



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE UTILIZACIÓN DE GAS PROPANO Y METANO DOMICILIAR

Mario Alejandro de la Cruz Quim

Asesorado por el Ing. Armando Rivera Carrillo

Guatemala, junio de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE UTILIZACIÓN DE GAS
PROPANO Y METANO DOMICILIAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO ALEJANDRO DE LA CRUZ QUIM

ASESORADO POR EL ING. ARMANDO RIVERA CARRILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE UTILIZACIÓN DE GAS PROPANO Y METANO DOMICILIAR,

tema que fuera asignado por la Dirección de Escuela Mecánica Eléctrica, con fecha 5 de noviembre de 2008.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, cursive script that appears to read 'M. A. de la Cruz Quim'.

Mario Alejandro de la Cruz Quim

Guatemala, 20 de Mayo de 2009

Ingeniero Julio Solares
Coordinador del área de Electrónica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Coordinador:

Atentamente me dirijo a usted para presentarle el trabajo de graduación titulado DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE UTILIZACIÓN DE GAS PROPANO Y METANO DOMICILIAR, realizado por el estudiante Mario Alejandro de la Cruz Quim quien se identifica con número de carne universitario 2004-12309.

A mi juicio, cumple con los objetivos planteados, con un contenido interesante, útil y de actualidad. Por tanto el autor, y Yo, como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusión.

Me es grato informarle, luego de realizar mi asesoría en la realización de este trabajo, que es completamente satisfactorio por lo que me permite someterlo a su consideración y aprobación.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Amancio Rivera Carrillo



Coordinador de Laboratorios de Electrónica

Asesor.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 26 de mayo de 2009

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

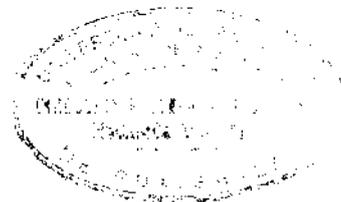
Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **"DISEÑO DE UN SISTEMA HIBRIDO DE UTILIZACION DE GAS PROPANO Y METANO DOMICILIAR"**, desarrollado por el estudiante **Mario Alejandro de la Cruz Quim**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 33.2009.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Mario Alejandro de la Cruz Quim titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA HIBRIDO DE UTILIZACIÓN DE GAS PROPANO Y METANO DOMICILIAR, procede a la autorización del mismo.

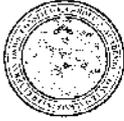
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 27 DE MAYO 2,009.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG 206.09

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE UTILIZACIÓN DE GAS PROPANO Y METANO DOMICILIAR**, presentado por el estudiante universitario **Mario Alejandro De La Cruz Quim**, autoriza la impresión del mismo

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala junio de 2009

/cc
cc. archivo

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS: Por llenarme de fortaleza

Mis padres: Mario Rolando de la Cruz Delgado
Silvia Aracely Quim Soria de de la Cruz
por ser mis guías incondicionalmente y llenar mi vida de
éxitos

Mis hermanos: Rolan y Andrea, por su apoyo incondicional

Mis abuelos: Abel de la Cruz Riveiro (que en paz descanse)
Modesta Esperanza Delgado Díaz
Rodolfo Quim Brockmeyer (que en paz descanse)
Esperanza Soria Gómez (que en paz descanse)
por ser un ejemplo en mi vida

Mi novia: Heidi Páez

**A todos mis familiares y seres queridos por la confianza que siempre han
tenido en mí.**

AGRADECIMIENTO A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

La Facultad de Ingeniería.

Al Ing. Armando Rivera, por su ayuda y apoyo en la realización del trabajo de graduación.

Los catedráticos que me brindaron su conocimiento.

Todos mis amigos por la oportunidad de compartir con ellos y siempre darme ánimo en los momentos difíciles.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. MICROCONTROLADORES	1
1.1 Diferencia entre microprocesadores y microcontroladores...	3
1.2 Aplicación de los microcontroladores.....	4
1.2.1 Procesamiento de datos.....	4
1.2.2 Entrada/salida.....	5
1.2.3 Consumo.....	5
1.3 Recursos comunes a todos los microcontroladores.....	5
1.4 Arquitectura básica.....	6
1.4.1 El procesador o UCP.....	7
1.4.2 Memoria.....	7
1.4.3 Puertos de entrada y salida.....	7
1.4.4 Reloj principal.....	8
1.5 Herramientas para el desarrollo de aplicaciones.....	8
1.5.1 Desarrollo del software.....	8
1.5.1.1 Ensamblador.....	8
1.5.1.2 Compilador.....	9

1.5.1.3	Depuración.....	9
1.5.1.4	Simulador.....	9
2.	SENSORES	11
2.1	Características de un sensor.....	12
2.2	Variables a controlar por medio de sensores.....	13
2.3	Sensor de temperatura.....	13
2.3.1	Termistor NTC.....	14
2.3.2	Termistor PTC.....	15
2.4	Sensor de pH.....	16
2.4.1	Escala de pH.....	16
2.5	Sensor de presión.....	19
3.	ELECTROVÁLVULAS	23
3.1	Clases y funcionamiento.....	23
4.	BIODIGESTOR	27
4.1	Biodigestores familiares de bajo costo.....	29
4.2	Adaptación de los biodigestores.....	32
4.3	Elementos de un biodigestor.....	32
4.3.1	Cámara de carga.....	32
4.3.2	Cámara de digestión.....	33
4.3.3	Conducto de carga.....	33
4.3.4	Conducto de descarga.....	34
4.3.5	Agitador.....	34
4.4	Tipos de biodigestores.....	35
4.4.1	Sistema batch o discontinuo.....	36
4.4.2	Sistema semi-continuo.....	37
4.4.3	Sistema continuo.....	39
4.5	Composición típica del biogás.....	30
4.6	Materia prima para la producción de biogás.....	40

4.7	Posibles usos del biogás.....	41
5.	DISEÑO DEL SISTEMA DE UTILIZACIÓN DE GAS	43
5.1	Diagrama de bloques del sistema generalizado.....	43
5.2	Implementación de la fuente de biogás.....	44
5.2.1	Diseño del biodigestor.....	45
5.2.1.1	Cámara de digestión.....	45
5.2.1.2	Cámara de mezcla.....	46
5.2.1.3	Cámara de descarga.....	47
5.2.1.4	Conducto de carga.....	48
5.2.1.5	Conducto de descarga.....	48
5.2.1.6	Cámara de almacenamiento de gas.....	49
5.2.1.7	Diseño de la válvula de escape.....	50
5.3	Implementación del sistema de electroválvulas.....	50
5.3.1	Diagrama de bloques.....	50
5.3.2	Elección de electroválvulas.....	51
5.3.2.1	Msve.....	52
5.3.2.2	Ev.....	52
5.3.2.3	Vmr.....	53
5.4	Diseño del sistema de control del biodigestor y electroválvulas.....	54
5.4.1	Etapa de muestreo.....	54
5.4.1.1	Elección de sensores.....	54
5.4.1.1.1	Sensor de pH.....	54
5.4.1.1.1.1	Principio de medición.....	55
5.4.1.1.1.2	Tecnología de realización.....	55
5.4.1.1.2	Sensor de temperatura.....	56
5.4.1.1.3	Sensor de presión.....	57
5.4.1.2	Diagrama de bloques circuito sensorial.....	57
5.4.2	Etapa de control.....	58

5.4.2.1	Diagrama de bloques del circuito de control.....	58
5.4.2.2	Elección de componentes de control.....	58
5.4.2.2.1	Microcontrolador.....	59
5.4.2.2.2	Componentes activos.....	60
5.4.2.2.3	Componentes pasivos.....	60
5.4.2.3	Diseño esquemático del circuito de control.....	61
5.4.2.4	Programación de microcontrolador.....	61
5.4.2.4.1	Puertos de entrada/salida.....	62
5.4.2.4.2	Variables a controlar.....	62
5.4.2.4.3	Salida a actuadores	63
5.4.2.4.3.1	Actuador corrector de temperatura.....	63
5.4.2.4.3.2	Actuador corrector de pH.....	63
5.4.2.4.3.3	Actuador corrector de presión.....	64
5.4.2.4.4	Generación del código fuente.....	65
5.4.3	Etapas de visualización en panel remoto.....	66
5.4.3.1	Diagrama de bloques del circuito de panel remoto..	66
5.4.3.2	LCD en el panel remoto.....	66
5.4.3.3	Diseño esquemático del circuito del panel.....	69
5.4.3.4	Ubicación del panel remoto.....	69
6.	ANÁLISIS FINANCIERO	71
6.1	Presupuesto.....	71
6.2	Recuperación de inversión	72
6.3	Diagrama de flujo de efectivo	73
	CONCLUSIONES.....	75
	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	APÉNDICES.....	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Estructura de un sistema abierto basado en un microprocesador....	3
2. Microcontrolador, un sistema cerrado.....	4
3. Arquitectura Harvard.....	6
4. Esquema del interior de algunos sensores de presión.....	20
5. Electroválvulas abiertas y cerradas.....	24
6. Porcentajes líquidos en el biodigestor.....	27
7. Biodigestor de bajo costo.....	31
8. Sistema básico de biodigestión.....	35
9. Digestor batch.....	37
10. Biodigestor chino.....	38
11. Diagrama de bloque del sistema generalizado.....	43
12. Elementos del biodigestor a utilizar.....	44
13. Cámara de digestión.....	46
14. Cámara de mezcla.....	47
15. Sistema de biodigestión acotado.....	49
16. Diagrama de bloques del sistema de electroválvulas.....	50
17. Esquema de funcionamiento de un ISFET.....	55
18. Diagrama de bloques circuito sensorial.....	57
19. Diagrama de bloques circuito de control.....	58
20. PIC16F677A.....	59
21. Diseño esquemático del circuito de control.....	61
22. Diagrama de bloques del circuito de panel remoto.....	66

23. Conexión y visualización de LCD.....	67
24. Diseño esquemático del circuito del panel.....	69
25. Flujo de efectivo.....	73

TABLAS

I. Potencial de hidrógeno de productos básicos.....	18
II. Partes de sensores.....	21
III. Contenido de nutrientes en el efluente de biodigestores plásticos.....	29
IV. Composición típica del biogás.....	39
V. Materias primas para producción de biogás.....	40
VI. Posibles usos del biogás.....	41
VII. Características eléctricas de un sensor de pH.....	56
VIII. Características químicas de un sensor de pH.....	56
IX. Distribución de señales de la interfaz.....	68
X. Comandos empleados.....	68
XI. Presupuesto de obra civil.....	71
XII. Presupuesto automatización electrónica.....	71
XIII. Presupuesto mano de obra civil.....	72
XIII. Presupuesto mano de obra electrónica.....	72

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
p	Presión
I	Corriente eléctrica
v	Voltaje o diferencia de potencial
P	Potencia
Ω	Ohm. Unidad de resistencia
Osc	Oscilador utilizado como reloj
V_{DD}	Voltaje directo de alimentación
V_{SS}	Referencia de voltaje
	Tierra
	Voltaje

GLOSARIO

Anaeróbico	Término técnico que significa sin aire.
Capacitancia	Se denomina capacitancia de un conductor a la propiedad de adquirir carga eléctrica cuando es sometido a un potencial eléctrico con respecto a otro en estado neutro.
Conductividad	Se define como la capacidad que tienen ciertos elementos de conducir corriente eléctrica.
Difusión	Es un proceso físico irreversible, en el que partículas materiales se introducen en un medio que inicialmente estaba ausente.
Digestión	Proceso de transformación de los alimentos que son ingeridos en sustancias más sencillas para ser absorbidos.
Electroválvula	Es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería, por medio de señales eléctricas.
Hermético	Se refiere a cualquier cosa sellada o secreta.

Microcontrolador	Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora, CPU, Memoria y unidades de E/S.
Piezo-resistividad	Es la propiedad de algunos materiales conductores y semiconductores, cuya resistencia cambia cuando se somete a un esfuerzo mecánico (tracción o compresión) que los deforma.
Presión	En física y disciplinas afines la presión es una magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie.
Temperatura	La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor o frío. Por lo general, un objeto más caliente tendrá una temperatura mayor.
Termopar	Es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado punto caliente o unión caliente o de medida y el otro denominado punto frío o unión fría o de referencia.
Set Point	Punto de ajuste, en instrumentación es una medida exacta cuantitativa a la cual se necesita que se mantenga una variable.
LCD	Pantalla de cristal líquido.

RESUMEN

El sistema de utilización de gas propano y metano domiciliar presenta una opción viable, la creación de un biodigestor para generar metano con nuestros propios desechos, asimismo haciendo uso de microcontroladores para automatizar electrónicamente las variables de temperatura, pH y presión, se logra un sistema eficiente de producción de metano con la mínima intervención humana posible, a bajo costo.

El proceso de biodigestión se da porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos en los excrementos que al actuar en el material orgánico produce una mezcla de gases (con alto contenido de metano) al cuál se le llama biogás. El biogás es un excelente combustible y el resultado de este proceso genera ciertos residuos con un alto grado de concentración de nutrientes el cuál puede ser utilizado como fertilizante y puede utilizarse fresco, ya que por el tratamiento anaeróbico los malos olores son eliminados.

Teniendo la fuente de gas metano automatizada y haciendo uso de gas propano adquirido en el mercado local, se genera un uso eficiente de gas, dándole prioridad al metano y utilizando propano en ausencia de este. Decisiones tomadas automáticamente por el microcontrolador previamente programado y comandado por una serie de sensores que diagnostican la situación del medio.

Además se diseña un panel para la visualización del estado del sistema, dispuesto a ubicarse a criterio del usuario en la cocina. En este se podrá observar el estado actual de las variables de control.

El sistema no es libre de mantenimiento, sin embargo se necesita únicamente vaciar la cámara de descarga si se desea utilizar el producto como abono, o bien regresar automáticamente el abono al sistema de drenajes mediante una pequeña modificación de obra civil.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema domiciliario automatizado de utilización de gas, a partir de un biodigestor ya establecido que brinde una alternativa económica a los hogares guatemaltecos, haciendo un uso responsable de los desechos orgánicos que generan, transformándolos en una fuente de energía para autoconsumo.

Específicos:

1. Lograr una completa automatización del sistema, de tal forma que el usuario se despreocupe de su fuente de alimentación energética.
2. Optimizar recursos, para que el costo inicial sea el más bajo posible.
3. Utilizar equipo con un tiempo de vida al menos del doble del tiempo de recuperación de inversión.
4. Minimizar el consumo de potencia del sistema, de tal forma que no sea indispensable la existencia de cableado de la empresa eléctrica, para una aplicación rural.

INTRODUCCIÓN

Para generar energía a través de los desechos orgánicos que se generan en el hogar, es necesario tener los conocimientos específicos del proceso, diseñar el sistema, dedicar tiempo para alimentarlo y llevar los controles que requiere; teniendo la problemática que los volúmenes de gas metano que se producen son insuficientes para abastecer un hogar promedio. A través del proyecto se diseñará un sistema que solo requiere de intervención eventual y que es capaz de complementar la demanda de biogás, con propano de forma automática.

Debido a toda esta problemática energética y económica existente surge la necesidad de encontrar una fuente viable de alimentación de biogás para abastecer el sistema, la solución es un biodigestor, este 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. A manera de maximizar la producción de gas y lograr un proceso completamente automático, es muy útil la intervención de la electrónica.

Es necesario generar un sistema inteligente, haciendo uso de microcontroladores y dispositivos sensoriales, para el monitoreo constante de parámetros, se generara un código capaz de tomar dediciones en cuanto al sistema de control, logrando así modificar las variables de presión, pH y temperatura, permitiendo un proceso de biodigestión en condiciones optimas.

Se utilizarán electroválvulas para manejar la salida del sistema de manera que cuando la presión existente dentro del reactor se encuentre debajo de un parámetro mínimo preestablecido, el microcontrolador dará la orden de utilizar la fuente alternativa de gas propano, hasta que el biodigestor se recupere y pase a ser de nuevo la fuente de suministro principal.

El sistema de válvulas podrá también ser manejado de manera manual en el caso de cualquier falla, así también brindará alarmas por medio de un panel remoto instalado en el interior del hogar, las cuales indicarán el estado actual.

1. MICROCONTROLADORES

Recibe el nombre de controlador el dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos. Por ejemplo, el controlador que regula el funcionamiento de un horno dispone de un sensor que mide constantemente su temperatura interna y cuando traspasa los límites prefijados, genera las señales adecuadas que accionan los efectores o actuadores que intentan llevar el valor de la temperatura dentro del rango estipulado.

Aunque el concepto de controlador ha permanecido invariable a través del tiempo, su implementación física ha variado frecuentemente.

Hace tres décadas, los controladores se construían exclusivamente con componentes de lógica discreta, posteriormente se emplearon los microprocesadores, que se rodeaban con chips de memoria y E/S sobre una tarjeta de circuito impreso.

En la actualidad, todos los elementos del controlador se han podido incluir en un chip, el cual recibe el nombre de microcontrolador.

Realmente consiste en un sencillo pero completo computador contenido en el corazón (chip) de un circuito integrado.

Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (unidad central de proceso).
- Memoria RAM para Contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.

Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertas serie y paralelo), CAD (convertidores analógico/digital), CDA (convertidores digital/analógico), etc.

Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

Los productos que para su regulación incorporan un microcontrolador disponen de las siguientes ventajas:

- Aumento de prestaciones: un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- Aumento de la fiabilidad: al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- Reducción del tamaño en el producto acabado: La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.
- Mayor flexibilidad: las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

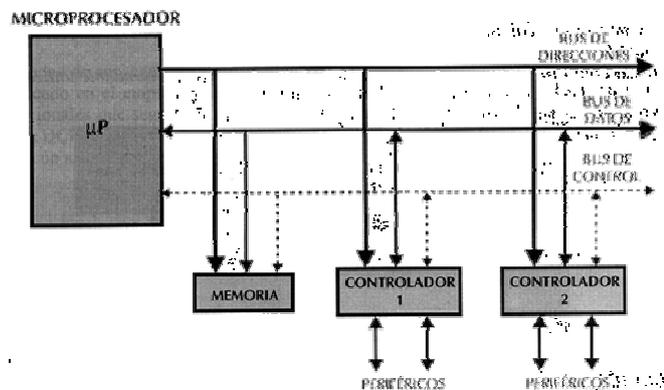
El microcontrolador es un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna. En este caso el controlador recibe el nombre de controlador empotrado.

1.1 Diferencia entre microprocesador y microcontrolador

El microprocesador es un circuito integrado que contiene la unidad central de proceso (UCP), también llamada procesador, de un computador. La UCP está formada por la unidad de control, que interpreta las instrucciones, y el camino de datos, que las ejecuta.

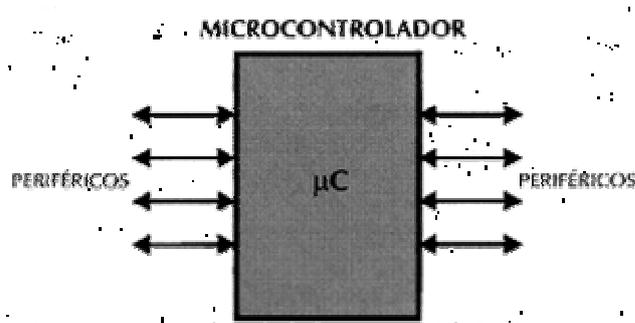
Las terminales de un microprocesador comunican al exterior las líneas de sus buses de direcciones, datos y control, para permitir conectarle con la memoria y los módulos de E/S y configurar un computador implementado por varios circuitos integrados. Se dice que un microprocesador es un sistema abierto, porque su configuración es variable de acuerdo con la aplicación a la que se destine.

Figura 1. Estructura de un sistema abierto, basado en un microprocesador



Si sólo se dispusiese de un modelo de microcontrolador, éste debería tener muy potenciados todos sus recursos para poderse adaptar a las exigencias de las diferentes aplicaciones. Esta potenciación supondría en muchos casos un despilfarro. Es posible seleccionar la capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S, la cantidad y potencia de los elementos auxiliares, la velocidad de funcionamiento, etc. Por todo ello, un aspecto muy destacado del diseño es la selección del microcontrolador a utilizar.

Figura 2. Microcontrolador, un sistema cerrado



1.2 Aplicación de los Microcontroladores

Antes de seleccionar un microcontrolador es imprescindible analizar los requisitos de la aplicación:

1.2.1 Procesamiento de datos

Puede ser necesario que el microcontrolador realice cálculos críticos en un tiempo limitado: por tanto la precisión de los datos a manejar, si no es suficiente con un microcontrolador de 8 bits, puede ser necesario acudir a microcontroladores de 16 ó 32 bits, o incluso a hardware de coma flotante.

Una alternativa más barata y quizá suficiente es usar librerías para manejar los datos de alta precisión.

1.2.2 Entrada / salida

Para determinar las necesidades de entrada/salida del sistema es conveniente dibujar un diagrama de bloques del mismo, de tal forma que sea sencillo identificar la cantidad y tipo de señales a controlar.

Una vez realizado este análisis puede ser necesario añadir periféricos hardware externos o cambiar a otro microcontrolador más adecuado a ese sistema.

1.2.3 Consumo

Algunos productos que incorporan microcontroladores están alimentados con baterías y su funcionamiento puede ser tan vital como activar una alarma antirrobo.

Lo más conveniente en un caso como éste puede ser que el microcontrolador esté en estado de bajo consumo pero que despierte ante la activación de una señal (una interrupción) y ejecute el programa adecuado para procesarla.

1.3 Recursos comunes a todos los microcontroladores

Al estar todos los microcontroladores integrados en un chip, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos deben disponer de los bloques esenciales procesador, memoria de datos y de instrucciones, líneas de E/S, oscilador de reloj y módulos controladores de periféricos.

Sin embargo, cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferentemente.

1.4 Arquitectura básica

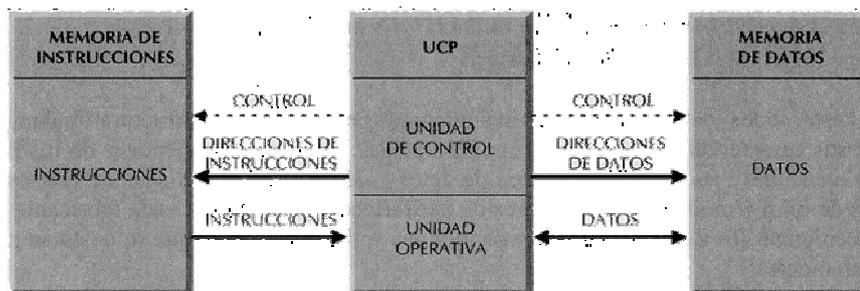
Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de Von Neumann, en el momento presente se impone la arquitectura Harvard.

La arquitectura de Von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta.

A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control). La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes una, que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos.

Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias.

Figura 3. Arquitectura Harvard



Los microcontroladores PIC responden a la arquitectura Harvard, dispone de dos memorias independientes para datos y para instrucciones, permitiendo accesos simultáneos.

1.4.1 El procesador o UCP

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software.

Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código OP de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.

1.4.2 Memoria

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos.

1.4.3 Puertos de entrada y salida

La principal utilidad de las terminales que posee la cápsula que contiene un microcontrolador es soportar las líneas de E/S que comunican al computador interno con los periféricos exteriores.

Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

1.4.4 Reloj principal

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema.

Generalmente, el circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Dichos componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos o bien un resonador cerámico o una red R-C.

Aumentar la frecuencia de reloj supone disminuir el tiempo en que se ejecutan las instrucciones pero lleva aparejado un incremento del consumo de energía.

1.5 Herramientas para el desarrollo de aplicaciones

Las principales herramientas de ayuda al desarrollo de sistemas basados en microcontroladores se enumeran a continuación.

1.5.1 Desarrollo del software

1.5.1.1 Ensamblador

La programación en lenguaje ensamblador puede resultar un tanto ardua para el principiante, pero permite desarrollar programas muy eficientes, ya que otorga al programador el dominio absoluto del sistema.

Los fabricantes suelen proporcionar el programa ensamblador de forma gratuita y en cualquier caso siempre se puede encontrar una versión gratuita para los microcontroladores más populares.

1.5.1.2 Compilador

La programación en un lenguaje de alto nivel (como el C o el Basic) permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. No obstante, si no se programa con cuidado, el código resultante puede ser mucho más ineficiente que el programado en ensamblador.

Las versiones más potentes suelen ser muy caras, aunque para los microcontroladores más populares pueden encontrarse versiones demo limitadas e incluso compiladores gratuitos.

1.5.1.3 Depuración

Debido a que los microcontroladores van a controlar dispositivos físicos, los desarrolladores necesitan herramientas que les permitan comprobar el buen funcionamiento del microcontrolador cuando es conectado al resto de circuitos.

1.5.1.4 Simulador

Son capaces de ejecutar en un PC programas realizados para el microcontrolador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos.

Su gran inconveniente es simular la entrada y salida de datos del microcontrolador. Tampoco cuentan con los posibles ruidos en las entradas, pero, al menos, permiten el paso físico de la implementación de un modo más seguro y menos costoso, puesto que ahorraremos en grabaciones de chips para la prueba *in-situ*.

Existen placas de evaluación, que consisten en pequeños sistemas con un microcontrolador ya montado y que suelen conectarse a un PC desde el que se cargan los programas que se ejecutan en el microcontrolador. Las placas incluyen visualizadores LCD, teclados, LEDs, fácil acceso a los pines de E/S, etc. El sistema operativo de la placa recibe el nombre de programa monitor.

El programa monitor de algunas placas de evaluación, permiten cargar programas y datos en la memoria del microcontrolador, en cualquier momento pueden realizar ejecución paso a paso, monitorizar el estado del microcontrolador o modificar los valores almacenados los registros o en la memoria.

2. SENSORES

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable a medir o a controlar. Hay sensores que no solo sirven para medir la variable, sino también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20mA, ó 1 a 5VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable sensada dentro de un rango (span), para fines de control de dicha variable en un proceso.

Puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades, con el fin de adaptar la señal que mide para ser interpretada por otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura.

Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

2.1 Características de un sensor

Entre las características técnicas de un sensor destacan las siguientes:

- **Rango de medida:** dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- **Precisión:** es el error de medida máximo esperado.
- **Offset o desviación de cero:** valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- **Linealidad o correlación lineal.**
- **Sensibilidad de un sensor:** relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- **Resolución:** mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- **Rapidez de respuesta:** puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- **Derivas:** son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- **Repetitividad:** error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

2.2 Variables a controlar por medio de sensores:

En el proceso anaeróbico del biodigestor, es muy importante controlar tres variables:

- Temperatura
- pH
- Presión

El control de estas variables hará de nuestro proceso de generación de gas metano, un proceso eficiente y controlado.

2.3 Sensor de temperatura

Para llevar un control de la temperatura haremos uso de la forma más básica para medirla, un termistor.

Un termistor es un semiconductor que varía el valor de su resistencia eléctrica en función de la temperatura, su nombre proviene de thermally sensitive resistor (Resistor sensible a la temperatura en inglés). Existen dos clases de termistores: NTC y PTC.

2.3.1 Termistor NTC

Un Termistor NTC (negative temperature coefficient) es una resistencia variable cuyo valor va decreciendo a medida que aumenta la temperatura. Son resistencias de coeficiente de temperatura negativa, constituidas por un cuerpo semiconductor cuyo coeficiente de temperatura es elevado, es decir, su conductividad crece muy rápidamente con la temperatura.

Se emplean en su fabricación óxidos semiconductores de níquel, zinc, cobalto, etc.

La relación entre la resistencia y la temperatura no es lineal sino exponencial:

$$R = A x e^{B/T}$$

donde A y B son constantes que dependen del termistor.

La característica tensión-intensidad (V/I) de un termistor NTC presenta un carácter peculiar, ya que, cuando las corrientes que lo atraviesan son pequeñas, el consumo de potencia será demasiado pequeño para registrar aumentos apreciables de temperatura, o lo que es igual, descensos en su resistencia óhmica; en esta parte de la característica, la relación tensión-intensidad será prácticamente lineal y en consecuencia cumplirá la ley de Ohm.

Si seguimos aumentando la tensión aplicada al termistor, se llegará a un valor de intensidad en que la potencia consumida provocará aumentos de temperatura suficientemente grandes como para que la resistencia del termistor NTC disminuya apreciablemente, incrementándose la intensidad hasta que se establezca el equilibrio térmico. Ahora nos encontramos, pues, en una zona de resistencia negativa en la que disminuciones de tensión corresponden aumentos de intensidad.

2.3.2 Termistor PTC

Un termistor PTC (positive temperature coefficient) es una resistencia variable cuyo valor va aumentando a medida que se incrementa la temperatura.

Los termistores PTC se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, limitación de corriente, sensor de temperatura, desmagnetización y para la protección contra el recalentamiento de equipos tales como motores eléctricos. También se utilizan en indicadores de nivel, para provocar retardos en circuitos, como termostatos, y como resistores de compensación.

El termistor PTC pierde sus propiedades y puede comportarse eventualmente de una forma similar al termistor NTC si la temperatura llega a ser demasiado alta.

Las aplicaciones de un termistor PTC están, por lo tanto, restringidas a un determinado margen de temperaturas.

Hasta un determinado valor de voltaje, la característica I/V sigue la ley de Ohm, pero la resistencia aumenta cuando la corriente que pasa por el termistor PTC provoca un calentamiento y se alcanza la temperatura de conmutación.

La característica I/V depende de la temperatura ambiente y del coeficiente de transferencia de calor con respecto a dicha temperatura ambiente.

2.4 Sensor de pH

El pH (porcentaje de hidrógenos) en el tanque del biodigestor debe ser alrededor de siete. Los procesos anaeróbios producen ácidos, el problema más frecuente con el pH lo tendremos en acidez.

El pH del agua varía según factores como el tipo de sustrato, cantidad de desechos, etc. También hay productos químicos para acidificar o alcalinizar el agua. Se utilizan para acondicionar el agua que obtenemos.

El agua, aparte de moléculas de H_2O , tiene iones libres de hidrógeno. Ese conjunto de iones tiene un peso, ése peso define el valor del pH. Esos iones libres de hidrógeno pueden ser negativos de radical hidroxilo (aniones) o positivos de hidrógeno (cationes). Los cationes determinarán la acidez. Su peso en gramos por cada litro de agua nos dará el valor de acidez. El agua neutra está igualada en peso de aniones y cationes.

2.4.1 Escala de pH:

La escala del pH es logarítmica, va desde 1 a 14. Un punto de pH significa una concentración diez veces mayor o menor que la anterior o posterior en la escala. Podemos decir entonces que un pH 5 es 100 veces más ácido que uno de 7 (neutro). Cuando un metal se pone en contacto con otro, se produce una diferencia de tensión debido a sus diferencias en la movilidad de electrones.

Cuando un metal se pone en contacto con una solución de sales o ácidos, el mismo potencial eléctrico se produce, lo que ha llevado a la invención de las pilas. Del mismo modo, un potencial eléctrico se desarrolla cuando un líquido se pone en contacto con otro, sino de una membrana es necesaria para mantener este tipo de separación de líquidos.

Un medidor de pH mide esencialmente el potencial electro-químico entre una cantidad conocida de líquido en el interior del electrodo de vidrio (membrana) y un líquido desconocido fuera. Debido a que el bulbo de vidrio fino permite principalmente a los pequeños y ágiles iones de hidrógeno interactuar con el vidrio, el electrodo de vidrio mide el potencial de electro-química de los iones de hidrógeno o el potencial de hidrógeno.

Para completar el circuito eléctrico, también es necesario un electrodo de referencia. Un medidor de pH no deben ser utilizados en el movimiento de líquidos de baja conductividad (por lo tanto, la medición dentro de pequeños contenedores es preferible). El electrodo de vidrio consiste en un tubo de vidrio robusto con una bombilla de vidrio soldada a ella. Conteniendo dentro la solución de cloruro de potasio (KCl) tamponado a un pH de 7,0. Un electrodo de plata, cloruro de plata con una punta en contacto con el interior de la solución. La sonda está protegida por una lámina de escudo, a menudo encontrados en el interior del electrodo de vidrio.

Debido a la resistencia en la pared del vaso es muy elevada, normalmente entre 10 y 100 Mega-ohmios, la tensión electrodo de vidrio no se puede medir con exactitud hasta que se inventaron los tubos de electrones. Más tarde aún, la invención de transistores de efecto de campo (FETS) y circuitos integrados (CI) con compensación de temperatura, permitió medir la tensión electrodo de vidrio con precisión.

La tensión producida por una unidad de pH (digamos a partir de pH = 7.00 a 8.00) es típicamente alrededor de 60 mV (mili Voltios). Presente pH metros contienen microprocesadores que hacen las correcciones necesarias para la temperatura y la calibración. Aun así, el pH en medidores modernos sigue sufriendo la desviación (cambios lentos), lo que obliga a calibrar con frecuencia.

Para tomar decisiones con respecto a la alimentación del biodigestor en función de estas variables, es bueno considerar algunos pH's en productos básicos conocidos.

Tabla I. Potencial de hidrógeno de productos básicos

pH	Producto conocido
0	5% de ácido sulfúrico, H ₂ SO ₄ , el ácido de batería.
1	0.1 N HCl, ácido clorhídrico (1.1)
2	Jugo de limón, vinagre (2.4-3.4)
3	Vino (3.5-3.7), zumo de naranja.
4	Jugo de manzana (3.8), cerveza, tomates.
5	Queso cottage, café negro, agua de lluvia (5.6).
6	Leche, pescado (6.7-7), pollo (6.4-6.6), sangre (7.1-7.4) agua destilada, sin emisiones de CO ₂ , después de hervir.
8	Mar de agua (8.1), clara de huevo.
9	Bórax, bicarbonato de soda.
10	Leche de magnesia.
11	Hogares de amoníaco.
12	Desarrollador fotográfico.
13	Horno limpio.
14	Lejía sodio NaOH 1 mol/litro.

2.5 Sensor 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.

Los dispositivos piezorresistivos de silicio sensibles a la presión, proporcionan una variación de tensión exacta y directamente proporcional a la presión que se les aplica.

El sensor consta de un diafragma monolítico de silicio para medir el esfuerzo y una fina película con una red de resistencias integradas en un chip. El chip se ajusta, calibra y compensa en temperatura por láser.

En los sensores electrónicos en general, la presión actúa 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).

En los sensores de presión con elemento por efecto Hall, un imán permanente pequeño (que está unido a una membrana) provoca un cambio del potencial Hall.

El sensor de presión piezorresistivo tiene un elemento de medición en forma de placa con resistencias obtenidas por difusión o implantación de iones. Si estas placas se someten a una carga, cambia su resistencia eléctrica. Lo mismo se aplica en el caso de los sensores de presión monolíticos, obtenidos mediante la cauterización gradual de silicio.

Figura 4. Esquema del interior de algunos sensores de presión

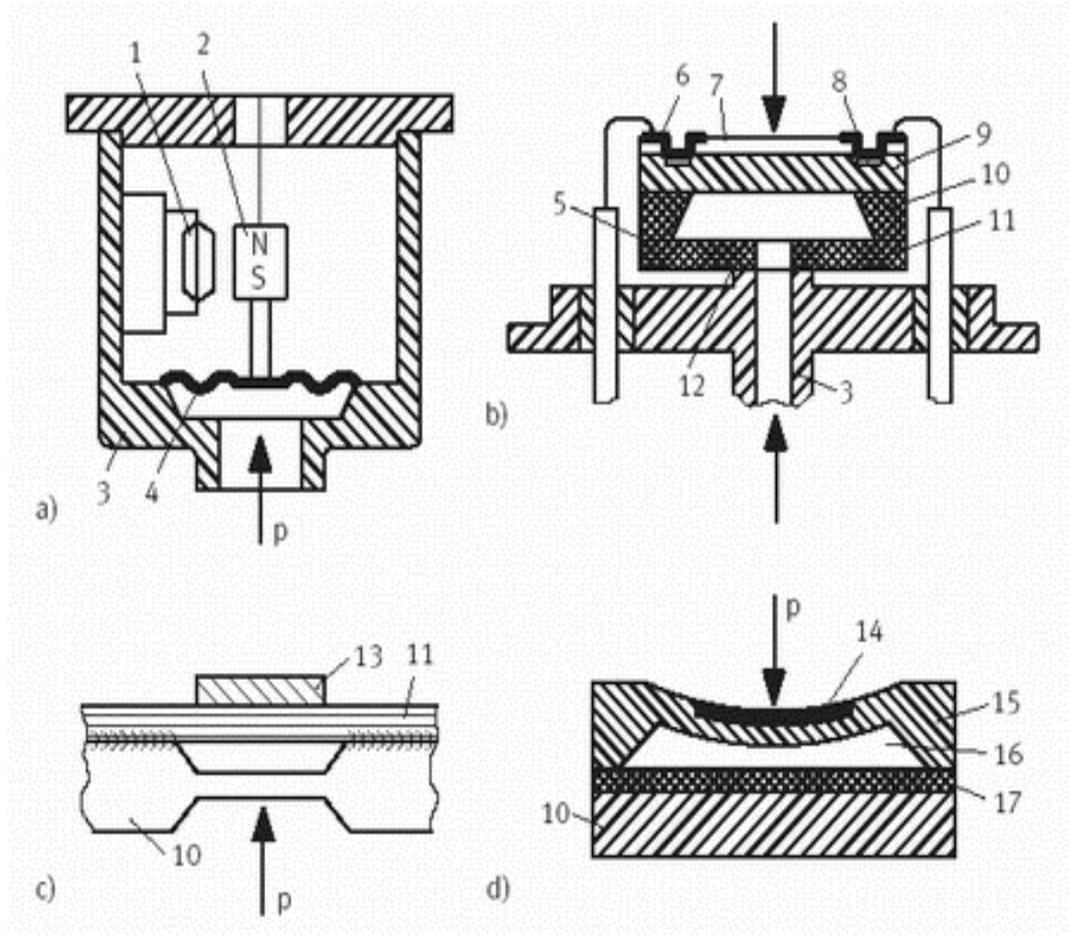


Tabla II. Partes de sensores

a	Sensor may	1. Generador may
		2. Imán permanente
		3. Cuerpo del sensor
		4. Membrana
b	Sensor de presión piezoresistivo	3. Cuerpo del sensor
		5. Capa de unión
		6. Contacto de aluminio
		7. Pasivación
		8. Piezoresistencia
		9. Capa epitaxiada
		10. Sustrato de silicio
		11. Soporte de vidrio
c	Sensor de presión capacitivo	10. Sustrato de silicio
		11. Soporte de vidrio
		14. Placa
d	Sensor de presión monolítico	10. Sustrato de silicio
		14. Resistencias incorporadas mediante difusión
		15. Carril de silicio
		16. Vacío
		17. Capa de soldadura

3. ELECTROVÁLVULAS

Una electroválvula es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería.

Existe una gran diferencia entre electro válvulas con válvulas motorizadas, que son aquellas en las que un motor acciona el cuerpo de la válvula.

3.1 Clases y funcionamiento

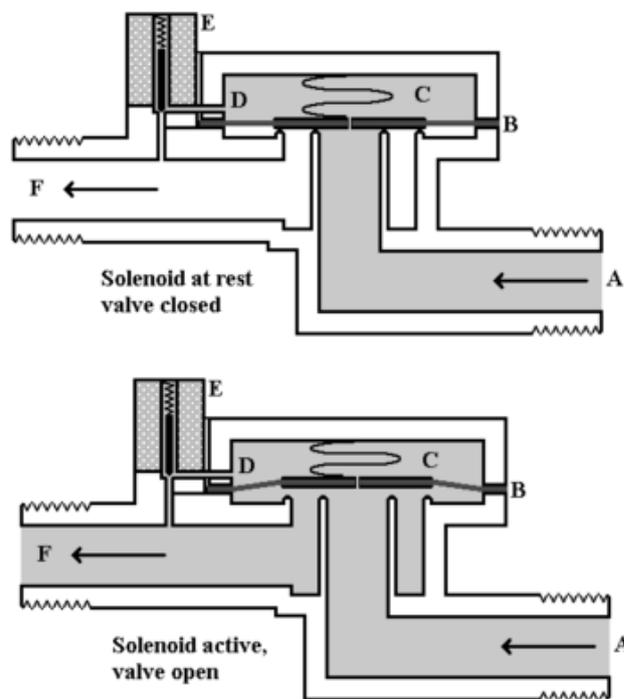
Una electroválvula tiene dos partes fundamentales el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Existen varios tipos de electro válvulas, en algunas el solenoide actúa directamente sobre la válvula proporcionando toda la energía necesaria para su movimiento. Es corriente que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un muelle y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del muelle. Esto quiere decir que el solenoide debe estar activado y consumiendo potencia mientras la válvula deba estar abierta.

Las electroválvulas pueden ser cerradas en reposo o normalmente cerradas lo cual quiere decir que cuando falla la alimentación eléctrica quedan cerradas o bien pueden ser del tipo abiertas en reposo o normalmente abiertas que quedan abiertas cuando no hay alimentación.

Hay electro válvulas que en lugar de abrir y cerrar lo que hacen es conmutar la entrada entre dos salidas. Este tipo de electro válvulas a menudo se usan en los sistemas de calefacción por zonas lo que permite calentar varias zonas de forma independiente utilizando una sola bomba de circulación.

Figura 5. Electroválvulas abiertas y cerradas



A Entrada, B Diafragma, C Cámara de presión, D Conducto de vaciado de presión, E Solenoide, F Salida.

En otro tipo de electroválvula el solenoide no controla la válvula directamente sino que el solenoide controla una válvula piloto secundaria y la energía para la actuación de la válvula principal la suministra la presión del propio fluido.

El diafragma tiene un diminuto orificio en el centro que permite el paso de un pequeño flujo de agua. Esto hace que el agua llene la cavidad C y que la presión sea igual en ambos lados del diafragma. Cuanto mayor sea la presión de entrada, mayor será la fuerza con que cierra la válvula.

Si se activa el solenoide, el núcleo sube y permite pasar el agua desde la cavidad C hacia la salida con lo cual disminuye la presión en C y el diafragma se levanta permitiendo el paso directo de agua desde la entrada A a la salida F de la válvula. Esta es la situación representada en la parte inferior de la figura.

Si se vuelve a desactivar el solenoide se vuelve a bloquear el conducto D y el muelle situado sobre el diafragma necesita muy poca fuerza para que vuelva a bajar ya que la fuerza principal la hace el propio fluido en la cavidad C.

De esta explicación se deduce que este tipo de válvula depende para su funcionamiento de que haya mayor presión a la entrada que a la salida y que si se invierte esta situación entonces la válvula abre sin que el solenoide pueda controlarla.

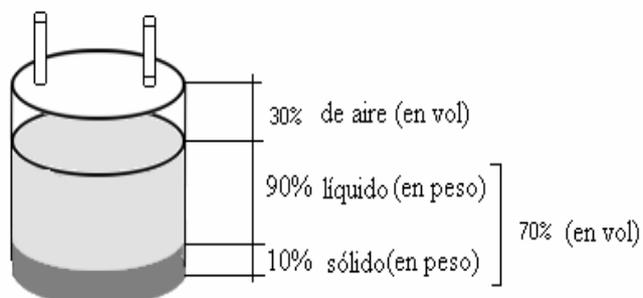
Las electroválvulas también se usan mucho en la industria para controlar el flujo de todo tipo de fluidos.

4. BIODIGESTOR

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar este en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, o iluminación, y en grandes proporciones se puede utilizar para alimentar un motor que genere electricidad.

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 depositan los materiales orgánicos a fermentar, tales como excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, (no se deben incluir cítricos ya que acidifican) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

Figura 6. Porcentajes líquidos en el biodigestor



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 pos tratamiento (filtro y piedras, algas, secado) a la salida del reactor.

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 gas metano (CH_4) llamado biogás, sumamente eficiente si se emplea como combustible y un contenido bajo de CO_2 (aproximadamente 20%). Como resultado de este proceso se generan 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.

Se debe controlar ciertas condiciones pH (medida de acidez o basicidad en una solución, porcentaje de hidrógenos), presión y temperatura a fin de obtener un óptimo rendimiento.

El biodigestor es un sistema sencillo de implementar con materiales económicos y se está introduciendo en comunidades rurales aisladas y de países subdesarrollados para obtener el doble beneficio de conseguir solventar la problemática energética-ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos tanto humanos como animales.

El fertilizante, llamado biól, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está considerando de la misma importancia, o mayor, que el biogás ya que provee a las familias campesinas de un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas.

Tabla III. Contenido de nutrientes en el efluente de biodigestores plásticos

	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Magnesio (%)
Biodigestor Reserva Pozo Verde	0.063	0.01	0.1	0.13	0.018
Biodigestor Hacienda Lucema	0.07	0.01	0.045	0.02	0.01

Fuente: Pedraza, Chará y Conde, plásticos instalados en dos granjas ubicadas en el Valle del Cauca, Colombia. 1999.

Los biodigestores familiares de bajo costo fueron desarrollados y están ampliamente implementados en países del sureste asiático, pero en Sudamérica, solo países como Cuba, Colombia y Brasil tienen desarrollada esta tecnología.

Estos modelos de biodigestores familiares, construidos a partir de mangas de polietileno tubular, se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción. Por ello se consideran una tecnología apropiada.

4.1 Biodigestores familiares de bajo costo

Este modelo de biodigestor consiste en aprovechar el polietileno tubular, para disponer de una cámara de varios metros cúbicos herméticamente aislada. Este hermetismo es esencial para que se produzca las reacciones biológicas anaerobias.

El polietileno tubular se amarra por sus extremos a tuberías de conducción, de unas seis pulgadas de diámetro, con tiras hule recicladas de tubos de llantas.

Con este sistema, calculando a unos 15° ó 25° la inclinación de dichos tuberías, para una fluidez efectiva del desecho orgánico, se obtiene un tanque hermético. Al ser flexible el polietileno tubular es necesario construir una cuna que lo albergue, ya sea cavando una zanja o levantando dos paredes paralelas. Una de las tuberías servirá como entrada de materia prima, con una concentración de 25% de estiércol y 75% de agua.

En el biodigestor alcanza finalmente un equilibrio de nivel hidráulico, por el cual, al agregar un peso considerable de estiércol mezclado con agua en la entrada, produce que esta presión se desfogue en la salida por la tubería del otro extremo.

Debido a la ausencia de oxígeno en el interior de la cámara hermética, las bacterias anaerobias contenidas en el propio estiércol comienzan a digerirlo.

Al inicio se produce una fase de hidrólisis (reacción química del agua con otra sustancia) y fermentación (proceso de descomposición), posteriormente una acetogénesis y finalmente el metano génesis por la cual se produce metano.

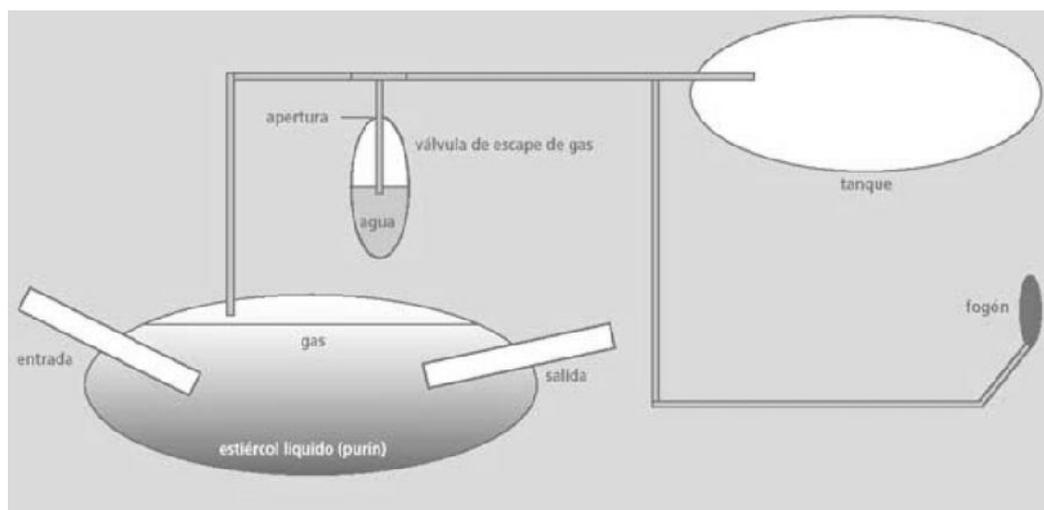
El producto gaseoso llamado biogás, realmente tiene otros gases en su composición como son dióxido de carbono (20 - 40%), nitrógeno molecular (2 - 3%) y sulfhídrico (0.5 - 2%), siendo el metano el más abundante con un 60 - 80%.

Este proceso toma un tiempo de 30 días aproximadamente, siendo el tiempo de espera inicial, tomando en cuenta que el proceso es continuo, una vez este en marcha, siempre y cuando se siga alimentando el biodigestor, no se volverá a tener este tiempo de espera.

La conducción de biogás hasta la cocina se hace directa, manteniendo todo el sistema a la misma presión: entre 8 y 13cm de columna de agua dependiendo la altura y el tipo de fogón.

Esta presión se alcanza incorporando en la conducción una válvula de seguridad construida a partir de una botella de refresco. Se incluye una T en la conducción, y mientras sigue la línea de gas, el tercer extremo de la tubería se introduce en el agua contenido en la botella de 8 a 13cm. También se añade un reservorio, o almacén de biogás, en la conducción, permitiendo almacenar unos 2 a 3m³ de biogás.

Figura 7. Biodigestor de bajo costo



4.2 Adaptación de los biodigestores

Los biodigestores han de ser diseñados de acuerdo a su finalidad y a la temperatura a la que van a trabajar.

Un biodigestor puede ser diseñado con el objetivo de proveer de cinco horas de combustión en una cocina a una familia, para lo que se requieren 20 kilos de estiércol fresco diariamente. El fertilizante obtenido es muy preciado, y un biodigestor diseñado para tal fin ha de permitir que la materia prima esté mayor tiempo en el interior de la cámara hermética así como reducir la mezcla a 33% de agua y 66% de materia.

La temperatura ambiente en que va a trabajar el biodigestor indica el tiempo de retención necesario para que las bacterias puedan digerir la materia. En ambientes de 30°C se requieren unos 10 días, a 20°C unos 25 y en altiplano, con invernadero, la temperatura de trabajo es de unos 10°C, y se requieren 55 días de tiempo de retención.

Para una misma cantidad de materia prima entrante se requiere un volumen cinco veces mayor para la cámara hermética en el altiplano que en el trópico.

4.3 Elementos de un biodigestor

4.3.1 Cámara de carga

Esta cámara facilita la introducción del material orgánico en el biodigestor, mezclándolo con la cantidad adecuada de agua, que puede ser caliente si se dispone, dado que favorece una mejor velocidad de degradación.

La mezcla con agua también permite homogenizar el material orgánico y disminuir su concentración para que pueda fluir fácilmente hacia el interior del equipo que se ha decidido adoptar. Para la construcción puede utilizarse mampostería, con cubierta impermeable o también algún tanque del que se disponga.

4.3.2 Cámara de digestión

Constituye el elemento principal del biodigestor anaeróbico. Permite que el material orgánico permanezca el tiempo necesario (en ausencia total de oxígeno) de modo que, en función de su diseño y de la temperatura de trabajo adoptada, pueda transformarse en biogás.

Es conveniente dotarla de elementos para agitar la masa en digestión, logrando un mejor contacto entre el sustrato que ingresa y las bacterias que contiene el biodigestor en su interior.

4.3.3 Conducto de carga

Comunica la cámara de carga con la cámara de digestión. Circula el material ya preparado, que generalmente ingresa por acción de la gravedad, al estar ubicada la cámara de carga por sobre el nivel de líquido en el biodigestor.

Conviene que la conducción sea recta, sin curvas que puedan producir que el material se atasque y que permita una fácil limpieza. Se puede utilizar caños de cemento o plástico, utilizando un diámetro mínimo de 150mm hasta 300mm, según el caudal de carga de cada equipo.

En el caso de biodigestores de gran tamaño, esta conducción de carga puede estar bajo presión, utilizando una bomba para introducir la mezcla en su suspensión de sólidos a digerir.

4.3.4 Conducto de descarga

Posibilita la extracción del material estabilizado, que ha cumplido el tiempo de residencia dentro del biodigestor y se deposita en el fondo. Se puede colocar el extremo superior del caño de descarga a una cota tal con respecto al nivel del terreno, que permita la salida del residuo por el principio presión hidráulica. De este modo, al ingresar una cantidad determinada de mezcla de alimentación a digerir, se descargara automáticamente un volumen igual de mezcla de residuos digeridos.

También, como el conducto de carga, se pueden usar caños de cemento o plástico de un diámetro mínimo de 160mm hasta 300mm, dependiendo del tamaño del diseño. Para equipos grandes, se puede colocar dentro de este caño de descarga una bomba centrífuga sumergible de tipo cloacal o estercolero que posibilite bombear la suspensión en la cantidad diaria necesaria.

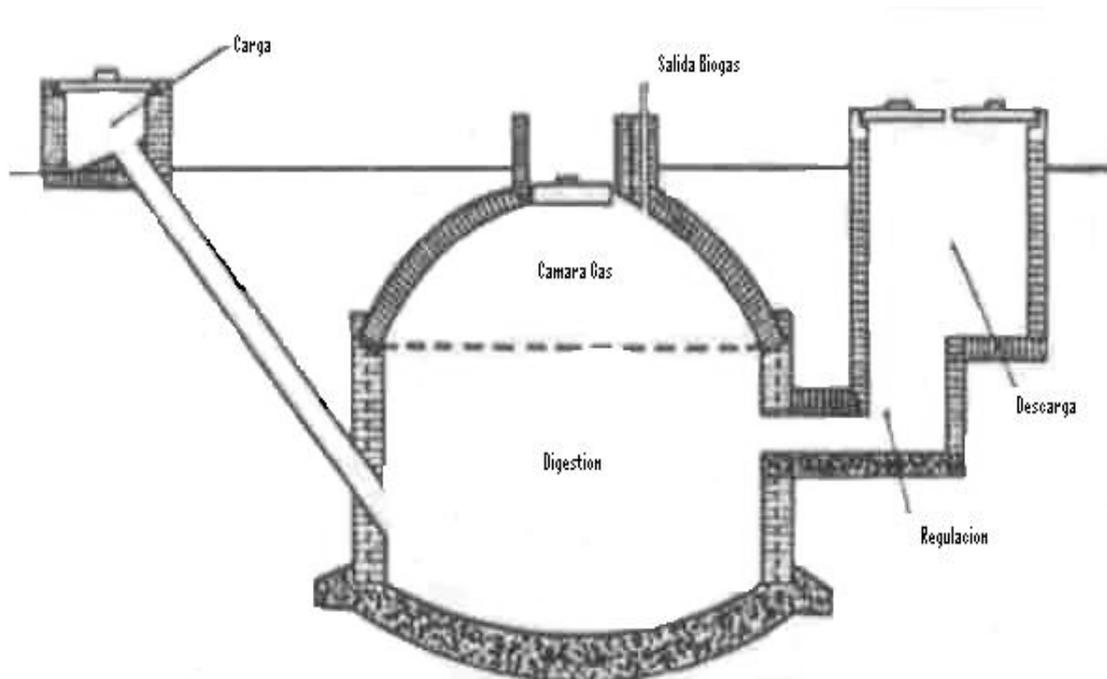
4.3.5 Agitador

Este dispositivo puede construirse colocando un caño camisa que se instala en forma inclinada dentro de la cámara de digestión, mediante una unión que evite pérdidas de líquido hacia el exterior. También debe sobresalir hacia fuera por sobre el nivel de descarga del líquido. Dentro de este se coloca un caño eje sobre el cual se ajusta una paleta mezcladora. El impulsor puede ser de paletas planas que se acciona con un movimiento angular, o con forma hélice, que se hace girar sobre su eje.

El movimiento se logra mediante una manija ubicada afuera y accionada manualmente, ya que es suficiente realizar una suave agitación; que también ayuda el desprendimiento de las burbujas de biogás.

Para construir el agitador se puede usar acero dulce o también inoxidable. En el caso del acero común para el caño camisa, que quedara definitivamente ligado a la cámara de digestión, conviene que tenga un espesor de 5 mm, con el objeto de asegurar una adecuada vida útil, a causa de la corrosión. Si se utiliza acero inoxidable, un espesor de 2 mm resultara satisfactorio. Para el caño eje, independientemente del material, a fin de soportar el esfuerzo de torsión, se recomienda un espesor de 3 mm.

Figura 8. Sistema básico de biodigestión



4.4 Tipos de biodigestores

De acuerdo a la frecuencia de cargado, los sistemas de biodigestión se pueden clasificar de la siguiente manera.

4.4.1 Sistema batch o discontinuo

Este tipo de digestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible.

Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás.

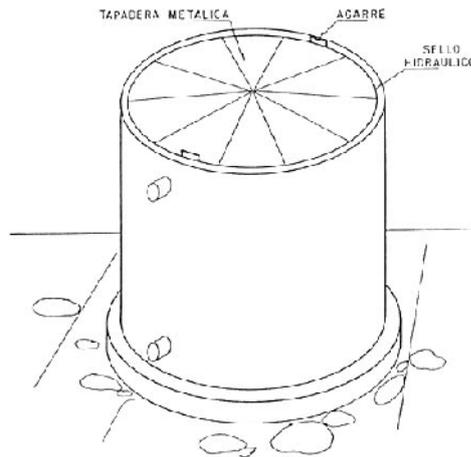
Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. En este tipo de sistemas se usa una batería de digestores que se cargan a diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante.

Este tipo de digestor es también ideal a nivel de laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellas.

De los sistemas batch, el más usado es el OLADEGUATEMALA, por la facilidad de construcción del sistema, la sencillez en el proceso de digestión, la alimentación del digestor puede ser con residuos vegetales o también mezclando residuos vegetales con pecuarios y por su mayor producción de biogás, en comparación con el modelo chino e hindú.

La producción de biogás en este tipo de digestores es de 0.5 a 1.0m³ biogás/m³ digestor.

Figura 9. Digestor batch



4.4.2 Sistemas semi-continuos

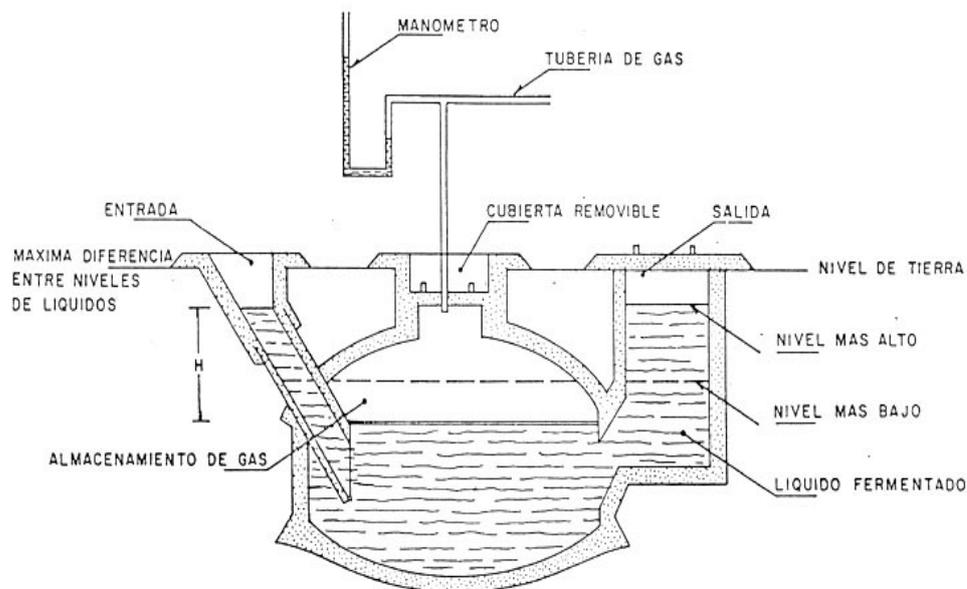
Es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el hindú y el chino. Entre los de tipo hindú existen varios diseños, pero en general son verticales y enterrados. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación.

El gasómetro está integrado al sistema, en la parte superior del pozo se tiene una campana flotante donde se almacena el gas, balanceada por contrapesos, y de ésta sale el gas para su uso; en esta forma la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de menos de 20cm, de columna de agua.

Este tipo de digestores presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0.5 a 1 volumen de gas por volumen de digestor, y aún más. En lo que respecta a los digestores tipo chino, estos son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo, y se construyen totalmente enterrados. En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del mismo sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo de la planta, aumenta su presión, forzando al líquido en los tubos de entrada y salida a subir, y llegándose a alcanzar presiones internas de hasta más de 100cm, de columna de agua.

La producción de biogás en este tipo de digestores es de 0.1 a 0.4m³ de biogás/m³ de digestor. A pesar de que el digestor tipo chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general extensos.

Figura 10. Biodigestor chino



4.4.3 Sistemas continuos

Este tipo de digestores se desarrollan principalmente para tratamiento de aguas residuales.

En general son plantas muy grandes, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionarles calefacción y agitación, así como para su control.

Por lo tanto, este tipo de plantas son más bien instalaciones tipo industriales, donde se genera una gran cantidad de biogás el que a su vez se aprovecha en aplicaciones industriales.

4.5 Composición típica del biogás

Tabla IV. Composición típica del biogás

COMPONENTE	PORCENTAJE
Metano (CH ₄)	55.0 a 70.0 %
Dióxido de Carbono (CO ₂)	27.0 a 45.0%
Anhídrido Sulfuroso (H ₂ S)	Menor a 1.0%
Nitrógeno (N ₂)	0.50% a 3.0%
Hidrogeno (H ₂)	1.00 a 3.0%

4.6 Materia prima para producción de biogás

Tabla V. Materia prima para producción de biogás

Tipo De Residuo	Litros de Biogás por Kg Sólido Fresco	Contenido de Sólidos Totales (%)	Contenido de Materia Orgánica Volátil (%)
Estiércol porcino	15-40	18.00-20.00	83.00
Estiércol vacuno	50-70	18.00	80.00
Estiércol aviar Barrilleros	30-50	53.00	66.00
Estiércol aviar Ponedoras	35-55	35.00	90.00
Desechos de huerta	39-63	11.00	94.00
Residuos amiláceos o Azucarados	100	18.00	94.00
Residuos de comida	75-120	19.00	90.60
Sorgo granífero	550	96.00	98.00

4.7 Posibles usos del biogás

Tabla VI. Posibles usos del biogás

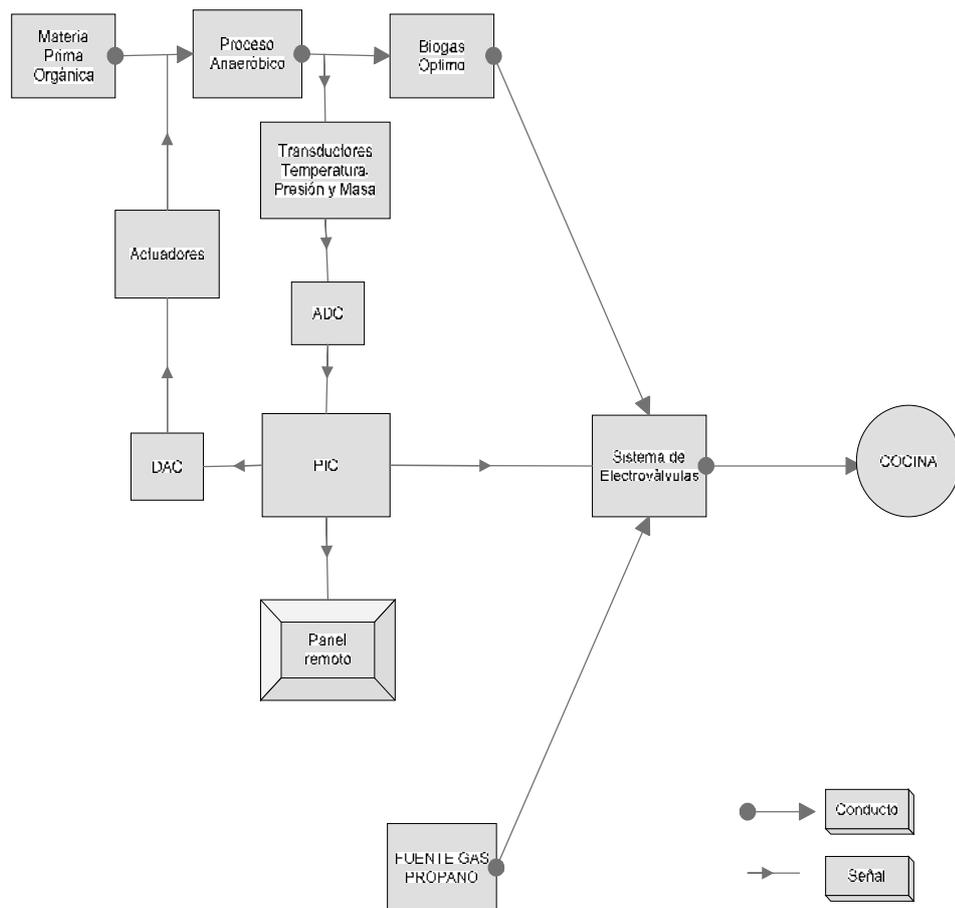
Artefactos	Características	Potencia calorífica kcal/hora	Consumo de biogás (5500 kcal/m ³) m ³ /hora uso
Cocinas	Quemador chino	1000 - 1250	0.18 - 0.23
	Quemador mediano	1500 - 1750	0.27 - 0.32
	Quemador grande	Min: 2000	0.36
Calefactores	Caudal de 8L/min	11500 - 12500	2.00 - 2.30
	Caudal de 10L/min	13250 - 13250	2.40 - 2.60
	Caudal de 12L/min	15250 - 16250	2.77 - 2.95
	Caudal de 14L/min	19500 - 20500	3.54 - 3.72
	Caudal de 16L/min	23500 - 25000	4.27 - 4.54
Termo tanque	Capacidad 75L	4500	0.82
	Capacidad 120L	5000	0.91
	Capacidad 150L	6000	1.10
Heladeras con ciclo de absorción	Marcha normal por pie cúbico de capacidad	55.00	0.01
	Marcha al máximo por pie cúbico de capacidad	96.00	0.018

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE UTILIZACIÓN DE GAS

5.1 Diagrama de bloques del sistema generalizado

El sistema híbrido de utilización de gas domiciliario respetará el siguiente diagrama de bloques.

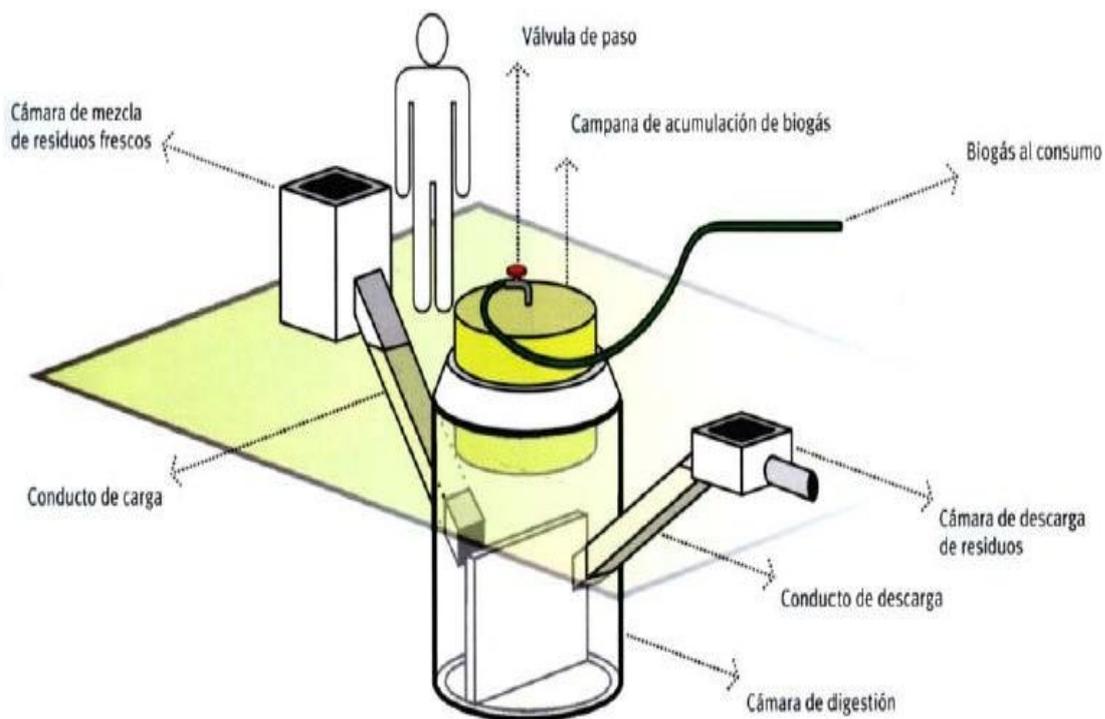
Figura 11. Diagrama de bloque del sistema generalizado



5.2 Implementación de la fuente de biogás

La fuente de biogás estará compuesta por un biodigestor chino de menor escala, enfocado en uso domiciliario, controlado electrónicamente.

Figura 12. Elementos del biodigestor a utilizar



5.2.1 Diseño del biodigestor

Para implementar el biodigestor tomaremos en cuenta todos los componentes:

- Cámara de digestión
- Cámara de mezcla
- Cámara de descarga
- Conducto de carga
- Conducto de descarga
- Cámara de acumulación de gas
- Válvula de escape

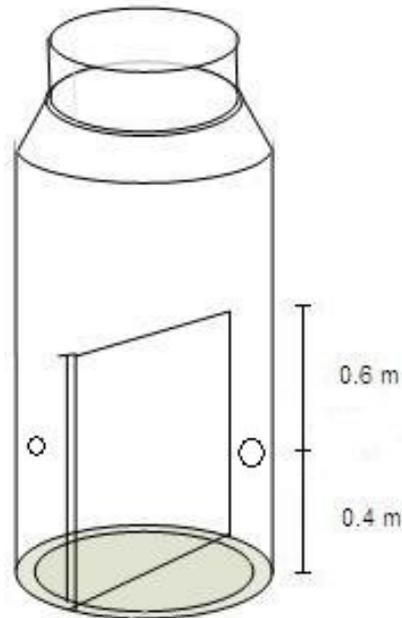
5.2.1.1 Construcción de cámara de digestión

Para implementar dicha cámara, haremos uso de un tanque plástico cisterna con capacidad desde 1100 litros. Realizaremos varias modificaciones al tanque original.

Primero será necesario perforar un hueco circular de 5 pulgadas de diámetro para introducir el conducto de carga con una altura de 0.4 m de la base y uno de 8 pulgadas de diámetro para introducir el conducto de descarga, ambos agujeros tendrán que estar opuestos en el tanque cilíndrico. Asimismo introduciremos dentro del tanque un pared divisoria justo a la mitad del tanque, de tal forma que la materia sea retenida durante un periodo mas largo dentro de la cámara.

La cámara de digestión, en este caso el tanque cisterna, será situado en su base un metro bajo el nivel de la fosa séptica.

Figura 13. Cámara de digestión



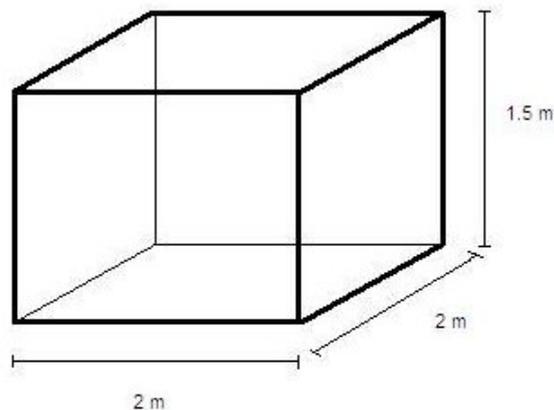
5.2.1.2 Construcción de la cámara de mezcla

La cámara de mezcla tendrá ciertas modificaciones según el diseño de la casa, para fines prácticos, utilizaremos la fosa séptica general de la construcción antigua, tomando en cuenta que será una fosa exclusiva para desechos orgánicos, aislando la instalación de cualquier desecho químico, es decir, existe la necesidad de crear una nueva red de drenajes exclusivo para procesos de lavado de ropa y duchas.

En caso de ausencia de la misma, procederemos a construir una fosa con dimensiones proporcionales al número de baños existentes en el hogar. Consideraremos dos baños en promedio.

Tomaremos un volumen de 6m^3 . Para soportar la presión generada por esta cantidad de volumen usaremos electro malla de $\frac{1}{4}$ de pulgada para construir las paredes de concreto. La tapadera puede ser fundida o de madera, esta cámara no necesita estar sellada, sin embargo, puede producir mal olor por lo que le haremos una chimenea de ventilación de 3m de alto utilizando un tubo PVC de 3 pulg para este fin.

Figura 14. Cámara de mezcla



5.2.1.3 Construcción de la cámara de descarga

La cámara de descarga será construida al igual que la de mezcla con concreto, con la diferencia que las dimensiones de esta podrán variar según nos permita el presupuesto siempre y cuando no sean menores a la cuarta parte de la cámara de digestión.

La cámara de descarga podrá ser tan grande como el usuario desee. La ventaja de tener una cámara de descarga grande, es un mayor período de tiempo en el que el sistema podrá estar sin ninguna supervisión, ya que esta tendrá que ser vaciada al momento de llenarse.

Tomando en cuenta que el abono a extraer puede ser vendido a un mercado local, o bien utilizado para la jardinería propia del hogar.

Un tamaño predefinido para esta cámara, respetará las mismas dimensiones que la cámara de mezcla, por lo que podemos hacer referencia a la figura 14. Tendremos la capacidad de almacenar 6m^3 de abono.

5.2.1.4 Construcción del conducto de carga

Para construir un conducto de carga procederemos a utilizar PVC, debido a su durabilidad, tomando en cuenta que tenemos que darle a todo el sistema un tiempo de vida, de tal forma que si utilizamos tubería de concreto de forma cilíndrica, esta nos limitaría.

El diámetro del tubo PVC a utilizar es de 5pulg, debido al estado de la masa, facilitando así la conducción de la misma hacia la cámara de digestión y permitiéndonos usar un ángulo no muy elevado.

El ángulo a posicionar el conducto será de 30° .

5.2.1.5 Construcción del conducto de descarga

El conducto de descarga, tendrá las mismas especificaciones de construcción que el conducto de carga, con la única diferencia que este deberá tener un diámetro 8pulg, con el objetivo de facilitar la descarga de la masa orgánica, con el fin de mantener el mismo ángulo de inclinación del conducto de carga.

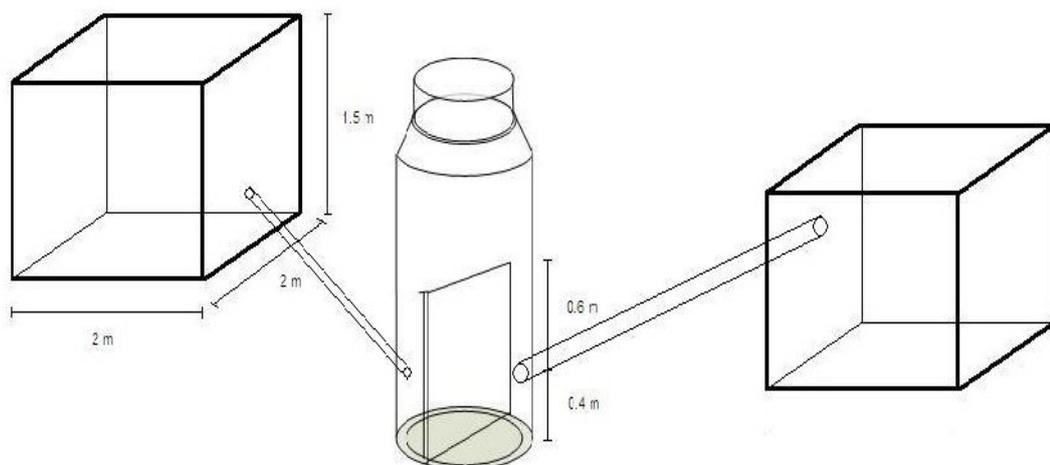
5.2.1.6 Construcción de la cámara de almacenamiento de gas

Esta cámara estará conformada por la parte superior del tanque cisterna, será completamente hermética, para dar lugar al proceso anaeróbico.

Para entender mejor el proceso, podemos decir que 20% de la altura del tanque cisterna, en la parte superior formara la cámara de almacenamiento de gas, sin ninguna división, posteriormente se abrirá un agujero del tamaño de la tubería de gas utilizando un conector para sellar esta unión.

El tanque cisterna a utilizar consta de una tapadera grande con rosca que lo corona, esta tapadera tendrá que ser sellada con pegamento PVC para evitar ingreso de oxígeno.

Figura 15. Sistema de biodigestión acotado



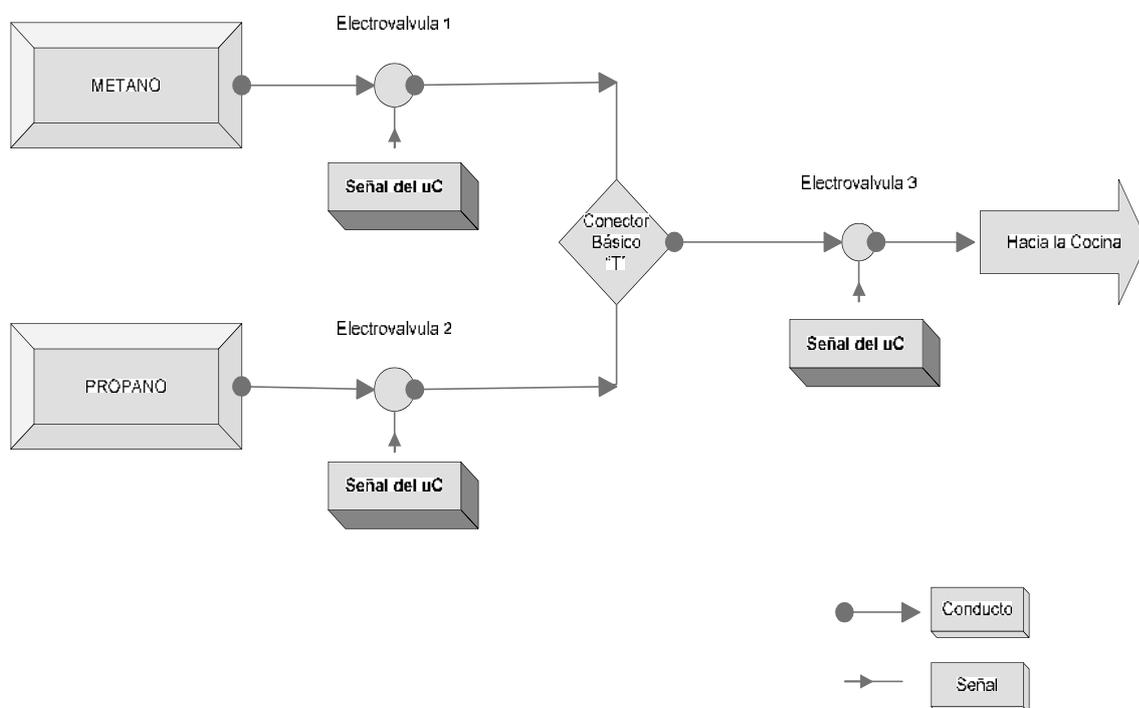
5.2.1.7 Construcción de la válvula de escape

La válvula se realizara con un recipiente plástico, sumergido en otro de mayor tamaño lleno de agua de agua, en primero se conectara la salida del biodigestor, con el fin de evitar presiones excesivas en el sistema, de manera que si la presión incrementa excesivamente por falta de consumo de biogás, simplemente este se liberara por medio de la válvula hechiza.

5.3 Implementación del sistema de electroválvulas

5.3.1 Diagrama de bloques

Figura 16. Diagrama de bloques del sistema de electroválvulas



5.3.2 Elección de electroválvulas

Las electroválvulas para gas cumplen con las exigencias de la normativa vigente en términos de seguridad.

Estas válvulas se cierran ante la falta de corriente eléctrica y el detector de gas las activa.

Hacemos referencia a las normativas peruanas de manejo de gas natural:

- NTP 111.010 gas natural seco instalaciones internas
- Reglamento de distribución de gas natural por ductos D.S. 042-99-EM.

La válvula de gas MSVE, al ser normalmente abierta, trabaja con la bobina fría. Esto evita sobre calentamiento y prematuros envejecimientos de la bobina. Se cierra ante la falta de corriente eléctrica y cuando el detector de gas se lo ordena.

El rearme es manual, y este no puede hacerse si no hay nuevamente suministro eléctrico. Incorpora un sistema que ignora los microcortes de tensión o los apagones que duren menos de 1.5seg, de esta forma evitamos falsas alarmas.

Es posible comprobar su funcionamiento en revisiones ya que tiene un dispositivo de prueba manual. En el mercado podemos encontrar los siguientes modelos:

5.3.2.1 Msve:

Modelo de electroválvula con nombre estandarizado fabricado y distribuido por la empresa INPROSA.

- Normalmente abierta
- Rearme manual
- Presión máxima 500mbar/m
- Presión máxima 3bar

Electroválvulas de gas normalmente cerrada con rearme manual, se cierra ante la falta de suministros eléctricos y cuando el detector se lo ordena. Disponible desde ½pulg a 2pulg con conexión rosca y 2 ½pulg a 4pulg.

5.3.2.2 Ev

Modelo de electroválvula con nombre estandarizado fabricado y distribuido por la empresa INPROSA.

- Normalmente cerrada
- Rearme manual
- Presión máxima 500mbm
- Presión máxima 3bar

Se cierra ante la falta de suministros eléctrico y cuando el detector se lo ordena. Puede ser rearmada a distancia mediante sistema de telegestión. Disponible desde ½pulg a 2pulg con conexión roscada y de 2 ½pulg a 3pulg.

5.3.2.3 Vmr (n/c)

Modelo de electroválvula con nombre estandarizado fabricado y distribuido por la empresa INPROSA.

- Normalmente cerrada
- Sin rearme manual
- Presión máximo 300mbar/m
- Presión máximo 3bar

Contando con la información necesaria con respecto a las válvulas más comunes existentes en el mercado, podemos proceder a su elección, para el sistema de electroválvulas, precisamos de 3 válvulas correspondientes a las normalmente abiertas por motivos de seguridad.

Obteniendo una función lógica AND para dar paso al gas hasta su destino, es decir la electroválvula que controla el origen del gas, ya sea metano o propano y la electroválvula de paso general. Únicamente cuando estas dos válvulas estén abiertas el gas llegara a su destino.

Procederemos a ubicar la tubería, primero conectamos la tubería con su respectivo conector a la cámara de almacenamiento de gas, el otro extremo llega a la electroválvula 1, esta a su vez esta conectada al conector básico T.

Asimismo tenemos la tubería proveniente del suministro de propano, esta tubería será del mismo diámetro para evitar reductores, llega a la electroválvula 2 y de esta al conector básico T. Del conector básico T, llegamos a la electroválvula 3, la cual da paso directo a nuestra estufa. La tubería a utilizar es manguera común para gas propano.

5.4 Diseño del sistema de control del biodigestor y electroválvulas

Para ofrecer un sistema de biodigestión con la menor intervención humana posible, es necesario implementar un sistema de control a base de microcontroladores.

5.4.1 Etapa de muestreo

Se requiere tener muestras bastante confiables para tomar decisiones con respecto a las variables, en específico fijar un set point para cada una. Por esta razón debemos adquirir transductores suficientemente confiables, a pesar de esto, tenemos la limitante del presupuesto, por lo que se compraran sensores de calidad aceptable.

Procederemos a instalar los sensores de temperatura, presión y nivel dentro de la cámara de digestión.

5.4.1.1 Elección de sensores

Partiremos de transductores básicos para procesar la información de una manera más conveniente, y no incurrir en gastos no necesarios.

5.4.1.1.1 Sensor de pH

Luego de de un análisis rápido de todos los sensores existentes en el mercado, considerando beneficio costo, se llega a la conclusión, para la aplicación en biodigestores haremos uso de los sensores de pH tipo ISFET, de manera que el pH luego de estar en un sistema de control ser fijado a 7.

5.4.1.1.1 Principio de medición

Son transductores potenciométricos basados en dispositivos ISFET (ion sensitive field effect transistor), que utilizan como principio de medida la modulación del canal del transistor mediante la diferencia de tensión que se establece entre la solución electrolítica y la puerta del dispositivo.

La tensión de salida del transistor es función del pH de la disolución.

5.4.1.1.2 Tecnología de realización

El dispositivo se obtiene mediante una tecnología NMOS de cinco niveles. La puerta metálica del transistor se sustituye por una capa de nitruro de silicio, sensible a la variación de pH de la solución.

Figura 17. Esquema de funcionamiento de un ISFET

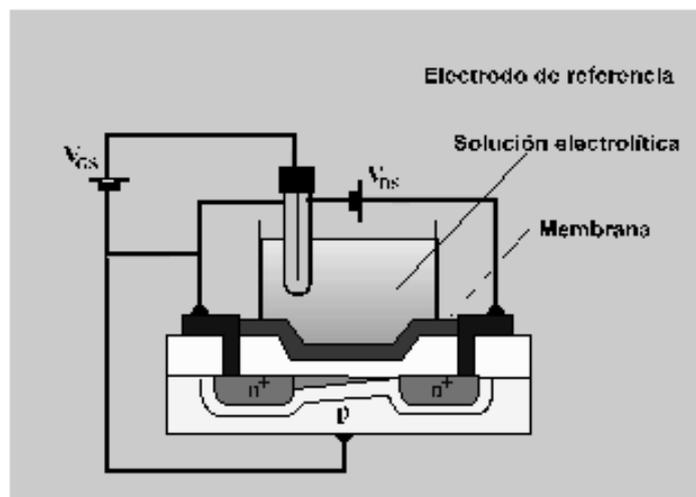


Tabla VII. Características eléctricas de un sensor de pH

Tensión umbral	$0.7 \text{ V} \pm 0.3 \text{ V}$
Transconductancia	$300 \mu\text{A/V} \pm 15 \mu\text{A/V} (*)$
Rango dinámico	0.0 - 1.5 V
Corrientes de fuga	< 10.0 nA

(*) En condiciones de medida: $I_D = 100 \mu\text{A}$, $V_{DS} = 50 \text{ mV}$

Tabla VIII. Características químicas de un sensor de pH

Rango de pH	2 - 12 unidades, linealidad > 99.9 %
Sensibilidad	$53.0 \text{ mV/pH} \pm 2.0 \text{ mV/pH}$
Resolución	0.1 pH (un punto de calibración) 0.02 pH (tres puntos de calibración)
Deriva temporal	<1.0 mV/h

5.4.1.1.2 Sensor de temperatura

Considerando las variaciones mínimas en temperatura, tomando en cuenta que nuestro rango de aceptación de temperatura es lo suficientemente amplio; haremos uso de un termistor PTC, cabe mencionar que el posicionamiento del termistor, será en nuestra cámara de biogás, haciendo uso de un encapsulado, no es relevante la necesidad de sumergir el sensor.

La temperatura deberá de mantenerse arriba de 25°C , para obtener el mayor gas posible de la mezcla, sin embargo al disminuir la temperatura en el peor de los casos tendremos menor producción de biogás.

5.4.1.1.3 Sensor de presión

Considerando la simplicidad del circuito al utilizar sensores resistivos, haremos uso de un sensor de presión con principio piezoresistivo. Los sensores piezorresistivos, de la presión del silicio, de la detección y del control de Honeywell contienen los elementos de detección que consisten en cuatro piezoresistores enterrados frente a un diafragma fino, químico-grabado.

Un cambio de la presión hace el diafragma doblar, induciendo una tensión en el diafragma y los resistores enterrados. Los valores del resistor cambian en proporción con la tensión aplicada y producen una salida eléctrica.

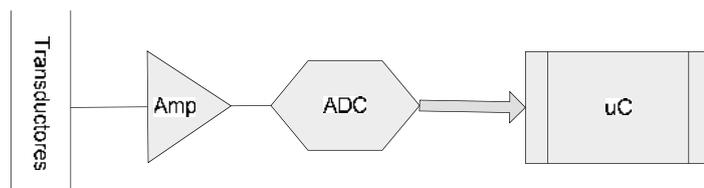
Estos sensores son pequeños, bajos costo y confiables. Ofrecen la capacidad de repetición excelente, la alta exactitud y la confiabilidad bajo variación de condiciones ambientales.

Además, ofrecen características de funcionamiento alto constantes a partir de un sensor al siguiente, y de la capacidad de intercambio sin la recalibración.

Tomando en cuenta que el rango de presiones a utilizar en el biodigestor es de 18–100psi.

5.4.1.2 Diagrama de bloques circuito sensorial

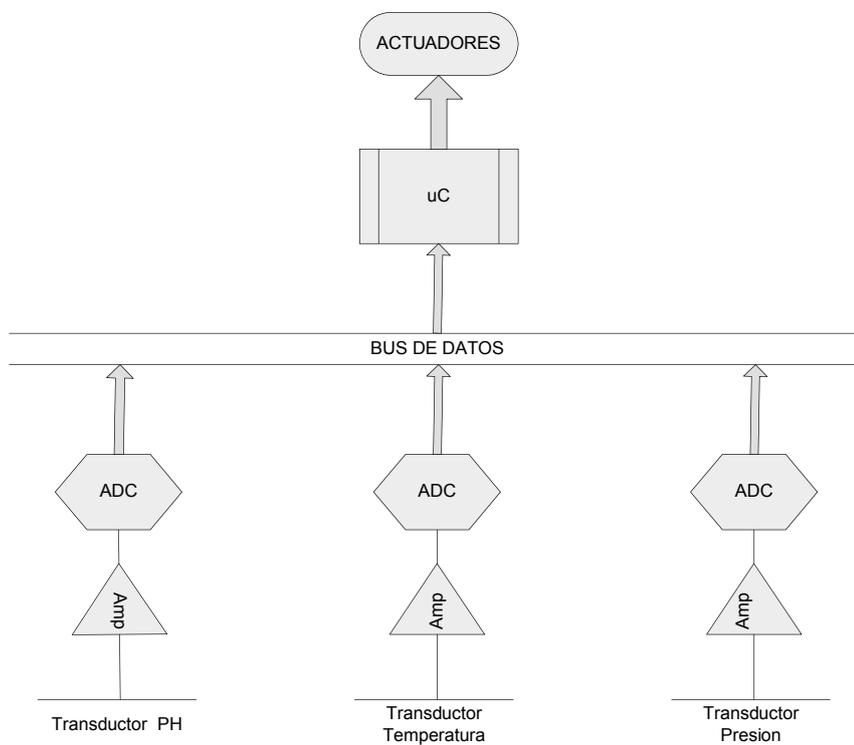
Figura 18. Diagrama de bloques circuito sensorial



5.4.2 Etapa de control

5.4.2.1 Diagrama de bloques del circuito de control

Figura 19. Diagrama de bloques circuito de control



5.4.2.2 Elección de componentes de control

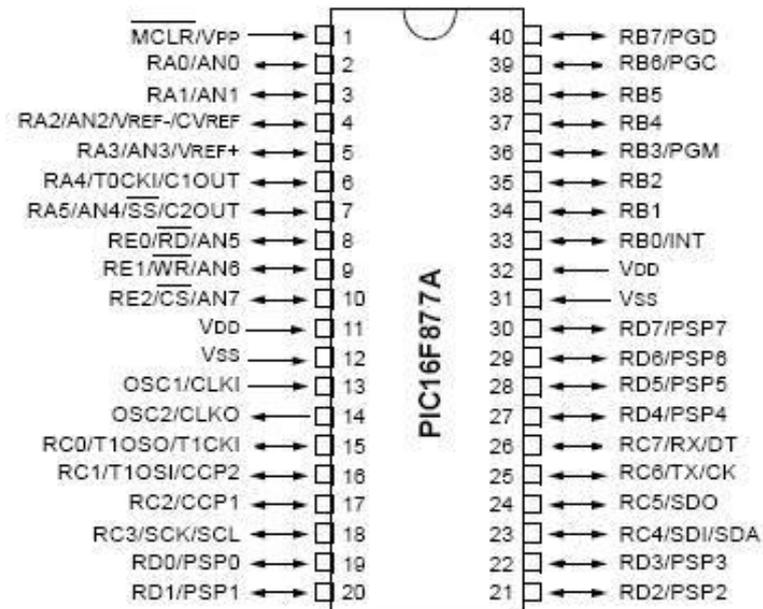
En esta etapa se puede considerar como el cerebro de nuestro diseño, es decir, a partir de los componentes de control tendremos un sistema capaz de tomar decisiones inteligentes con respecto a las variables.

5.4.2.2.1 Microcontrolador

Para la elección del microcontrolador es necesario establecer, la cantidad de entradas y salidas, la velocidad de funcionamiento y la capacidad de memoria que necesitamos.

Luego de analizar los aspectos de diseño y tomando en cuenta la facilidad de programación del PIC16F877A, basándonos en las buenas experiencias obtenidas con anterioridad con su desempeño, utilizaremos este como la unidad de control de nuestro sistema.

Figura 20. PIC16F877A



Con este PIC tendremos los suficientes puertos de entrada para controlar el sistema, a la vez podremos tener un puerto capaz de controlar el panel de control.

5.4.2.2.2 Componentes activos

El circuito de control consta de un microcontrolador, a su vez, existen funciones que no se le pueden delegar, así que necesitaremos algunos semiconductores para el diseño completo.

A continuación se detallan algunos componentes activos a utilizar:

- Amplificadores operacionales
- DAC (digital to analog converter)
- ADC (analog to digital converter)

5.4.2.2.3 Componentes pasivos

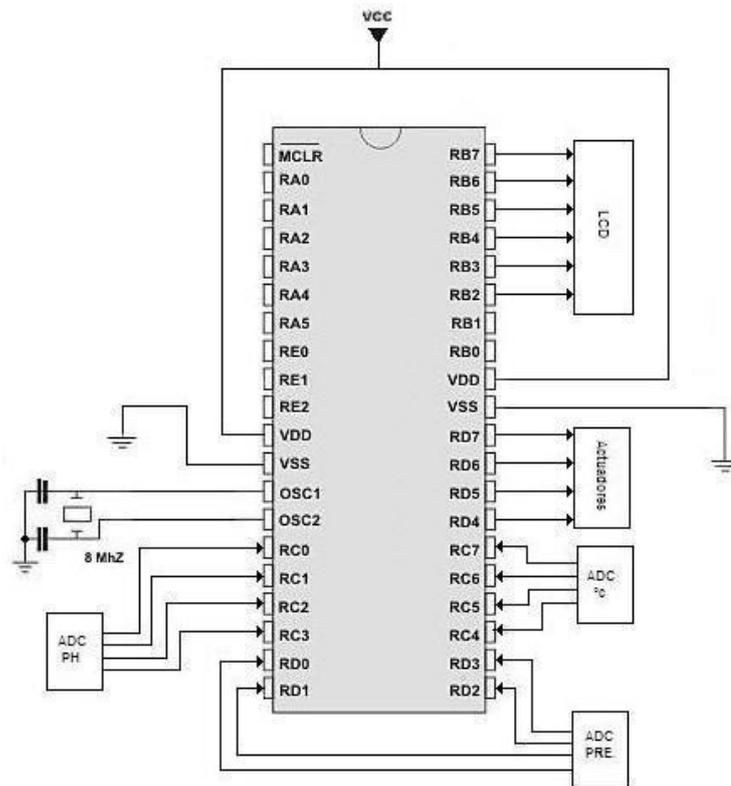
Como es de suponerse para la configuración de todo dispositivo lógico necesitamos modificaciones en los niveles de voltaje y adaptaciones según las características de cada componente activo, para satisfacer estas necesidades haremos uso de componentes pasivos, utilizando el conocimiento básico de circuitos eléctricos para su cálculo, dígame corrientes, voltajes y potencia.

A continuación se detallan algunos componentes pasivos a utilizar:

- Resistencias.
- Capacitores

5.4.2.3 Diseño esquemático del circuito de control

Figura 21. Diseño esquemático del circuito de control



5.4.2.4 Programación de microcontrolador

Para proceder a programar el PIC16F877A necesitamos completar los siguientes requisitos:

- Conocimientos básicos de programación.
- Un código eficiente.
- Un compilador apropiado.
- Simulador para pruebas.
- Un programador de PICS.

Luego de tomar en cuenta esto, procedemos a programar el microcontrolador, ahora bien, empezaremos generando el código, este debe cumplir con todos los requerimientos anteriormente establecidos.

Haremos uso del lenguaje Basic de programación, para luego convertir este código a ensamblador.

5.4.2.4.1 Puertos de entrada/salida

Como señales digitales de entrada a nuestro microcontrolador tendremos la información proveniente de los sensores, esta información la tendremos en 4 bits, debido a eso necesitaremos 12 bits de entrada.

Haremos uso del Puerto C y el Puerto D, configurando el puerto C completo como entrada y el puerto D, configurado de tal forma que los cuatro bits menos significativos sean entrada y los cuatro bits mas significativos sean salida. Asimismo para manejar la LCD (pantalla de cristal líquido) necesitaremos utilizar todo el puerto B como salida.

5.4.2.4.2 Variables a controlar

Debido a que la información permanecerá en constante cambio contemplada en cuatro bits por sensor, designaremos una variable dentro del código por cada variable externa a manejar, tanto de entrada como de salida.

- Temperatura
- Presión
- PH

5.4.2.4.3 Salida a actuadores

Para cerrar el lazo de retroalimentación del sistema, volviéndolo autónomo, necesitamos que los actuadores corrijan los posibles errores de estado en las variables a controlar.

Para poder manejar los actuadores tenemos que considerar una etapa de potencia, debido a que el microcontrolador nos brindara una señal muy débil.

Luego de la etapa de potencia elegimos los actuadores por variables, debido a que los actuadores de pH y temperatura no son estrictamente necesarios para el clima de Guatemala.

Los mencionaremos, para que puedan ser implementados si existiera a la necesidad de implementar un sistema en climas extremos.

5.4.2.4.3.1 Actuator corrector de temperatura

Para corregir la temperatura de un ambiente cerrado, tenemos varias opciones, la más simple, consta de resistencias caloríficas instaladas dentro del reactor.

5.4.2.4.3.2 Actuator corrector de pH

El punto ideal para el proceso anaeróbico del biodigestor es un pH = 7 esto nos asegura una masa neutra, entre las técnicas básicas de corrección de pH encontramos que adhiriendo cal al proceso logramos el objetivo.

Para agregar cal al biodigestor de una forma automática como respuesta al error en la variable de pH detectada por el microcontrolador, se debe diseñar un proceso mecánico que abra y cierre la compuerta de un recipiente de cal situado continuo al conducto de carga.

Cabe mencionar que al ser implementado este actuador, se necesita generar un retardo en la lectura del pH luego de existir un error en tiempo inicial, de esta manera nos aseguramos de que el microcontrolador no siga ordenando descargas de cal ocasionando una oscilación grande en la variable.

5.4.2.4.3.3 Actuador de presión

El actuador de presión simplemente es el sistema de electroválvulas, el cual comandara cual es la fuente de gas que suministra la cocina en cualquier momento, con base a la presión de la cámara de gas.

La presión en la cámara de almacenamiento de gas se podrá medir por medio de un manómetro ubicado en la salida y el punto de operación mínimo de biogás será de 18psi, considerando una presión que producirá una llama débil en la estufa.

5.4.2.4.4 Generación del código fuente

Para generar el código haremos uso de un pseudocódigo, de manera de dejar abierto el uso de cualquier lenguaje.

```
Declarar variables
Declarar puertos I/O
Funciones actuadores
Función LCD

Inicio:
Temperatura = >>PortC
Presión = <<<PortD
pH = <<<PortC
    Si Temperatura < 20
        Entonces
            Actuador Temperatura
        Terminar condición

    Si Presión < Pmin
        Entonces
            Actuador Presión
        Terminar Condición

    Si pH > 7
        Entonces
            Actuador pH+
        Terminar Condición

    Si pH < 7
        Entonces
            Actuador pH –
        Terminar Condición

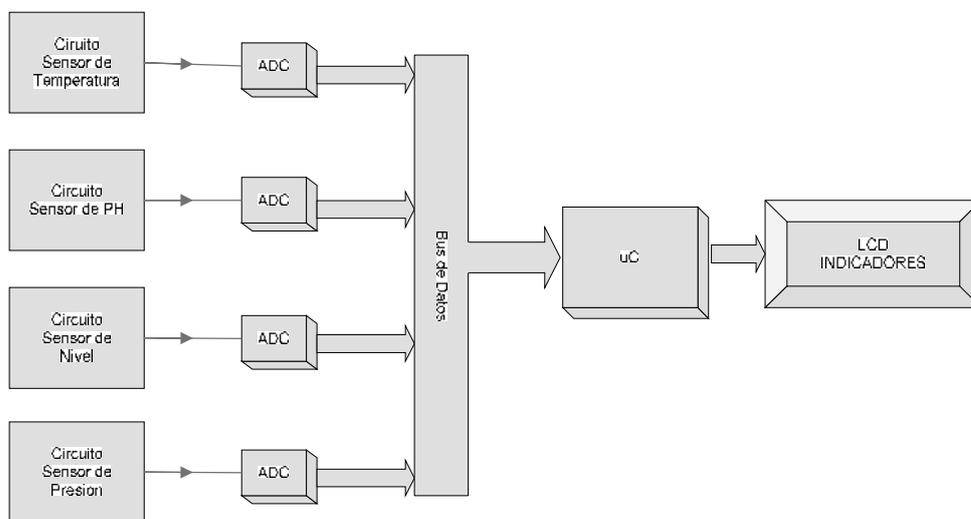
Imprimir LCD
Regresar a Inicio
FIN
```

El pseudocódigo nos proporciona una idea básica de la programación del PIC16F877A.

5.4.3 Etapa de Visualización en panel remoto

5.4.3.1 Diagrama de bloques del circuito de panel remoto

Figura 22. Diagrama de bloques del circuito de panel remoto



Los circuitos sensoriales incluyen amplificadores

5.4.3.2 LCD en panel remoto

El LCD (pantalla de cristal liquido) es actualmente el circuito más barato y confiable para mostrar datos en un proceso de monitoreo y control. Su interfaz con los controladores se realiza a través de un conector de 14 pines, cuya configuración es respetada por la mayoría de los fabricantes.

A diferencia de los teclados, los fabricantes del display de cristal líquido (liquid cristal display) LCD, han estandarizado las señales en un conector de 14 pines, así como los comandos de control para su manejo.

En el LCD se pueden mostrar datos como la hora y la fecha, así como valores de variables tales como nivel, presión, gasto, temperatura, etc.

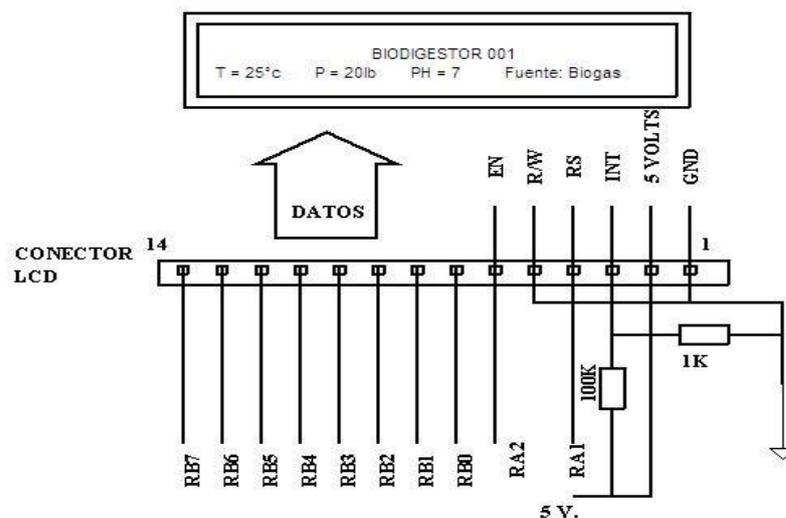
El LCD puede también emplearse para programar parámetros internos del sistema, de acuerdo a su aplicación o para mostrar al usuario las opciones del sistema mientras lo opera.

El módulo LCD lleva integrado a sus circuitos una memoria ROM conocida como generador de caracteres que habrá de generar los patrones de la matriz de puntos (5x7 ó 7x9) que forman los caracteres en la pantalla.

También tiene una RAM interna que almacena los caracteres y los exhibe en el módulo LCD.

Todas las señales de datos y control llevan niveles TTL (0 a 5 voltios), con excepción de la señal de control de intensidad, en el cual hay que aplicar tierra para la mayor intensidad y 5 voltios para la menor.

Figura 23. Conexión y visualización de LCD



En la interfaz de 14 pines, 8 son señales de comandos y datos. Estos datos se manejan en códigos ASCII y se escriben en la memoria del LCD en forma secuencial. A través de estas mismas señales pueden escribirse también comandos. En la siguiente tabla se muestra la distribución de señales de la interfaz.

Tabla IX. Distribución de señales de la interfaz

PIN	FUNCION	PIN	FUNCION
1	Tierra	8	DB1
2	5 volts.	9	DB2
3 INT	Control intensidad	10	DB3
4 RS	0=comando 1=datos	11	DB4
5 R/W	0=escribir , 1=leer	12	DB5
6 EN	Enable modo pulso	13	DB6
7	DB0	14	DB7

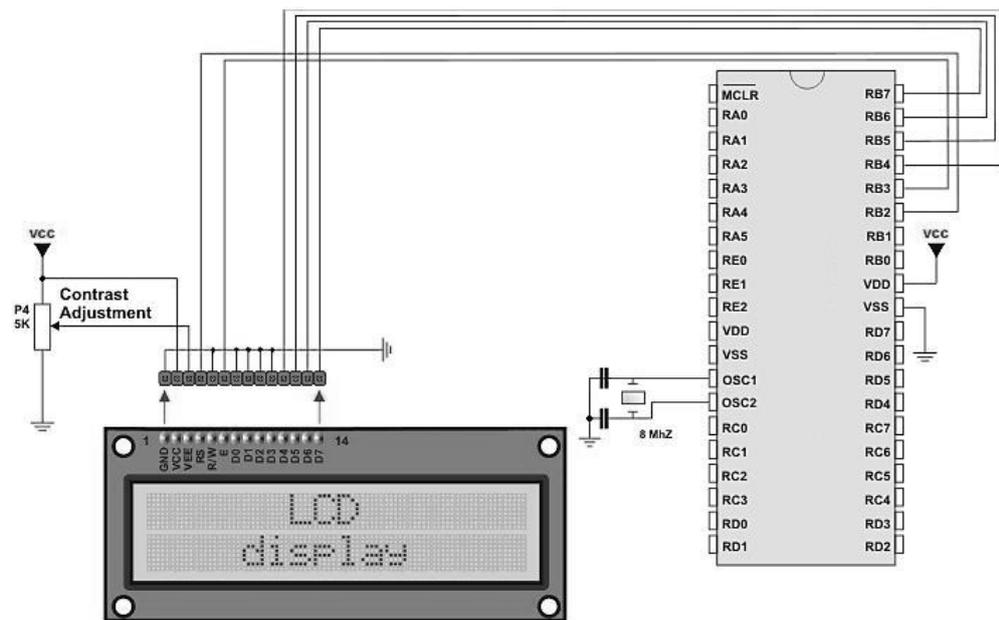
La tabla presentada a continuación nos describe algunos de los comandos comúnmente empleados.

Tabla X. Comandos empleados

Comando	Función	Hexa
CLEAR	Limpia display	01H
HOME	Posiciona cursor al inicio del LCD	03H
CURSOR	Muestra cursor con parpadeo	0FH
8 BITS	Selecciona interfaz de 8 bits	38H
RENGLON1	Selecciona escritura en el primer renglón	80H
RENGLON2	Selecciona escritura en el segundo renglón	C0H

5.4.3.3 Diseño esquemático del circuito del panel

Figura 24. Diseño esquemático del circuito del panel



5.4.3.4 Ubicación del panel remoto

El panel remoto estará ubicado según el criterio del usuario y dependiendo la ubicación de la cocina, solo tomaremos algunas consideraciones de uso y seguridad:

- El panel debe de estar al menos a 1.5 metros de distancia de la estufa o punto de combustión.
- El panel debe de estar en un lugar visible.

6. ANÁLISIS FINANCIERO

6.1 Presupuesto

Tabla XI. Presupuesto de obra civil

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Tanque cisterna 1200L	01	Q.1250.00	Q.1250.00
Tuvo PVC 10pulg	01	Q.345.00	Q.345.00
Block piedra	100	Q.2.75	Q.275.00
Cemento 3000psi (qq)	5	Q.60.00	Q.300.00
Arena de fundición (m ³)	2	Q.125	Q.250.00
Pegamento sellador (½gal)	1	Q.115.00	Q.115.00
Hierro original ¼pulg (qq)	1	Q.520.00	Q.520.00
Ducto de gas plástico (m)	15	Q.5.00	Q.75.00
TOTAL			Q.3130.00

Tabla XII. Presupuesto automatización electrónica

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
PIC 16F877A	1	Q.75.00	Q.75.00
Cristal	1	Q.19.00	Q.19.00
Sensor de temperatura	1	Q.83.00	Q.83.00
Sensor de nivel	1	Q.45.00	Q.45.00
Sensor de presión	1	Q.123.00	Q.123.00
DAC	1	Q.42.00	Q.42.00
ADC	1	Q.40.00	Q.40.00
Electroválvulas para gas	2	Q.275.00	Q.550.00
Panel remoto	1	Q.300.00	Q.300.00
Actuadores	-	-	-
TOTAL			Q.1277.00

Tabla XIII. Presupuesto mano de obra civil

Descripción	Total
Albañil durante 24 horas hábiles	Q.500.00
Ayudante de albañil durante 24 horas hábiles	Q.300.00
Total	Q.800.00

Tabla XIV. Presupuesto mano de obra electrónica

Descripción	Total
Ingeniero electrónico a cargo del proyecto	Q.1,500.00
Técnico electrónico desarrollador de hardware	Q.500.00
Total	Q.2,000.00

El costo total aproximado por biodigestor instalado es de **Q. 7,207.00**

Por motivos de inflación y fluctuación de costos, se asegura un monto de **Q. 1,000.00** destinado a imprevistos.

Sumando un total de **Q. 8,207.00** por biodigestor instalado.

6.2 Recuperación de inversión

Debido a las dimensiones del biodigestor a construir, suponiendo una alimentación de 12kg diarios de materia orgánica, obtendremos un aproximado equivalente en propano a 25psi (lb/pulg²) de presión al mes, distribuidas según el estado diario del biodigestor.

Éste cálculo respeta las dimensiones propuestas para el biodigestor, tratando de asemejarse al consumo medio.

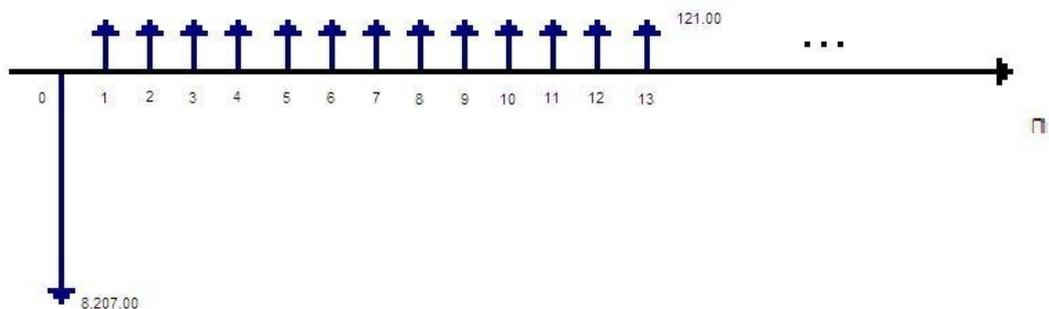
Tomando en cuenta todas las variables que influyen en el proceso y considerando que el consumo mensual de una familia promedio en propano es 25 libras, se puede estimar, que con todas las perdidas posibles y en el peor de los casos tengamos el 90% de biogás de lo anteriormente mencionado, con esto estamos proponiendo un ahorro de 90% en el presupuesto mensual destinado a gas.

Con una inversión inicial de Q.8207.00 y un precio de mercado de gas propano de Q.135.00, para un 90% equivale exactamente a Q.121.00, que es el importe del proyecto mensualmente.

Sin tomar en cuenta los ingresos generados por el abono producido y sobre estimando los costos de inversión, el capital se recupera en un aproximado de 5 años.

6.3 Diagrama de flujo de efectivo

Figura 25. Flujo de efectivo



CONCLUSIONES

1. La automatización utilizando electrónica por medio de microcontroladores brinda más herramientas para la programación, entre ellas recursos de temporización, análisis de variables, toma de decisiones y simulación, lo que lleva a pensar en nuevas alternativas con soluciones electrónicas en todos los campos de la ciencia.
2. Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar este en biogás y fertilizante, el uso de biodigestores es una forma de fomentar el uso energía renovable en Guatemala.
3. El sistema híbrido de utilización de gas consiste en aprovechar de una forma eficiente el gas metano, contando con una fuente adicional de gas propano de manera de no poner límites al consumo de gas, sin depender de un control manual. La automatización utilizando electrónica por medio de microcontroladores es más eficiente en uso de potencia que automatización eléctrica con PLC, lo que lleva a pensar en nuevas alternativas con soluciones electrónicas en todos los campos de la ciencia.
4. Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante, el uso de un biodigestor.

RECOMENDACIONES

1. A pesar que la energía renovable es salud para el planeta, es conveniente entrar en el proceso de reformar nuestras formas de consumo gradualmente, tomando en cuenta las opciones que nos brinda el mercado y haciendo uso del conocimiento en las finanzas para aprovechar este proyecto como una inversión recuperable.
2. La inversión inicial que requiere este proyecto depende mucho del criterio de elección y toma de dediciones del usuario, sin embargo, cabe recomendar la realización de un presupuesto antes de iniciar el proyecto.
3. En el área técnica, es necesario que el usuario tome en cuenta la capacidad que tiene su familia para alimentar el biodigestor, para determinar el tamaño del mismo.
4. La inversión en todo el sistema de gas no debe ser cuestionable, es decir, se debe elegir productos de buena calidad, debido al alto riesgo en el manejo de gas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Angulo Usategui, José María; Angulo Martínez, Ignacio. **Microcontroladores PIC: Diseño Práctico de Aplicaciones**. Editorial McGraw-Hill, 1999.
2. **Diseño y Construcción de Biodigestores**. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
3. Groppelli, Eduardo; Giampaoli, Orlando. **El camino a la Biodigestión**. Ediciones UNL, Proteger. Argentina 2005.
4. Mompín Poblet, José. **Transductores y Medidores Electrónicos**. Editorial Marcombo, 1983.
5. **Proteger**. Noviembre 2008
<http://www.proteger.org.ar/doc228.html>
6. Solari, Giannina. Proyecto de construcción de un sistema de digestión Batch de 10 m³ de capacidad para la producción de biogás utilizando los residuos vacunos del Fundo agropecuario de la Universidad Alas Peruanas. Trabajo de graduación Ing. Enrique Cabañas. Universidad Alas Peruanas. Facultad de Ingeniería , 2004.
7. **Technology Biogas Digest**. Information and Advisory Service on Appropriate.
8. Valdez Pérez, Fernando; Pallas Areny, Ramón. **Microcontroladores: Fundamentos y Aplicaciones con PIC**. Editorial Marcombo España 2007.
9. **Wordpress**. Noviembre 2008
<http://biodigestores.org/>

APÉNDICE 1

CRITERIOS PARA CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR

Los siguientes son los aspectos a tener en cuenta en el diseño, planificación y construcción de un biodigestor:

Factores humanos

- Idiosincrasia
- Necesidad, la cual puede ser sanitaria, energía y de fertilizantes.
- Recursos disponibles de tipo económicos, materiales de construcción, mano de obra, utilización del producto, área disponible.
- Disponibilidad de materia prima, si se cuentan con desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales.

Factores biológicos

- Enfermedades y plagas tanto humanas como pecuarias y agrícolas

Factores físicos

- Localización, la ubicación si es en zona urbana, rural o semi-urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud.
- Climáticos dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección.
- Vías de acceso.
- Topografía, teniendo en cuenta el declive del suelo, si es plano, ondulado, o quebrado.
- Suelos con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica.

Factores de construcción

- Técnicas de construcción si es de tierra compactada, cal y canto o ladrillo (barro cocido, suelo-cemento, sílico-calcáreo), planchas prefabricadas, ferrocemento, concreto, módulos prefabricados.

Factores utilitarios

- Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.
- Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.

- Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala domestica, para grupo familiar, comunitario o empresas.
- Capacidad, si es pequeño de 3 a 12m³/digestor; si es mediano de 12 a 45m³ digestor y si es grande de 45 a 100m³/ digestor.

APÉNDICE 2

DIFICULTADES TÉCNICAS DE LOS BIODIGESTORES

La construcción de biodigestores conlleva una serie de dificultades técnicas:

- El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo.
- Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 35°C. Esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.
- Es posible que, como subproducto, se obtenga H₂S, el cual es tóxico y corrosivo, dependiendo del sustrato de partida y de la presencia o no de bacterias sulfatorreductoras. La presencia de H₂S hace que se genere menos CH₄, disminuyendo la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de depurarlo.
- Necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor.
- Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles.

APÉNDICE 3

REQUERIMIENTOS BÁSICOS PARA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Conocimientos del ejecutor:

- Conceptos básicos sobre albañilería.
- Conocimiento avanzado sobre interpretación de diagramas electrónicos.
- Capacidad de diseño en circuito impreso.
- Capacidad de análisis financiero y de factibilidad.
- Amplio criterio en la toma de decisiones con el fin de adaptar el proyecto a su necesidad.
- Capacidad de innovación y resolución de problemas.

Capacidad financiera:

En el caso que el proyecto sea realizado en serie, es necesario realizar previamente todos los estudios de mercado actual y de factibilidad del proyecto en el área a realizarse.

En el análisis financiero se incluyen los datos necesarios para la implementación, estos datos son vigentes en el proceso de diseño de este trabajo de graduación.

APÉNDICE 4

CÓDIGO EJEMPLO REALIZADO EN MICROBASIC PARA PIC16F877A

Program biodigestor

```
Dim text as char[25]      'declaramos variables
Dim tempe as byte
Dim pres as byte

Main:

TRISB = $0                'declaramos puertos
TRISD = %00001111
TRISC = $FF

Inicio:                   'creamos un ciclo infinito
  Lcd_init(portB)         'inicializamos la LCD
  Lcd_cmd(Lcd_Cursor_OFF) 'apagamos el cursor
  Temp = >> PortC        'asignamos los 4 bits mas significativoS
  Presión =<< PortD       'asignamos los 4 bits menos significativos
  pH =<< PortC

  if tempe < 20 then      'consideramos el valor de temperatura
    portd.7 = 1           'este bit como salida para actuador temperatura
    lcdout(1,1, "Corrigiendo temperatura") 'imprimiendo
    delay_ms = 20000     'esperamos a corregir la variable
    portd.7 = 0          'apagamos el actuador
  End if

  if Pres < 18 then      'consideramos el valor de presión mínima
    portd.6 = 1          'comandando electroválvulas
    lcdout(1,1, "Fuente: metano") 'imprimiendo
  else portd.6 = 0       'comandando electroválvulas
    lcdout(1,1, "Fuente: propano") 'imprimiendo
  end if

goto inicio              'respetando el ciclo
end.
```