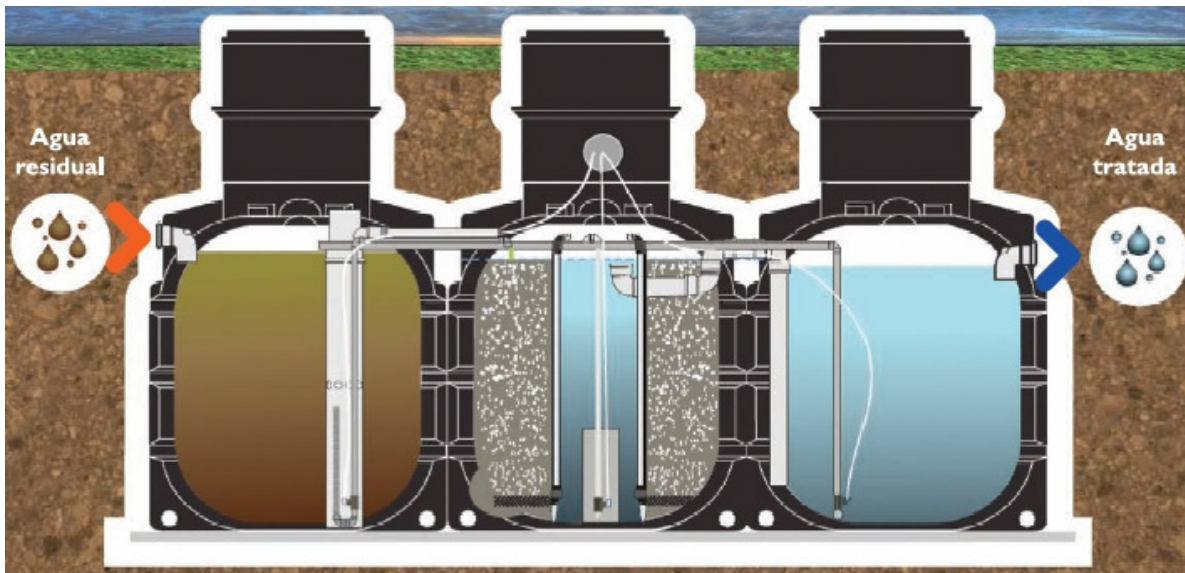


Figura 2.2. Microplanta de tratamiento marca Durman.

2.4. Estados Unidos de Norteamérica

La empresa COLE PARMER fabrica un reactor de cultivo microbiano que puede funcionar como un biodigestor y que tiene como finalidad realizar estudios avanzados de laboratorio.

Aquí la nota de aplicación del sistema:

BioBundle™ Los sistemas de fermentación más rápida, más fácil y económica para poner sus proyectos de fermentación en marcha. Completo y listo para montar. Cada sistema BioBundle está fabricado con los mejores materiales disponibles, y construido según las normas GMP. Todos los materiales en contacto con el biorreactor se

construyen ya sea de acero inoxidable 316L, EPDM, silicona, teflón o vidrio de borosilicato.

Los Biorreactores BioBundle están disponibles en incrementos de 1 litros, 3 litros, 7 litros y 15 litros de cultivo de células mamíferas o procesos microbianos, incluyendo bacterias, hongos, insectos y células vegetales.

Este aparato cuenta con un sofisticado sistema de control que monitorea las variables críticas de cualquier proceso de fermentación bacteriano [7].

Las desventajas son las siguientes:

Capacidad máxima de 15 litros.

Desarrollado para estudios de laboratorio, no para producción de biogás para consumo.



Figura 2.3. Biorreactor de laboratorio marca cole Parmer.

2.5. México

2.5.1. Biodigestor ROTOPLAS

La empresa ROTOPLAS S.A. de C.V. pone a la venta un producto denominado BIODIGESTOR, que ha sido diseñado para lugares donde no se cuenta con drenaje. Este biodigestor va desde los seiscientos hasta los siete mil litros. Una consideración a tomar en cuenta para este equipo es que su función no es la generación de biogás, sino

más bien el tratamiento de los desechos producidos por los habitantes y se plantea sobre todo para comunidades rurales. Básicamente cumple las funciones de una fosa séptica [8].



Figura 2.4. Biodigestor para tratamiento de residuos.

2.5.2. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

La SAGARPA tiene un programa para la instalación de plantas de biogás en granjas y ganaderías, el proyecto debe ser planeado para su operación por veinte años o más, esto para que sea rentable, y se habla de inversiones del orden de un millón de pesos hasta cinco millones de dólares. Se requiere un mínimo de trescientas cabezas de ganado para poder ponerlo en marcha y esta cantidad es lo que para estos proyectos se considera un biodigestor de pequeña escala [9].

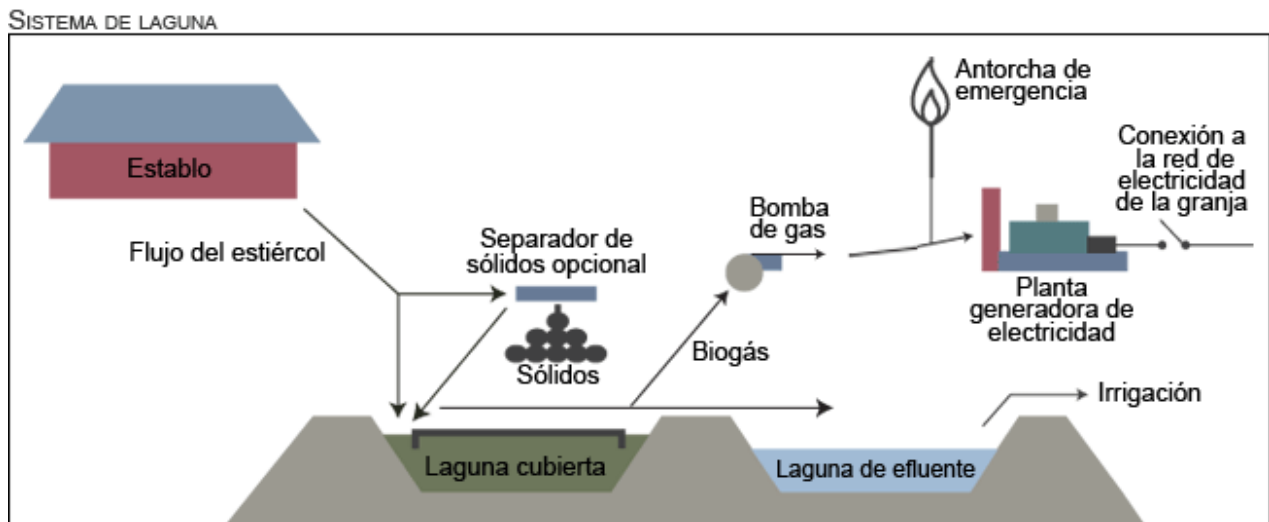


Figura 2.5. Esquema tecnológico de un biodigestor de laguna.

2.5.3. Vida y Energía

La empresa Vida y Energía ofrece biodigestores con capacidad desde cinco personas hasta granjas con varios cientos de cabezas de ganado. El sistema es manual, no se ofrece automatización alguna en el sistema y el biogás obtenido debe ser utilizado prácticamente al momento, pues de lo contrario, no se cuenta con un tanque de almacenamiento que permita disponer del gas posteriormente. [10].



Figura 2.6. Biodigestor muestra de la empresa VIEN.

2.6. Información adicional

Dentro de los sistemas de laboratorio se encuentran numerosos diseños, con las mismas desventajas antes mencionadas, son fabricados para realizar experimentación, y lo que se pretende en este proyecto es el desarrollo de un sistema de producción de biogás para cuatro o cinco personas, pero que cuente con la capacidad de realizar el monitoreo automático de las variables críticas del proceso.

También se encuentra en la literatura mucha información sobre cómo construir un biodigestor casero, pero en ningún sitio se ha encontrado información que permita operar el sistema con la mínima intervención del usuario, producto del control y monitoreo de las variables críticas del mismo.

CAPÍTULO TERCERO

DESARROLLO DE LA PLANTA PILOTO

3. SELECCIÓN DEL TIPO DE REACTOR Y CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Dado el tema de investigación, se estudiaron los distintos tipos de reactores en los que se desarrollan los procesos anaeróbicos para obtención de gas metano, sus principales características y las variables más importantes que se requiere monitorear para lograr una producción eficiente.

Se construyó un *biodigestor* de laboratorio para la obtención de *biogás* en el que se controla de la manera más autónoma posible la generación de este producto energético, enfocado al aprovechamiento de los desperdicios orgánicos de que se dispone día a día dentro de una casa habitación. Es conveniente aclarar que para el caso de estudio presentado en este proyecto, la forma de dimensionamiento del *biodigestor* se realizó a la inversa, es decir, primero se determinó el tamaño de la cámara de biodigestión, y a partir de ahí se evaluaron parámetros tales como la cantidad de biomasa, la producción de biogás, el tiempo de retención etc.

La máxima producción de biogás es de alrededor de 0.35 m³ metano CH₄/ Kg. DQO. Según la ecuación de BUSWELL [11].

Donde DQO representa la demanda química de oxígeno, esto es un parámetro que nos permite conocer la cantidad de materia orgánica presente en los desechos y que a su vez puede darnos una aproximación teórica de la cantidad de biogás que puede producir el reactor.

La DQO presente en los residuos de cocina, es de alrededor de 100 a 200 g/l [12].

Ahora bien, la cantidad máxima de DQO recomendable para un reactor depende del tipo y fabricación. Los biodigestores se dividen principalmente en cuatro categorías vinculadas con el tipo de desecho a tratar y el TRH tiempo de residencia hidráulica, esto es, el tiempo que permanecen los desechos en el reactor para ser degradados.

Debido a que los residuos que se generan en los hogares tienen una alta carga orgánica, se escogió un biodigestor semicontinuo de mezclado completo [13], que permite que los desechos permanezcan por más tiempo en el reactor antes de ser evacuados, estos dispositivos pueden remover de 1 a 6 kg. de DQO * día * m³ de digestor.

El biodigestor diseñado tiene una capacidad útil de 5 litros, por lo que puede procesar de 5 a 30 gramos de DQO por día con una eficiencia de remoción de 80 a 95%.

3.1. Cálculo teórico de producción de biogás por ecuación de Buswell

DQO para residuos sólidos orgánicos (RSO) de: 100 a 200 $gDQO /l$.

Usamos un DQO promedio de: 150 $g DQO/L$.

Para un reactor al 80% de eficiencia: $0.35m^3$ de $\frac{CH_4}{Kg}$ $DQOe$

Para una capacidad útil del biodigestor de 5Lts tenemos que:

$$150 \text{ grs } \frac{DQO}{L} * 5 \text{ Lts.} = 750 \text{ grs } DQO = 0.75 \text{ Kg. de } DQO$$

$$0.75 \text{ Kg. de } DQOe * 0.35 \text{ m}^3 \text{ de } CH_4 = 0.2625 \text{ m}^3 \text{ de } CH_4$$

Esto es: El reactor de laboratorio de 5 litros debe producir aproximadamente 262.5 litros de metano en un periodo de treinta días. Si consideramos una concentración de metano máxima de 80% tendremos una producción de 328.125 litros de biogás. Para un TRH teórico de 30 días el digestor debe producir 10.9 litros de biogás máximos por día.

3.2. Construcción del biodigestor

Se seleccionó un recipiente de PET con capacidad para 10 litros.

Las tuberías para la salida de gas son de polipropileno y PVC.

El dispositivo se montó en una estructura de madera que le sirve como soporte y protección contra impactos.



Figura 3.1. Planta piloto para pruebas del controlador.

3.3. Conexiones para biogás

Se utilizaron válvulas de bronce para la salida del gas.

Se implementa una boquilla de soplete como quemador para el gas.

Se añade una válvula de seguridad para evitar sobrepresión en el depósito.

Se conecta un manómetro de carátula para medir la presión de salida del gas.

3.4. Carga y descarga de biomasa

Tubería de PVC hidráulico para carga y descarga de biomasa.

Mediante válvulas de tipo esfera se realiza el control de fluidos.

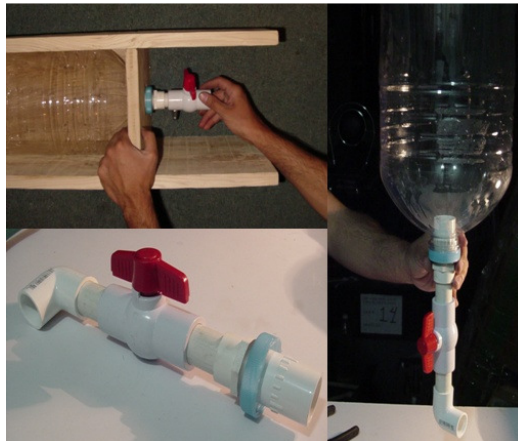


Figura 3.2. Tuberías de descarga de biomasa.

3.5. Sistema de mezclado

El mezclado se obtiene re-inyectando el gas generado en el reactor, por medio de válvulas y una manguera que se conecta en el punto más bajo del sistema.



Figura 3.3. Retorno de biogás para agitación.

3.6. Aislamiento y calefacción

Con la finalidad de conservar el calor dentro del dispositivo, el cual es necesario para el mejor desempeño de las bacterias, se añade un sistema de aislamiento térmico con poliestireno expandido (unicel). Además, para los días en que la temperatura ambiente es baja, se proporciona al dispositivo calor externo mediante una resistencia de calentamiento.



Figura 3.4. Izquierda: Aislamiento térmico, derecha: calentador con termostato.

3.7. Rangos dinámicos de las variables a controlar

Estos valores fueron obtenidos directamente en la planta piloto después de su operación ininterrumpida por un periodo de seis meses y se muestran en la tabla 3.1. La obtención de estos parámetros sirve de guía para la posterior selección de los rangos de operación de los sensores así como de los actuadores.

Tabla 3.1. Rangos dinámicos medidos en la planta piloto.

VARIABLE	RANGOS
TEMPERATURA	32 – 38° C
NIVEL DE BIOMASA EN REACTOR	0 – 100%
NIVEL DE SOLUCIÓN ÁCIDO	0 – 100%
NIVEL DE SOLUCIÓN BASE	0 – 100%
PH	6.5 -8
PRESIÓN EN REACTOR	0 - 15 PSI
PRESIÓN EN ALMACENAMIENTO	0 - 100 PSI

CAPÍTULO CUARTO

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4. LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

La instrumentación electrónica se encarga de sensar y procesar la información proveniente de variables físicas y químicas, a partir de las cuales se realiza el monitoreo, medida y control de procesos, empleando para ello tecnologías y dispositivos electrónicos. La adopción de tecnología electrónica avanzada no sólo ha allanado el camino de los instrumentos digitales de medición, sino que también ha posibilitado la expansión de funciones en una forma que fue difícil lograr con los sistemas mecánicos; todos estos precedentes han hecho posible la construcción de elementos semiconductores y equipos cada vez más compactos y con un sinnúmero de funciones.

Las últimas tendencias en la instrumentación, están encaminadas hacia la denominada instrumentación virtual, donde se sustituye el hardware por software y para ello se emplea un microprocesador que ejecuta un programa específico, este programa se comunica con los dispositivos para configurarlos y leer sus medidas [14].

4.1. Sensores

Los sensores tienen aplicaciones muy diversas, son dispositivos contruidos para detectar, o medir manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos como energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, entre otras. Es un dispositivo que adapta la señal que mide para que la pueda interpretar otro elemento.

Muchos de los sensores son eléctricos o electrónicos aunque existen otros tipos. En pocas palabras, un sensor es un tipo de transductor que transforma una magnitud. Los sensores tienen aplicaciones muy diversas. Son dispositivos contruidos para detectar o medir manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos que se quieren medir, en otra magnitud, que facilita su medida.

4.2. Sensores de temperatura

Entre los sensores más comunes empleados para medir temperatura en la instrumentación electrónica se tienen: RTD, termistores, sensores de circuito integrado (IC) y termopares.

4.2.1. Sensor de circuito integrado IC

Los sensores de circuito integrado se fundamentan en la característica de la unión p-n de los semiconductores. Están formados por circuitos integrados sobre un chip, el cual presenta una salida lineal y proporcional a la temperatura.

Se consiguen sensores IC que presentan salidas en voltaje analógico y en forma digital. Por estar hechos a base de silicio, su rango de temperatura está limitado aproximadamente a los 150 °C.

Una de las principales ventajas de los sensores IC es su fácil interfaz. Entre las desventajas se tienen: El limitado rango de temperatura, la necesidad de alimentación y el auto calentamiento [15].

4.3. Sensores de presión

En la industria hay un amplísimo rango de sensores de presión, la mayoría orientados a medir la presión de un fluido sobre una membrana elástica, midiéndose la flexión. Para detectarla pueden aprovecharse diversos principios físicos, tales como: inductivos, capacitivos, piezorresistivos, ópticos, monolíticos (con módulos electrónicos extremadamente pequeños, totalmente unidos) u óhmicos (mediante cintas extensométricas).

4.3.1. Sensores de presión como sensores de nivel

Si un tubo se coloca verticalmente, con un extremo sumergido en un líquido y el otro extremo abierto, el nivel de la tubería será exactamente el mismo que el nivel en el tanque. Sin embargo, si la parte superior extremo de la tubería está cerrada y un poco de volumen de aire es atrapado, la presión en la tubería variará proporcionalmente con los cambios en el nivel de líquido en el tanque.

Por ejemplo, si asumimos que el líquido es agua y que el nivel del agua sube en el tanque 10 mm, la presión en la tubería se incrementará por el mismo valor (10 mm de agua). Un sensor de presión indicador tiene un lado conectado a la tubería (el lado de presión) y el otro abierto a la temperatura ambiente (en este caso, presión atmosférica). La diferencia de presión que corresponde al cambio en el nivel del tanque se mide por el sensor de presión [16].

4.4. Sensores de contacto

Los sensores de contacto son sencillos dispositivos eléctricos que al accionarse cierran un circuito eléctrico que permite el flujo de corriente a través del sensor, al desactivarse, el circuito se abre y cesa el flujo de corriente. Este tipo de sensores indican si ha habido contacto o no con algún objeto, sin considerar la magnitud de dicha fuerza.

Los sensores de contacto son útiles en múltiples aplicaciones, ya sea para obtener información asociada con el contacto de un elemento en particular del sistema y algún objeto en el espacio de trabajo o para evitar que los objetos se muevan fuera de los parámetros establecidos (fin de carrera).

4.5. Sensor de pH

Cuando un metal se pone en contacto con otro, una diferencia de voltaje se produce debido a sus diferencias en la movilidad de electrones. Cuando un metal se pone en contacto con una solución de sales o ácidos, un potencial eléctrico similar es causado, lo que ha llevado a la invención de las baterías. Del mismo modo, un potencial eléctrico se produce cuando un líquido se pone en contacto con otro, pero se requiere que estén separados por una membrana.

Un medidor de pH mide esencialmente el potencial electro-químico entre un líquido conocido en el interior de un electrodo de vidrio (membrana) y un líquido exterior desconocido. Debido a que el vidrio del electrodo permite que los pequeños y ágiles iones de hidrógeno interactúen, el electrodo de vidrio mide el potencial electroquímico de los iones de hidrógeno o el potencial de hidrógeno. Debido a lo pequeño de la señal obtenida, es necesario utilizar una etapa de amplificación que permita medir la diferencia de potencial del sensor [17].

4.6. Adquisición de datos (DAQ)

Existen varios tipos de sistemas de adquisición de datos. Los Data Loggers son sistemas que operan de forma independiente, la única función del ordenador es el volcado de los datos adquiridos. Las tarjetas DAQ (Data Acquisition) no operan de forma independiente sino que necesitan un ordenador para gobernarlas, las hay internas que usan como interfaces más habituales PCI, PXI o PCI Express y externas como USB o RS-232 [18].

Las capacidades comunes que suelen tener las DAQ son:

- Adquisición y generación de señales analógicas.
- Adquisición y generación de señales digitales.
- Contadores y timers.
- Autocalibración, sensores, etc.

4.7. Sistema de adquisición de datos vía USB

Hoy en día, la capacidad de conectar accesorios a un equipo de cómputo de manera alámbrica e inalámbrica es posible gracias a que existen estándares que la mayoría de las empresas adoptan e implementan en los periféricos que desarrollan.

Estos estándares describen un conjunto de protocolos de comunicaciones, que si somos atentos, podremos notar que no son más que principios de las comunicaciones digitales aplicados a un caso en particular. Es decir, siempre estarán presentes conceptos como medios y modos de transmisión, sincronización y base de tiempo, comunicaciones maestro-esclavo, entre muchos otros, aplicados a proponer una solución para una necesidad en particular.

4.8. Arquitectura cliente-servidor

Un socket es una forma de comunicación entre procesos que hace uso de descriptores de archivos estándar para que el cliente, una aplicación que solicita determinado servicio a una aplicación en otro equipo llamada servidor, se comuniquen en dos vías, punto a punto entre dos procesos para permitir el flujo de datos de manera fiable y ordenada.

Los sockets son componentes básicos de comunicación entre interprocesos e intersistemas. Deben de ser capaces de localizar equipos para intercambiar información. Para ello son necesarios tres recursos:

- Un protocolo de comunicaciones, permite el intercambio de octetos.
- Una dirección del protocolo de red (dirección IP, si se utiliza el Protocolo TCP/IP), que identifica una computadora.
- Un número de puerto, que identifica a un programa dentro de una computadora.

Los sockets brindan las siguientes ventajas:

Fiabilidad de transmisión.

Mantenimiento del orden de los datos.

No duplicación de los datos.

El "Modo Conectado" en la comunicación.

Envío de mensajes urgentes.

4.9. Microcontroladores en comparación con otros sistemas de automatización

Un diseño basado en un micro controlador puede ser apropiado donde cientos o miles de unidades deben ser producidas y entonces el costo de desarrollo (diseño de fuentes de alimentación y equipo de entradas y salidas) puede ser dividido en muchas ventas, donde el usuario final no tiene necesidad de alterar el control.

Si bien es cierto que existen distintos sistemas programables para automatizar procesos, tales como PLC (Controlador Lógico Programable) o FPGA (Field Programmable Gate Array por sus siglas en inglés), el sistema bacteriano con el que se trabaja presenta una variación lenta y no requiere además ser reconfigurado en el transcurso de la operación del proceso. Es por esto que se selecciona un microcontrolador en torno al cual se pueden integrar los distintos dispositivos de entrada / salida necesarios para el correcto funcionamiento del controlador.

Los microcontroladores son computadoras digitales integradas en un chip que cuentan con un microprocesador o unidad de procesamiento central (CPU), una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos y puertos de entrada salida. A diferencia de los microprocesadores de propósito general, como los que se usan en las computadoras (PC), los microcontroladores son unidades autosuficientes y más económicas [19].

4.10. Lenguajes de programación

Un lenguaje de programación es un lenguaje diseñado para describir el conjunto de acciones consecutivas que un equipo debe ejecutar. Por lo tanto, un lenguaje de programación es un modo práctico para que los seres humanos puedan dar instrucciones a un equipo.

4.10.1. Lenguaje compilado

Un programa escrito en un lenguaje "compilado" se traduce a través de un programa anexo llamado compilador que, a su vez, crea un nuevo archivo independiente que no necesita ningún otro programa para ejecutarse a sí mismo. Este archivo se llama ejecutable. Un programa escrito en un lenguaje compilado posee la ventaja de no necesitar un programa anexo para ser ejecutado una vez que ha sido compilado. Además, como sólo es necesaria una traducción, la ejecución se vuelve más rápida [20].

4.10.2. Lenguaje de programación C#

C# (leído "C Sharp") es un lenguaje de programación simple pero eficaz, diseñado para escribir aplicaciones empresariales. C# es el nuevo lenguaje de propósito general diseñado por Microsoft para su plataforma .NET. Sus principales creadores son Scott Wiltamuth y Anders Hejlsberg, este último también conocido por haber sido el diseñador del lenguaje Turbo Pascal. En resumen, C# es un lenguaje de programación que toma las mejores características de lenguajes preexistentes como Visual Basic, Java o C++ y las combina en uno solo volviéndose así una excelente opción de desarrollo [21].

4.11. Simuladores electrónicos

Los simuladores de circuitos eléctricos y electrónicos son imprescindibles para conocer el comportamiento de un circuito que hemos diseñado y adaptarlo así a los requerimientos que necesitamos.

En el campo de la electricidad existen múltiples maneras de analizar circuitos eléctricos, pero todos ellos son muy laboriosos y requieren resolver muchas ecuaciones si el esquema montado es amplio, es por eso que resulta mucho más sencillo dibujar el circuito en el ordenador y analizarlo para que nos den los datos de las tensiones e intensidades en cada línea y nodo con respecto al tiempo de simulación que hayamos definido.

4.12. Instrumentación virtual

Todo sistema de instrumentación consta de instrumentos, un sistema de interconexión de estos instrumentos y un controlador inteligente que gestiona el funcionamiento de todo el sistema y da las órdenes para que una medida se realice correctamente.

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso de la computadora personal, como forma de reemplazar equipos físicos por software, permite a los usuarios interactuar con la computadora como si estuviesen utilizando un instrumento real. El usuario manipula un instrumento que no es real, se ejecuta en una computadora, tiene sus características definidas por software pero realiza las mismas funciones que un equipo real. La idea es sustituir y ampliar elementos "hardware" por otros "software", para ello se emplea un procesador que ejecuta un programa específico, este programa se comunica con los dispositivos para configurarlos y leer sus medidas. En muchas ocasiones el usuario final del sistema de instrumentación sólo ve la representación gráfica de los indicadores y botones de control virtuales en la pantalla del ordenador [22].

4.13. El amplificador de instrumentación

El amplificador de instrumentación es un amplificador diferencial tensión-tensión cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa y que ha sido optimizado para que opere de acuerdo a su propia especificación aún en un entorno hostil. Es un elemento esencial de los sistemas de medida, en los que se ensambla como un bloque funcional que ofrece características propias e independientes de los restantes elementos con los que interacciona [23].

4.14. Actuadores

Se denominan actuadores a aquellos elementos que pueden provocar un efecto o cambio sobre un proceso automatizado. Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica o gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como son las válvulas.

Existen tres tipos de actuadores:

Hidráulicos
Neumáticos
Eléctricos

CAPÍTULO QUINTO

SELECCIÓN DE COMPONENTES Y HERRAMIENTAS DE DISEÑO

5. DIAGRAMA ELECTROMECAÁNICO DEL SISTEMA

Se presenta en esta sección el diagrama electromecánico del sistema (Figura 5.1), donde se pueden ver los depósitos, válvulas, tuberías y otras partes necesarias para conformar el biodigestor.

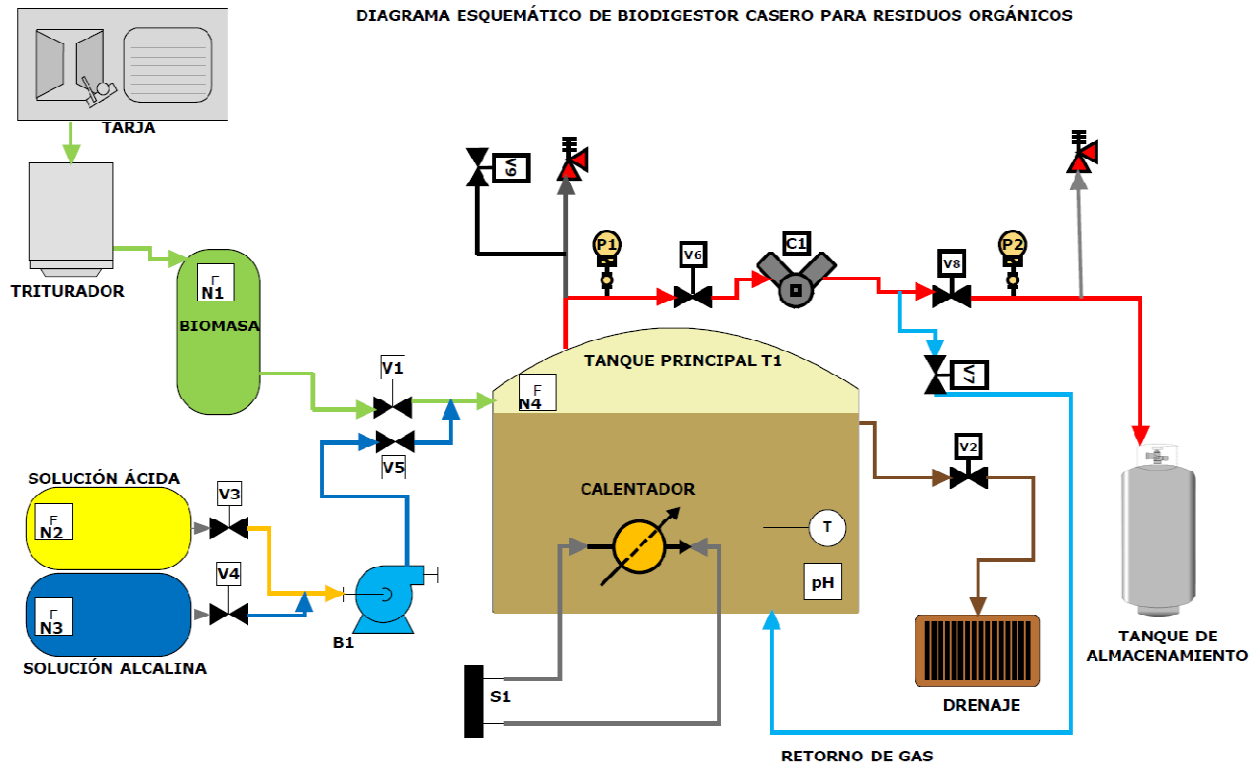


Figura 5.1. Diagrama electromecánico del sistema de generación de biogás.

A continuación la tabla 5.1 plasma los componentes del sistema electromecánico y de sensores y da una breve descripción de ellos con la finalidad de determinar si son de entrada o salida. Con esta información pueden determinarse las características del microcontrolador que se ocupará para actuar como cerebro del proyecto.

Tabla 5.1. Requerimientos de entrada y salida del sistema.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTOS	TIPO DE SEÑAL
Tanque de biomasa (N1)	Se encarga de almacenar la biomasa producida a lo largo del día y sólo permitirá su ingreso al reactor en caso de que éste no esté lleno.	Requiere un sensor de nivel 0 a 100%	Entrada análoga
Tanque de solución ácida (N2)	Contiene una solución con un pH entre 4 y 5 que será utilizada en caso de que el nivel	Requiere un sensor de nivel 0 a 100%	Entrada análoga

	de pH dentro del reactor sea mayor a 7.5		
Tanque de solución alcalina (N3)	Contiene una solución con un pH entre 8 y 9 que será utilizada en caso de que el nivel de pH dentro del reactor sea menor a 6.5	Requiere un sensor de nivel 0 a 100%	Entrada análoga
Bomba de soluciones (B1)	Tiene como finalidad desplazar las soluciones estabilizadoras al interior del reactor.	Requiere un contacto on-off de potencia.	Salida digital
Tanque principal o reactor (T1)	En su interior se efectúa el proceso de descomposición de la biomasa, así como la generación de biogás.	Requiere un sensor de nivel 0 a 100%	Entrada análoga
Calentador (S1)	Es el encargado de mantener la temperatura del reactor entre 30-35 °C.	Requiere un contacto on-off de potencia.	Salida digital
Presostato 1 (P1)	Se encarga de registrar la presión al interior del reactor y envía su señal al microcontrolador para que este pueda gestionar los movimientos de los actuadores que distribuyen el flujo del gas y la biomasa en el sistema	Requiere un sensor de presión piezorresistivo	Entrada análoga
Presostato 2 (P2)	Registra la presión del tanque de almacenamiento para que el microcontrolador sepa la cantidad de gas obtenido y el momento en que el tanque se encuentra lleno.	Requiere un sensor de presión piezorresistivo.	Entrada análoga
Compresor (C1)	Su función es la de almacenar el gas a presión dentro del tanque de almacenamiento, así como re-inyectar el gas al reactor para propiciar la agitación de la biomasa.	Requiere un contacto on-off de potencia.	Salida digital
Tanque de almacenamiento	Además de almacenar el biogás, su correcta colocación permite activar un sensor de contacto que indica al sistema que el tanque está colocado y listo para permitir el arranque del compresor.	Requiere un contacto on-off.	Entrada digital
Válvula de biomasa (V1)	Permite el paso de materia del tanque de biomasa al reactor.	Requiere un contacto on-off de potencia.	Salida digital
Válvula de drenaje (V2)	Permite el paso de la materia de desecho del reactor al sistema de drenaje.	Requiere un contacto on-off de potencia.	Salida digital
Válvula ácida (V3)	Permite el paso de la solución estabilizadora ácida al reactor. Debe actuar en conjunto con V5 y B1. V4 debe estar bloqueada.	Requiere un contacto on-off de potencia.	Salida digital
Válvula alcalina (V4)	Permite el paso de la solución estabilizadora alcalina al reactor. Debe actuar en conjunto con V5 y B1. V3 debe estar bloqueada.	Requiere un contacto on-off de potencia.	Salida digital
Válvula de soluciones (V5)	Permite el paso de las soluciones estabilizadoras provenientes de B1.	Requiere un contacto on-off de potencia	Salida digital
Válvula de biogás (V6)	Permite el paso del biogás del reactor al sistema de compresión.	Requiere un contacto on-off de potencia.	Salida digital
Válvula de mezclado (V7)	Cuando se opera esta válvula, el biogás proveniente del compresor retorna al reactor por la parte baja provocando de esta manera agitación en su interior.	Requiere un contacto on-off de potencia.	Salida digital
Válvula de almacenamiento (V8)	Permite que el biogás proveniente del compresor entre al tanque de almacenamiento.	Requiere un contacto on-off de potencia.	Salida digital
Sensor de temperatura	Mide la temperatura dentro del reactor.	Rango mínimo de 30 a 40 °C	Entrada análoga.
Electrodo Ph	Mide el pH de la biomasa en el reactor.	Rango mínimo de 5 a 9	Entrada análoga.
Interruptor de nivel on-off	Desconecta el triturador de la cocina en caso de que el biodigestor y el tanque de	Requiere un contacto on-off	Entrada digital.

	biomasa estén llenos.		
Válvula de alivio para sistema de drenado (V9)	Permite que al abrirse V2 el efluente del reactor fluya adecuadamente hacia el drenaje.	Requiere un contacto on-off de potencia.	Salida Digital

Del análisis del diagrama mostrado en la sección anterior podemos concluir que se necesitan:

Ocho canales de entrada analógicos
 Dos puertos de entrada digitales
 Doce puertos de salida digitales

5.1. Necesidades del proyecto

El sistema de biodigestión requiere para su correcto funcionamiento el monitoreo de las siguientes variables críticas:

- Presión del reactor.
- Presión de almacenamiento.
- pH de biomasa.
- Temperatura del reactor.
- Nivel de reactor.
- Nivel de ácido.
- Nivel de alcalino.

La interfaz de usuario tiene como finalidad la visualización gráfica de estas variables y sus parámetros, con el propósito de que el usuario se familiarice rápidamente con los instrumentos y en general con el sistema de biodigestión.

Con base en estas características se definen los requerimientos de trabajo de la interfaz:

- Mostrar el funcionamiento de tres sensores de nivel.
- Mostrar la medición de temperatura y enviar la información de control on-off por medio de un sistema de *histéresis*.
- Mostrar la medición de presión en el reactor y el tanque de almacenamiento y enviar la información de control de acuerdo al biogás generado.
- Mostrar la medición de pH y enviar la información para el control del sistema de soluciones estabilizadoras.
- Enviar y recibir datos por medio de un puerto USB con comunicación en tiempo real con el microcontrolador ubicado en la tarjeta de adquisición de datos desarrollada para tal fin.

5.2 Criterios de selección

En función de las variables a medir, se seleccionan los sensores y actuadores de acuerdo a los rangos dinámicos de operación del sistema, sus características y las necesidades del controlador.

5.2.1. Microcontrolador PIC 18F4550

El PIC 18F4550 de microchip es un microcontrolador que integra comunicación USB, doce puertos de entrada para señales analógicas, 13 puertos I/O que pueden ser A/D o sólo digitales, 10 puertos I/O digitales, 4 puertos I/O digitales y para canales de transmisión, frecuencia de operación a 48 Mhz, memoria de 32 Kbytes, convertidor análogo / digital con una resolución de 10 bits y viene en un encapsulado DIP de cuarenta terminales.

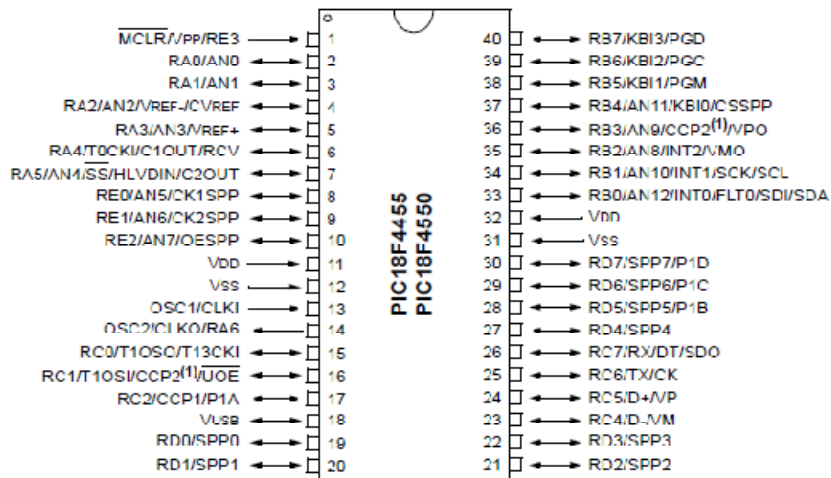


Figura 5.2. Diagrama de terminales del microcontrolador 18F4550.

5.2.2. Temperatura

Se selecciona un sensor de temperatura de tipo IC. El sensor LM35 de National Semiconductor que ofrece un rango de operación de 0 a 150 °C. De operación lineal, en empaque TO-92, con un error máximo de +/- 0.25 °C a temperatura ambiente y +/- 0.75 °C en rango de operación de -55 a 150 °C y cuyas especificaciones se detallan más ampliamente en el Anexo 2.



Figura 5.3. Sensor de temperatura LM35.

5.2.3. Presión

De la familia MPX de FREESCALE se seleccionan el sensor MPX 4250 y el MPX 5700 con un rango de operación de 0 a 36 y de 0 a 100 psi respectivamente. Estos sensores serán utilizados para medir la presión al interior del reactor y en el tanque de almacenamiento. Proporcionan una señal de voltaje de salida de 0.2 a 4.9 y de 0.2 a 4.7 V. respectivamente y tienen un offset típico de 0.2 V., con una precisión típica de +/- 1.4 y +/- 2.5 % del voltaje total de la escala.

Esto es: 65mV para MPX 4250 y 112mV. Para MPX 5700

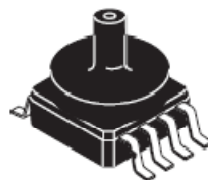


Figura 5.4. Sensor de presión piezorresistivo MPX4250.

5.2.4. Nivel de líquido

Igualmente de FREESCALE, se selecciona el sensor MPXV7007 con un rango de medición de -1 A 1 psi. Este sensor será el encargado de medir el cambio de nivel en los depósitos de soluciones estabilizadoras, así como del reactor. El rango de voltaje de la escala de este sensor es de 0.5 a 4.5 V. con una precisión de +/- 5 % del total de la escala.

Esto es: 200 mV.



**MPXV7007GC6U/C6T1
CASE 482A-01**

Figura 5.5. Sensor de presión piezorresistivo MPXV7007.

5.2.5. Potencial de hidrógeno

Para la medición del pH en el reactor, se utiliza el sensor HI1001 de Hanna Instruments, el cual soporta una presión de hasta 86 psi, y puede ser roscado directamente en el reactor. Requiere bajo mantenimiento y puede instalarse en inmersión permanente. Esto debido a que el muestreo de la biomasa debe realizarse constantemente. Su rango de medición es de 0 a 14 y puede dar una resolución de 0.1.



Figura 5.6. Electrodo de pH HI1001 de Hanna Inst.

5.2.6. Electroválvulas

Estas válvulas se utilizan cuando la señal proviene de un temporizador eléctrico, un final de carrera eléctrico, presostato o mando electrónico. En general, se elige el accionamiento eléctrico para mandos con distancias extremadamente largas y cortos tiempos de conexión.

Las electroválvulas o válvulas electromagnéticas se dividen en válvulas de mando directo o indirecto. Las de mando directo solamente se utilizan para un diámetro de luz pequeño, puesto que para diámetros mayores los electroimanes necesarios resultarían demasiado grandes [25].

5.2.7. Compilador CCS

Esta es una útil herramienta de software para realizar los programas que serán cargados en el microcontrolador. Contiene controladores de dispositivos para casi todos los periféricos de conexión al PIC y simplifica mucho la programación al ofrecer un lenguaje de tipo C.

5.2.8. Suite Proteus

Proteus es una suite de programas que nos permiten simular los circuitos electrónicos, permite crear una simulación para auxiliarnos en el proceso de programación, así no es necesario programar físicamente el microcontrolador, lo cual acelera el desarrollo de aplicaciones.



Figura 5.7. Captura de pantalla de la Suite Proteus 7.

CAPÍTULO SEXTO

DESARROLLO

6. DESARROLLO DE SOFTWARE Y HARDWARE

En esta sección se desarrolla tanto el software como el hardware del controlador y se explican paso a paso sus distintas etapas.

6.1. Desarrollo del software

El software desarrollado para que el usuario obtenga una representación de las variables a medir, es desarrollado en lenguaje Visual C #. La Figura 6.1 muestra un esquema donde se observa la organización de las clases que componen la interfaz, así como los elementos que conforman dichas clases, no se muestra la clase principal puesto que su composición es mucho más extensa que la de las clases secundarias, aun así puede observarse la existencia de los campos y métodos, elementos constituyentes de las clases.

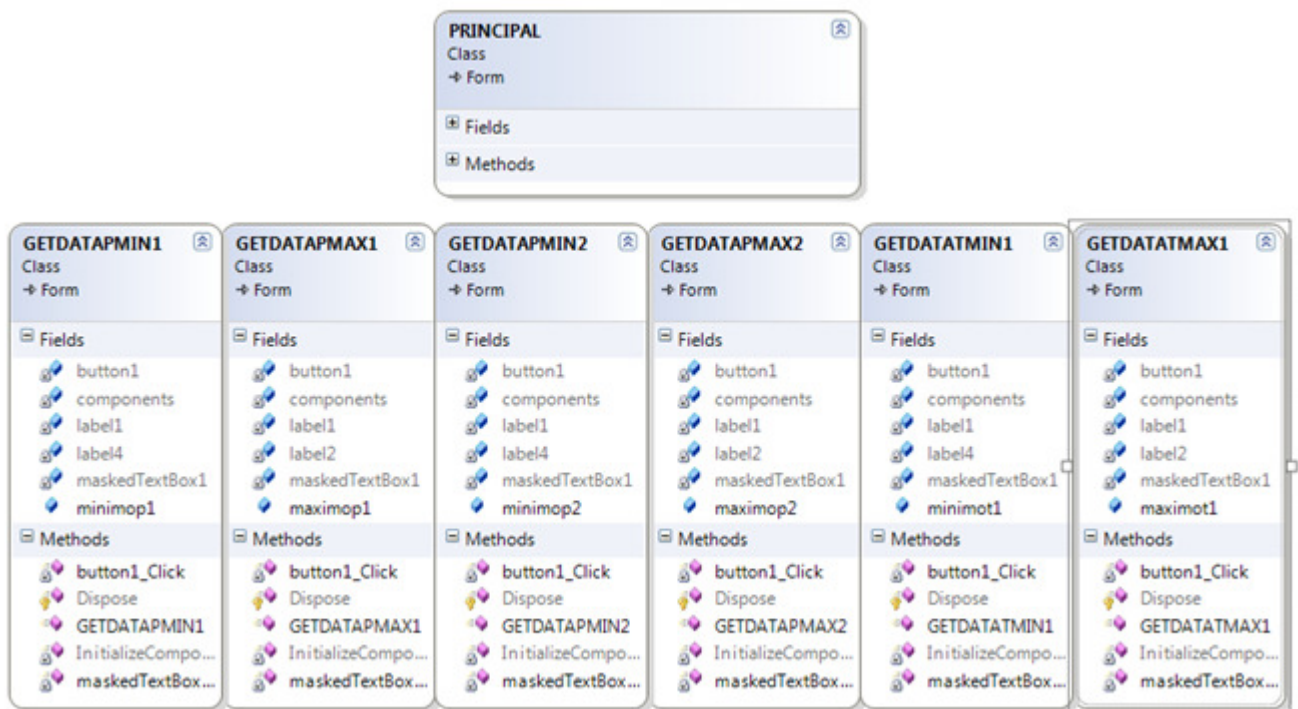
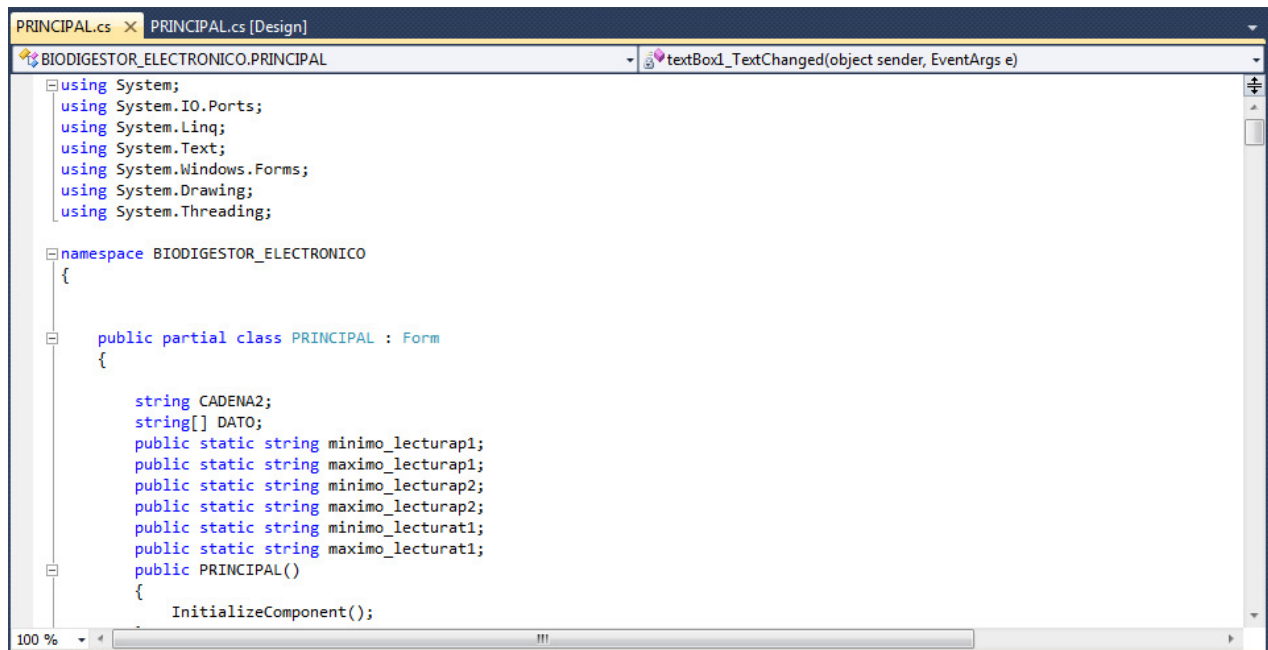


Figura 6.1. Organización de las clases que conforman la interfaz.

Se tiene una clase principal que es la que a su vez contiene a las clases secundarias y donde se ejecuta el programa principal. Para llevar a cabo las tareas se dispone de dos tipos de clases, la primera en este caso es la clase PRINCIPAL.cs y la segunda es la clase PRINCIPAL.cs [Design].

La clase PRINCIPAL.cs (Figura 6.2) es la clase que contiene el código de programación donde se establecen las acciones que realiza cada elemento de la interfaz, así como las llamadas a cada clase secundaria.



```
using System;
using System.IO.Ports;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Drawing;
using System.Threading;

namespace BIODIGESTOR_ELECTRONICO
{
    public partial class PRINCIPAL : Form
    {
        string CADENA2;
        string[] DATO;
        public static string minimo_lecturap1;
        public static string maximo_lecturap1;
        public static string minimo_lecturap2;
        public static string maximo_lecturap2;
        public static string minimo_lecturat1;
        public static string maximo_lecturat1;
        public PRINCIPAL()
        {
            InitializeComponent();
        }
    }
}
```

Figura 6.2. Código de programación de la clase principal de la interfaz en C#.

Por otro lado, la clase PRINCIPAL.cs [Design] (Figura 6.3) contiene los elementos gráficos pertenecientes a los instrumentos virtuales, es en esta ventana donde se van agregando los distintos controles tales como botones, etiquetas, cuadros de imagen etc.

La plataforma de diseño con C# tiene otra gran ventaja, en pantalla del lado derecho se despliega una ventana donde aparecen las propiedades del objeto con el que se está trabajando, lo cual permite que las principales características del objeto no sean programadas en código por el diseñador, sino que se establecen mediante unos cuantos “clics” y el programa genera automáticamente el código necesario de programación, esto ahorra una gran cantidad de horas hombre y simplifica el uso de este tipo de lenguaje.

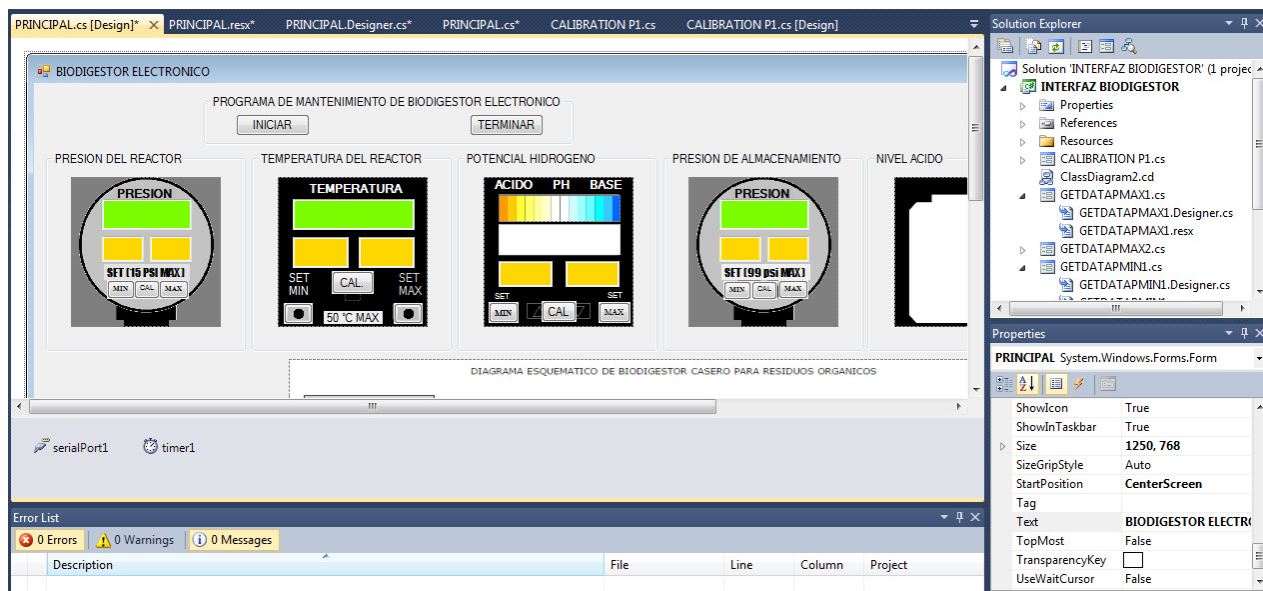


Figura 6.3. Diseño gráfico de la interfaz en C#.

Para lograr la comunicación con el exterior se hace uso de un componente de llamado Serial Port, que es como su nombre lo indica, una representación de un puerto serie, el cual tiene como objetivo establecer la comunicación entre la PC y el microcontrolador de la tarjeta de adquisición de datos.

Los gráficos fueron diseñados para el propósito específico del proyecto, basándose en conocimientos previos de instrumentos reales. Las características principales de los mismos dependen directamente de los rangos que deben medirse en las variables de control. Cada gráfico se guarda en la carpeta llamada **Resources** y está disponible cuando el programa lo requiere.

En el diagrama de la Figura 6.4 podemos observar el flujo de la información en la interfaz y las distintas etapas de operación de la misma, la adquisición de datos por parte del usuario así como las respuestas por parte del microcontrolador que está enviando constantemente la información proveniente de los distintos sensores.

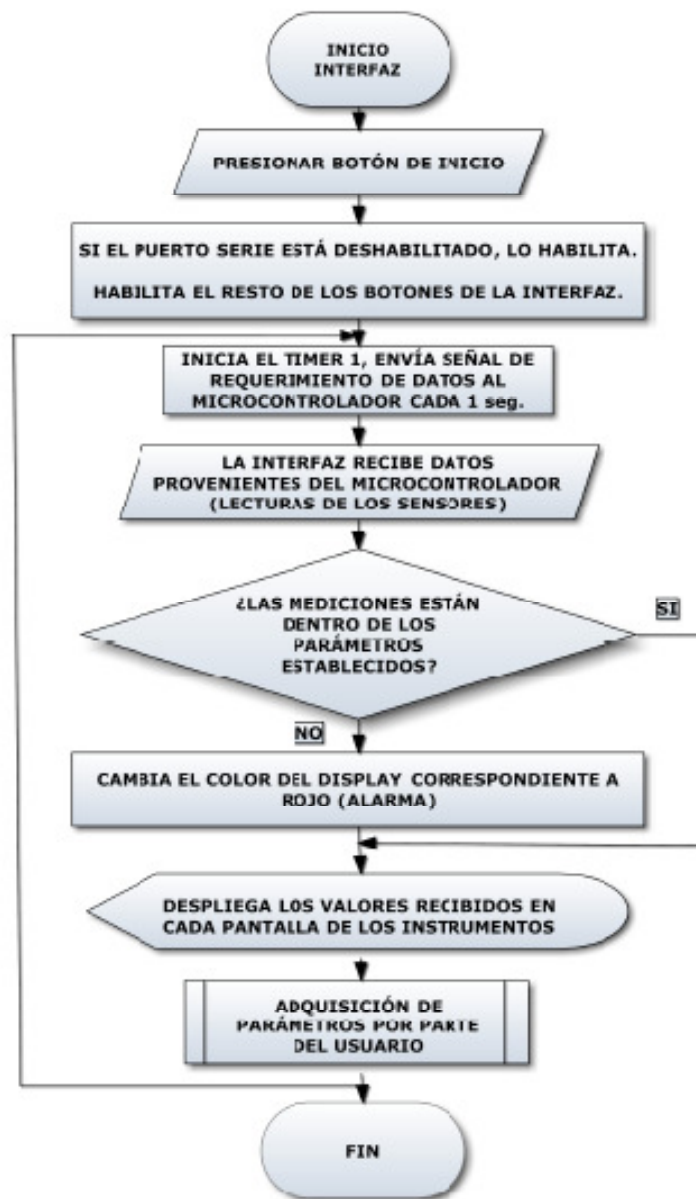


Figura 6.4. Diagrama de flujo del programa principal de la interfaz de usuario.

Para la correcta operación de la interfaz, se desarrollan clases secundarias, que tienen como finalidad desplegar un cuadro donde el usuario de la interfaz puede agregar valores que serán los nuevos parámetros de las variables, con ello se permite modificar los rangos de operación de todo el sistema, esto es necesario toda vez que dependiendo de situaciones tales como la ubicación geográfica en la que se encuentre el sistema sería necesario alterar los rangos máximo y mínimo de operación.

Digamos por ejemplo, la temperatura mínima y máxima del sistema puede ser cambiada para una zona tropical o una zona fría, aunque esto afectará la producción de biogás, es energéticamente más conveniente mantener una temperatura más baja que tener un consumo excesivo en el sistema de calentamiento, situación que de presentarse puede volver el sistema no sustentable.

Las clases secundarias constan, igual que la principal, de una clase gráfica y una clase que alberga el código de programación. Estas clases son llamadas por la clase principal cuando se requiere el ingreso de un dato por parte del usuario y despliegan un cuadro como el de la Figura 6.5. Este cuadro de texto tiene como propiedad el poder recibir información proveniente del teclado, la interfaz recibe esa información, la procesa y la envía al microcontrolador, el cual guarda el nuevo parámetro en su memoria EEPROM.

Una vez que el microcontrolador guarda la información, la devuelve por el puerto USB a la interfaz que a su vez despliega esta información en pantalla. El proceso es necesario para garantizar que la información suministrada por el usuario ha quedado debidamente guardada en el cerebro de la tarjeta de control.

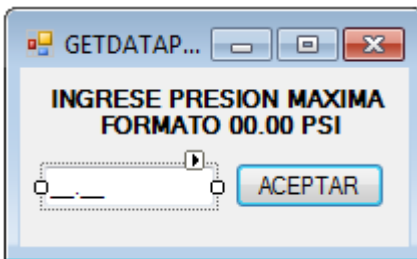


Figura 6.5. Cuadro de diálogo para recepción de información por parte del usuario.

La clase principal contiene el código necesario para gestionar a todos los instrumentos y realizar la recepción y envío de cadenas de información por el puerto USB, las clases secundarias reciben un valor de parámetro de acuerdo con las necesidades del sistema. Se requieren dos clases secundarias por cada instrumento virtual, con la finalidad de poder establecer los rangos mínimo y máximo, así como una tercera clase que se encarga de permitir la calibración de los instrumentos, como la mostrada en la Figura 6.6.

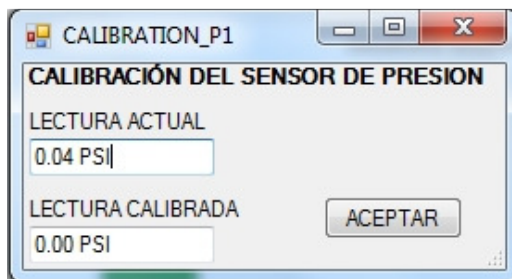


Figura 6.6. Cuadro de diálogo para calibración de los instrumentos por parte del usuario.

La Figura 6.7 nos muestra el flujo de información de los eventos que ocurren cuando se presiona un botón de solicitud de cambio de parámetros de operación. Esto es ejecutado como una sub-rutina dentro del código del programa principal de la interfaz.

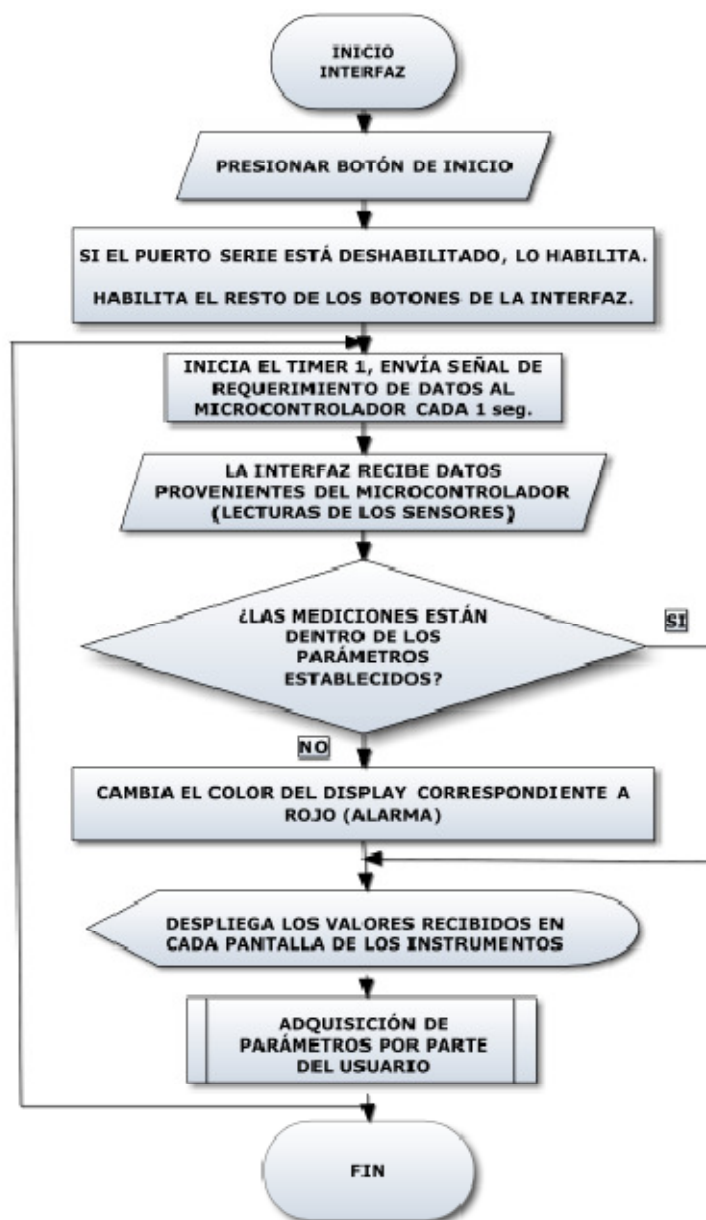


Figura 6.7. Diagrama de flujo de la subrutina de los instrumentos virtuales.

6.2. Desarrollo del hardware

Para poder controlar la operación del sistema de biodigestión, se desarrolló un sistema de adquisición de datos que tiene como base principal un microcontrolador de la compañía MICROCHIP, el PIC 18F4550, cuyas características principales se detallan en el Anexo 2. Es necesario resaltar algunas de sus prestaciones con la finalidad de entender el porqué de su utilización para el presente proyecto.

La adquisición de datos del sistema es en tiempo real, puesto que las mediciones provienen de los sensores de la planta y dependen de cómo el proceso anaerobio va pasando por sus distintas etapas. El sistema que se monitorea tiene en su interior

colonias de bacterias vivas, razón por la cual cualquier cambio brusco en las condiciones de las variables críticas puede provocar un malfuncionamiento e incluso una pérdida total del sistema biológico presente dentro del reactor.

El microcontrolador PIC 18F4550 tiene una velocidad de operación muy superior a la que requiere el proceso anaerobio, por lo tanto esta parte del sistema no es crítica, el uso de un sistema por microcontrolador depende más de factores como la velocidad en la transmisión de los datos, la cantidad de datos enviados en cada paquete, el número de puertos de entrada/salida y la capacidad de memoria interna del microcontrolador.

La Figura 6.8 muestra las distintas partes del sistema completo, la interfaz de usuario, la adquisición de datos y el biodigestor a controlar. Aunado a esto, la comunicación con el microcontrolador se realiza a través de un puerto USB (Universal Serial Bus), lo que permite que el dispositivo sea conectado prácticamente a cualquier computadora.

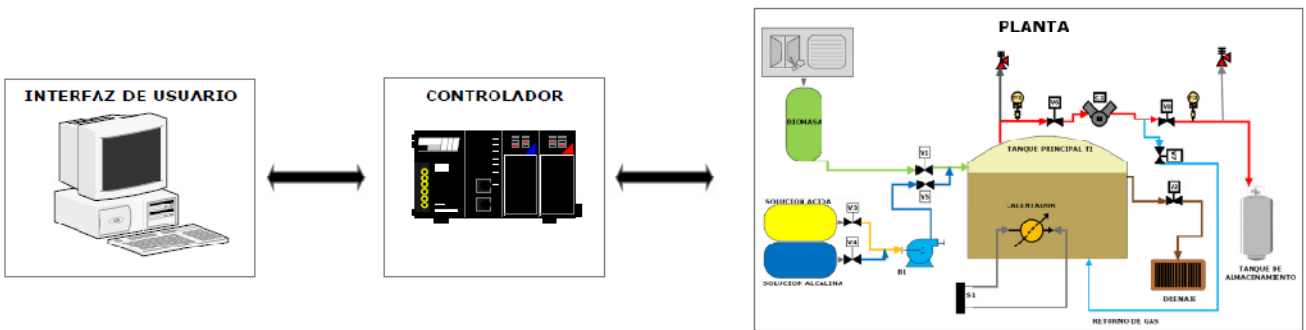


Figura 6.8. Esquema del sistema completo.

6.3. Medición de la temperatura

De acuerdo a las características del sistema microbiano con el que se trabaja, la temperatura es la primera variable crítica que será controlada por el sistema. Los rangos de temperatura óptimos para las bacterias metanogénicas mesófilas se encuentran entre los 30 y 40 °C. Aunque un rango más estrecho es deseable, alrededor de 30 – 35 °C. Para poder medir esta temperatura se incorpora a la planta piloto un sensor de tipo circuito integrado denominado LM35, cuyas características nos permiten medir desde 2 hasta 150 °C, con un incremento de 10 mV por cada grado centígrado.

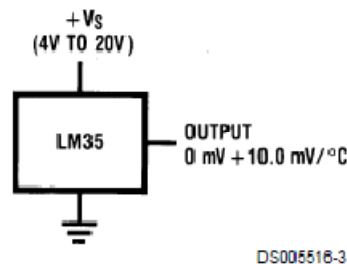


Figura 6.9. Sensor de temperatura centígrada básico (National Semiconductor).

De acuerdo a esto, a los treinta grados se cuenta con:

$$0.010 \text{ V}/^{\circ}\text{C} * 30^{\circ}\text{C} = 0.3 \text{ V}$$

Y para los 40 °C

$$0.010 \text{ V}/^{\circ}\text{C} * 40^{\circ}\text{C} = 0.4 \text{ V}$$

Lo cual nos da un margen de 100 mV para la medición de la variable temperatura. Este voltaje es la primera señal de entrada de tipo analógico y es recibida por el convertidor A/D del PIC 18F4550, este convertidor tiene una resolución de 10 bits, con la cual podemos obtener la mínima escala de medida que puede registrar el microcontrolador

El convertidor A/D trabaja con una tensión de 0 a 5 V. Y con la resolución de 10 bits, podemos fraccionar esos cinco voltios 1024 veces.

$$\frac{5}{1024} = 0.00488 \text{ V} = 4.88 \text{ mV}$$

Esto es: Cada vez que haya un incremento en el voltaje de entrada de 4.88 mV, el valor registrado por el ADC se incrementará en una unidad.

Si cada grado centígrado en el LM35 equivale a 10mV y el rango de medición es de 10 °C, la resolución de la medida será aproximadamente de 0.5 °C.

Ahora bien, el error máximo del sensor puede variar entre +/- 0.75 °C. Para evitar tener una variación que pueda dar información errónea sobre la temperatura que se está midiendo, el sistema debe permitir modificar la lectura proveniente del sensor para compensar el error antes descrito. Para esto existen dos posibles soluciones, un circuito que pueda sumar o restar un voltaje variable para realizar la compensación, o un arreglo por software mediante el cual podamos trabajar internamente en el microcontrolador los datos adquiridos del sensor.

En la experimentación realizada con el sensor LM35 se midió a 30 °C un voltaje de 305 mV y a 40 °C un voltaje de 412 mV.

En la Figura 6.10 Se observa que la operación del sensor es casi lineal, aunque el voltaje de salida de la señal se encuentra algunos milivoltios por encima del voltaje mencionado en la hoja de especificaciones.

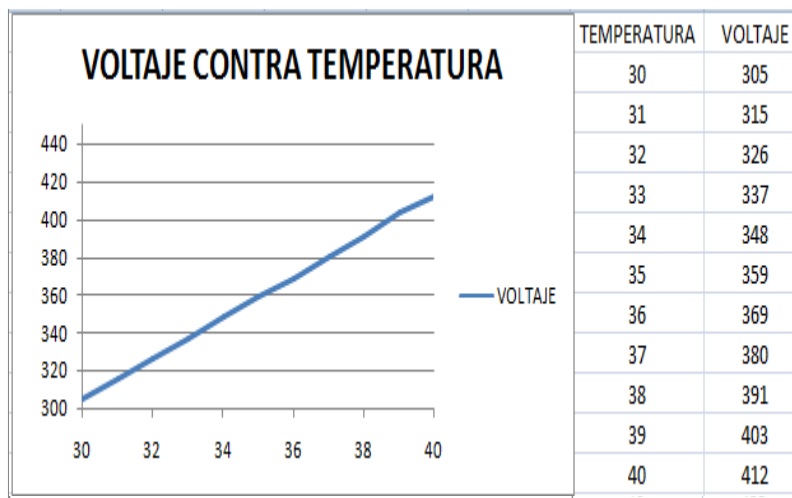


Figura 6.10. Comportamiento real del sensor LM 35 de 30 a 40 °C.

Para corregir este error, se realiza una compensación por software que permite restar el error presentado por el sensor, de la lectura mostrada en la pantalla de la interfaz. La Figura 6.11 nos muestra este proceso.

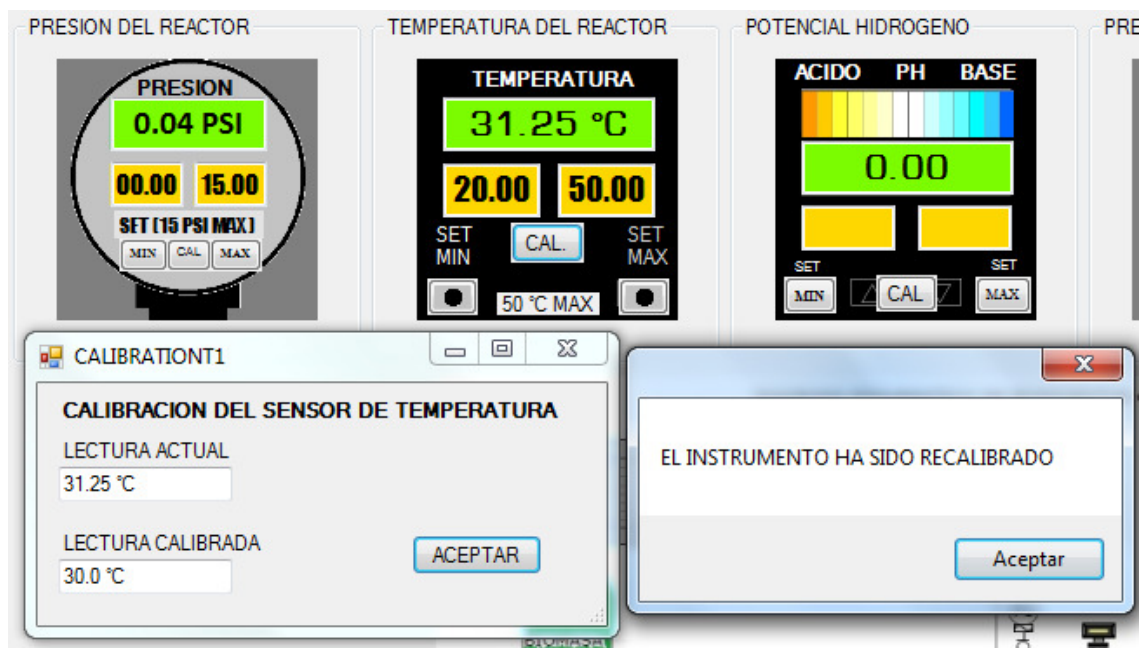


Figura 6.11. Calibración del instrumento para medir temperatura.

El error máximo registrado con el sensor es de 7 milivoltios, aproximadamente 0.7 °C. Con la calibración por software se logra disminuir el error a 0.5 °C lo cual para el proceso anaerobio no resulta peligroso, toda vez que la producción de biogás en etapa mesofílica se presenta desde los 20 hasta los 40 °C, y variaciones pequeñas en la temperatura no ponen en riesgo la producción de biogás.

Para la conexión del sensor se requiere una fuente de 5V, un capacitor de 0.1 uF para filtrado de ruido según la hoja de datos del fabricante, de la alimentación a la tierra. Esto se conecta a su vez a la entrada del canal analógico.

La señal de salida del microcontrolador se optoacopla y se conecta a un relevador que permite la operación de una resistencia de 50W a 127V que consume una corriente de 0.39A. Estas conexiones se muestran en la Figura 6.12.

El optoacoplador utilizado es el circuito integrado LTV847 que contiene en su interior cuatro optoacopladores. El diodo emisor de cada optoacoplador requiere un voltaje típico según el fabricante, de 1.2 V a 20mA. De estos parámetros se desprende el valor de R1. La salida del microcontrolador es de 5V con una corriente de entre 20 y 25mA. R1 se calcula para que circule por la malla una corriente de 20mA

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5 V}{0.020 A} = 250 \Omega$$

Para utilizar un valor comercial de resistencia, se propone una resistencia de carbón al 5% con un valor de 270 Ω .

$$I = \frac{V}{R} = \frac{5 V}{270 \Omega} = 0.0185 A$$

La corriente mínima que circulará por los diodos emisores de los optoacopladores será de 18.5 mA. De ahora en adelante cada vez que aparezca una resistencia conectada al diodo emisor de un optoacoplador, se tomará este valor como 270 Ω .

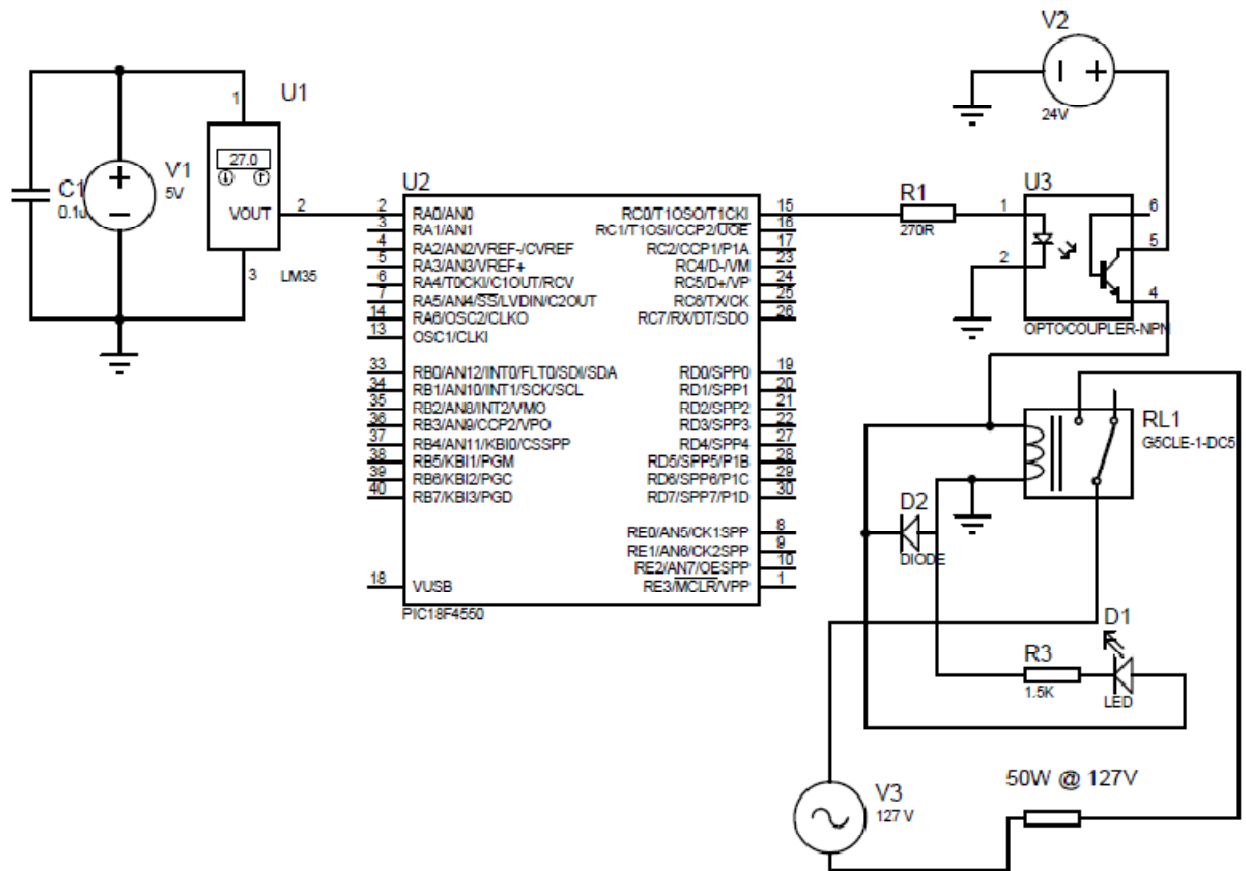


Figura 6.12. Diagrama de conexiones del sensor LM35 y su etapa de potencia.

La resistencia de calentamiento es un calentador sumergible que entrega una potencia de 50W y se conecta a 127V CA, según el fabricante, esta resistencia tiene capacidad para calentar 40 litros de agua a una temperatura máxima de 40°

Con estas condiciones se selecciona el relevador RL1, que puede conducir una corriente hasta de 15A a 120V. Este relevador tiene también como función, separar la corriente alterna de la corriente directa del circuito y el voltaje de la bobina puede ser de 5, 6, 12 o 24 V. Para el caso aquí presentado se seleccionaron relevadores a 24 V. con una corriente de consumo de 15mA.

R3 y D1 actúan como el circuito testigo que nos indica que el calentador está en funcionamiento, este sistema es independiente de las señales de alarma que despliega en pantalla la interfaz. D2 protege al transistor del optoacoplador de sobretensiones producidas al desconectar la bobina del relevador.

Una vez obtenida la señal del sensor, el microcontrolador debe enviarla a través del puerto USB al pirómetro virtual diseñado para tal efecto. Este instrumento se diseñó para poder medir temperaturas desde 0 hasta 50°C. La Figura 6.13 nos muestra el instrumento virtual encendido.

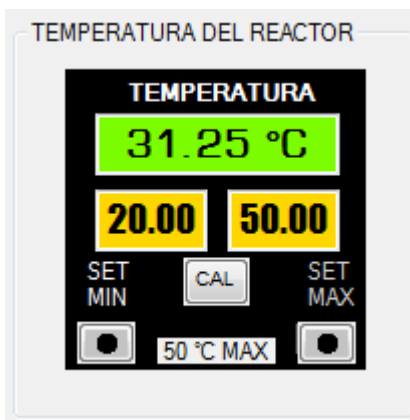


Figura 6.13. Carátula del pirómetro virtual desarrollado en C#.

En los recuadros se preestablecen los rangos mínimo y máximo de medición de temperatura. Estos parámetros pueden ser modificados por el usuario. Cuando se alcanza la temperatura deseada, el pirómetro envía una señal de encendido que es recibida por el microcontrolador y a su vez enviada a un puerto de salida en el mismo.

6.4. Medición de presión en el reactor y diagrama de conexiones

La presión máxima a la cual la metanogénesis comienza a inhibirse es alrededor de las 70 PSI (480 kPa). Ahora bien, la presión máxima registrada por la planta piloto fue de 15 PSI después de un lapso de 15 días sin extraer el gas generado. Es por esta razón que el presostato del reactor tiene una capacidad máxima de medida de 15 PSI. A partir de este valor, el instrumento genera una señal de alarma que debe considerarse como una sobrepresión en el sistema. Se utiliza la medición de presión en sistema inglés por simplicidad a la hora del diseño de la interfaz.

El sensor de presión utilizado para medir esta variable es un sensor piezorresistivo modelo MPX 4250 de la compañía FREESCALE, que posee un rango de medición de 0 a 36.3 PSI. La señal de salida de este sensor es de voltaje y tiene un rango de salida de 0.2 a 4.9 V, con una alimentación del circuito de 5 V.

El offset típico del sensor es de 204 mV, por lo que se realiza una corrección por software de la señal de entrada. Se mide inicialmente el offset del sensor a presión atmosférica y a partir de ese valor se hacen los cálculos para convertir el valor de entrada del sensor en el valor que se desea mostrar en el instrumento.

El valor inicial real medido en el sensor es de 209 mV. El sensor entrega 18.8 mV. Por cada kPa de incremento de presión.

$$1 \text{ PSI} = 6.8965 \text{ kPa}$$

$$6.8965 \text{ kPa} * 18.8 \text{ mV} = 129.65 \text{ mV} * \text{PSI}$$

Para un rango de medición de 0 a 15 PSI se tiene:

$$129.65 \text{ mV} * 15 = 1944.82 \text{ mV}$$

Es necesario añadir el offset del sensor.

$$1944.82 + 209 = 2153.82 \text{ mV}$$

El rango de lectura del convertidor A/D estará entre 209 y 2153.82 mV. Utilizando el convertidor a 10 bits para un rango de 0 a 15 PSI se obtiene una resolución de:

$$5V/1024 = 0.00488$$

$$2.15382V/0.00488V = 441.35$$

$$15 \text{ PSI} / 441 = 0.034 \text{ PSI}$$

Las conexiones del sensor MPX4250 se muestran en la Figura 6.14 y la Figura 6.16 muestra la carátula del presostato desarrollado en C#, encargado de desplegar la información correspondiente a la presión dentro del reactor.

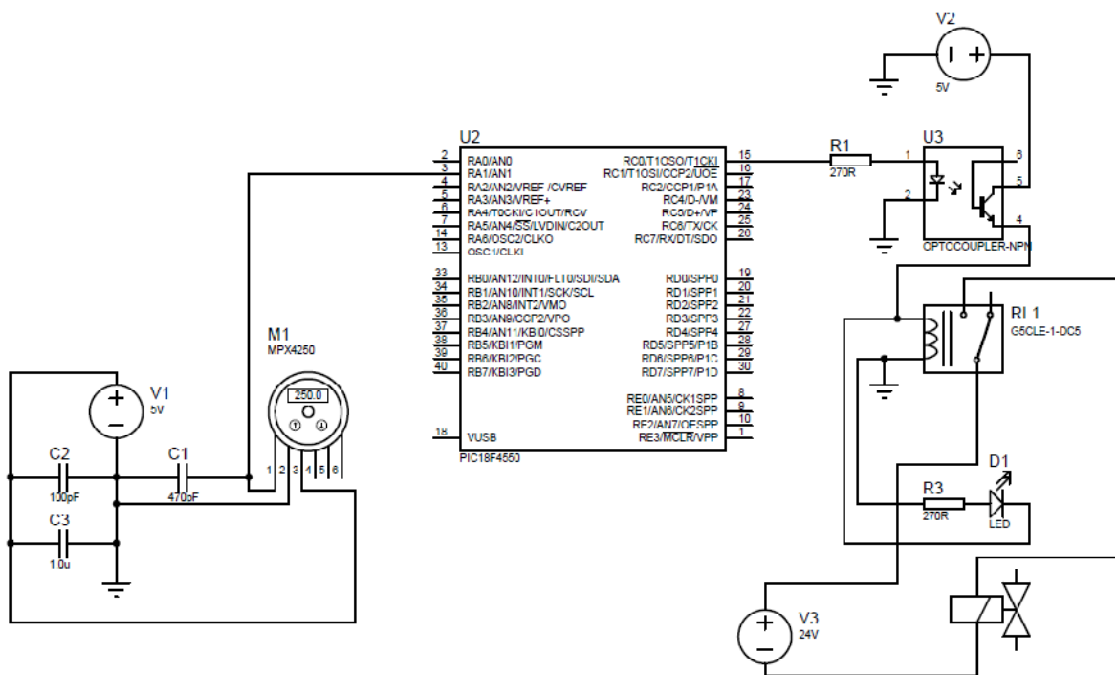


Figura 6.14. Diagrama de conexiones del sensor MPX4250 y su etapa de potencia.

El sistema de filtrado del sensor (Figura 6.15) es el recomendado por el fabricante, filtra la salida y desacopla la entrada. La señal de salida del sensor, entra al segundo canal analógico del microcontrolador, la salida actúa un relevador que a su vez energiza el solenoide de la electroválvula V6.

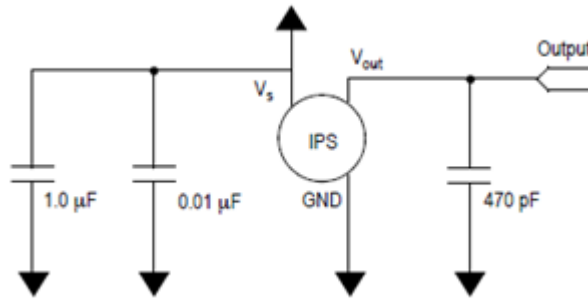


Figura 6.15. Filtrado del sensor MPX4250 (Según hoja de aplicación AN1535 de Freescale).

Nuevamente la carátula del instrumento virtual para medir la presión fue diseñada en C#, este instrumento mide, como puede verse en la carátula, presiones desde cero hasta 15 PSI. Los botones mínimo y máximo tienen como función desplegar el cuadro de diálogo para la adquisición de parámetros provenientes del usuario de la interfaz. La forma del instrumento recuerda la forma de los manómetros tradicionales de carátula, esto permite una identificación más sencilla por parte del usuario y permite familiarizarse con el sistema de manera intuitiva.

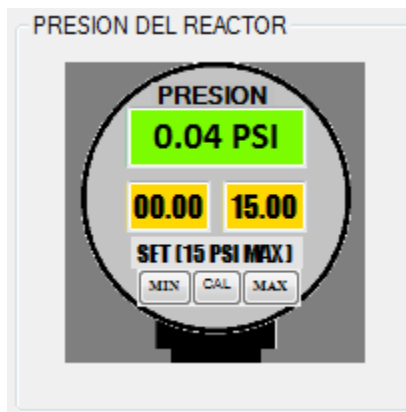


Figura 6.16. Carátula del presostato virtual desarrollado en C#.

Para calibrar los medidores de presión se realiza un procedimiento similar al descrito en la sección 6.3, al presionar el botón de calibración aparece un cuadro de diálogo donde puede ser corregido el error que pueda presentar el instrumento mostrado. El sensor de presión del tanque de almacenamiento opera con el mismo sistema de calibración por lo que no se detallará más adelante. La Figura 6.17 muestra una captura del proceso de calibración del medidor de presión.

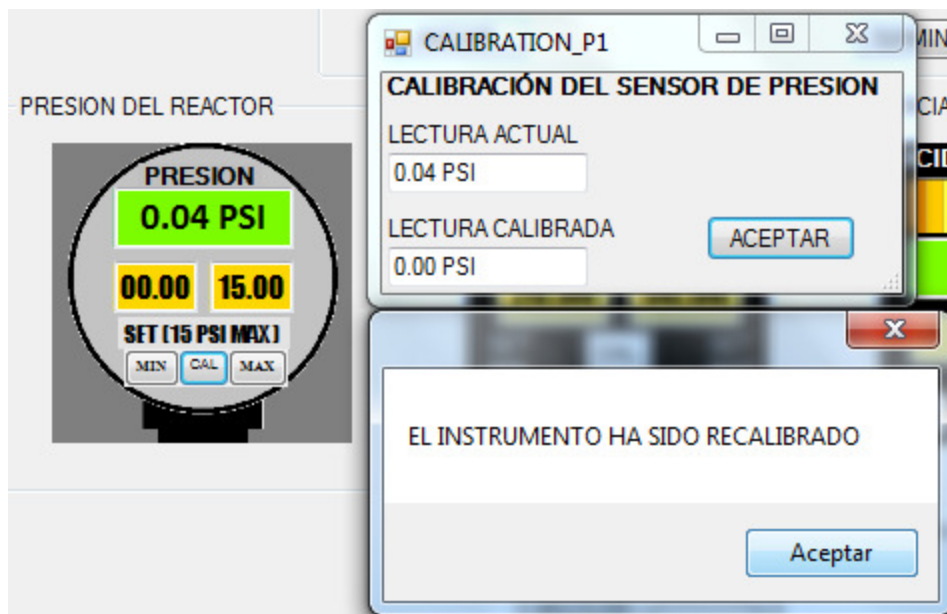
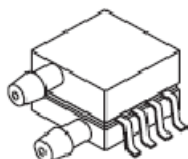


Figura 6.17. Proceso de calibración del medidor de presión.

6.5. Medición de nivel de líquidos

Para medir el nivel de líquido contenido en un recipiente existen diversos tipos de sensores. La mayoría de ellos proporciona una señal binaria, que no nos dice el contenido del recipiente a no ser que este se encuentre completamente lleno. Algunos sistemas incorporan dos o tres electrodos que deben colocarse a diferentes alturas tales que puedan indicarnos un depósito semivacío, intermedio o lleno y que utilizan la conductividad del líquido presente en el depósito para accionar un circuito electrónico. La principal desventaja de este sistema en cuanto al proyecto que aquí se desarrolla consiste en que dentro del tanque reactor tenemos un gas flamable, razón por la cual un sistema por conductividad, aunque este requiera una corriente muy baja, no es apropiado. El sistema que aquí se propone se basa en la presión atmosférica. La variación en la presión hidrostática puede ser empleada para medir diferencias de presión en términos de la altura de columnas de líquido. De esta manera utilizando el sensor MPXV5010 de FREESCALE (Figura 6.18) podemos medir cambios en el nivel de fluido de los tanques.



MPXV5010DP
CASE 1351-01

Figura 6.18. Sensor de presión para 1000 mm.c.a MPX5010.

Para lograr esto, se requiere un tubo que hará las veces de un barómetro. El tubo se introduce en el depósito a medir y en el extremo que queda libre se conecta el sensor MPXV5010, posteriormente se llena el tanque con la solución a medir. El aire atrapado dentro del tubo se comprime y el fluido ascenderá por dentro de éste para tratar de obtener el mismo nivel que el del fluido fuera del mismo. Esa compresión en el aire genera una presión que será registrada por el sensor, la cual puede medirse en milímetros de columna de agua (mm.c.a). La Figura 6.19 explica gráficamente este sistema.

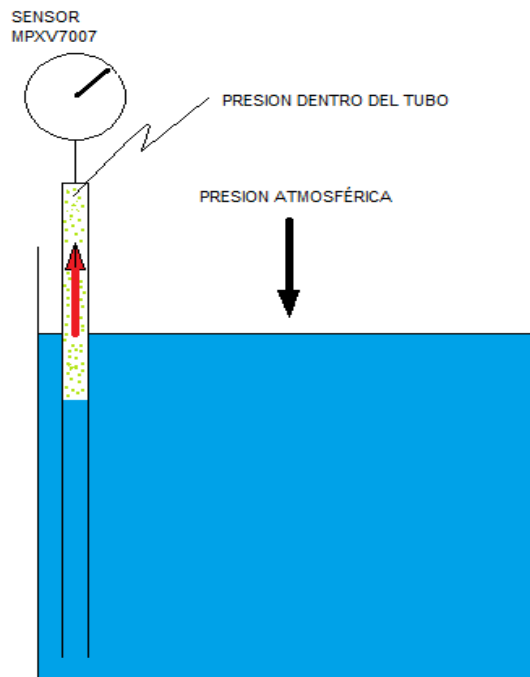


Figura 6.19. Medición de nivel con un sensor de presión.

El diagrama electrónico es muy similar al utilizado para medir la presión dentro del reactor, aunque el instrumento virtual para registrar esta variable es completamente diferente.

Este sistema es adecuado puesto que no importa que el gas en el interior del reactor sea flamable, ninguna conexión eléctrica se encuentra dentro del tanque, además en el caso de la solución ácida no habrá problemas de corrosión en los elementos del sistema de sensado puesto que el tubo puede ser de material plástico y el diafragma del sensor viene sellado con una silicona.

Cabe mencionar también que el sensor nunca entra en contacto directo con los fluidos debido a que registra la presión a la que se encuentra sometido el aire que queda atrapado en el tubo.

El sensor MPXV5010 tiene una capacidad de medida de 0 a 1.45 PSI, esto equivale a 1019 milímetros columna de agua. La salida de este sensor es un voltaje comprendido entre 0.2 y 4.7 voltios.

Para un ADC con una resolución de 10 bits se tiene:

$$\frac{5V}{1024} = 0.00488V$$

$$\frac{4.5V}{0.00488V} = 922.13$$

$$\frac{1019 \text{ mm. c. a}}{922.13} = 1.1 \text{ mm. c. a}$$

Por tanto la resolución máxima del medidor de nivel es de aproximadamente 1.1 milímetros de columna de agua, con una altura máxima de un metro.

La Figura 6.20 nos muestra el diagrama de conexiones para el sistema de sensado de nivel, en este podemos observar que el sistema tiene dos salidas, la primera es la bobina de la electroválvula que debe ser pilotada cuando por ejemplo el reactor se encuentre a su capacidad máxima y quiera procederse a su descarga. La segunda salida es un indicador auditivo que genera una alarma para el usuario para indicar por ejemplo que la solución estabilizadora se ha agotado.

El instrumento diseñado para realizar esta medición nos permite observar el incremento o decremento porcentual en cada tanque mediante una simulación gráfica de este proceso además de desplegar en un recuadro de la carátula el porcentaje de capacidad a la que se encuentra el contenedor medido.

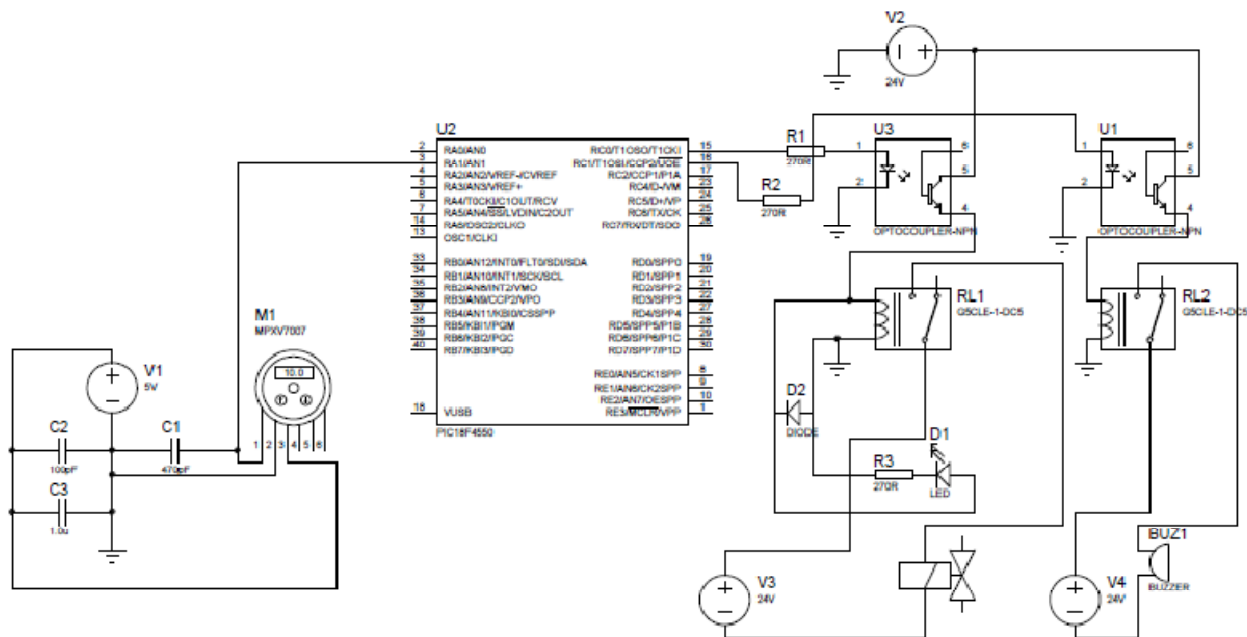


Figura 6.20. Diagrama de conexiones del sensor MPX5010 y su etapa de potencia.

La resolución del instrumento es muy superior a la del proceso como tal, de hecho al no ser necesaria tanta precisión en el contenido de los recipientes, las mediciones mostradas por el gráfico mostrado tienen variaciones de diez puntos porcentuales en cada rango de medición, como podemos observar en la Figura 6.21.

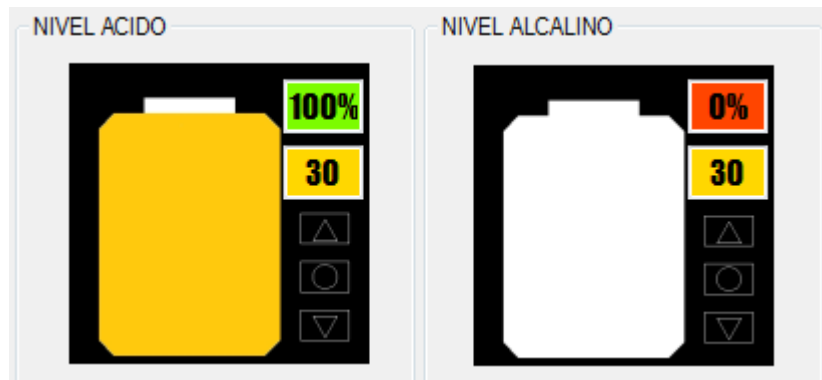


Figura 6.21. Medición de niveles en la interfaz.

6.6. Medición del pH

El potencial de hidrógeno, mejor conocido como pH varía típicamente de 0 a 14 en solución acuosa, donde 7 se considera como el punto neutro, de 7 a cero se considera ácido y de 7 a 14 alcalino.

Los electrodos para medición de pH son calibrados en una solución llamada *solución tampón* que generalmente posee un pH 7. El electrodo envía una señal de voltaje que es recibida por un sistema de amplificación, esto debido a que la señal que entrega el electrodo de pH es de tan solo algunos microamperes. En teoría sería posible determinar el valor pH de una solución líquida con un multímetro y un electrodo de pH. Sin embargo, la impedancia interna de un electrodo de pH en comparación con la impedancia interna de un multímetro es tan alta que la tensión generada por el electrodo de pH caería. Solamente mediante un amplificador de medición o un convertidor de impedancia es posible determinar de forma rápida y sencilla el valor pH con un electrodo de pH.

El rango de operación del sistema anaerobio se encuentra entre 6.5 y 7.5. Ahora bien, el sensor Hi 1001 de la empresa Hanna Instruments, entrega 64mv por cada unidad de pH registrada. Este valor debe ser amplificado y para ese fin se utiliza un amplificador de instrumentación de la empresa Burr-Brown, modelo INA101 que posee una ganancia mínima de 1 y máxima de 1000.

Este amplificador se utiliza en configuración de amplificador no inversor, cuya ganancia viene determinada por:

$$G = 1 + \left(\frac{40k\Omega}{RG} \right)$$

Donde G es la ganancia y depende de dos resistencias internas de precisión que realimentan a los dos primeros amplificadores del circuito. El tercer amplificador actúa en modo seguidor. El diagrama de la Figura 6.22 muestra más a detalle la conexión interna del amplificador.

La señal de entrada del electrodo nos da valores de:

0.064V por cada unidad de pH, donde el potencial eléctrico cuando el pH es neutro es cero. Para medición de acidez, el voltaje recibido por el sensor es negativo, por lo que el potencial del electrodo será máximo:

$$-0.064 * 7 = -0.448V$$

Para la medición de alcalinidad, el voltaje es positivo, por lo que el potencial del electrodo será máximo:

$$0.064 * 7 = 0.448V$$

Entonces podemos decir que el rango de voltaje del sensor es aproximadamente de 1V. Para poder obtener una mayor resolución de medida y para proporcionar una mayor intensidad de corriente de la señal, se calcula una ganancia de 5 para el amplificador de instrumentación.

$$G = 1 + \left(\frac{40k\Omega}{RG} \right) = 5$$

$$RG = \left(\frac{40k\Omega}{4} \right) = 10k\Omega$$

Debido a que el convertidor A/D del microcontrolador solamente trabaja con señales de entrada de 0 a 5V positivos, y como la señal proveniente del amplificador varía entre:

$$-2.24 \text{ y } 2.24V$$

Es necesario acondicionarla para que el microcontrolador la procese. Esto se logra montando la señal sobre una componente de corriente directa, cuyo valor será igual al de la componente positiva, pero de polaridad inversa, así entonces tendremos una señal de entrada de 0 a -4.48V

Hacemos uso de un amplificador en modo sumador con ganancia unitaria acoplado a la salida del amplificador de señal. Dado que el amplificador sumador es de tipo inversor, obtenemos como resultado una señal analógica cuyos valores varían entre 0 y aproximadamente 5 voltios.

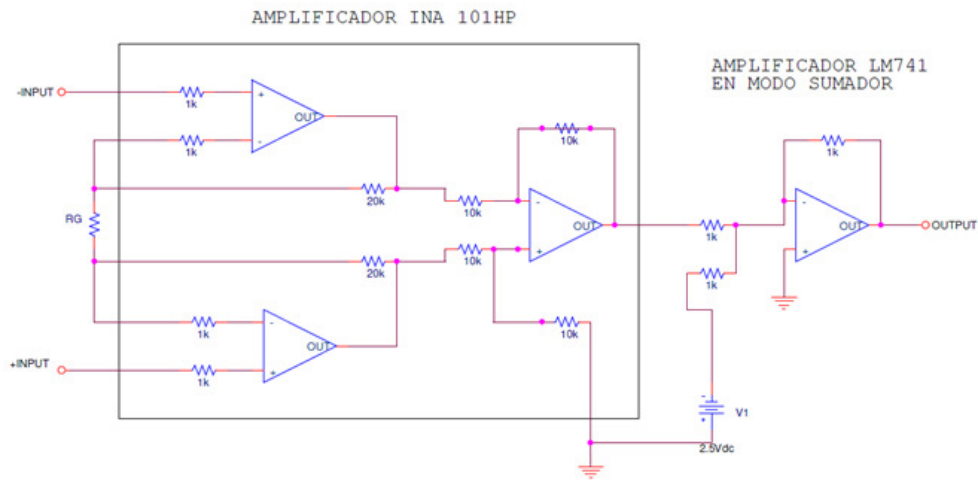


Figura 6.22. Esquemático del acondicionamiento de la señal proveniente del electrodo de pH.

Para realizar las correcciones de error del instrumento se procede de dos formas:

Primero el instrumento puede ser calibrado utilizando una solución tampón, que servirá como punto de referencia. El instrumento igual que los anteriores posee un botón de calibración que puede ajustar la medición mostrada por la interfaz, pero además de esta corrección, es necesario también solucionar la deriva térmica del electrodo que realiza la toma de la muestra. El punto de cruce isopotencial cuando la solución es neutra tiene valor de 0 V.

La deriva térmica aparece como muestra la gráfica de la figura 6.23.

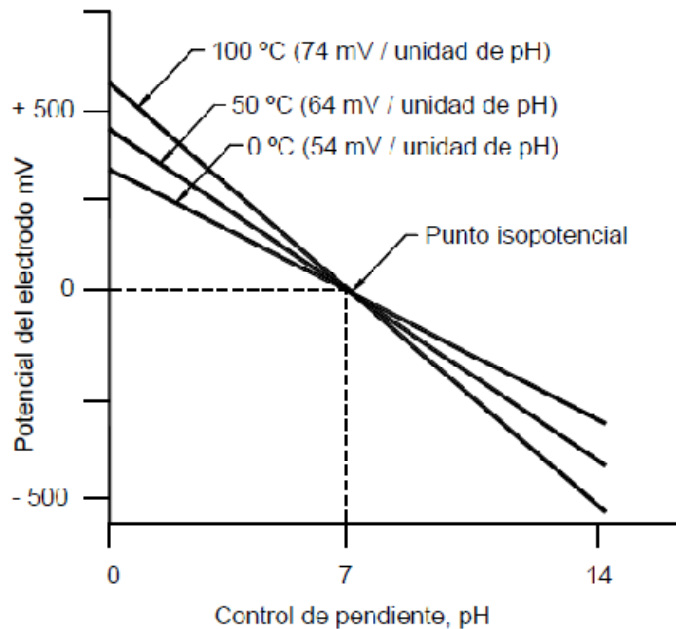


Figura 6.23. Deriva térmica del electrodo de pH.

Para corregir esta deriva térmica se realiza una operación matemática en el programa del microcontrolador, el cual mide primero la señal de temperatura y en función de esta compensa cambiando el valor del voltaje de señal medido que oscila entre 54 y 64 mV. Por unidad de potencial. La Figura 6.24 muestra el proceso de calibración

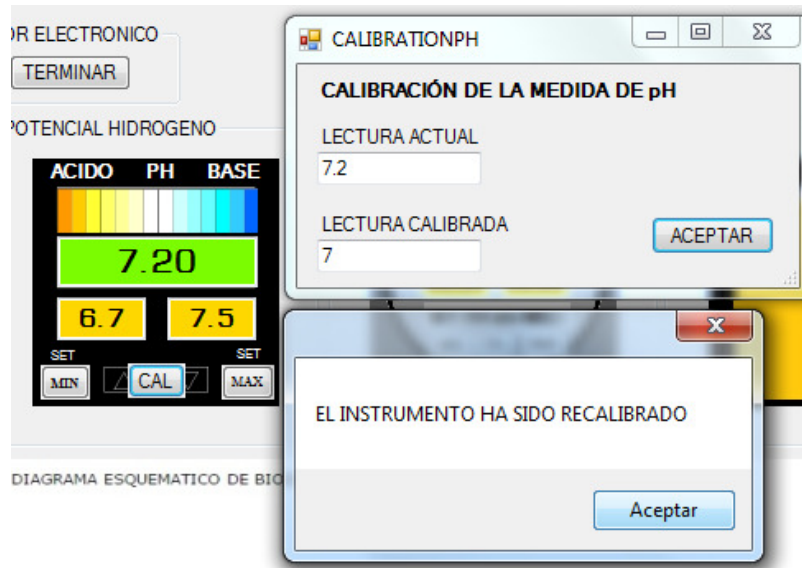


Figura 6.24. Proceso de calibración del medidor de pH.

La Figura 6.25 muestra el diagrama de flujo de la compensación por software por la deriva térmica.

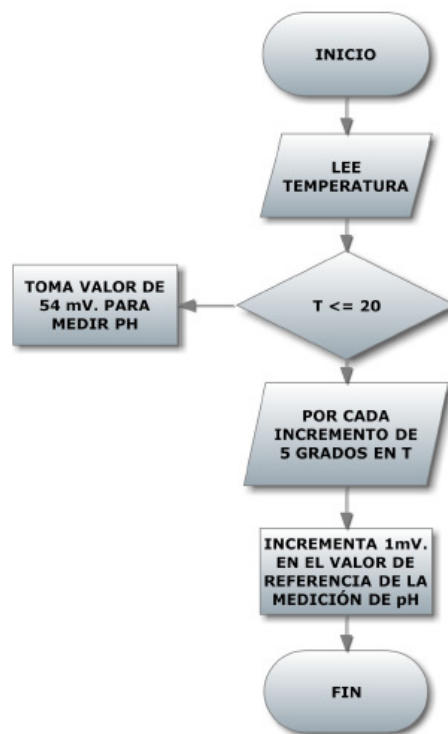


Figura 6.25. Proceso de compensación de la deriva térmica del medidor de pH.

La Figura 6.26 presenta el diagrama electrónico del sistema completo, con la etapa de amplificación, el microcontrolador y la etapa de potencia.

6.7. Firmware del microcontrolador

Para gestionar el envío y recepción de datos desde la interfaz a los distintos periféricos del sistema, el microcontrolador requiere de un programa que contenga todas las instrucciones de operación y que es almacenado en la memoria no volátil del mismo. Este programa se explica en el diagrama de flujo de la Figura 6.27, el cual contiene los procesos, entradas de datos y decisiones que toma el microcontrolador para cada uno de los subsistemas. El código de programa fue realizado en lenguaje C utilizando el compilador PIC C Compiler de CCS Inc.

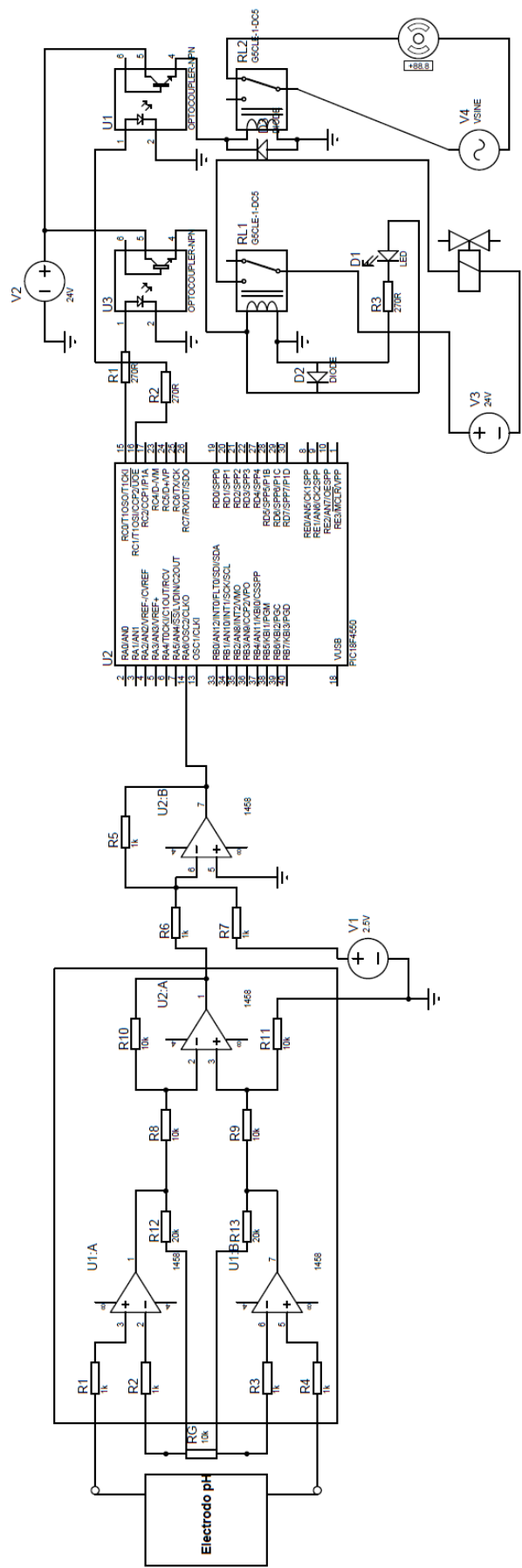


Figura 6.26. Diagrama esquemático del sensor de pH.

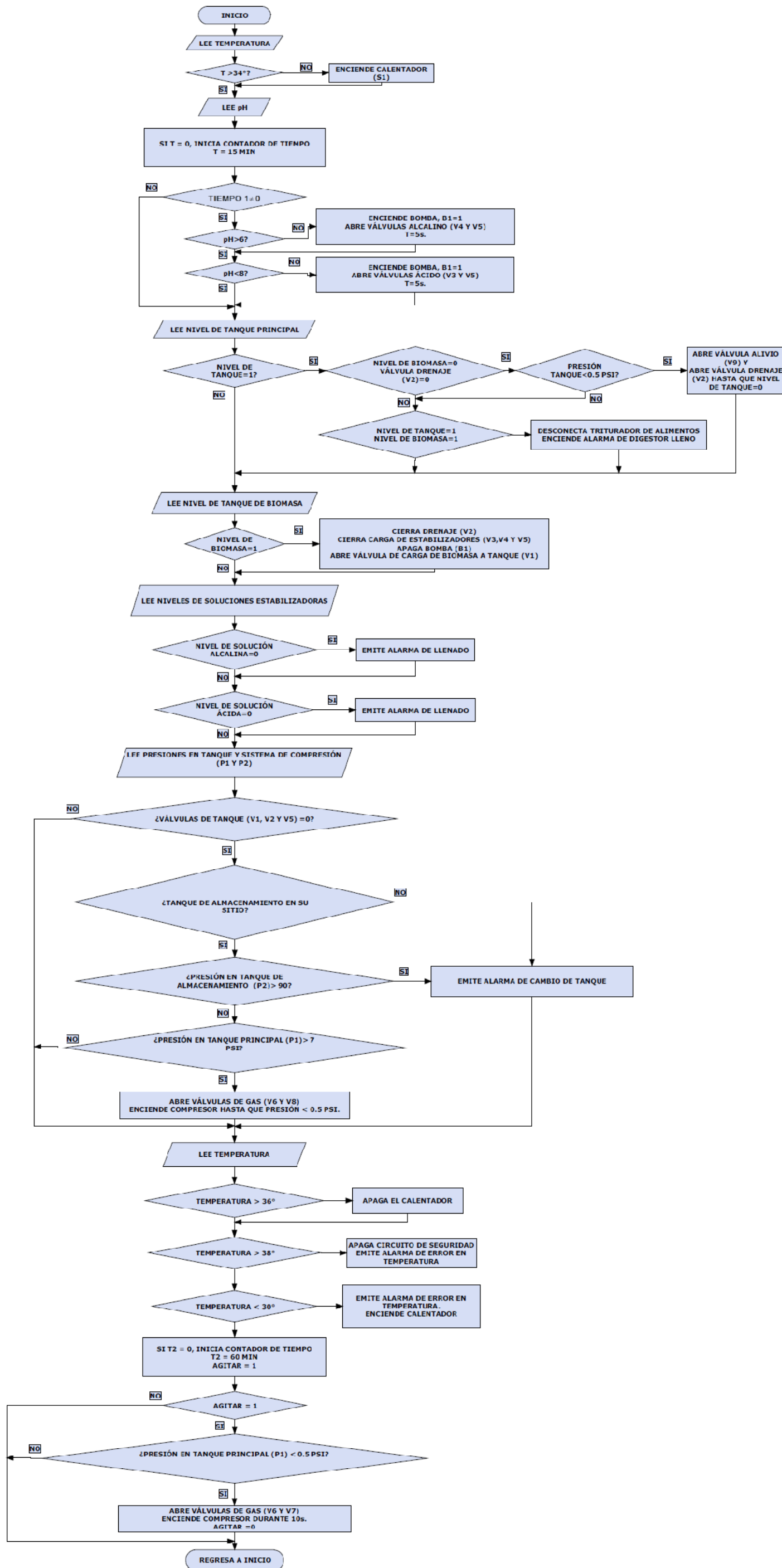


Figura 6.27. Diagrama de flujo de operación del microcontrolador.

6.8 Sistema electrónico completo

Una vez que se tiene desarrollado el software de la interfaz, el firmware del microcontrolador y las distintas etapas electrónicas de los procesos, se integra el sistema completo como se aprecia en el diagrama de la Figura 6.29

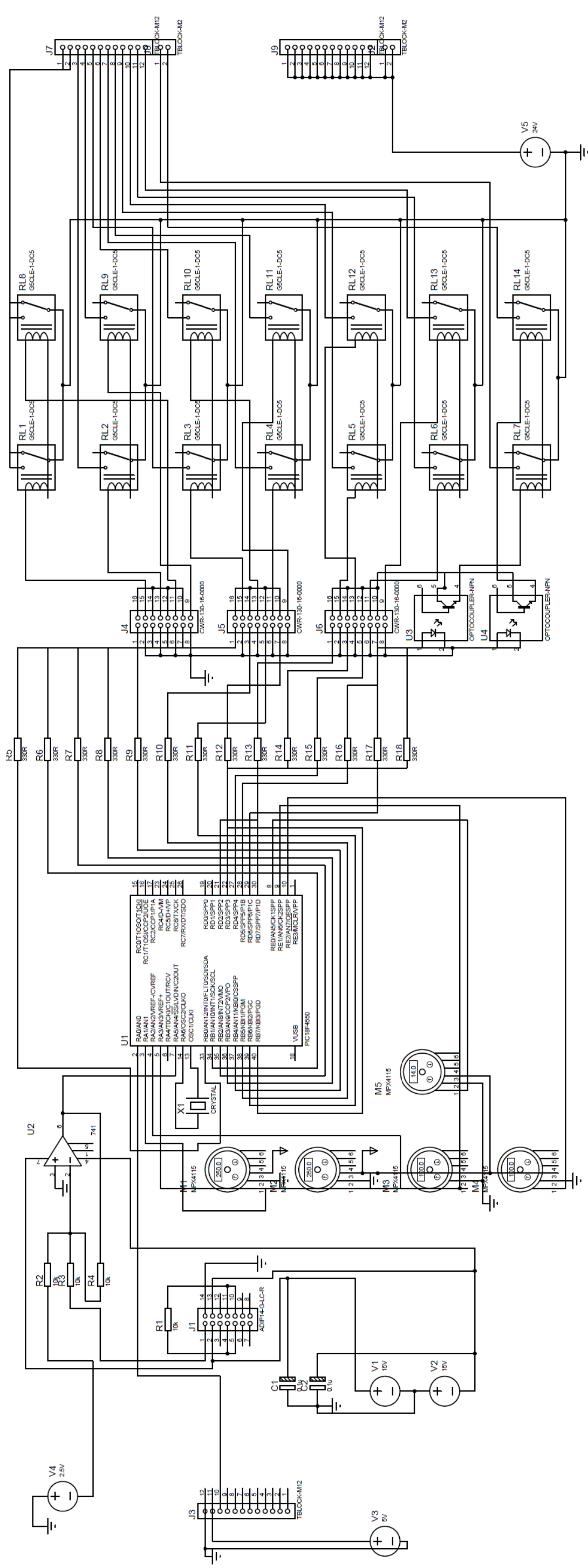


Figura 6.29. Diagrama electrónico del sistema completo.

RESULTADOS

RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

Se construyó una planta piloto generadora de biogás con una capacidad de diez litros, esta planta fue alimentada con desechos provenientes de frutas y verduras y la producción de biogás en su interior fue monitoreada mediante la interfaz desarrollada en C# para tal efecto.

La interfaz se comunicó exitosamente al controlador vía USB y se realizó el envío y la adquisición de datos en tiempo real, provenientes de los sensores del sistema. Las señales de las variables críticas fueron tomadas de los distintos sensores conectados a la misma y enviados desde el microcontrolador a la PC.

Las graficas que se muestran a continuación representan valores medidos directamente en la planta piloto, estos datos fueron desplegados posteriormente en la interfaz, debido a lo extenso de los mismos se optó por tomar una muestra diaria durante un periodo de veinte días, con lo cual se aprecian algunos resultados interesantes que son descritos más adelante.

Presión en el reactor

La presión fue baja al inicio del muestreo debido principalmente al proceso de descomposición inicial de la biomasa posterior a la alimentación del reactor. Una vez estabilizada la producción de biogás se observa una presión entre 4 y 6 PSI, la caída de presión en los últimos días tiene que ver con la necesidad de alimentar el sistema.

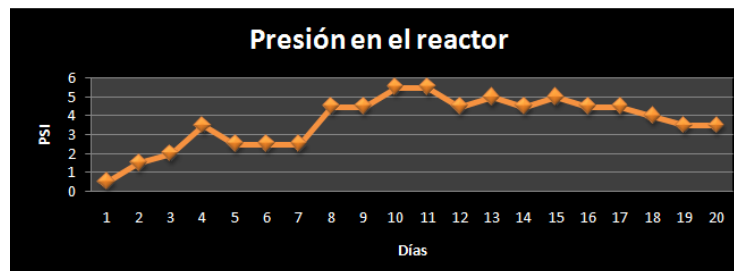


Figura R.1. Mediciones tomadas del sensor de presión del reactor.

Medición de pH

El pH presenta una caída importante en los primeros días debida a la generación de ácidos por parte del propio sistema bacteriano, posteriormente se estabiliza y se mantiene entre 6.5 y 7 incluso en los últimos días cuando la generación de biogás ha descendido.

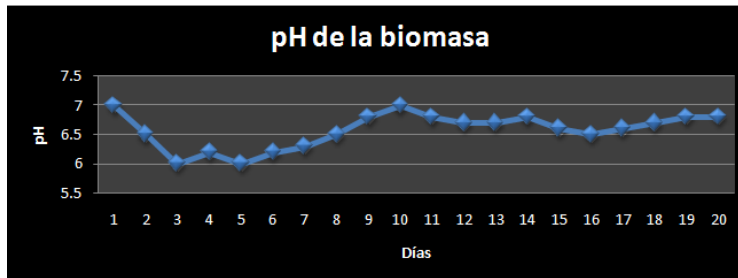


Figura R.2. Mediciones tomadas del sensor de pH del reactor.

La temperatura es una de las variables que presenta mayor variación, esto debido a cambios bruscos en la temperatura ambiente, la temperatura deseada de treinta y seis grados no se alcanza por fallas en el aislamiento y por una probable baja potencia del calentador. Esto puede ser corregido en un modelo real aplicando un correcto aislamiento e introduciendo el calentador dentro del sistema como lo muestra el diagrama mecánico.

A pesar de esto, la temperatura alcanzada está entre lo veintiséis y los treinta grados, con la cual se obtuvo una producción de biogás bastante aceptable. Estas variables fueron medidas mediante el uso de la interfaz y luego fueron registradas en los gráficos que se aprecian en esta sección. Las salidas del controlador a los actuadores fueron enviadas únicamente a indicadores luminosos puesto que el sistema no cuenta con las electroválvulas necesarias para ejecutar los procesos. Se logró estabilizar y mantener una adecuada producción de biogás acorde a las señales enviadas por el microcontrolador. La apertura y cierre de las válvulas se realizó manualmente en etapas experimentales atendiendo a los indicadores del controlador.

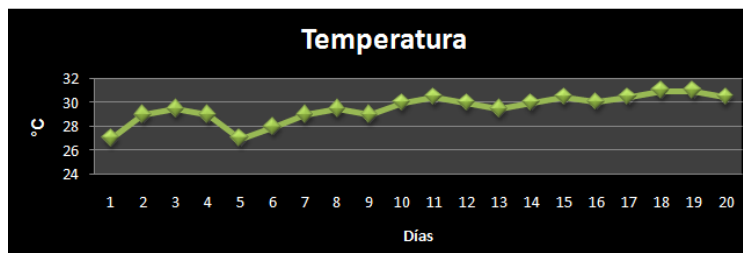


Figura R.3. Mediciones tomadas del sensor de temperatura del reactor.

De acuerdo con el objetivo de la tesis, se demostró en experimentación el correcto funcionamiento del controlador y la interfaz de usuario en su fase de adquisición.

Cabe mencionar que la operación de forma autónoma fue lograda únicamente como simulación, debido a que para la realización de un prototipo cien por ciento funcional se requiere de un presupuesto mayor al disponible en el momento del desarrollo del proyecto.

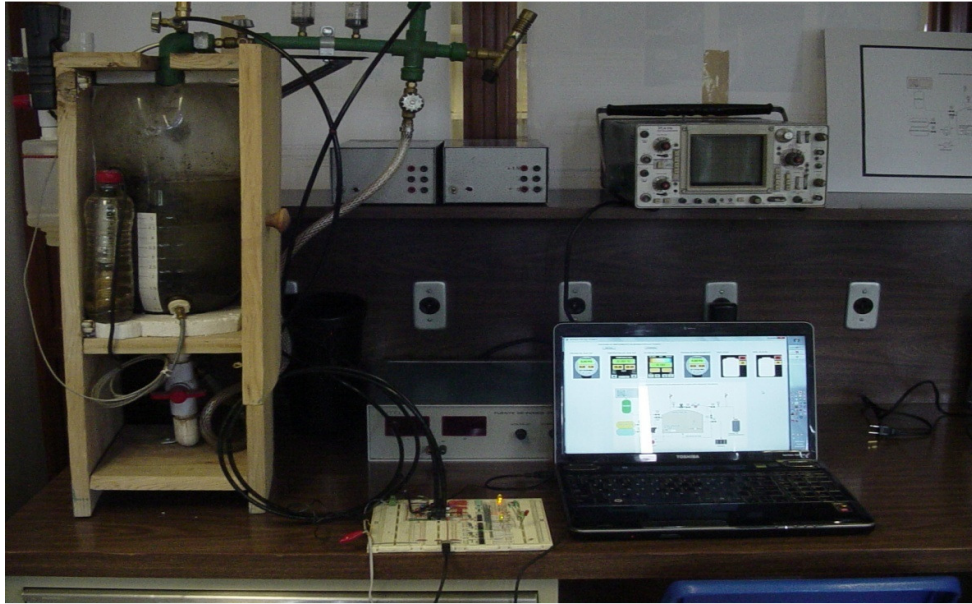


Figura R.4. Sistema completo, Biodigestor, Controlador e Interfaz.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Este proyecto, representa una innovación en el área, ya que aunque existen este tipo de controles para plantas de laboratorio o plantas industriales, no existe un sistema enfocado a la producción de biogás en un entorno casero y que pueda ser utilizado por gente que no sea experta en el uso y producción de biocombustibles.

Otra de las metas de este proyecto es proveer al ciudadano promedio una manera sencilla y económica para disponer de sus desechos orgánicos, así como para producir gas combustible para autoconsumo, con la finalidad de reducir emisiones de gases contaminantes causadas por la quema de combustibles fósiles como el gas natural.

Se logró demostrar que es posible desarrollar un dispositivo para generación de biogás de tipo casero utilizando elementos de bajo costo, pero con las prestaciones más importantes de los sistemas industriales.

Las herramientas de programación y los simuladores electrónicos, permiten acortar el tiempo de desarrollo además de facilitar la tarea de los especialistas encargados de este tipo de investigaciones.

Este proyecto tiene como finalidad lograr que las herramientas de ingeniería trabajen para fomentar el bienestar de la sociedad.

Recomendaciones

1. Construir un prototipo a escala real basándose en el capítulo uno para el correcto dimensionamiento del mismo, acorde a la disponibilidad de biomasa del sitio de instalación.
2. Este prototipo deberá contar con todos los sistemas mostrados en el diagrama mecánico del biodigestor.
3. El controlador deberá estar protegido en un gabinete que impida que algún líquido proveniente del biodigestor pueda entrar en contacto con él.

ANEXOS

A1. INFORMACIÓN ADICIONAL SOBRE EL BIOGÁS Y TIPOS DE BIODIGESTORES

Historia de la digestión anaerobia

Se sabe que el hombre conoce desde hace mucho tiempo la existencia del BIOGAS, pues este se produce en forma natural en los pantanos, de allí que se le llama gas de los pantanos.

En 1808 Humpry Dhabí produce gas metano (principal componente del biogás) en un laboratorio. Se toma este acontecimiento como el inicio de la investigación en biogás. Desde esos días hasta la actualidad mucho se ha avanzado sobre el tema y actualmente se cuenta con instalaciones que van desde la pequeña escala doméstica hasta las aplicaciones agroindustriales. China es el país que ha llevado a la práctica el uso del biogás en mayor escala. Existen allí más de siete millones de digestores rurales en funcionamiento. Estos proveen gas para cubrir necesidades de cocción e iluminación, a la vez que van recuperando suelos degradados a través de siglos de cultivos.

La India experimenta desde 1939 con diversos sistemas para aplicar en climas fríos o cálidos. En Europa y en Estados Unidos se investigan los complejos fenómenos químicos que ocurren durante el proceso de digestión.

En la Segunda Guerra Mundial, la crisis de combustibles hizo que las investigaciones en esta área aumentaran, forzando el desarrollo a pequeña y gran escala. Años más tarde debido a los aspectos negativos de esta tecnología por depender principalmente de temperaturas superiores a los 30°C, y por comodidad y conveniencia de otros tipos de combustibles, esta tecnología pasó al olvido.

En China, India y Sudáfrica, debido a la escasez de recursos económicos estos métodos fueron difundidos y desarrollándose de tal manera que hoy en la actualidad estos países cuentan con más de treinta millones de biodigestores funcionando, además desarrollaron técnicas de generación gaseosa a pequeña y gran escala [24].

Tipos de biodigestores

El biodigestor es la estructura física o reactor que favorece en un proceso natural anaeróbico la estabilización de la materia orgánica contenida en los residuos y la generación del biogás. Uno de los sistemas de biodigestor más difundido es el digestor circular fabricado de ladrillo o mampostería en cemento con un domo fijo y sin partes metálicas a excepción de un pequeño tramo o tubo de acero para entregar el gas (Figura A1.1).

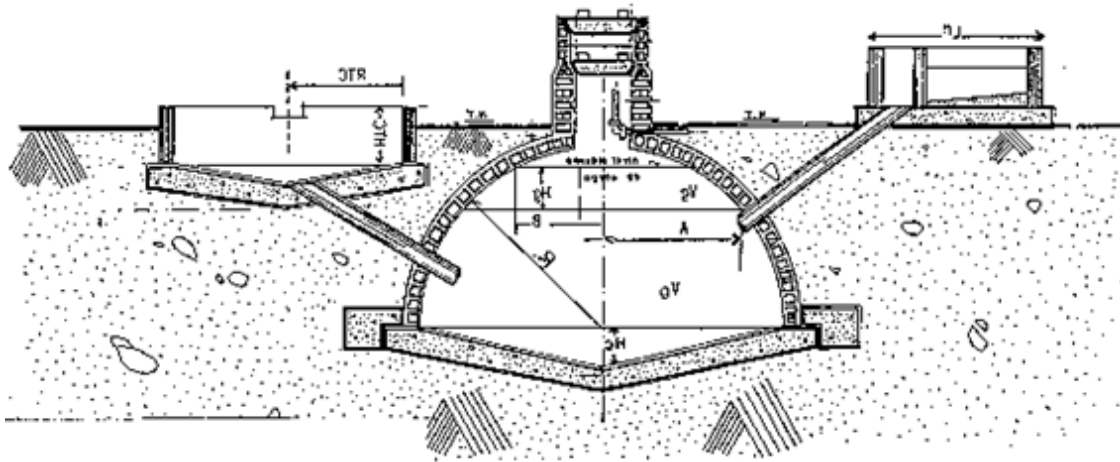


Figura A1.1. Digestor circular de domo fijo usado en China.

Se requiere un nivel relativamente alto de conocimientos técnicos para la construcción de este tipo de biodigestor, en la práctica parece que muchos de estos digestores no son completamente herméticos y la fuga del biogás es un problema común. En China se ha reportado que los digestores de este tipo construidos desde el comienzo de la década de 1970 están en un rango de cinco a siete millones [25]. En 1992 había 1.7 millones de plantas en operación en la región de Szechuan donde la mayoría de biodigestores son unidades familiares de 6 – 10 m³ que producen de 1 – 2 m³ diarios de biogás de residuos humanos y animales, a los cuales se agrega adicionalmente un poco de materia vegetal. También existen decenas de miles de tamaño mediano (aproximadamente de 50 m³ de volumen) y grandes (más de 100 m³ de volumen), con tasas de producción de gas del 10 al 20% del volumen del digestor por día.

Es común en esta zona que la letrina y la colección de residuos del ganado se alimenten por gravedad hacia el reactor de biogás así se reduce el contacto humano con el residuo y la labor asociada con el llenado de la unidad. Frecuentemente el reactor está localizado bajo el piso del lugar donde permanecen los animales. El resultado inmediato de la aplicación de la tecnología del biogás en esta zona es el incremento en las condiciones de saneamiento.

En la India, se han instalado unas 80,000 plantas de biogás pequeñas, de 8 – 10 m³ de volumen, la mayoría de las cuales produce biogás a partir de estiércol de vaca. Este tipo de planta ha sido llamada el digestor KVIC, en honor a la Khadi an Village Industries Commision que promueve su implementación. El tanque del digestor es un cilindro de concreto parcialmente bajo tierra, y tiene una altura de 2.5 - 4 veces mayor que su diámetro. La tasa de producción de gas lograda con este diseño es del 20 al 30% del volumen del digestor por día. Se coloca un domo invertido en acero sobre la mezcla del digestor para recoger el gas producido. En la medida en que se acumula el gas, el tanque de acumulación sube. La capacidad recomendada del tanque de almacenamiento es del 50 al 60% de la producción diaria de gas. Se ha desarrollado un tipo de digestor parecido en la India, el cual se conoce como digestor Janata, una tapa fija en forma de domo construido sobre el digestor sirve para el almacenamiento del gas (Figura A1.2), su diseño sencillo, el cual puede ser construido sin la necesidad de un domo de acero, hace que este sea una alternativa atractiva.

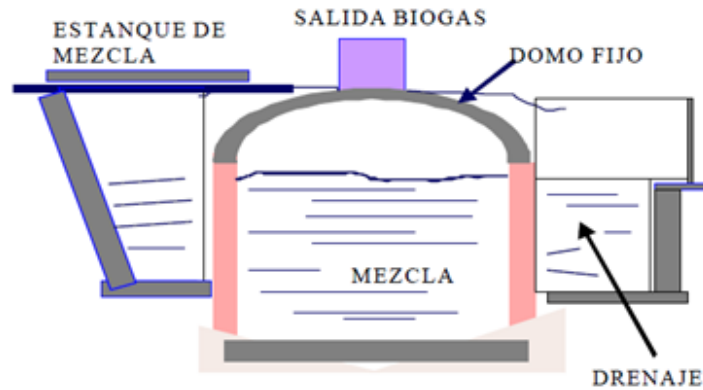


Figura A1.2. Digestor Janata con domo fijo.

En Pakistán, se ha desarrollado una planta de producción de biogás la cual tiene un sello externo de agua alrededor de la campana colectora de gas para eliminar los malos olores, y para reducir la acción corrosiva del ácido sulfhídrico contenido en el biogás. Este diseño reduce las pérdidas de gas y los costos de mantenimiento, pero es relativamente caro en su construcción.

En Filipinas, se construyen plantas de producción de biogás con un tanque digestor de dos compartimentos. La mayoría del lodo se asienta en el primer compartimento, previniendo de esta forma el bloqueo del tubo de conexión al segundo compartimento. Se usa un acumulador de gas flotante. Un sistema de Lagunas cubiertas es usado para producir biogás de estiércol líquido con menos del 2% en peso de sólidos. Generalmente se requieren grandes volúmenes preferiblemente con profundidades de 12 pies. El volumen típico de la laguna se encuentra multiplicando el flujo volumétrico de estiércol diario (caudal) por el factor 40 -60 días (tiempo de retención). Recientes desarrollos han llevado al uso de digestores tubulares fabricados en polietileno los cuales han resultado en disminución de costos y eficiencias considerables. Estas unidades, varían en tamaño de 100 a 400 m³ en volumen, son fáciles de transportar, sencillas de instalar y baratas de construir (ver Figura A1.3).



Figura A1.3. Digestor tubular de polietileno.

En Vietnam y las Filipinas, los biodigestores plásticos (de bolsa flexible) están siendo usados en combinación con la producción de animales en espacio confinado. En Filipinas el consejo de la industria de animales está implementando un programa usando estos sistemas para abatir el riesgo dado por la cría de ganado, 99 unidades han sido instaladas en el marco de un proyecto de demostración. Esta tecnología está basada en el modelo

desarrollado en Colombia y modificado por experiencias en Vietnam. En 1998 más de 7000 sistemas fueron instalados en Vietnam, pagados por granjeros.

Los productos de la digestión anaerobia son el biogás y el efluente líquido. El efluente es una solución orgánica estabilizada que tiene valor como fertilizante y por ello puede ser utilizado en irrigación de pastos y cultivos. Una evaluación de la presencia de organismos patógenos es recomendable para disminuir los riesgos a la salud pública en el momento de la aplicación. El efluente del biodigestor también puede ser aprovechado en la generación de biomasa que puede servir de alimento potencial de ganado. Dependiendo del tamaño de la instalación y de la cantidad de efluente obtenido se requiere proveer en el sistema un sitio para su almacenamiento esto con el propósito de usarlo o comercializarlo posteriormente.

El biogás debe removerse del biodigestor y transportarse hacia el sitio donde se hace su aprovechamiento. Un sistema de manejo del biogás incluye: Tuberías, bombas o sopladores de gas; medidor de flujo de gas; regulador de presión, drenajes de condensado y sistema de remoción de ácido sulfhídrico. El biogás debe ser manejado como cualquier otro gas combustible. Mezclas de biogás con aire en una relación de 1:20 forman un gas detonante altamente explosivo. Se debe tener cuidado con tuberías de gas en recintos cerrados que tengan fugas. Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, cobre, caucho o plástico. Se debe tener presente que las mangueras de caucho se vuelven rápidamente porosas y permeables con los rayos solares. Mientras más larga sea la tubería de gas mayor será la caída de presión presentándose la necesidad de adaptar a la línea un soplador.

La tubería de gas debe estar provista de un sistema que permita eliminar el agua de condensación ya que generalmente el biogás está saturado con agua, diversos sistemas de este tipo se presentan en la Figura A1.4.

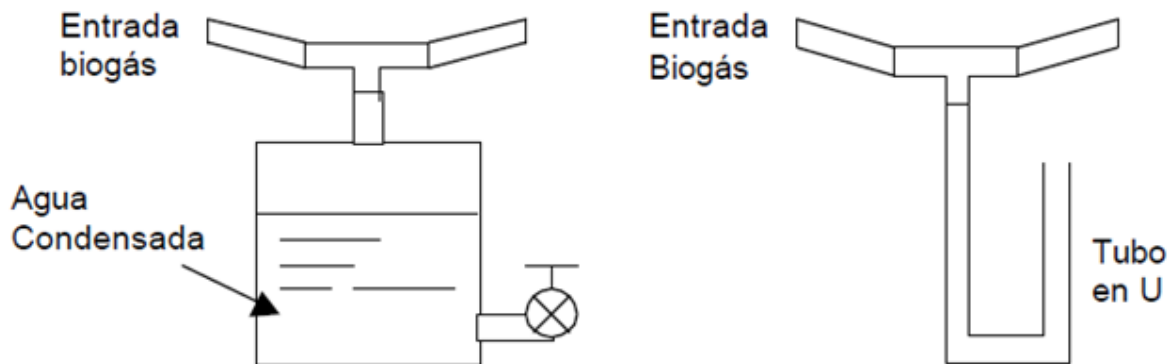


Figura A1.4. Eliminación de agua de condensación en la tubería de biogás.
a) Separador de agua con válvula de drenaje b) Trampa de agua de tubo en U.

El ácido sulfhídrico generado en la digestión anaerobia al mezclarse con agua condensada forma ácidos corrosivos por lo que deben tomarse precauciones ya que equipos como los refrigeradores y artefactos para agua caliente son sensibles a estos ácidos. Una solución que eleva los costos del sistema es considerar que la cámara de combustión y los quemadores deben estar hechos de acero colado, de acero especial o esmalte. Con ayuda de un filtro a base de óxido de hierro se puede purificar el biogás, eliminando el azufre ($\text{FeO} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS} + \text{H}_2\text{O}$; $2\text{FeS} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO} + 2\text{S}$). En el caso de grandes instalaciones de generación de biogás los costos de operación y mantenimiento de esta alternativa son elevados, por lo que no es recomendable su aplicación. El sistema

más sencillo y común para remover el H₂S es el de reducir este compuesto pasando el biogás por una trampa de limadura de Hierro o una esponjilla de brillo convencional.

Una alternativa a la remoción del ácido sulfhídrico es la de usar los denominados Biofiltros o sistemas de tratamiento biológico donde previa inyección de una cantidad específica de aire en el depósito de almacenamiento de gas la mezcla resultante se alimenta a un bioreactor consistente de un lecho o material de soporte donde el H₂S es oxidado biológicamente por bacterias.

Beneficios obtenidos en la aplicación de la tecnología del biogás

Las principales razones que pueden llevar a la implementación de la tecnología del biogás son:

Obtener una fuente de energía económica que permita disminuir costos asociados al consumo de la energía eléctrica o sistemas de gas convencionales.

Reducción de olores. Los sistemas de biogás reducen los olores ofensivos, especialmente en aquellas zonas donde se producen y manejan grandes cantidades de estiércol debido a la explotación de ganado. Los sistemas de biogás reducen estos olores debido a que los ácidos orgánicos volátiles que causan los compuestos generadores de olor son consumidos por las bacterias productoras de ganado.

Fertilizante de alta calidad. En el proceso de digestión anaerobia, el nitrógeno orgánico en el estiércol se convierte en gran proporción a amoníaco, el constituyente básico de fertilizante comercial, que es fácilmente disponible y utilizado por las plantas.

Reducción de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. El efluente del digestor es un producto más uniforme y manejable que el estiércol no tratado. La alta cantidad de amoníaco permite una mejor utilización de los cultivos y permite mejorar las propiedades físicas de los suelos. Una aplicación apropiada del efluente del digestor reduce la contaminación de aguas superficiales o subterráneas.

Reducción de patógenos. El calentamiento que ocurre en los digestores reduce las poblaciones de patógenos rápidamente en pocos días.

Balaceo de demanda de energía con la producción de biogás

La tasa de producción de biogás depende del material de biomasa y el tipo de planta usados. La Tabla A1.1 da una indicación aproximada de la tasa de producción para varios tipos de desechos animales.

En términos generales, se puede estimar la tasa de producción de gas entre 10 y 30 % del volumen del digestor por día, dependiendo del material de alimento, tipo de digestor, temperatura ambiente, y otras condiciones de operación.

Tabla A1.1. Tasas de Producción de biogás.

Tipo De Desecho o estiércol	Cantidad Disponible (Kg / Día)	Tasa De Producción De biogás (M ³ / Día)
Bufalo	10-15	0.50-0.75
Vaca Cebú	8-10	0.25-0.40
Ternero		0.15-0.25
Cerdo	25	.05-0.1
Gallinas		0.02-0.04
Oveja o cabra		0.02-0.04
Usuario de Letrina	1	0.02-0.03

Todas las proyecciones de producción de biogás deben comenzar con una estimación de la biomasa disponible y los requerimientos de energía que se desean cubrir que permitirá establecer preliminarmente si adelantar la implementación de la tecnología de biogás es factible o no. En el caso de una planta de tamaño familiar, proyectada inicialmente como una fuente de energía, la implementación debe recomendarse, sólo si la planta cubre la demanda de energía proyectada. En cualquier situación lo que se pretende con la implementación del sistema es que la producción de energía por biogás (P) debe ser mayor que la demanda de energía (D). Esta condición fundamental limita la aplicación de la tecnología en sitios donde la disponibilidad de biomasa es escasa (pocas cabezas de animales por ejemplo). En el caso de un balance negativo entre la producción y la demanda se deben revisar ambos aspectos – producción y demanda – con el propósito de buscar un equilibrio entre ellos.

Los siguientes criterios pueden emplearse con tal fin:

Demanda de energía

Disminuir los tiempos de uso del biogás, ejemplo, disminuir el tiempo de encendido de lámparas.

Omitir ciertas aplicaciones, ejemplo, calentamiento radiante, lámparas secundarias.

Reducción a un nivel de suministro de energía parcial que podría probablemente hacer la operación de una planta de biogás más valiosa.

El alcance de estas consideraciones busca reducir la demanda de energía, pero únicamente a tal extensión que esto no disminuya el grado de motivación por usar la tecnología del biogás.

Suministro de energía – producción de biogás (P)

Examine / calcule las siguientes opciones/factores:

El grado en el cual el volumen de biomasa puede ser aprovechado completamente (mejores métodos de recolección, uso de estiércol de otros inventarios de ganado, incluir residuos agrícolas, residuos de alcantarillas, etc.), cualquier forma de biomasa que pudiera incrementar la labor necesaria debe evitarse.

El grado en que se puede incrementar el tiempo de retención, por ejemplo un gran volumen de digestor puede incrementar la producción de biogás.

El grado en el que la temperatura de digestión puede incrementarse modificando la estructura.

El alcance de tales medidas es determinar el máximo nivel de producción de biogás que se puede alcanzar para una cantidad razonable de trabajo y un aceptable costo de inversión. La conclusión final a la que se puede llegar una vez revisadas estas posibilidades es: Si la producción de biogás aún es inferior a la demanda de biogás ($P < D$), no debe instalarse una planta de biogás.

Determinación de producción de biomasa

La cantidad, calidad y tipo de biomasa disponible para usar en la planta de biogás constituyen el factor básico de generación de biogás. La incidencia del biogás puede y debe también ser calculado de acuerdo a diferentes métodos aplicados de modo paralelo.

Medición directa de la biomasa (Cantidades de excremento y sustrato vegetal)

Este método demanda tiempo, haciendo esta alternativa tediosa, pero también es necesario adaptar valores pertinentes de la literatura para regiones en que se desconozca.

El método es aún impreciso si no se incluye una medición de los sólidos suspendidos totales. Las Mediciones directas sin embargo suministran indicaciones de variaciones estacionales o variaciones relativas en la biomasa si las muestras son tomadas por grandes periodos de tiempo.

Determinación de la cantidad de biomasa a partir de datos de la literatura

De acuerdo a este método la cantidad de la biomasa puede determinarse sobre la base de un inventario del ganado y/o desechos vegetales disponibles, el cual se correlaciona con datos de la literatura que reporten la cantidad de estiércol producida por las diferentes especies y por peso de animal.

El rendimiento se cuantificará de acuerdo a:

$$\text{rendimiento} = \text{peso del animal(kg)} * \# \text{ de animales} \\ * \text{cantidad específica de excrementos}$$

La cantidad específica de excrementos puede ser representada en términos del % de excremento en peso por día, en base húmeda, o su contenido en sólidos totales o volátiles tal como se indica en la Tabla A1.2.

Tabla A1.2. Cantidad específica de excrementos.

Clase de animal	Cantidad diaria de		% del material de Fermentación	
	estiércol en % del peso vivo	Orina en % del peso vivo	%MST	%MSO
Vacunos	5	4	15.5	13
Cerdos	2	3	16	12
Caprinos	3	1.5	30	20
Ovejas				
Caballos	1	4	25	15
Aves	4.5	4.5	25	17
Humanos	1	2	20	15

MSO= materia orgánica seca; los datos varían dependiendo de las condiciones y tipo de ganado.

Finalmente no debe descartarse la posibilidad de determinar la biomasa a partir de datos regionales y encuestas realizadas a los usuarios del sistema. La primera proporciona información relativamente precisa si otras plantas de biogás funcionan en la región o área en cuestión y por su parte la segunda es necesaria si el material vegetal se va a incluir como sustrato.

A2. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES SELECCIONADOS

En este anexo se destacan algunas de las características más importantes de los componentes seleccionados para el diseño del controlador.

Microcontrolador PIC 18F4550

- Unidad de Procesamiento Central (CPU): Típicamente de 8 bits, pero también las hay de 4, 32 y hasta 64 bits con arquitectura Harvard, con memoria/bus de datos separada de la memoria/bus de instrucciones de programa, o arquitectura de von Neumann con memoria/bus de datos y memoria/ bus de programa compartidas.
- Memoria de Programa: Es una memoria ROM (Read-Only Memory), EPROM (Electrically Programmable ROM), EEPROM (Electrically Erasable/Programmable ROM) o Flash que almacena el código del programa que típicamente puede ser de 1 kilobyte a varios megabytes.
- Memoria de Datos: Es una memoria RAM (Random Access Memory) que típicamente puede ser de 1, 2 4, 8, 16, 32 kilobytes.
- Generador del Reloj: Usualmente un cristal de cuarzo de frecuencias que genera una señal oscilatoria de entre 1 a 40 MHz, o también resonadores o circuitos RC.
- Interfaz de Entrada/Salida: Puertos paralelos, seriales (UARTs, Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), I2C (Inter-Integrated Circuit), Interfaces de periféricos, seriales (SPIs, Serial Peripheral Interfaces), Red de área de controladores (CAN, Controller Area Network), USB (Universal Serial Bus).
- Otras opciones:
 - Convertidores Análogo-Digitales (A/D, analog-to-digital) para convertir un nivel de voltaje en un cierto pin a un valor digital manipulable por el programa del microcontrolador.
 - Moduladores por Ancho de Pulso (PWM, Pulse-Width Modulation) para generar ondas cuadradas de frecuencia fija pero con ancho de pulso modificable.

La alta integración de subsistemas que componen un μ C reduce el número de chips, la cantidad de pistas y el espacio que se requeriría en un circuito impreso si se implementase un sistema equivalente usando chips separados.

Un aspecto de especial interés para el desarrollador de circuitos basados en microcontroladores son las interfaces de entrada/salida. A través de las terminales del chip asociadas a las interfaces de entrada/salida el μ C puede interactuar con otros circuitos externos enviándoles señales de comando o recibiendo estímulos correspondientes a variables externas. Por lo general varias terminales de datos son bidireccionales, es decir pueden configurarse como entradas o salidas. Cuando son entradas, pueden adquirir datos interpretando el valor de voltaje como un valor lógico 0 o 1, mientras que cuando son salidas pueden entregar una señal binaria de voltaje cuya magnitud dependerá del valor lógico 0 o 1.

Monitoreando el valor de las entradas, el microcontrolador puede responder a eventos externos y realizar una cierta acción, como variar las señales de salida de acuerdo al valor

en las entradas. Para responder a eventos externos, los μ Cs cuentan con un recurso conocido como interrupciones. Las interrupciones son señales que se generan internamente en el microcontrolador que detienen la ejecución normal del programa para ejecutar alguna subrutina de respuesta al evento. Una vez ejecutada la subrutina de interrupción, la ejecución del programa continúa en el punto en que se encontraba antes de generarse la interrupción.

Características del bus serie universal:

- USB V2.0.
- Baja velocidad (1.5 Mb/s) y velocidad (12 Mb/s).
- 1 Kbyte RAM de doble acceso para USB.

Estructura flexible del oscilador:

- Dos modos de reloj externo de hasta 48 MHz.

Periféricos destacados:

- Alta corriente drenador/surtidor: 25 mA/25 mA.
- Tres interrupciones externas.
- Cuatro módulos de temporizador (Timer0 - Timer3).
- Hasta 2 módulos Captura/Comparación/PWM.
- Hasta 13 canales analógicos a digital (A/D) con módulo de tiempo de adquisición programable y resolución de 10 bits.
- Comparadores de doble entrada analógica y con multiplexación.
- Memoria de 32 Kbytes.

La Figura A2.1 muestra la respuesta en frecuencia del microcontrolador.

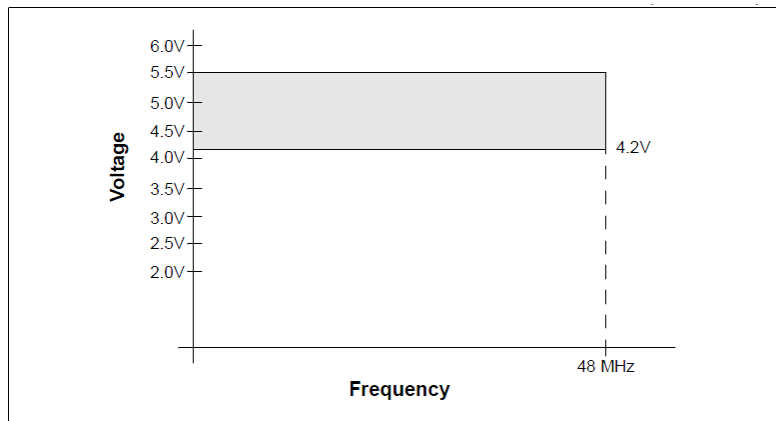


Figura A2.1 Respuesta en frecuencia del microcontrolador PIC 18F4550.

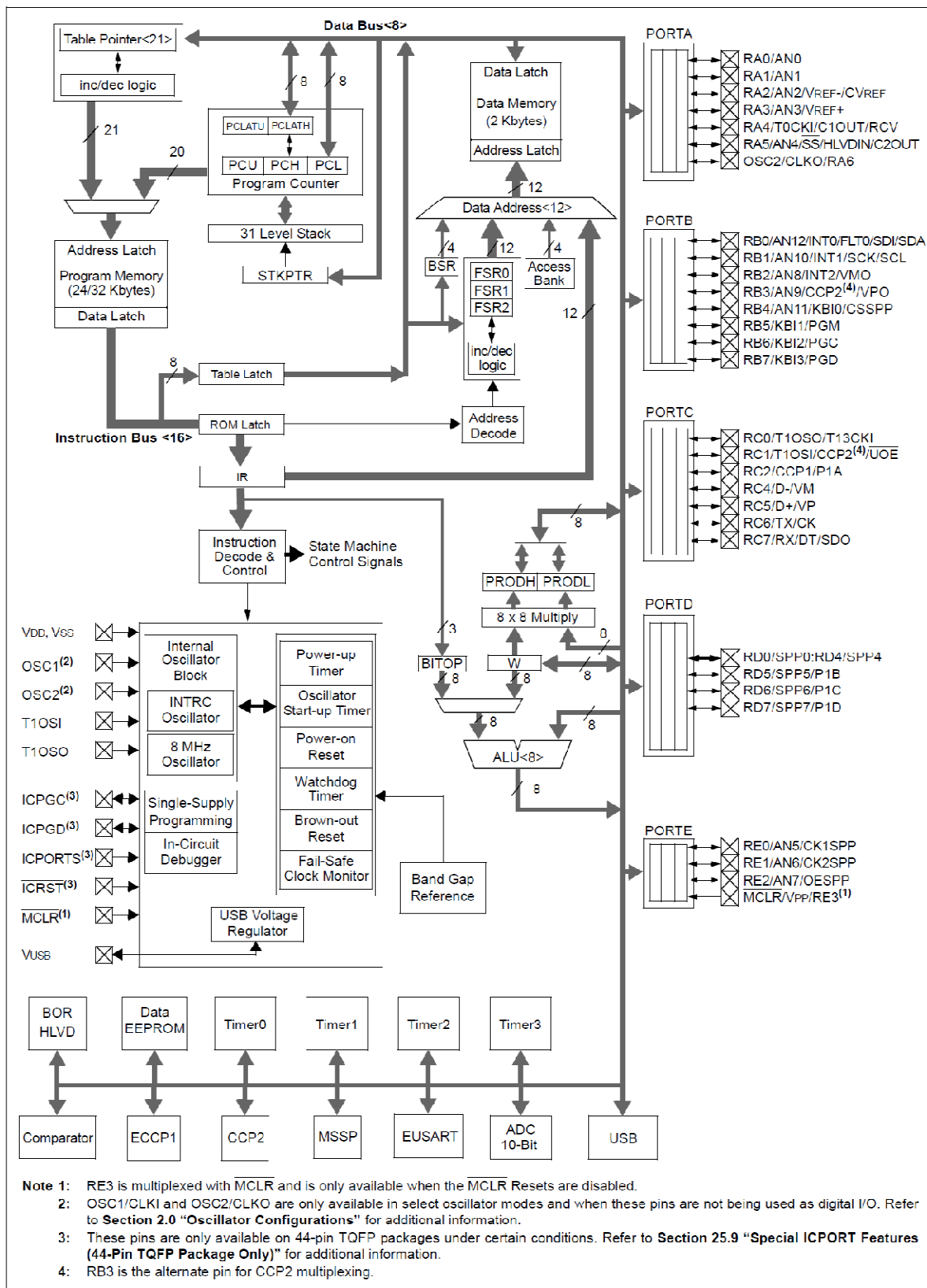


Figura A2.2. Arquitectura del microcontrolador 18F4550.

Sensor de temperatura IC LM35

La serie LM35 son sensores de temperatura de circuito integrado, cuya tensión de salida es linealmente proporcional a la temperatura Celsius (centígrada). El LM35 por lo tanto tiene una ventaja sobre los sensores de temperatura lineal calibrada en °Kelvin, ya que el usuario no está obligado a restar una gran tensión constante de su producción para obtener centígrados. El LM35 no requiere de ninguna calibración para proporcionar una precisión típica de $\pm 0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente y $\pm 0.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un total de -55 a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El LM35 posee baja impedancia de salida, salida lineal y precisa y puede ser utilizado con fuentes de alimentación individual o con fuentes de otros sistemas. Cuenta también con una tasa muy baja de autocalentamiento, $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en aire estático. El LM35 es adecuado para funcionar en un rango de temperatura de -55 a $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que el LM35C trabaja en un rango de -40 a $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La escala de temperatura es lineal, y garantiza una precisión de $\pm 0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente y de $\pm 0.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ en sitio cerrado. Opera de 4 a 30 voltios y tiene una impedancia de salida muy baja, $0.1\text{ }\Omega$ para una carga de 1 mA .

La Figura A2.3 muestra el error máximo de temperatura garantizado por el fabricante en su hoja de datos técnicos. Como puede observarse el error es siempre menor a $0.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ y cambia linealmente dependiendo de la temperatura.

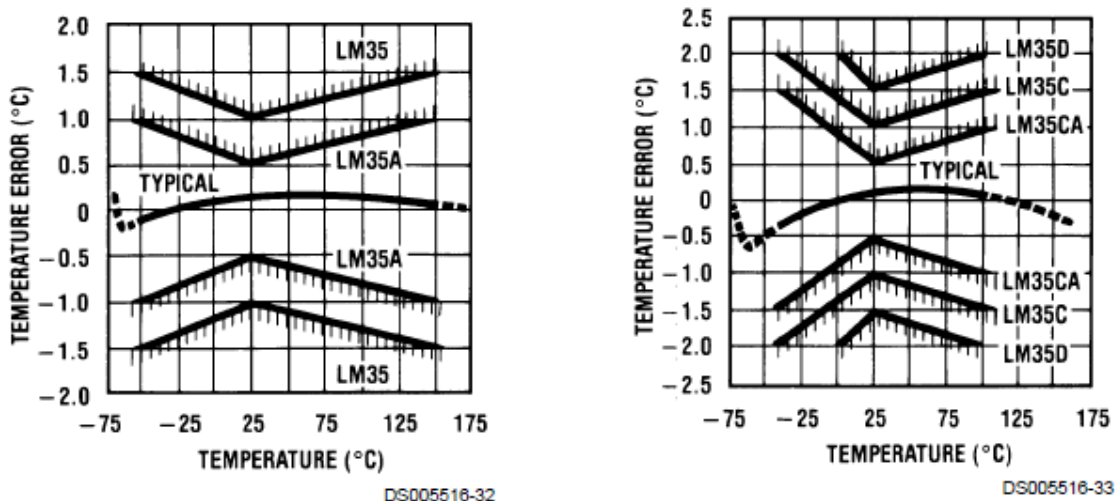


Figura A2.3. Error del sensor de temperatura LM35 (National Semiconductor).

Sensor de presión MPX4250

Sensor de presión de circuito integrado para presión máxima de 250 kPa.

Pressure

Freescale Semiconductor

MPX4250
Rev 7, 1/2009

Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

**MPX4250
Series**
0 to 250 kPa (0 to 36.3 psi)
0.2 to 4.9 V Output

The MPX4250 series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high-level analog output signal that is proportional to the applied pressure. The small form factor and high reliability of on chip integration make the Freescale sensor a logical and economical choice for the automotive system engineer.

Application Examples

- Ideally Suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems

Features

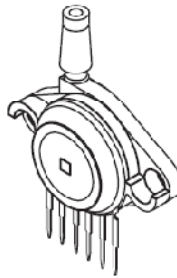
- Differential and Gauge Applications Available
- 1.4% Maximum Error Over 0° to 85°C
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Temperature Compensated Over -40° to +125°C
- Offers Reduction in Weight and Volume Compared to Existing Hybrid Modules
- Durable Epoxy Unibody Element

ORDERING INFORMATION									
Device Name	Package Options	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Marking
			None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Unibody Package (MPX4250 Series)									
MPX4250D	Tray	867	•				•		MPX4250D
MPX4250GP	Tray	867H		•		•			MPX4250GP
MPX4250DP	Tray	867C			•		•		MPX4250DP

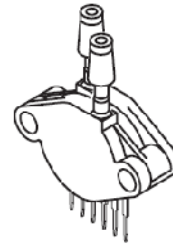
UNIBODY PACKAGES



MPX4250D
CASE 867



MPX4250GP
CASE 867H



MPX4250DP
CASE 867C

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ($V_S = 5.1$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $P_1 > P_2$. Decoupling circuit shown in [Figure 3](#) required to meet electrical specifications.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range ⁽¹⁾	P _{OP}	0	—	250	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V _S	4.85	5.1	5.35	Vdc
Supply Current	I _o	—	7.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset @ V _S = 5.1 Volts ⁽³⁾ (0 to 85°C)	V _{off}	0.139	0.204	0.269	Vdc
Full Scale Output @ V _S = 5.1 Volts ⁽⁴⁾ (0 to 85°C)	V _{F_{SO}}	4.844	4.909	4.974	Vdc
Full Scale Span @ V _S = 5.1 Volts ⁽⁵⁾ (0 to 85°C)	V _{F_{SS}}	—	4.705	—	Vdc
Accuracy ⁽⁶⁾ (0 to 85°C)	—	—	—	±1.4	%V _{F_{SS}}
Sensitivity	ΔV/ΔP	—	18.8	—	mV/kPa
Response Time ⁽⁷⁾	t _R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	I _{o+}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time ⁽⁸⁾	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁹⁾	—	—	±0.5	—	%V _{F_{SS}}

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range.
- Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Full Scale Output (V_{F_{SO}}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.
- Full Scale Span (V_{F_{SS}}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy (error budget) consists of the following:
 - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
 - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
 - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.
 - TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
 - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
 - Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of V_{F_{SS}}, at 25°C.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Warm-up Time is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the Pressure has been stabilized.
- Offset Stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

Sensor de presión MPX5700

Sensor de presión de circuito integrado para presión máxima de 700 kPa.

Pressure

Freescale Semiconductor

MPX5700
Rev 9, 09/2009

Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPX5700 series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This patented, single element transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

Features

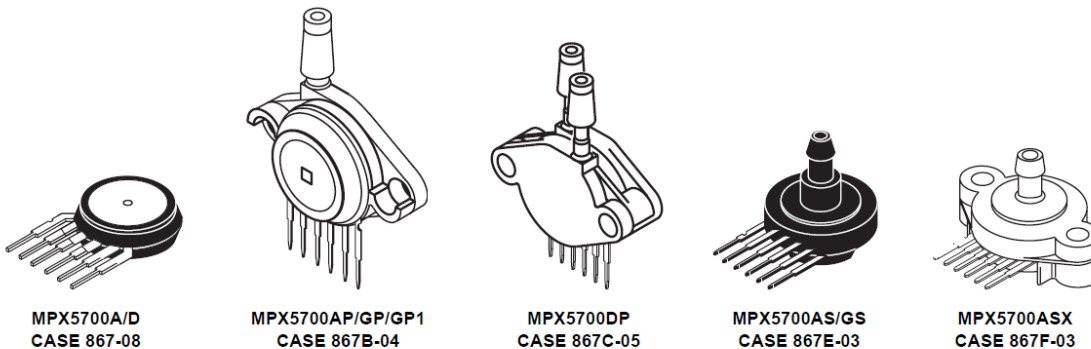
- 2.5% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally Suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Available in Absolute, Differential and Gauge Configurations
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Durable Epoxy Unibody Element

MPX5700 Series

0 to 700 kPa (0 to 101.5 psi)
15 to 700 kPa (2.18 to 101.5 psi)
0.2 to 4.7 V Output

ORDERING INFORMATION								
Device Name	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Name
		None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Unibody Package (MPX5700 Series)								
MPX5700A	867	•					•	MPX5700A
MPX5700AP	867B		•				•	MPX5700AP
MPX5700AS	867E		•				•	MPX5700A
MPX5700ASX	867F		•				•	MPX5700A
MPX5700D	867	•				•		MPX5700D
MPX5700DP	867C			•		•		MPX5700DP
MPX5700GP	867B		•		•			MPX5700GP
MPX5700GP1	867B		•		•			MPX5700GP
MPX5700GS	867E		•		•			MPX5700D

UNIBODY PACKAGES



Pressure

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ($V_S = 5.0$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $P_1 > P_2$. Decoupling circuit shown in required to meet electrical specifications.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range ⁽¹⁾ Gauge, Differential: MPX5700D Absolute: MPX5700A	P_{OP}	0 15	— —	700 700	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V_S	4.75	5.0	5.25	Vdc
Supply Current	I_O	—	7.0	10	mAdc
Zero Pressure Offset ⁽³⁾ Gauge, Differential (0 to 85°C) Absolute (0 to 85°C)	V_{off}	0.088 0.184	0.2 —	0.313 0.409	Vdc
Full Scale Output ⁽⁴⁾ (0 to 85°C)	V_{FSO}	4.587	4.7	4.813	Vdc
Full Scale Span ⁽⁵⁾ (0 to 85°C)	V_{FSS}	—	4.5	—	Vdc
Accuracy ⁽⁶⁾ (0 to 85°C)	—	—	—	±2.5	% V_{FSS}
Sensitivity	V/P	—	6.4	—	mV/kPa
Response Time ⁽⁷⁾	t_R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	I_{O+}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time ⁽⁸⁾	—	—	20	—	ms

1. 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.

2. Device is ratiometric within this specified excitation range.

3. Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.

4. Full Scale Output (V_{FSO}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.

5. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.

6. Accuracy (error budget) consists of the following:

Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.

Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.

Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.

TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.

TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.

Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of V_{FSS} , at 25°C.

7. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.

8. Warm-up Time is defined as the time required for the device to meet the specified output voltage after the pressure has been stabilized.

MPX5700

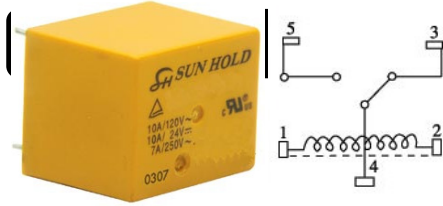
2

Sensors
Freescale Semiconductor

Relevador compacto de un polo dos tiros con bobina de 24 V.



RAS - RELEVADOR COMPACTO DE 1P/2T



ORDER CODE

RAS-12-10-A

□: 1c	
A: 1a	
E: 1b	
M: Automobile Relay	
10: 10A	03: DC 3V
15: 15A	05: DC 5V
20: 20A (M type)	06: DC 6V
	09: DC 9V
COIL VOLTAGE	12: DC 12V
	18: DC 18V
	24: DC 24V
	36: DC 36V
TYPE	48: DC 48V

- Seguridad aprobada UL, CUR y TUV
- Corriente alta disponible arriba de 15 A, y uno especial de 20 A para uso en automóviles.
- Tipo de sello epóxico y libre de flux.
- Satisface todos los requerimientos de uso en automóviles y aplicaciones eléctricas en casa.

GRADO DE LA BOBINA

Voltaje Nominal (VDC)	Resistencia de la Bobina (Ω) (+/- 10%)	Consumo de Energía (W)	Corriente Nominal (mA) (+/- 10%)	Voltaje para el Accionamiento (VDC)	Voltaje de Ruptura (VDC)	Voltaje Máximo Permitido (VDC)
5 V	69 Ω	0.36W	72mA	75% Max.	10% Min.	130%
6 V	100 Ω		60mA			
9 V	225 Ω		40mA			
12 V	400 Ω		30mA			
24 V	1600 Ω		15mA			

FUNCIONAMIENTO

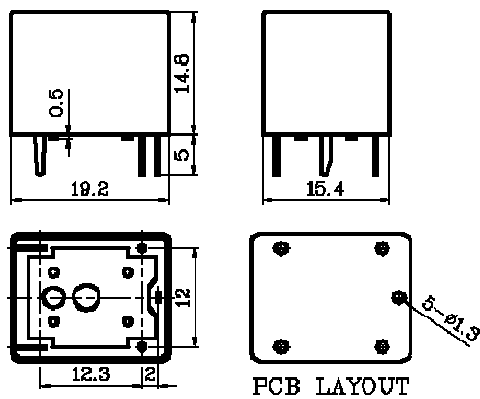
ITEM	TIPO	10 A	15 A	20 A
Resistencia de Contacto		50m Ω Máx. (valor inicial)		
Tiempo de Operación		10mseg Máx.		
Tiempo de Liberación		5mseg Máx.		
Fuerza del Dieléctrico				
	Entre bobina y contacto	AC 1500V (1min)		
	Entre contacto	AC 750V (1min)		
Resistencia de Aislamiento		100M Ω Min. (DC 500V)		
Temperatura de Operación Ambiente		-30°C ~ +80°C		
Humedad		35% to 85% RH		
Resistencia de Vibración		10G (10~55Hz) (Amplitud dual:1.5mm)		
Resistencia de Choque		10G		
Expectativa de Vida				
	Mecánicamente	10,000,000 ops. min. (1800 ops./h)		

Eléctricamente	100,000 ops. Min. (1200 ops./h)
Peso	9.5g(aprox.)

GRADO DE CONTACTO

ITEM	TIPO	10 A	15 A	20 A
Promedio de Corriente Transmitida		AC 120V 10A	AC 120V 15A	AC 120V 10A
		AC 250V 7A	AC 250V 7A	AC 250V 7A
		DC 24V 10A	DC 24V 10A	DC 24V 10A
Corriente Máx. Permitida		15A	15A	15A
Voltaje Máx. Permitido		AD 240V DC 110V		
Corriente Máx.. (continua)		10A	15A	20 ^a
Material de Contacto		Aleación de plata		

DIMENSIONES



A3. COSTOS DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO

ARTÍCULO	CLAVE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (M.N.)	PRECIO
MICROCONTROLADOR	PIC 18F4550	1	104	104
SENSOR DE PRESIÓN	MPX5700	1	90	90
SENSOR DE PRESIÓN	MPX4250	1	121.5	121.5
AMP. INSTRUMENTACIÓN	INA115AU	1	63.125	63.125
SENSOR DE TEMPERATURA	LM35	1	15	15
ELECTRODO PH	HI1001	1	2480.66	2480.66
SENSOR DE PRESIÓN	MPXV7007	3	74.875	224.625
OPTOACOPLADOR	LTV847	3	13	39
OPTOACOPLADOR	4N25	2	5	10
RELEVADOR	RAS2410A	14	19	266
AMPLIFICADOR OPERACIONAL	UA741	1	6	6
BLOQUE TERMINAL 2 TORNILLOS		13	5	65
DIODO RECTIFICADOR	1N 4148	14	2	28
TOTAL		42		3512.84

GLOSARIO DE TÉRMINOS

BIODIGESTIÓN: El fenómeno de biodigestión ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material fecal que, al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH_4) llamada biogás, sumamente eficiente si se emplea como combustible. Como resultado de este proceso genera residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (ideales como fertilizantes) que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas.

BIODIGESTOR: Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, etcétera) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio. Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidropresión y postratamiento a la salida del reactor.

BIOGÁS: El biogás es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de aire (esto es, en un ambiente anaeróbico). El producto resultante está formado por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) y otros gases en mucha menor medida que los anteriores.

BIOMASA: Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

CALENTAMIENTO GLOBAL: El clima siempre ha variado, el problema del cambio climático es que en el último siglo el ritmo de estas variaciones se ha acelerado de manera anómala, a tal grado que afecta ya la vida planetaria. Al buscar la causa de esta aceleración, algunos científicos encontraron que existe una relación directa entre el calentamiento global o cambio climático y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), provocado principalmente por las sociedades industrializadas.

EFEECTO INVERNADERO: La atmósfera, por el hecho de ser muy transparente para la luz visible pero mucho menos para la radiación infrarroja, produce para la superficie terrestre el mismo efecto que el techo de cristal produce en un invernadero; la luz solar, que llega sin grandes obstáculos hasta el suelo, lo calienta, dando lugar a que emita rayos infrarrojos (ondas caloríficas), los cuales, a diferencia de los rayos de luz, son absorbidos en gran parte por el vidrio o la atmósfera. Al final la cantidad de energía emitida al espacio tiene que ser la misma que la absorbida, pero la superficie terrestre tiene que alcanzar la temperatura en que ambos flujos se equilibran, la cual es más alta en presencia de una atmósfera (en un planeta) o de techos de cristal (en un invernadero; aunque en realidad el cristal de un invernadero protege de la pérdida de calor más porque interrumpe la circulación del aire, que porque sea opaco a los rayos

infrarrojos). El efecto invernadero es un fenómeno natural, pero la alusión frecuente a él en relación con el calentamiento global hace creer a algunos que es en sí indeseable, y una consecuencia reciente de la contaminación atmosférica. Hay que aclarar que el calentamiento no es atribuido a la simple existencia, sino al aumento del efecto invernadero por encima de sus valores anteriores.

GAS EFECTO INVERNADERO: Se denominan gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuye al efecto invernadero. Los más importantes están presentes en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana, pero también entran en este concepto algunos gases artificiales, producto de la industria. Esos gases contribuyen más o menos de forma neta al efecto invernadero por la estructura de sus moléculas y, de forma sustancial, por la cantidad de moléculas del gas presentes en la atmósfera.

GEOMEMBRANA: Las geomembranas son mantas de plástico relativamente impermeables. Hay dos categorías generales de geomembranas: calandreadas y extruídas. Son barreras sintéticas de muy baja permeabilidad. Se utilizan principalmente en rellenos sanitarios, plantas de tratamiento de agua residual, biodigestores etc.

HIDRÓLISIS: Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química. Esta reacción es importante por el gran número de contextos en los que el agua actúa como disolvente.

HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA: Se entiende por hidrólisis enzimática la hidrólisis que se produce mediante un grupo de enzimas llamadas hidrolasas.

HISTÉRESIS: Se denomina histéresis a la diferencia entre la distancia de activación y desactivación. Cuando un objeto metálico se acerca al sensor inductivo, éste lo detecta a la "distancia de detección" o "distancia de sensado". Cuando el mismo objeto es alejado, el sensor no lo deja de detectar inmediatamente, sino cuando alcanza la "distancia de reset" o "distancia de restablecimiento", que es igual a la "distancia de detección" más la histéresis propia del sensor.

METANO: El metano es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH₄. Cada uno de los átomos de hidrógeno está unido al carbono por medio de un enlace covalente. Es una sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es incoloro e inodoro y apenas soluble en agua en su fase líquida. En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás.

MESOFÍLICO: Dícese de aquel organismo cuya temperatura óptima de crecimiento se encuentra entre los 20 y 37 °C.

SOLUCIÓN TAMPÓN: Una solución tampón, buffer, solución amortiguadora o solución reguladora es la mezcla en concentraciones relativamente elevadas de un ácido débil y

su base conjugada, es decir, sales hidrolíticamente activas. Tienen la propiedad de mantener estable el pH de una disolución frente a la adición de cantidades relativamente pequeñas de ácidos o bases fuertes.

TERMOFÍLICO: Dícese de aquel organismo cuya temperatura óptima de crecimiento se encuentra por encima de los 45 °C.

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Totzke M. (1999). 1999 anaerobic treatment technology overview, Internal report Applied Technologies Inc, USA.
2. Steyer J. Ph., Genovesi A. and Harmand J. (2001a). Advanced monitoring and control of anaerobic wastewater treatment plants: Fault detection and isolation. *Wat. Sci. Tech*, 43(7), 183-190.
3. Silva Vinasco Juan Pablo (2002). *Tecnología del Biogás*. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Cali, Colombia.
4. Grupo Aqualimpia consultores [ref. de 17 jun 2011]. Disponible en Web: <http://www.aqualimpia.com/home.htm>
5. Bucki B., Agnello A., Blasco G. Un sistema de control digital para biodigestor uac. Grupo de Estudios Sobre Energía y Medio Ambiente, Unidad Académica Confluencia - Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.
6. Durman Micro plantas de tratamiento, Catálogo EP6 [en línea]. México2000 [ref. de 15 agosto 2011]. Disponible en Web: <http://www.durman.com.mx/vol02/pagina.nsf/Inicio?OpenPage>
7. Cole Parmer, Catálogo de reactores para cultivos microbianos [en línea]. [ref. de 19 jun 2011]. Disponible en Web: http://www.coleparmer.com/catalog/product_index.asp?cls=43504
8. Soluciones y Tecnologías Innovadoras S.A. de C.V., México [ref. de 18 ago 2011]. Disponible en Web: <http://www.hidrotanques.com/>
9. Esquema tecnológico para obtener biogás a partir de estiércol. SAGARPA, México [ref de 22 ago 2011]. Disponible en Web: <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/esquema-tecnologico.html>
10. Biodigestores, Vida y Energía, México [ref. de 25 de ago de 2011]. Disponible en Web: <http://viyen.wordpress.com/biodigestor/>
11. G. Moncayo, Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. Aqualimpia Beratende Ingenieure, Manual práctico de diseño. pp. 243. 2008.
12. G. Saucedo et al. Degradación y estabilización acelerada de residuos sólidos urbanos (RSU) por tratamientos aerobios y anaerobios. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México. Informe final. pp. 34. Nov 2007.
13. Hilbert Jorge A., Manual para la producción de biogás. Instituto de ingeniería rural. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Castelar. Argentina. p. 16. 2008.

14. Instrumentación electrónica. Universidad de Boyacá, Departamento de física. Colombia 2010 [ref. de 16 de ago de 2011]. Disponible en Web:
http://www.uniboyaca.edu.co/fcei/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=131&Itemid=647
- 15 Capítulo VII Sensores. Universidad de Venezuela. [ref. de 16 de ago de 2011]. Disponible en web:
<http://www.unet.edu.ve/~ielectro/Sensores%20de%20Temperatura.htm>
16. Liquid level control using a pressure sensor. Freescale semiconductor, application note AN1516 pp.8. 2005
17. Norma técnica colombiana. Calidad del agua determinación del PH. Instituto colombiano de normas técnicas y certificación. NTC 3651. pp. 14. 2002
18. Cruz A., Espinal Y., Peñaloza M., Rodríguez D. (2009). Pantógrafo digital multiarticulado. Tesis del Instituto Politécnico Nacional, ESIME UA, México D.F., pp. 64-67
19. Miguel Torres Torriti. Tutorial de Microcontroladores PIC. Colombia 2007, [ref. de 20 de set de 2011]. Disponible en Web:
http://web.ing.puc.cl/~mtorrest/downloads/pic/tutorial_pic.pdf
20. Lenguajes de programación. [ref. de 10 de jul de 2011]. Disponible en Web:
<http://es.kioskea.net/contents/langages/langages.php3>
21. González Seco José Antonio. El lenguaje de programación C#. [ref. de 1 de oct de 2011]. Disponible en Web:
<http://www.toptutoriales.com/manuales/El%20lenguaje%20de%20programacion%20C@.pdf>
22. Mendiburu D. Henry A. (2006). Instrumentación Virtual Industrial. HAMDTRONIX. Perú p.1
23. Drake M. José M. (2005). Instrumentación electrónica de comunicaciones. Universidad de Cantabria, Santander. p.1
24. Moog, F. A., et al (1998). Promotion and utilization of polyethylene biodigester in smallhold farming systems in the Philippines. Artículo de discusión en la conferencia de aplicaciones de sistemas bio-integrados en cero emisiones 1998.
25. Botero R., Preston T. R. (1986). Low-cost biodigester for production of fuel and fertilizer from manure. Manuscrito no editado, Cali Colombia, pp 1-20.