

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y
ELECTRICA**

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN DIGESTOR ANAEROBIO
TIPO HORIZONTAL**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

PRESENTA

ERNESTO ALVAREZ TOSTADO PÉREZ

JONATHAN ALVAREZ BARAJAS

ASESORES:

M. en C. GUSTAVO PACHECO VANDYCK

M. en C. NELLY MARIANA BAENA LOPEZ



MEXICO D.F. 2008

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ ADOLFO LOPEZ MATEOS”

T E M A D E T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
POR LA OPCION DE TITULACION
DEBERA(N) DESARROLLAR

INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
C. JONATHAN ALVAREZ BARAJAS
C. ERNESTO ALVAREZ TOSTADO PÉREZ

“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN DIGESTOR ANAEROBIO TIPO
HORIZONTAL”

REALIZAR UNA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN DIGESTOR ANAEROBIO DE
RESIDUOS ORGÁNICOS CON CAPACIDAD DE 2500 LITROS TIPO HORIZONTAL.

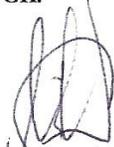
- INTRODUCCIÓN
- OBJETIVO
- JUSTIFICACIÓN
- MARCO TEORICO
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- DESARROLLO DE LA PROPUESTA
- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO A INSTALAR
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- GLOSARIO

MÉXICO D.F., 23 DE JUNIO DE 2008

A S E S O R E S


M. EN C. GUSTAVO PACHECO VAN DYCK.


M. EN C. NELLY MARIANA BEANA LÓPEZ.


ING. JOSÉ ÁNGEL MEJÍA DOMÍNGUEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO
DE INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN.

Agradecimientos:

A ella que me dio la vida:

Todo lo que fui, soy y seré es gracias a ti, estoy inmensamente agradecido con Dios y la vida de haber tenido la fortuna de tener te como mi Madre, eres mi fuerza y prometo hacerte sentir orgullosa.

Te amo mamá

A mí amiga fiel

Cuántas historias tenemos, chistes que sólo tú y yo entendemos, me apoyas todo el tiempo y me ubicas cuando lo necesito, eres mi amiga y mi hermana es una fortuna poder tenerte como tal.

Te amo hermana.

A mi corazón:

Todos esos ratos de paciencia, comprensión, por toda la ayuda que me brindas y el apoyo que me das, eres parte importante en mi vida.

Te amo bebe.

A mi cabecita blanca:

Gracias por todos los cuidados y consejos que me has dado eres mi ejemplo de fuerza y sabiduría.

Te amo abuelita.

A mi maestra:

Por todo el conocimiento, los jalones de oreja y por ser mi maestra, gracias, gran parte de esta tesis y el resultado es gracias a usted. Siempre la recordare.

M. en C. Nelly Mariana Baena López.

A mi maestro:

Consejos valiosos me ha dado que me han hecho crecer, gracias por todas las atenciones y el apoyo.

M. en C. Gustavo Pacheco Van Dyck

A mi recinto del saber:

Orgullo es lo que llena mi corazón al hablar de ti, me motiva saber que soy parte de tu historia y me obliga a poner más en alto tu nombre.

Instituto Politécnico Nacional

A todos mis pilares, mis apoyos y mi fuerza gracias. Mente corazón y fuerza

Ingeniero Ernesto Alvarez Tostado Pérez
Control y Automatización

Objetivo general

Realizar una propuesta de automatización de un digestor anaerobio de residuos orgánicos con capacidad de 2500 litros tipo horizontal.

Objetivos específicos

1. Detallar el funcionamiento del digestor anaerobio.
2. Establecer el diseño de un sistema automatizado para el control de la temperatura en el reactor.
3. Mejorar la ingeniería básica para la automatización propuesta del digestor anaerobio.
4. Realizar la ingeniería de detalle del digestor anaerobio.

Justificación

Actualmente existe un problema muy grande con los desechos orgánicos e inorgánicos generados por la actividad humana, ya que pocos de estos desechos son reutilizados.

Los tratamientos, en especial de los compuestos orgánicos, son muy importantes en beneficio de la ecología mundial. El proceso de descomposición de la materia orgánica es muy lenta y poco efectiva así como los gases que desprende son desagradable y dañinos a la atmósfera. Ante esta problemática existen actualmente procesos para el tratamiento de este tipo de desechos para que no resulten tan contaminantes como el solo emplear tiraderos al aire libre.

Un digestor anaerobio tiene como finalidad realizar un proceso de descomposición de materiales orgánicos para generar otros productos menos dañinos y que pueden ser utilizados para otros servicios. Los productos generados en una digestión anaerobia son gas metano y composta con muy buenas características.

De acuerdo con la importancia del digestor se propone automatizar todo el proceso desde la entrada de la materia orgánica pasando por el almacenamiento de esta, hasta la salida de la materia resultante del proceso de digestión, esto con el fin de que sea más sencillo el proceso para el hombre y sobre todo que sea autónomo.

INTRODUCCION

Desde principio de humanidad el hombre a tenido que lidiar con los desechos que el mismo genera, con el paso del tiempo, al incrementarse la población el problema se a ido agravando, sin embargo se han tomado acciones para corregir el problema, tal es el caso del almacenamiento, destrucción y reutilización de los desechos, siendo las mejores alternativas de aprovechar.

Según las crónicas de Bernal Díaz del Castillo en su libro "***Historia verdadera de la conquista de la Nueva España***" la antigua Tenochtitlán era una ciudad completamente limpia que asombró a los propios conquistadores, ya que contaba con un sistema de recolección y tratamiento de sus desechos muy eficiente, para los Aztecas la basura orgánica, era un elemento básico para la producción de alimentos [25].

Se relata en el libro de Bernal Díaz del Castillo, que el sistema recogía todos los desechos, tanto desperdicios agrícolas como de animales para posteriormente transformarlos en composta la cual se repartía entre los agricultores para que fertilizaran sus chinampas; la ciudad estaba ubicada sobre un gran lago y la agricultura se efectuaba por medio de chinampas, tal reutilización de recursos contribuyó a la creación de una de las ciudades antiguas más hermosas y limpias de esos días. Este es un muy buen ejemplo de los beneficios que tiene reutilizar los residuos inorgánicos y orgánicos. Históricamente, la primer solución planteado por los residuos sólidos ha sido el de eliminarlos.

La única solución que la sociedad propone a este problema es y ha sido bastante primitiva: quitárselos de la vista, arrojándolos afuera de las ciudades, u ocultar el problema enterrándolos. Este problema se fue agravando a través de los años, ya que en décadas pasadas la composición de los residuos sólidos municipales se ha modificado debido a la aplicación de diversos materiales (detergentes, limpiadores, material de empaque y una lista enorme de sustancias químicas) que se emplean para hacer la vida del ser humano más cómoda y llevadera.

En la actualidad existen técnicas especiales en materia de recolección, selección, procesamiento y disposición final de los residuos sólidos y representan un valor agregado, debido al trabajo de separación, acumulación y distribución que realizan los pepenadores, principalmente. Sin embargo hay que preocuparse ya que de un 100 % de la basura se aprovecha un 35 % y el restante 65 % se entierra en los rellenos sanitarios en el mejor de los caso, o bien se deposita en tiraderos a cielo abierto con el consecuente impacto ambiental que esto ocasiona [11].

Por esta razón se propone hacer uso de una forma mas ecológica de disponer los residuos orgánicos con la ayuda de un digestor anaerobio que se encuentra instalado y que como ingenieros en control y automatización se realizara una propuesta de automatización de este proceso, que a lo largo de esta tesis se desarrollara.

En el capítulo uno hablaremos de la situación actual del problema de los desechos orgánicos a nivel nacional así como las maneras que son tratados, haciendo un comparativo entre cada una de ellas con el fin de observar y evaluar las ventajas que el tratamiento anaerobio presentar.

En el capítulo dos se explica el sistema de digestión anaerobio que se encuentra instalado y con el cual se va a trabajar para realizar la propuesta de automatización, también se hablará de las necesidades y consideraciones para realizar dicha propuesta.

En el capítulo tres abarca lo correspondiente a la propuesta de automatización del digestor a estudio, y se podrá ver la selección del equipo, características y comparativo entre los equipos contemplados a instalar.

Para concluir en el capítulo cuatro se realiza un análisis económico con el fin de evaluar la viabilidad de la propuesta contemplando los ingresos potenciales producto de los residuos de la digestión.

CAPITULO 1 MARCO TEORICO	1
1.1. Problemas que traen los residuos organicos	1
1.1.2 Situación actual en México.....	1
1.2 Métodos de tratamiento y/o disposición de residuos orgánicos	2
1.2.1. Relleno sanitario.....	2
1.2.2 Incineración.....	4
1.2.3 Tratamiento bacteriológico	5
1.3 Clasificación de los tratamientos biológicos:	6
1.3.1 El proceso aerobio	6
1.3.2 Proceso de digestión anaeróbica	6
1.4 Tipos de digestores.....	8
1.4.1 Digestores por lote.....	9
1.4.2 Digestores semi-continuos.....	10
1.4.3 Digestores de alimentación continua.....	10
1.4.3.1 Principios, operación y características de los digestores.....	13
1.5 Ejemplo de construcción de un biodigestor anaeróbico	13
1.6 Componentes del proceso de digestión anaerobia	15
1.6.1 El digestor	15
1.6.2 Biogás generado.....	16
1.7 Automatización	17
1.7.1 Panorama de la automatización.....	17
1.7.2 Sistemas de automatización	19
1.7.3 Automatización en procesos contaminantes	19
1.7.4 Elementos de una instalación automatizada.....	20
1.8 Ingeniería básica.....	21
1.9 Ingeniería de detalle	22
CAPITULO 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
2.1 El problema de la basura	24
2.2 Producción de residuos.....	25
2.3 Disposición de los residuos	25
2.4 Proceso de digestión anaerobio	26
2.5 Digestor anaerobio a estudio	27
2.5.1 Balance de materia.....	30
2.5.2 Características del digestor anaerobio	29
2.5.2.1 Hermeticidad absoluta	29
2.5.2.2 Evitar la acumulación de natas y lodos	29

2.6 Descripción general del proceso a utilizar	33
2.7 Problema del digestor	36
CAPITULO 3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN	37
3.1 Aspectos a considerar para realizar la automatización del digestor anaerobio horizontal	37
3.1.1 Extracción de fangos	38
3.1.10 Mezclado de la materia orgánica	40
3.1.10.1 Mezclado por gas	40
3.1.10.2 Mezclado mecánico	41
3.1.2 Válvulas de seguridad	38
3.1.3 Equipo de medición	38
3.1.4 Pérdidas de calor y aislamiento térmico	38
3.1.5 Válvulas de seguridad en contenedor del biogás	38
3.1.6 Forma de calentamiento de tanque	38
3.1.7.1 Sulfuro de hidrógeno (SH₂)	39
3.1.7.2 Humedad del biogás	39
3.1.8 Almacenamiento y descarga	39
3.1.9 Uso de gas para calentamiento	40
3.2 Sistema de Gas	42
3.2.1 Cúpula de Gas	42
3.2.2 Válvulas de seguridad y rompedora de vacío	43
3.2.3 Apagallamas	43
3.2.4 Medidores de Gas	43
3.2.5 Almacenamiento del Gas	44
3.3 Equipo considerado a instalar	44
3.3.1 Sistema entrada de la materia orgánica a digerir	44
3.3.2 Sistema de gas	46
3.3.3 Sistema de calentamiento de la materia en el digestor	48
3.3.4 Sistema de desalojo de desechos orgánicos digeridos	52
3.3.5 Lista del equipo instalado y propuesto para el proceso	54
3.3.6 DTI del Proceso de digestión anaerobia propuesto	56
3.3.7 Lógica de control en el PLC	57
CAPITULO 4 DESCRICION DEL EQUIPO A INSTALAR	58
4.1 Sensor de flujo o caudal	58
4.2 Switch de Nivel 1	59
4.3 Switch de Nivel 2	60
4.4 Sensor de Presión	60
4.5 Selección de válvulas	61
4.5.1 Válvula 1 (V1)	61

4.5.2 Válvula 2 (V2)	62
4.5.3 Válvula 3 (V3)	63
4.5.4 Válvula 4 (V4)	63
4.5.5 Válvula 5 (V5) y válvula 6 (V6)	64
4.5.6 Válvula 7 (V7)	64
4.5.7 Válvula 8 (V8)	65
4.5.8 Válvula 9 (V9)	65
4.5.9 Válvula 10 (V10)	65
4.6 Selección de filtros	66
4.7 Selección de tanques de almacenamiento	67
4.8 Selección de Bomba de Agua	68
4.9 Selección del controlador	70
4.10 Sensor de temperatura	72
4.11 Selección del variador de frecuencia:	73
4.12 Selección del calentador	73
4.12.1 Propuesta 1	78
4.12.2 Propuesta 2	78
4.13 Equipo del sistema de gas	79
4.13.1 Selección del compresor	80
4.13.2 Selección del tanque de almacenamiento de gas	81
4.14 Descripción general del equipo y costo	83
4.15 Análisis de costos	87
Anexo 1	94
Anexo 2	97
Anexo 3	100
Anexo 4	104
Anexo 5	107
Anexo 6	109
Anexo 7	112
Anexo 8	115
Anexo 9	118
Bibliografía	124
Glosario	126

CAPITULO 1

MARCO TEORICO

1.1 Problemas que traen los residuos orgánicos

Cuando la basura se acumula en tiraderos al aire libre o en rellenos sanitarios con poco control, se presentan diversos problemas entre los que se destacan los siguientes: [12]

- 1. Proliferación de insectos.*
- 2. Proliferación de roedores.*
- 3. Malos olores.*
- 4. Gérmenes patógenos.*
- 5. Incendios y contaminación del aire.*

Al descomponerse la basura se eleva la temperatura entre 40 y 60 °C y como se produce gas metano, resulta muy alta la probabilidad de incendios prologados ocasionados por la lenta combustión de la basura.

- 6. Contaminación de las aguas subterráneas.*

Los tiraderos ocasionan la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, ya que por falta de planeación muchos se ubican en las orillas de arroyos, ríos y lagunas.

- 7. Contaminación del suelo.*

Normalmente el tiradero ocupa una extensión de suelo mucho mayor que la que le correspondería a un relleno sanitario. Al quedar toda el área cubierta por desechos, algunos son de lenta degradación, se daña el suelo debido a la infiltración de los lixiviados, ya que las capas del suelo actúan como atenuadores de los contaminantes impregnándose de ellos.

Recientes estudios sobre la producción de lixiviados en vertederos controlados de diferentes profundidades demostraron que a mayor profundidad del vertedero menor es la amenaza a la calidad de las aguas subterráneas, porque el lixiviado logra infiltrarse a más baja velocidad y el suelo tiene entonces mayor capacidad para absorber la contaminación. Por consiguiente es necesario hacer un énfasis en que una mala disposición de los residuos orgánicos trae muchas consecuencias ecológicas, de salud y espacio, por tales motivos es necesario tener un tratamiento para los desechos orgánicos que limite las acciones nocivas de este tipo de residuo, todo esto encaminado a tener mejor calidad de vida al igual que ecología.

1.1.2 Situación actual en México

En México se generan grandes cantidades de basura, que al no darles un manejo adecuado, ocasionan múltiples problemas tanto a la salud de los que la habitan como al medio ambiente. Entre los más importantes son: la contaminación de los mantos freáticos debido a la filtración, generación

de malos olores, proliferación de fauna nociva, así como la generación de polvos que son acarreados por el aire junto con gérmenes patógenos.

Se calcula que actualmente se producen alrededor de 18'389,491 toneladas diarias de desperdicio (orgánico e inorgánico) en México, esto es 1.214 Kg de basura por habitante de los cuales alrededor del 50 % del material que contiene la basura es susceptible de ser degradado biológicamente y de esta forma se podrían aprovechar, disminuyendo en gran medida el volumen de basura que es depositado en los rellenos sanitarios y obteniendo un producto útil. De acuerdo a estos datos, la cantidad de basura que se dispone en rellenos sanitarios es muy grande.

La tabla 1.1 muestra el estudio realizado por el Instituto Nacional de Ecología. Tomando como base de cálculo 118 ciudades del análisis, en ella se detalla para cada región la carga contaminante que aportan al medio ambiente, en toneladas por año. (Véase Anexo A) 15].

Tabla 1.1 Estudio realizado por el Instituto Nacional de Ecología en el año 2003

Localidades	Población 2003	Generación Total 2003 (ton/año)	Generación <i>per</i> <i>capita</i> 2003 (Kg./hab./día)
Monterrey	1,232,390	572,651	1,273
D. F.	9'693,394	4'767,366	1,347
Guadalajara	1'863,390	707,941	1,041
Gran total	51'375,537	18'389,491	1,214

1.2 MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y/O DISPOSICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Excluyendo la recuperación, algunos otros métodos generales de tratamiento de residuos para una ciudad son: [10-11]

- Relleno sanitario.
- Incineración.
- Tratamiento bacteriológico.

1.2.1. Relleno sanitario

Las operaciones de los vertederos sanitarios se realizan, depositando los residuos en una depresión, zanja natural o artificial o bien vertiéndolos en un terreno a nivel del suelo, comprimiéndolos hasta el menor volumen posible y cubriéndolos de tierra u otro material y apisonándolo de forma sistemática e higiénica.

Los rellenos sanitarios son instalaciones en las que se aplican una serie de medidas para disminuir los efectos contaminantes de la concentración de desperdicios: selección de terrenos con suelo de baja filtración, protección del suelo con material impermeabilizante, recubrimiento cotidiano con tierra sobre capa de desperdicios, instalación de tubos para salida de gases, captación de lixiviados, y control de animales nocivos. [2]

Los espacios con los que cuenta para la disposición de los residuos sólidos el D.F. es el Relleno Sanitario Bordo Poniente y este es el único relleno en operación en el Distrito Federal. [24] El Distrito Federal no cuenta con terrenos adecuados para la instalación de nuevos rellenos sanitarios. En las áreas rurales del sur de la ciudad no se pueden instalar rellenos pues son zonas de recarga del acuífero. La identificación de nuevos espacios constituye un serio problema para los gobiernos.

En la figura 1.1 obtenida del INEGI se presenta la disposición final de los desechos en un relleno sanitario y los problemas que este acarrea [16].

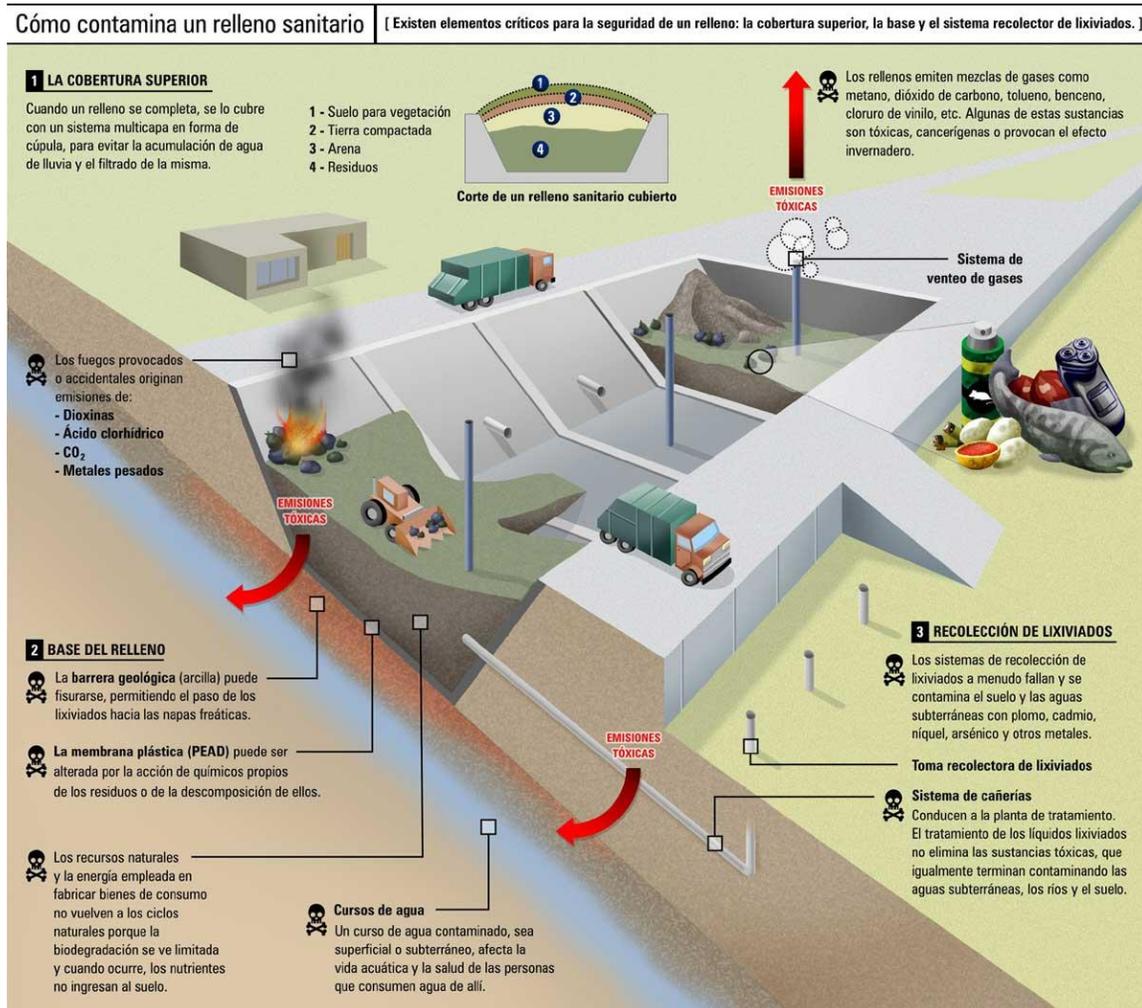


Figura 1.1 Se muestra se forma un relleno sanitario, y la contaminación que estos provocan.

Como se ha mencionado anteriormente éste un problema grave en cuanto a la disposición de la basura, así como la reutilización de la misma, cabe señalar que los espacios destinados a la disposición de basura escasean y si no son perfectamente controlados presentan un peligro grave al medio ambiente ya que contamina los mantos acuíferos, si los lixiviados se trasminan, otro factor es el viento que vuela las bacterias y contamina el aire provocando un foco de infección y a su vez atrae animales.

Los rellenos bien proyectados y ejecutados ofrecen varias ventajas: son económicos y flexibles; exigen una inversión de capital relativamente pequeña; pueden volver cultivables tierras de otro modo desaprovechadas; admiten la mayoría de las clases de residuos sólidos sin discriminación; hacen posibles economías en los sistemas de recogida; no producen prácticamente ninguna contaminación del aire, y permiten una eliminación final y completa de los residuos. Sin embargo, el vertido de residuos supone un volumen bastante grande y por consiguiente, presenta unas necesidades agotadoras de terrenos, sobre todo si se tiene en cuenta que el número de terrenos disponible en cualquier comunidad es fijo. Además, las distancias a las que hay que transportar los residuos, son grandes en comparación con otros métodos, y es fácil que se originen graves problemas operativos por inclemencias atmosféricas y también de relaciones públicas al obtener los derechos para utilizar terrenos como vertederos y satisfacer las continuas necesidades de espacio para los vertidos.

1.2.2 Incineración

En las instalaciones de incineración centralizada, que pueden ser de propiedad pública o particular, se reducen a cenizas los residuos quemándolos a temperaturas elevadas. Los residuos se vierten sobre una superficie de carga o en las instalaciones modernas en un pozo de almacenamiento, después se cargan en los hornos donde se queman bajo un cuidadoso control de chimenea, temperaturas y condiciones de agitación para asegurar que la combustión sea lo más completa posible. El calor se puede recuperar también mediante la generación de vapor, con algunas ventajas económicas que sufraguen parte de los gastos. [11]

Entre las ventajas de la incineración se incluyen: la reducción de las necesidades de terrenos para la eliminación final, una instalación relativamente pequeña y que las operaciones se realizan bajo techado, todo lo cual permite situar la instalación estratégicamente para reducir al mínimo los gastos de recogida y producir un residuo de cenizas que se pueda usar como material de relleno. La incineración debe considerarse como un proceso útil para reducir el volumen de los desechos considerados basuras pero genera contaminación atmosférica.

1.2.3 Tratamiento bacteriológico

El tratamiento bacteriológico se define a veces como la descomposición rápida, pero incompleta, de materia orgánica sólida y húmeda (en este caso esencialmente desperdicios de frutas, verduras y basuras generadas en la cocina de los hogares) mediante el empleo de microorganismos aerobios o anaerobios en condiciones controladas. El resultado es un material higiénico que no produce molestias, que se puede utilizar como abono. [3]

Las ventajas son varias: el producto final tiene algún valor y puede venderse, lo que supone unos ingresos económicos suplementarios para el municipio. El terreno para la instalación puede ser relativamente reducido, lo que, unido a la ausencia teórica de molestias, debe permitir situarlo ventajosamente con respecto al sistema municipal de recogida. La idea de recuperar algo de valor a partir de un problema de residuos resulta atrayente para muchas personas, especialmente para las que ocupen el abono en la conservación de la fertilidad natural del suelo. Sin embargo los mejores métodos de tratamiento de residuos para una ciudad implican factores muy importantes, los cuales se tienen que considerar y contestar un número de preguntas antes de tomar una decisión. Algunas de estas preguntas se observan en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Cuadro comparativo de métodos de disposición de residuos [11].

PREGUNTA ACERCA DEL TRATAMIENTO	TIPO DE TRATAMIENTO		
	RELLENO SANITARIO	INCINERACION	TRATAMEINTO BACTERIOLOGICO
VIABILIDAD TÉCNICA	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
CONDICIONES LOCALES	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	ACEPTABLE
SALUD PÚBLICA	POCO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	ACEPTABLE
COSTOS	POCO ACEPTABLE	POCO ACEPTABLE	ACEPTABLE
ACEPTACION PÚBLICA	POCO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	ACEPTABLE

La evaluación cualitativa que se muestra en esta, son conceptos completamente relativos y se usan para hacer una comparación burda entre los métodos de disposición de residuos.

Debido al aumento desmesurado de la población en las grandes urbes, se ha incrementado la producción de basura, la cual sobrepasa las instalaciones ya establecidas y en las que se tienen como principal opción el relleno sanitario, ésta es una solución parcial de tratamiento, ya que no cumple totalmente las necesidades de eliminación de los residuos, debido a esto, se ha fijado como a una alternativa más viable el tratamiento bacteriológico, ya que este tratamiento solucionaría ampliamente este problema, porque se atacaría desde el momento en el que se genera el desperdicio, por tal motivo nuestra atención a sido fijada a este tipo de tratamiento.

1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

A grandes rasgos el tratamiento biológico se puede clasificar en 2

- Proceso de digestión anaerobio
- Proceso de digestión aerobio

En este trabajo se seleccionó el uso de un biodigestor anaerobio que como se verá a continuación presenta mejores características para el tratamiento de los residuos orgánicos, esto en cuestión a tiempo de almacenamiento y digestión y también referente a productos nuevos generados, ya que en este tipo de digestor se crea gas metano y un efluente alcalino rico en nutrientes y materia orgánica (composta) y en el digestor aerobio solo este ultimo (composta). A continuación se detalla los dos procesos biológicos de manera general.

1.3.1 Digestión aerobia

Se realiza en presencia de oxígeno y siendo ésta su característica principal. Este proceso se realiza en recipientes que impiden que los líquidos contaminen el suelo. Los contenedores tienen un sistema de soplado de aire que mantiene oxigenadas las pilas de basura, condición imprescindible para su degradación, y bombas de agua que mantienen adecuados los niveles de humedad y temperatura.

Este proceso tarda unos tres meses, durante los cuales los microorganismos van transformando la materia orgánica en un compuesto degradado que se asemeja a la tierra negra que se vende en los viveros como abono. Durante este tiempo la basura habrá disminuido su volumen en un 50 por ciento. En este proceso se obtiene: un compuesto útil como abono. Se reduce el volumen del material tratado y se aprovechan recursos antes desperdiciados [5].

1.3.2 Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso de fermentación natural, conocido por el hombre desde tiempo atrás, pero poco utilizado, especialmente en América Latina. Ocurre en ausencia de oxígeno

(sin aire) al interior de un biodigestor, aparato que facilita el crecimiento y la proliferación de un grupo de bacterias anaerobias metanogénicas, que descomponen y tratan los residuos dejando como resultado final, un gas combustible conocido como Biogás o gas Metano (CH_4) y Dióxido de Carbono (CO_2), además de un efluente líquido alcalino rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada (composta) [6].

Para que el proceso tenga lugar es necesaria la intervención de distintos grupos de microorganismos capaces de transformar la materia orgánica en compuestos intermedios, principalmente ácido acético, anhídrido carbónico e hidrógeno, utilizables por los microorganismos metanógenos que concluyen el proceso produciendo el metano. La característica principal de este proceso es el tiempo que tarda en aportar el biogás y la composta que es alrededor de 18 a 21 días. El porcentaje de metano en el biogás varía desde un mínimo de un 50% hasta un 80% aproximadamente debido a los siguientes parámetros

- Temperatura entre los 20°C y los 60°C , (35 en termofilico y 65 mesofilico)
- pH (nivel de acidez / alcalinidad) alrededor de 7.
- Gran nivel de humedad.
- Características de la materia orgánica.
- Trozos pequeños de materia orgánica.
- Equilibrio de Carbono / nitrógeno.

El biogás puede utilizarse en aplicaciones tan diversas como: calefacción por combustión en calderas de vapor, generadores eléctricos, combustible de motores, entre otras. Ya en 1884, Pasteur investigó sobre la producción de gas a partir de residuos animales, proponiendo su utilización para la iluminación de las calles. Una alternativa de futuro para obtener energía de fuentes renovables es transformar la basura generada en nuestros hogares en biogás.

Diversos estudios sobre descomposición concuerdan en que los principales gases presentes en un relleno sanitario son el hidrógeno (H_2), oxígeno (O_2), nitrógenos (N_2), metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). También se detectaron trazas de ácido sulfhídrico (H_2S) y, en los casos en que el pH es altamente alcalino, se descubrió la presencia de amoníaco (NH_3). La compactación es un parámetro importante en la cantidad y composición de gases producidos; a mayor compactación se obtiene más gas por unidad de volumen de sólidos. [1]

FERMENTACIÓN DEL METANO

La fermentación o digestión metánica es la descomposición bacteriana de materia orgánica en la ausencia de aire, produciendo una mezcla gaseosa, denominada biogás, con un 50 a 70 % de metano, un 30 a 45 % de dióxido de carbono, de 0,5 a 3 % de nitrógeno, 1 % de hidrógeno, 1 % de

oxígeno y vestigios de anhídrido sulfuroso y de otros gases. Como la conversión enzimática se produce en un estricto proceso anaeróbico, se considera frecuentemente la fermentación metánica como sinónimo de fermentación anaeróbica. El sedimento o lodo que queda al extraer el biogás, retiene eficientemente nitrógeno presente en la biomasa, generando un excelente fertilizante sin olor para cultivos agrícolas. [15]

La conversión biológica de la materia orgánica de los lodos se produce en tres etapas.

1. Hidrólisis: El primer paso del proceso comporta la transformación por vía enzimática de los compuestos de alto peso molecular en compuestos que puedan servir como fuentes de energía y de carbono celular.

2. Acidogénesis: implica la conversión bacteriana de los compuestos producidos en la primera etapa en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular.

3. Metanogénesis: supone la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales más simples, principalmente metano y dióxido de carbono.

En un digestor, la conversión de los lodos orgánicos y de los residuos se lleva a cabo mediante la acción conjunta de diferentes organismos anaerobios. Un grupo de microorganismos se ocupa de la hidrolización de los polímeros orgánicos y de los lípidos para formar elementos estructurales básicos como los monosacáridos, los aminoácidos y los compuestos relacionados con éstos. Un segundo grupo de bacterias anaerobias fermenta los productos de la descomposición para producir ácidos orgánicos simples, de los que el que se presenta con mayor frecuencia en los digestores orgánicos es el ácido acético. Este grupo de microorganismos, que reciben el nombre de no metanogénicos, está formado por bacterias facultativas y anaerobias estrictas, aunque de forma colectiva se conocen como bacterias “formadoras de ácidos”.

Entre las bacterias no metanogénicas que se ha podido aislar en los digestores se encuentran: *Clostridium* spp, *Peptococcus* anoerobus, *Corynebacterium* spp, *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphilococcus*, y *Escherichia coli*. Otros grupos fisiológicos presentes incluyen los que producen enzimas proteolíticas, lipolíticas, ureolíticas o celulíticas.

Un tercer grupo de microorganismos convierte el hidrógeno y el ácido acético, originado por las bacterias formadoras de ácidos, en gas metano y en dióxido de carbono. Las bacterias responsables de este proceso son anaerobias estrictas y se las conoce como “metanogénicas” o “formadoras de metano” [19].

1.4 TIPOS DE DIGESTORES

Según su modo de operación, se clasifican en:

- Por lotes o “batch”

- Régimen Semi Continuo
- Horizontales (flujo tapón)
- Régimen continuo

1.4.1 Digestores por lote

En un digestor por lotes, se pone inicialmente una carga completa de materias primas (lechada), se sella y se deja que se fermente, en tanto que se produzca gas. Cuando la producción de gas se haya terminado, se vacía el digestor y se vuelve a llenar con un nuevo lote de materias primas. Este tipo de digestores es recomendado donde la disponibilidad de materias primas es esporádica o se limita a desechos que se pueden retirar de manera conveniente cuando son recargados, además tiene la ventaja de que se requiere poca atención diaria [4].

Sin embargo, necesita gran cantidad de energía para recargarlos y descargarlos además la producción de gas y sedimentos tiene a ser esporádica. Este problema se puede resolver construyendo varios digestores, conectados al mismo depósito de almacenamiento de gas. De este modo, los digestores individuales se pueden llenar en secuencia escalonada, para asegurar un suministro relativamente constante de gas. El principio de carga de este modelo es simple, la materia prima es colocada en el tambor exterior, para ponerla en contacto con el concebido del reactor. El tambor interno se empuja hacia abajo en la muestra con una línea de gas que elimina aire, cuando el digestor empieza a trabajar el tambor interno se fuerza hacia arriba y ello proporciona indicación visual de generación de gas.

Las desventajas son la cantidad de gas utilizable es relativamente pequeña al primer tambor de gas que debe dar salida a la atmósfera, ya que usualmente contiene aire que forma una mezcla explosiva con metano en proporciones de 1:4 y 1:14. Los rendimientos iniciales de gas, pueden ser altos en dióxido de carbono. Este modelo es complejo y si se desea retirar alguno de los volúmenes y reemplazarlos por una cantidad de muestra fresca se debe quitar el tambor interno. El tiempo de procesamiento es alto y el funcionamiento es desorganizado y la operación es deficiente. Por otro lado, el sistema es útil para la experimentación preliminar y para obtener las bacterias generadas de metano.

El número de áreas para la explotación de este método es grande por lo tanto lo hace un proceso económicamente viable. En Estados Unidos existen alrededor de 13,000 a 20,000 basureros, los cuales seguramente no producirán metano pero se estima que varios basureros tienen el potencial requerido para hacer el proceso rentable. Si una compañía estuviera en el negocio de la extracción del dicho gas de tales sitios, podría utilizarse este de cuatro maneras.

1. Utilización de gas de bajo poder calorífico para la generación del vapor o electricidad por medio de la maquinaria adecuada.
2. Suministro de gas parcialmente tratado a clientes industriales (ambas aplicaciones podrían estar sujetas a la jurisdicción de comisiones estatales, el tendido y mantenimiento de tuberías y equipo asociado podría ser costoso y problemático).
3. Purificar el gas e inyectarlo a la tubería de distribución de una compañía cercana que distribuya dicho combustible para diferentes usos.
4. Procesar el gas obtenido a metanol o a gas natural licuado.

1.4.2 Digestores semi-continuos

Este tipo de digestor es el más usado en el medio rural. Su carga se realiza cotidianamente e intermitente, por lo cual la producción de biogás y de biocarbono es relativamente continua. Los diseños más representativos y populares son el hindú y el chino [17].

En el caso de estos digestores, se adiciona al digestor un cantidad pequeña de materias primas por cada día; de este modo el índice de producción, tanto de gas como de sedimentos es continuo y digno de confianza. Este tipo de digestores son especialmente eficientes cuando las materias primas consisten en un suministro similar regular de desechos fácilmente digeribles, procedentes de fuentes tales como, estiércol de animales, plantas marinas, vegetación fluvial o algas de estanques.

En este tipo de operación los lodos añejos proporcionan;

2. Los organismos de siembra para los lodos entrantes.
3. La capacidad de amortiguamiento necesaria para que los ácidos orgánicos disminuyan el pH de los lodos en digestión a niveles desfavorables.

También se convierte en una operación uniforme en la que los sólidos entrantes se dispersan rápida y uniformemente en los lodos bajo digestión y que no existen diferenciación ni vertical, ni horizontal entre los lodos viejos y los lodos nuevos.

1.4.3 Digestores de alimentación continúa

Son usados muy raramente y solamente cuando la producción de los desechos es muy grande y en forma continúa. Como el nombre lo indica, de este tipo de fermentador requiere que la alimentación al tanque se lleva a cabo en intervalos regulares. En teoría la alimentación debería ser continua para tener una mayor eficiencia, pero por razones prácticas, los reactores normalmente se alimentan intermitentemente, probablemente el periodo más común sea una vez por día.

Para lograr condiciones de equilibrio, los digestores deben ser vaciados regularmente, los arreglos más simples utilizan la alimentación por gravedad y las velocidades de flujo se determinan por el tipo de bombas y el equipo utilizado. Las plantas de digestión de este tipo más conocidas son las que utilizan estiércol de vaca. El Instituto de investigación agrícola de la india ha trabajado en este campo desde los años treinta produciendo su primer diseño en 1939. El modelo es del tipo de desplazamiento vertical, donde el estiércol se mezcla en una proporción de 4:5 e introducido en una línea de entrada (normalmente a intervalos diarios) al digestor [9].

Esto, a su vez, transporta la mezcla a una cama secante los tamaños y construcción varían, pero normalmente el fermentador es un hoyo cilíndrico de ladrillo entre 3.5 y 6 m de profundidad y con diámetros que varían entre 1.6 y 6 m. En la línea de salida se obtendrá alrededor de 3 m³ de biogás por día de los cuales al 55% en volumen es metano, que es suficiente para satisfacer las necesidades más inmediatas de una familia en cualquier parte del mundo. El contenedor de gas tiene la capacidad de almacenar de 50 al 100% de la producción de gas diaria y un tiempo de retención de 50 días. Bajo condiciones de -15 °C como sucede en el quinto mes del periodo de invierno en Corea, la producción de gas es baja e incluso puede cesar por completo. Por ello para mejorar la generación de gas, el digestor se aísla con una capa de carcasa de arroz, que mantiene la temperatura a 8 °C con una temperatura externa de -12 °C. También se coloca una capa de aislante de un metro de altura, a base de vinilo, para mantener el proceso 15 °C, cumpliéndose estas circunstancias si se produce gas.

Un esfuerzo temprano para mejorar la eficacia de digestores es el tanque Imhoff. [1] Este fue diseñado y desarrollado por Imhoff con doble propósito: Servir como un tanque de almacenamiento y como un digestor anaerobio. La materia cruda se coloca en el centro, los sólidos pesados se depositan en el fondo, y como, la parte anaeróbica se encuentra en la parte inferior, el resto hace estratos en la parte superior.

Este tipo de modelo opera mejor si a la carga se le reduce el volumen de materia orgánica, con tiempos de retención de 50 o 60 días o más. Si se aumenta la cantidad de materia orgánica se producen grandes materias de espuma debido a la baja de sólidos suspendidos y la alta demanda de oxígeno biológico. Esta estratificación también causa dificultades de uniformidad de temperatura, actividad microbiana desigual, el contacto limitado entre la carga y organismos. El equilibrio entre el metano generado y ácido formado por bacteria es delicado, por tanto requiere de atención.

Los tanques sépticos son pequeños digestores anaeróbicos que fueron diseñados para tratar con las muestras de las residencias individuales. Hay probablemente más de 4 millones de unidades disponibles en los Estados Unidos. Los tanques sépticos también son usados por escuelas apartadas, instituciones, fábricas y los edificios. Este servicio particular es para 300 personas

aproximadamente. No están diseñados para producir metano pero si para hacer los desechos inofensivos. El prototipo más simple normalmente es una sola cámara rectangular de la que permite una profundidad líquida aproximadamente 2 m y que es cerca de tres veces más larga que ancha. Para las poblaciones debajo de 30 personas, es preferible usar dos tanques en serie, que puede ser logrado construyendo dos cámaras separadas o dividiendo uno solo. La primera cámara debe tener una capacidad de aproximadamente dos tercios del total.

El lodo debe quitarse a los intervalos regulares, por ejemplo, cada 6 meses, aunque en muchas aplicaciones las unidades no se reparan hasta que el sistema da problemas debido a que se atasca. Las compañías de basurero comerciales sirven para este propósito en la mayoría de las áreas, y los volúmenes de los tanques sépticos son transportados por camiones a una planta del tratamiento. Sin embargo si esto no es posible el lodo puede descargarse en una albufera o Zanja. El residuo del lodo se seca y puede usarse como composta. El efluente de estos tanques sépticos requerirá tratamiento, esto puede ser logrado usando un filtro biológico que normalmente consiste en una cámara redonda o rectangular de escoria o arena gruesa de aproximadamente de 2 m de profundidad, a través del cual el efluente puede ser colado.

El uso del digestor continuo a continuación (Figura 1.2) contribuye a la capacidad de producción y mejora del ambiente de trabajo reduciendo los compuestos orgánicos volátiles. Esta tecnología también es adecuada para optimizar el digestor y para el uso de coníferas como materia prima.

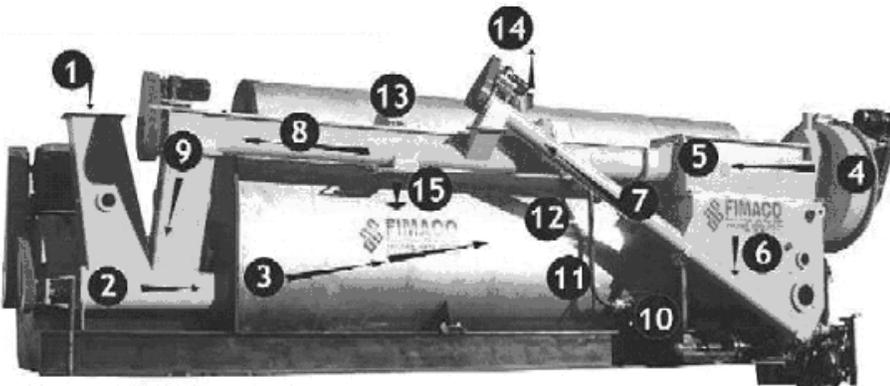


Figura 1.2 Partes de un digestor de alimentación continua

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Salida de sólidos a prensa | 9. Transporte Retorno |
| 2. Entrada de materia prima | 10. Recirculación Sólidos |
| 3. Alimentador | 11. Bomba Lodos |
| 4. Proceso | 12. Salida Lodos |
| 5. Rueda de control | 13. Recirculación lodos |
| 6. Drenador | 14. Domo Vapor |
| 7. Sedimentador | 15. Salida de gas |
| 8. Extractor de Polvillo | |

1.4.3.1 Principios, operación y características de los digestores

El proceso de digestión se da cuando se produce lodos y químicos de procesamiento en el digestor para separar la lignina, que es un componente innecesario contenido en el lodo. El digestor continuo se desarrolló para mejorar la gran descarga de compuestos orgánicos volátiles en el líquido de desecho (licor negro) generado después de la digestión en el digestor por lotes convencional. Un ahorro energético substancial se logró como resultado del desarrollo de un proceso de tratamiento de gran capacidad con un sistema de recuperación de calor en el proceso de digestión continua.

El digestor continuo se desarrolló para lidiar con la optimización del digestor y el uso de coníferas (material de difícil combustión) como materia prima. Hay tres tipos principales:[13]

- A) Digestor de cocción continua modificada (MCC por sus siglas en inglés, un proceso de cocción continua contra corriente). La cocción se realiza con carga dispersa de licor blanco (químicos de cocción) en las zonas media y baja del digestor para lograr un flujo a contracorriente con el flujo de materia prima.
- B) Digestor de cocción continúa isotermal (ICC). La cocción se realiza uniformemente alcanzando la temperatura en la zona de lavado al fondo del digestor MCC para mantener las condiciones isotérmicas en el digestor.
- C) Digestor de cocción continúa de baja fricción sólida: Digestor con concentración de lignina disuelta reducida en la segunda mitad de la cocción y concentración total de alcalina reducida, logrando un aumento selectivo que mejora el método de digestión alto en sulfuro en la etapa inicial de cocción. Hay muchos ejemplos de aplicación de este sistema en plantas de producción de lodos a gran escala. Sin embargo, la aplicación en plantas de pequeña escala es difícil.

1.5 CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO

A continuación se presentan las fotografías correspondientes a la construcción de un biodigestor anaerobio .Las imágenes de la construcción del digestor se presentan a continuación [20].



Figura 1.3 La estructura de enmallado se coloca en la fosa previamente preparada.



Figura 1.4 Se agrega cemento para hacer la forma cilíndrica en el enmallado.



1.5 Tubo de salida de gas.



1.6 Colocación de los tubos de salida de lodos y fase líquida en la parte superior y entrada de materia prima.



1.7 Vista al interior del biodigestor terminado.



1.8 Se inocula el digestor una primera carretilla llena de estiércol fresco de vaca.



1.9 Colocación de tapa.



1.10 Digestor listo para cargar con materia.

1.6 REQUERIMIENTOS EN LA INSTALACIÓN DE UN DIGESTOR ANAEROBIO

Son todos aquellos que se requieren para instalar un digestor anaerobio, los cuales son muy importantes puesto que protegerán la instalación, ya que se genera biogás que es muy peligroso y se debe poner especial atención en estos componentes que como se menciono proporcionan la seguridad de nuestro proceso. Estos componentes se pueden clasificar:

1.6.1 El digestor

Los tanques de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. El suelo del tanque está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del efluente puedan ser extraídos del tanque. Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido.

Entrada del efluente. Normalmente, el efluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrante se extrae por el lado contrario.

Salida del efluente. En un digestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrante colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos niveles, para la extracción del mismo. Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos), para reenviarlo a cabecera del digestor.

Extracción de fangos. Las tuberías de extracción de fangos suelen estar colocadas sobre bloques a lo largo del suelo inclinado del digestor. El fango se extrae por el centro del tanque. Estas tuberías tienen, por lo general, 15 cm. de diámetro o van equipadas con válvulas tapón para evitar obstrucciones, y se utilizan para llevar periódicamente el fango del digestor a un sistema de evacuación de fangos. Estas tuberías transportan también fangos de reserva desde el digestor secundario al primario y recirculan el fango del fondo para remover y romper la costra.

1.6.2 Biogás generado

Este gas se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 30% al 35%. Uno o dos por ciento del gas del digestor se compone de otros gases. Debido a la presencia de metano el gas del digestor posee un poder calorífico aproximado de 500 a 600 kilocalorías por litro [4,14].

Opción	Aplicación
Generación eléctrica	Apropiada para muchas instalaciones.
Combustión Directa	Cocinas, iluminación.
Calderas/Hornos	Uso por temporadas o en situaciones especiales.
Refrigeración	Refrigeración en hatos (aproximadamente el 15 al 30% del uso de electricidad en hatos); enfriamiento temporal y en situaciones especiales.

Se estima que un 40% del material contenido en un Kg de basura, es materia orgánica seca. El promedio por habitante según estudios realizados por el Instituto Nacional de Ecología en el 2005 es de 1,214 per. capita.

Propiedades Físicas y Calóricos Peso Específico de 0.6 en relación al Aire (más liviano). Poder Calórico 5500 Kcal. Relación Aire/ Gas = 10 /1.

Equivalencias:

Un metro cúbico de biogás equivale a:

Alcohol 1.1 litros

Gasolina 0.8 litros

Gas – oil 0.65 litros

Gas natural 0.76 m³

Carbón de piedra 1.5 kg

Electricidad 2.2 Kw/h

Poder calorífico 22400 kJ/m³

Una tonelada de materia orgánica genera en el digestor 2 m³ de gas metano diariamente. Un digestor de 1 ton/día, genera y acumularía, una vez que entro en régimen 60 m³ de gas metano al mes.

El gas del digestor puede ser extremadamente peligroso en dos aspectos. La mezcla de gas y aire en proporciones comprendidas entre el 5,5 y el 13,5% es explosiva y puede también causar asfixias por agotamiento de oxígeno. Por lo tanto, en las instalaciones de bombeo de fangos y cerca de los digestores estará prohibido encender fuego, fumar o provocar chispas [9].

1.7 AUTOMATIZACIÓN

La automatización se puede definir como un sistema de fabricación diseñado con el fin de usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas anteriormente efectuadas por seres humanos, y para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana. El término automatización también se ha utilizado para describir sistemas no destinados a la fabricación en los que dispositivos programados o automáticos pueden funcionar de forma independiente o semi-independiente del control humano [7]. Se han realizado sistemas de automatización en el tratamiento de residuos industriales así como en plantas tratadoras de agua proveniente del drenaje con el fin de ayudar al medio ambiente.

1.7.1 Panorama de la automatización

Un sistema de automatización provee una interfase entre el hombre y el proceso, el tipo de proceso a desarrollar será quien defina el sistema de automatización a usar. La automatización debe ser considerada como una herramienta para el personal u operarios, ya que busca hacer más eficiente el trabajo, se debe tener en cuenta que es el operario quien conoce el proceso, mientras que el personal que diseña e instala el sistema de automatización solo le brinda facilidades técnicas para poder producir más y mejor.

En un proceso productivo no siempre se justifica la implementación de sistemas de automatización, pero existen ciertas señales indicadoras que justifican y hacen necesario la implementación de estos sistemas, los indicadores principales son los siguientes:

- Requerimientos de un aumento en la producción
- Requerimientos de una mejora en la calidad de los productos
- Necesidad de bajar los costos de producción
- Escasez de energía
- Encarecimiento de la materia prima
- Necesidad de protección ambiental
- Necesidad de brindar seguridad al personal
- Desarrollo de nuevas tecnologías

La automatización solo es viable si al evaluar los beneficios económicos y sociales de las mejoras que se podrían obtener al automatizar, estas son mayores a los costos de operación y mantenimiento del sistema. La automatización de un proceso frente al control manual del mismo proceso, brinda ciertas ventajas y beneficios de orden económico, social y tecnológico, pudiéndose resaltar las siguientes [7]:

- Se asegura una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso, esto dependerá de la eficiencia del sistema implementado.
- Se obtiene una reducción de costos, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.
- Se obtiene un conocimiento más detallado del proceso, mediante la recopilación de información y datos estadísticos del proceso.
- Factibilidad técnica en procesos y en operación de equipos.
- Factibilidad para la implementación de funciones de análisis, optimización y autodiagnóstico.
- Aumento en el rendimiento de los equipos y facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información.
- Disminución de la contaminación y daño ambiental.
- Racionalización y uso eficiente de la energía y la materia prima.
- Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.

1.7.2 Sistemas de automatización

En los sistemas automatizados la inteligencia del proceso no está dada por el ser humano, sino que es gobernada por una unidad de control (Figura 1.11). La tecnología usada ha adoptado diferentes formas desde automatismos mecánicos hasta los actuales automatismos con inteligencia artificial. La combinación de la inteligencia de los autómatas programables con los accionadores industriales, así como el desarrollo de captadores y accionadores cada día más especializados, permite que se automatice un mayor número de procesos.

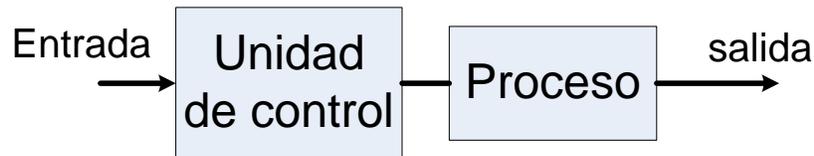


Figura 1.11 Diagrama general de Control

Todo proceso puede llevarse a cabo por métodos manuales y automáticos, sin embargo hay ciertos procesos que exigen la precisión de las computadoras para evitar errar en los cálculos, dado que los sistemas automáticos brindan la confiabilidad y seguridad necesarias para mantener ciertos parámetros (correspondientes a mediciones de agentes contaminantes) en valores estándares, se puede afirmar que los sistemas automatizados ayudan al hombre en la lucha a favor de la defensa de la naturaleza.

1.7.3 Automatización en procesos contaminantes

Toda actividad desempeñada por el hombre genera residuos contaminantes, pero hay ciertas actividades inmersas en la industrialización de los procesos productivos que son más perjudiciales que otros. A continuación se enumera una serie de actividades, correspondientes a las actividades industriales contaminantes del medio ambiente o en todo caso actividades que ayudan a la limpieza y conservación del mismo, con sus correspondientes subprocesos, y cuyas labores pueden ser automatizadas, consiguiendo de este modo menores afecciones al medio.

- Transporte de materias primas
- Combustión
- Limpieza de equipos y maquinarias
- Tratamiento de aguas (residuales y/o para su uso como materia prima),
- Refrigeración o calefacción
- Transporte de productos manufacturados
- Limpieza de depósitos

- Purificación de gases efluentes
- Ablandamiento de aguas
- Desaireación de aguas
- Eliminación de compuestos orgánicos del agua y suelo

Por citar algunos y recordando que esta lista no es exclusiva, absoluta, ni excluyente son ejemplos de procesos contaminantes en forma generalizada y no específica.

1.7.4 Elementos de una instalación automatizada

Para realizar la automatización de un proceso requiere de una serie de elementos, los cuales son típicos en una instalación automática y que en forma general son aquellos que nos proporcionan el grado de automatización de nuestro proceso a grandes rasgos son:

MÁQUINAS: Son los equipos mecánicos que realizan los procesos, traslados, transformaciones, etc. de los productos o materia prima.

ACCIONADORES: Son equipos acoplados a las máquinas, y que permiten realizar movimientos, calentamiento, ensamblaje, embalaje, etc. Pueden ser: Accionadores eléctricos, Accionadores neumáticos, Accionadores hidráulicos.

CAPTADORES: Sensores y transmisores, encargados de captar las señales necesarias para conocer el estado del proceso, y luego enviarlas a la unidad de control.

INTERFAZ HOMBRE- MÁQUINA: Permite la comunicación entre el operario y el proceso, puede ser una interfaz gráfica de computadora, pulsadores, teclados, visualizadores, etc.

ELEMENTOS DE MANDO: Elementos de cálculo y control que gobiernan el proceso, lo conforma la unidad de control.

ACCIONADORES O ACTUADORES: Son instrumentos industriales, dispositivos eléctricos, mecánicos, electrónicos, neumáticos, hidráulicos que son utilizados en un ambiente industrial como parte de un proceso productivo, cuyo uso permite el desarrollo de las acciones de control. Los instrumentos industriales pueden realizar las siguientes funciones: sensor o captar una variable, Acondicionar una variable dada, Transmitir una variable, Controlar una variable, Indicar la magnitud de una variable, Totalizar una variable, Registrar una variable, Convertir una variable, Manifestar una alarma con respecto a la magnitud de una variable, Interrumpir o permitir una secuencia dada, Transmitir una señal, Amplificar una señal, Manipular una variable del proceso, etc.

En la tabla 1.4 se presenta una clasificación de los instrumentos que se aplican a nivel industrial.

Tabla 1.4. Clasificación de los instrumentos industriales.

<u>Por su aplicación:</u>	<u>Por su tecnología:</u>	<u>Por su localización:</u>
* Neumáticos * Hidráulicos * Eléctricos * Electrónicos * Electromecánicos * Mixtos * Transductores * Amplificadores * Indicadores * Analizadores * Estación de operador * Estación de control * Estación de transferencia * Relevador de cálculo.	* Sistemas discretos * Sistemas de control digital directo * Sistemas de supervisión * Sistemas de control supervisorio * Sistemas de control supervisorio y adquisición de datos * Sistemas de control distribuido * Sistemas de control avanzado * Sistemas de control adaptables * Sistemas expertos.	* Instalados en campo * Instalados localmente * Instalados en tablero principal * Instalados remotamente

1.8 INGENIERÍA BÁSICA

Consiste en definir los lineamientos generales e ideas básicas del proyecto. Establece el pilar en que se basará la ingeniería de detalle, para la ejecución de los planos constructivos. Los esquemas que proporciona esta ingeniería básica son funcionales básicos, ya permite establecer información general tal como el material a utilizar o lo que se requiere en el proceso a grandes rasgos. Con estos planos no es posible construir o realizar pedidos detallados.

En la Ingeniería Básica es necesario conocer:

1. Bien o servicio.- conocer y describir las características de los bienes o servicios.
2. Programa de producción.- Indicar los índices de rendimiento y la eficiencia de los equipos en términos físicos.
3. Calculo de producción.- se puede llevar a cabo por dos sistemas:
 - A) con base en el mercado, se parte del conocimiento del volumen del producto final que es necesario entregar al mercado.
 - B) con base en la materia prima dada
4. Requisitos de mano de obra e insumos.

5. Especificación de las características de los equipos a utilizar.
6. Distribución de la planta.- Definido el proceso productivo y los equipos necesarios, debe hacerse la distribución de los equipos. Es necesario la máxima economía de tiempo, materiales y movimientos, tomando en cuenta: 1) *integración total*; 2) *mínima distancia de recorrido*.
7. Obra civil.- El tamaño y la forma de los edificios es una consecuencia de la distribución en planta para esto deben tomarse en cuenta los mismos criterios señalados sobre economía de tiempo, movimiento y materiales.

Para nuestro caso de estudio se define:

- Descripción funcional del proceso de digestión anaerobio
- Tamaño y características del equipo ya instalado. Digestor anaerobio, serpentín del digestor, Tanque con mercaptano para la odorización del gas, Columna de adsorción de H₂S con limaduras de hierro oxidadas y filtro de lodos digeridos.
- Cantidad de materia de entrada y salida de gas y de materia digerida.
- Equipo requerido para realizar el proceso de manera automática: válvulas, tubería, compresor, calentador controlador, protecciones.

1.9 INGENIERÍA DE DETALLE

Se ajusta en un todo a valores y especificaciones técnicas de la ingeniería básica, es siempre conveniente antes de iniciar esta etapa, someter la ingeniería básica a una cuidadosa revisión, detectando las observaciones que merezca, y proponiendo las mejoras que correspondan.

La ingeniería de detalle, se debe realizar conforme a normas aceptadas por las partes, reglas de arte, y criterios de seguridad, todo esto debe ser discutido al inicio de este trabajo.

Para nuestro caso de estudio la ingeniería de detalle estará integrada por:

- Selección de equipo y especificación de los equipos a instalar.
- Memorias de cálculo de tubería, válvulas, calentador, bomba, compresor.

En resumen, la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos soluciona todos los problemas de contaminación, pestilencias y depósito final de los desechos, proporcionando asimismo un elemento como el gas metano, óptimo recurso energético posible de ser usado en la planta industria, debido a las ventajas que este presenta se requiere mejorar la ingeniería básica y de detalle para que el digestor pueda trabajar de manera automática y de una forma mas segura para el operado, no solo con el fin de obtener ganancias económicas sino también para contribuir con la restauración del medio ambiente.

Actualmente en México se ha desarrollado la tecnología de los digestores debido a la necesidad imperiosa de disminuir la cantidad de desperdicio, esta situación ha contribuido a que actualmente se desarrollen diversos proyectos a nivel industrial, por citar algunos:

Planta generadora de energía eléctrica a base de combustible biológico. Recientemente puesta en marcha en el estado Sonora, la cual tiene una capacidad de 15 toneladas de desperdicio orgánico proveniente del tiradero municipal, el proceso realizado es anaerobio y la salida del biogás pasa a motores de combustión interna en los cuales se utiliza para generar energía eléctrica. Recientemente la planta genera la energía eléctrica del alumbrado público durante toda una noche [24].

En el estado de Puebla se realiza el estudio de viabilidad para instalar esta tecnología, el principal problema es en cuestión legal ya que se quiere realizar una concesión de los derechos a una empresa particular. La expectativa de este proyecto es a 3 años y la capacidad propuesta es de 20 toneladas, el proceso sería anaerobio y los digestores se proponen horizontales. En lo que respecta a la situación mundial el uso de biodigestores es muy utilizado, sobre todo en países con pocas o nulas reservas petroleras como es el caso de India, Cuba, China, estos últimos con un desarrollo muy importante ya que cuentan con una diversa gama de tipos y número instalados [19].

Digestor anaerobio horizontal instalado en la universidad autónoma de San Luis el cual tiene una capacidad de 2000 litros, la agitación es por medio de gas, el control es en forma manual, es decir con la ayuda de un operador que controla las diversas variables inmersas en el proceso, este digestor es la base de el propuesto en esta tesis [17]. Cabe señalar que la tecnología que se utiliza en los diversos digestores estudiados es guardada celosamente pues se tienen poca información acerca del control que en ellos se aplica. En los capítulos siguientes se detalla las necesidades que presenta un digestor de tipo horizontal para lograr la propuesta de automatización que en este trabajo se aborda.

CAPITULO 2

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La generación de residuos en la Ciudad de México ha ido cambiando en las últimas décadas: mientras en 1950 generábamos diariamente 0.37 kilogramos por persona, en la actualidad se estima que cada uno de nosotros generamos un promedio de 1.4 kg de residuos al día. En el Distrito Federal generamos 12,000 toneladas de residuos al día, lo que aproximadamente equivale a llenar el Estadio Azteca en tres meses. Si consideramos a la zona conurbada del Estado de México, actualmente la ciudad genera 21,000 toneladas diarias de residuos.

2.1 EL PROBLEMA DE LA BASURA

Cuando se recogen los residuos de nuestras casas, el problema de qué hacer con la basura desaparece ante nuestros ojos, pero en realidad sólo cambia de lugar. La generación de basura trae consigo:

- a) El gasto de energía y materiales que son utilizados en la elaboración de los envases y productos que después desecharemos, energía y materiales que con frecuencia provienen de recursos que no son renovables, como petróleo y minerales. Cuando nos deshacemos de lo que consideramos basura, en realidad estamos tirando recursos naturales.
- b) La contaminación del agua. El agua superficial se contamina por la basura que se concentra en ríos y cañadas. Pero el problema principal es el que no vemos. En los lugares donde se concentra basura se filtran líquidos conocidos como lixiviados, que contaminan el agua del subsuelo de la que, en nuestra ciudad, todos dependemos.
- c) La contaminación del suelo. La basura cambia la composición química del suelo y obstruye la germinación y crecimiento de vegetación.
- d) La contaminación del aire, por la putrefacción de la materia orgánica, los frecuentes incendios y por los residuos y bacterias que son dispersados por el viento.
- e) Las basuras atraen ratas, insectos, moscas y otros animales que transmiten enfermedades; contaminan el aire al desprender químicos tóxicos (bióxido de carbono y otros), polvos y olores de la basura durante su putrefacción. Además, los vertederos de basura cuando llueve, contribuyen a contaminar las aguas superficiales y subterráneas.
- f) Vivimos en una sociedad de consumo en la que los residuos que generamos se han convertido en un grave problema para el medio ambiente, debido a que estamos inmersos en la cultura de usar y tirar.
- g) Los residuos sólidos domésticos usualmente son concentrados por los habitantes de la vivienda en un solo recipiente, el cual, luego es descargado a un solo camión recolector, este a

su vez, los transporta a un solo sitio de disposición final (vertedero de basura), donde, en el mejor de los casos, se logra separar a algunos de esos residuos para reciclarlos o rehusarlos por los habitantes.

- h) La problemática originada por la gestión inadecuada de los vertedero de basura, se está agravando en prácticamente todas las ciudades del país. En la mayoría de los municipios el servicio de recolección y disposición de la basura es deficiente. Esto da origen a una serie de problemas de salud pública graves.
- i) Durante el proceso de putrefacción, la temperatura llega hasta 70 °C y se producen grandes proporciones de gas metano, que llega a hacer combustión.

2.2 PRODUCCIÓN DE RESIDUOS

La mayor producción de residuos sólidos sale de nuestras casas. Se estima que de los hogares proviene el 47% del total de los desperdicios, de los comercios el 29%, de los servicios el 15%, de los controlados el 3% y de otras actividades el 6%.

En cuanto a la composición de estos residuos que producimos en el Distrito Federal están compuestos de la siguiente manera: **43% son desperdicios orgánicos** (residuos de jardinería y de alimentos), 18% papel y cartón, 8% vidrio, 9% plástico, 7% pañales desechables y sanitarios 5% aluminio, 2% ropa vieja, 2% de fierro, 1% latas y 5% de objetos diversos. De estos residuos más del 80% son aprovechables. De las 12,000 toneladas diarias de residuos que se generan en el Distrito Federal, las plantas de separación sólo reciben 300 toneladas para fines de reúso o reciclaje. Es decir, sólo se aprovecha el 2.5% del total de los residuos sólidos que se generan. En cuanto al aprovechamiento de desperdicios orgánicos, aunque existe una planta para la producción de composta a partir de residuos de parques y jardines, la producción es mínima. [26]

En el anexo 1 se presenta información obtenida del INEGI en la cual se observa la cantidad de residuos generados, su disposición y características generales de esta.

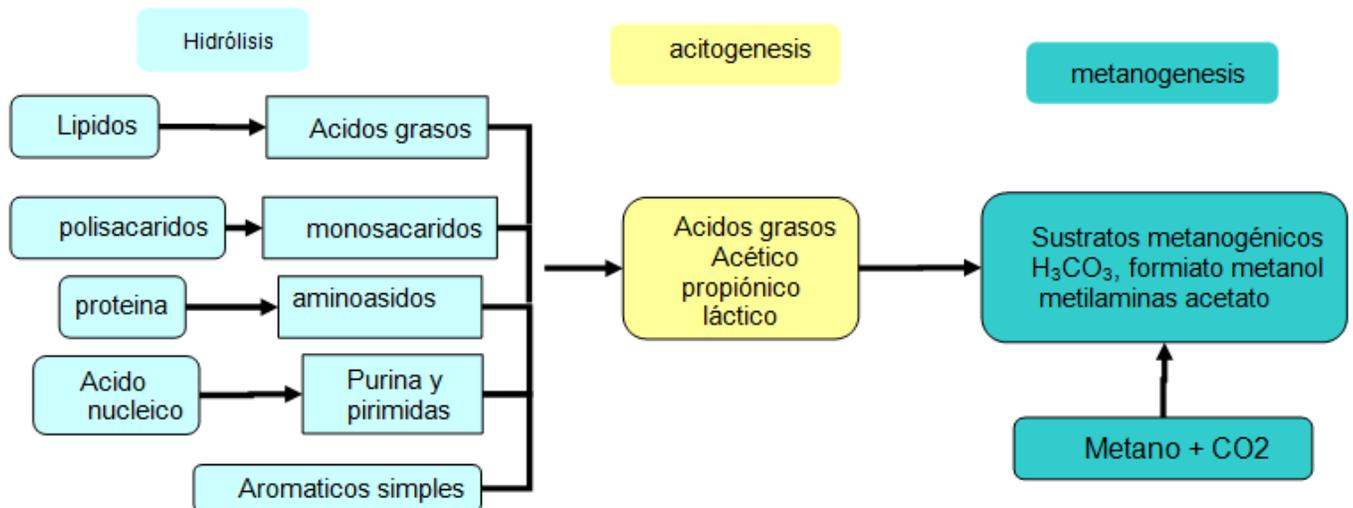
2.3 DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS

Durante mucho tiempo los residuos sólidos se han concentrado en “tiraderos a cielo abierto” sin pensar en los problemas de contaminación que causan. Aunque todavía hay tiraderos clandestinos, el gobierno de la Ciudad de México procura concentrarlos en el Relleno Sanitario Bordo Poniente. En cuestión a materia orgánica se tiene que aproximadamente la mitad de los desechos generados son de estos y cabe señalar que esta materia es completamente reutilizable ya que con ella es posible hacer composta y además se obtiene gas metano, y si se trabaja con un proceso anaerobio el tiempo que tarda el proceso disminuye significativamente (15 a 20 días) [17].

2.4 PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIO

Como se menciona la digestión anaerobia es un proceso biológico en el cual la materia orgánica es degradada por un consorcio de bacterias que no requieren oxígeno para su metabolismo (por eso es "anaerobia"). El gas de los pantanos, el gas natural de yacimientos subterráneos o incluso el gas metabólico producido en el estómago de los rumiantes, es precisamente biogás. Utilizando este proceso se puede tratar gran cantidad de residuos como estiércoles, efluentes de industrias, basura orgánica, entre otros contaminantes, y además, obtener biogás. [18]

Muchos de los organismos metanogénicos identificados en los digestores anaerobios son similares a los encontrados en los estómagos de los animales rumiantes y en sedimentos orgánicos tomados de lagos y ríos. Las bacterias responsables de la degradación y producción del gas metano se encuentran presentes en la biomasa que se emplea (estiércol de los animales, lodos cloacales y desechos orgánicos) por lo que no es necesaria la inoculación, ni el cultivo de cepas especiales para la producción de biogás. Los materiales más utilizados son el estiércol animal, los residuos industriales y urbanos, las algas, los residuos de plantas y toda otra sustancia orgánica. (Figura 2.2)



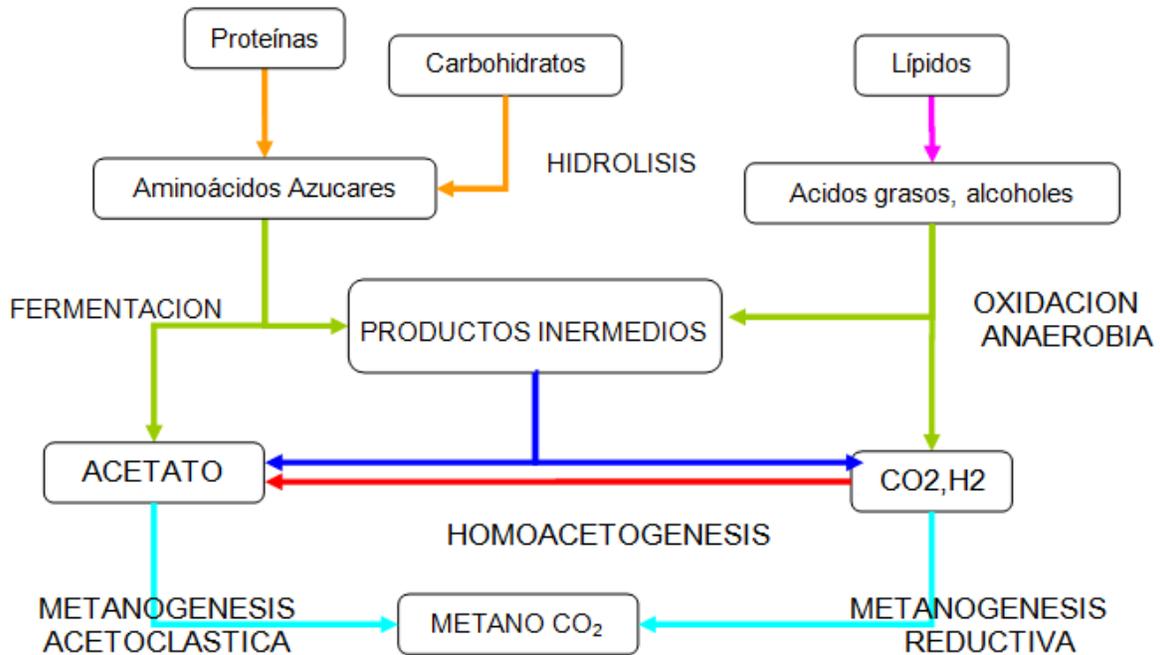


Figura 2.1 Diagrama de bloques correspondiente al proceso de digestión anaerobia

A nivel industrial se puede controlar la reacción para optimizar el proceso y recoger la energía (en forma de metano) que se desprende. Esto se realiza mediante en digestores, es decir, tanques donde se homogeniza la biomasa y se controla el tiempo en que reside en su interior, la temperatura y otros parámetros de el proceso. El biogás producido puede ser aprovechado tanto en una caldera como en un equipo de cogeneración, con la consecuente producción y venta de energía eléctrica a la red.

Una planta de biogás ofrece diferentes ventajas, como pueden ser:

- Beneficio económico para la venta y ahorro de energía eléctrica y de calor.
- Beneficio en valor fertilizante del producto obtenido.
- Reducción de males olores, y semillas de males hiervas al purín digerido.
- Reducción en la emisión de gases que causan el efecto invernadero.
- Puestos de trabajo rurales y descentralización de fuentes energéticas.
- Reducción del potencial contaminante de los residuos agrícolas.
- Considerado como una actividad moderna y favorable al medio ambiente.

2.5 DIGESTOR ANAEROBIO A ESTUDIO

Un digestor anaerobio es un tanque perfectamente sellado el cual no contiene oxígeno, lo cual favorece la reproducción de las bacterias necesarias para la producción de composta y gas metano.

El tanque está constituido, a grandes rasgos de:

- Entrada de materia orgánica que regularmente es por la parte de arriba (domo).
- Salida de gas metano por la parte del domo
- Salida de composta por la parte inferior del digestor
- Recirculador de materia, este puede ser una bomba o un agitador.

En base a lo expuesto anteriormente, se determinó que el digestor que presenta mayores ventajas es un digestor horizontal con entrada superior y salida inferior. Está formado por un recipiente cilíndrico con el suelo tronco-cónico con una inclinación del orden del 25 % [22]. En el fondo tiene colocadas una o más coronas de tubo con toberas de inyección de gas, que mantiene la agitación de la lechada. La parte superior estará herméticamente cerrada por una coraza de chapa de acero, reforzada con perfiles laminados; la forma de la coraza es de un casquete esférico. La tubería de salida de los lodos digeridos estará lo bastante profunda para establecer un cierre hidráulico a la salida de los gases con el fango. Hacia la mitad de la profundidad del digestor se encuentra la tubería que servirá para circular el agua de calentamiento (Figura 2.3).

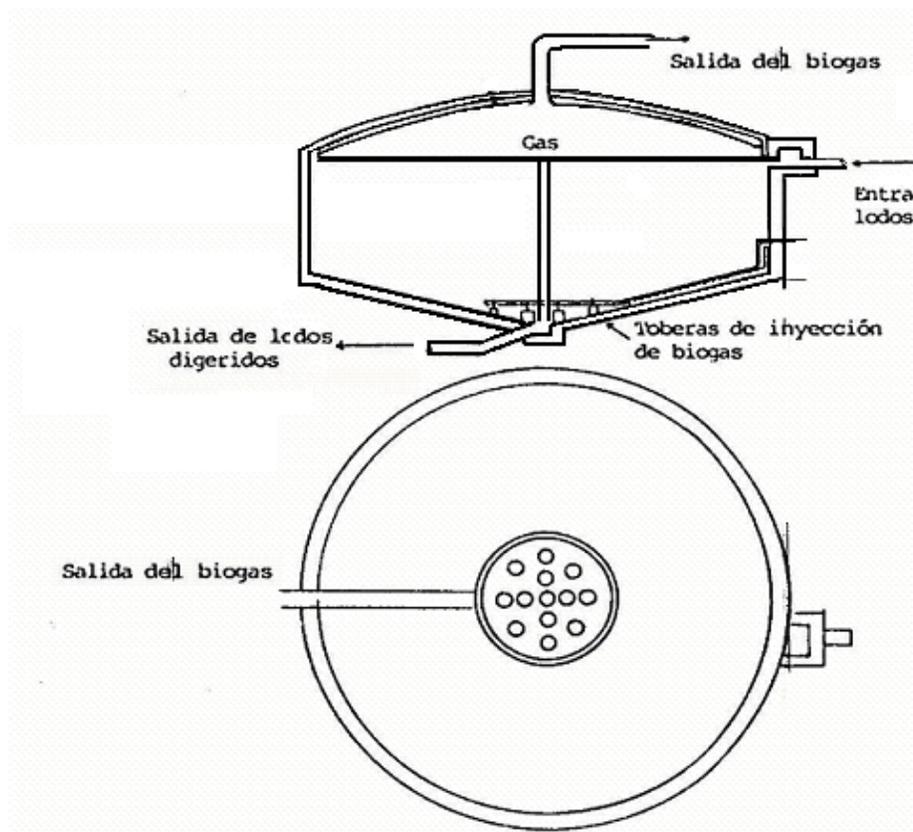


Figura 2.3 Se presenta esquemáticamente la forma que tiene el digestor de la planta.

2.5.1 Características del digestor anaerobio

El digestor que anaerobio tiene las siguientes características:

2.5.1.1 Hermeticidad absoluta

Uno de los principales requisitos que debe cumplir el digestor de desechos orgánicos es el ser hermético, primero para evitar el contacto de los desechos digeribles con el aire, ya que no hay que olvidar que el proceso de digestión es anaeróbico. En segundo lugar la necesidad de evitar las fugas del gas del recipiente.

2.5.1.2 Evitar la acumulación de natas y lodos

La necesidad de evitar al máximo la acumulación de natas y lodos, es importante ya que con esto se evitara la residencia del material digerido dentro del digestor. Un problema que se puede presentar si existiera acumulación de natas y lodos, sería la posible paralización del proceso digestivo ya que no existiría un control sobre la materia orgánica, estos puntos de acumulación llegarían a ser espacios muertos dentro del digestor, con esto el volumen disponible de digestión se reduciría.

Dimensiones del digestor.

Diámetro	=	1.38 m
Área	=	1.5 m ²
Altura	=	2 m
Volumen	=	3 m ³

Serpentín:

Para realizar el calentamiento de la mezcla en el digestor se tiene instalado un serpentín de acero inoxidable "tubing" tipo 304 el cual está montado al tanque digestor por medio de soportes de acrílico. Considerando el volumen del digestor y que la tubería del serpentín es de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro exterior (1/2 pulgada interna) y entre espira y espira del serpentín hay 1 $\frac{1}{2}$ pulgada de distancia, se tienen 40 vueltas o espiras a lo largo del digestor. Las espiras empiezan a una altura de 10 cm del fondo del digestor y terminando a 162.4 cm de la cúpula de gas, dando esto un total de 16. 337 metros de tubo 304 de serpentín. Ya que el serpentín tiene un diámetro de 133 cm, la figura 2.4 se muestra la representación del serpentín en el reactor.

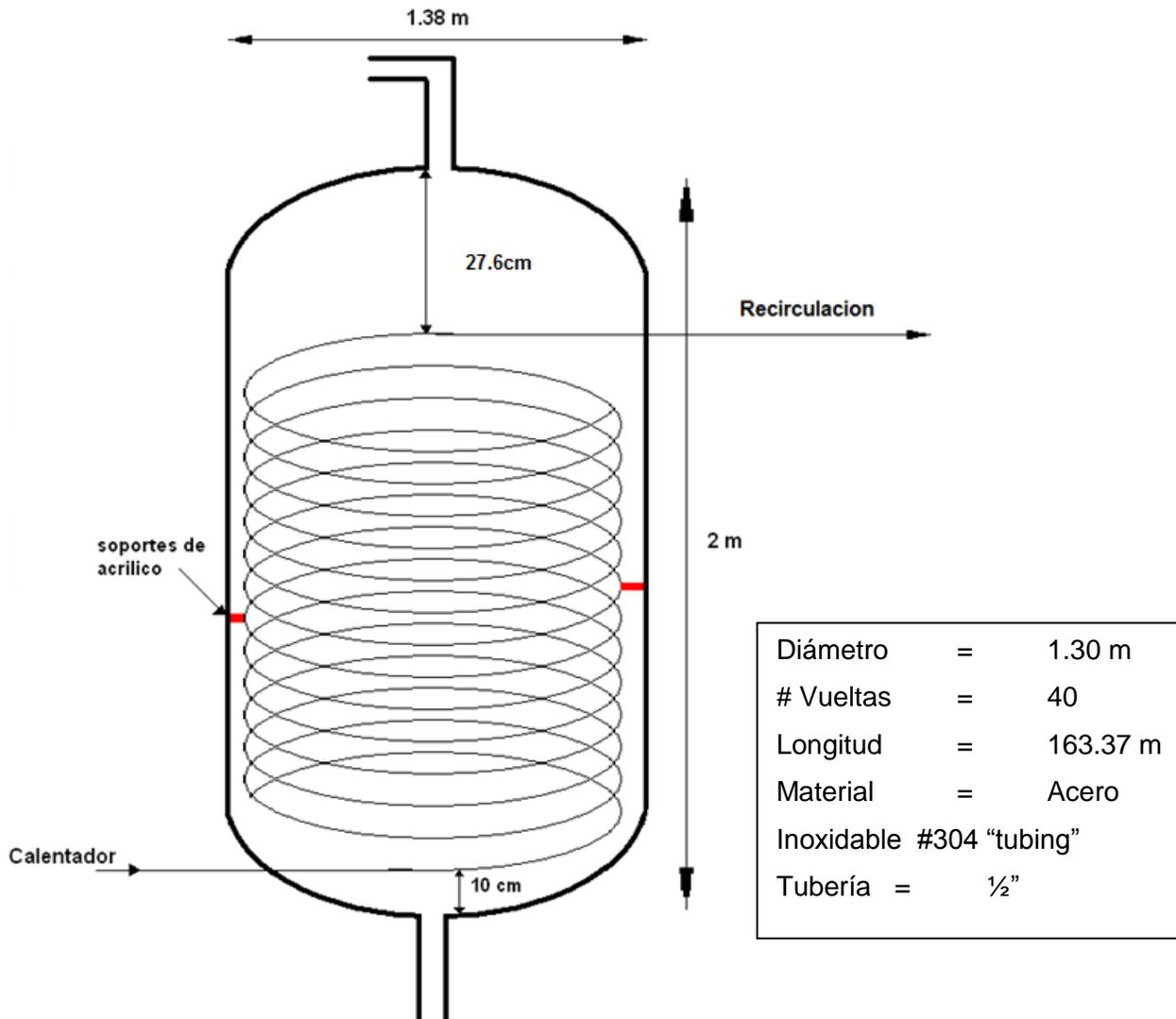


Figura 2.4 Descripción del serpentín

Recordemos que aunque el tanque tiene capacidad de 3000 litros solo utilizaremos 2500 litros, es esta la razón de que sobren 37.6 cm antes de la altura máxima del tanque.

2.5.2 Balance de materia.

La cantidad de gas producido depende del contenido de materia orgánica dentro de la lechada, el tamaño de la población bacteriana y la temperatura del digestor. Bajo buenas condiciones, 1 Kg. De materia seca de desechos orgánicos debe producir casi 300 litros de gas. La masa digerida no tiene olor y su contenido de materia seca, tiene alto contenido de nitrógeno, debido al hecho de que no hay escape de gas del tanque digestor hermético y el nitrógeno se encuentra presente en forma orgánica. Las condiciones de operación a manejar en el sistema se presentan en la tabla 2.1.

Tiempo de residencia	9 días
Temperatura de operación	60 °C
Contenido de sólidos	8% de sólidos totales
pH de la lechada	entre 7 y 8
Contenido de humedad del desecho orgánico	90%
Producción de gas	300 L por cada Kg. de materia seca
Desechos orgánicos totales a tratar	222.2 Kg desechos orgánicos húmedos/día 2000 Kg desechos orgánicos húmedos Totales

Una de las características fundamentales que se deben de determinar en el digester es su volumen. Para determinar el volumen del digester necesitamos una base de cálculo.

Tomando una base de cálculo de 2 toneladas de desechos orgánicos húmedo a tratar con un contenido de humedad del 90%, podemos determinar el volumen del digester. Este desecho orgánico será diario.

Debido a que el tiempo de residencia fijado por la temperatura de operación es de nueve días, la cantidad de mezcla que se alimente al digester por día será una 9 parte del volumen total del digester, a modo de desplazar totalmente la materia digerida en el proceso.

Nuestras literales a utilizar en el cálculo serán las siguientes:

Aa = Agua por agregar

Ae = Agua en desechos orgánicos húmedo

Es = desechos orgánicos seco

M = Mezcla

Calculo:

$$E_s = 222.2 (0.1) = 22.2 \text{ Kg de estiércol seco/día}$$

$$A_e = 222.2 - 22.2 = 200 \text{ Kg de agua/día}$$

$$M = \frac{E_s * 100}{8} = \frac{22.2 * 100}{8} = 277.7 \text{ Kg. de mezcla diaria}$$

$$A_a = M - A_e - E_s = 277.7 \text{ kg} - 200 \text{ kg} - 22.2 \text{ kg} = 55.5 \text{ kg de agua por agregar día o 55.5 litros}$$

Tomando para fines de cálculos y considerando que la lechada tiene un contenido de sólidos bajo, podemos decir que la densidad de la lechada es casi igual a la del agua; por lo tanto:

$$\text{Volumen de la mezcla} = \frac{M}{\rho m} = \frac{277.5 \text{ kg}}{1.0 \text{ kg/l}} = 277.5 \text{ lt / dia .}$$

Dado que el tiempo de residencia es de 9 días el volumen total del digestor será:

$$V_t = V_m \times T.R. = 277.5 \text{ L /día} \times 9 \text{ días} = 2500 \text{ L. a m}^3 = 2.5 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el volumen del digestor será de 3 m³.

Producción de biogás (Vg)

$$V_g = 22.2 \text{ Kg. /día materia seca (300 lt/Kg. m.s.)} = 6660 \text{ l /día} = 6.66 \text{ m}^3/\text{día}.$$

Tomando en cuenta que 1m³ de biogás pesa 1.25 Kg, tenemos que el peso del biogás Wg es:

$$W_g = 6.66 \text{ m}^3 (1.25 \text{ Kg. / m}^3) = 8.32 \text{ Kg. de gas.}$$

Es importante hacer notar que el biogás producido es producto de la descomposición de una cantidad igual de materia sólida, principalmente de los sólidos volátiles, por lo que el contenido de sólidos en los lodos digeridos desalojados del digestor será menor. En nuestro caso será:

$$\text{Sólidos desalojados} = 22.2 - 8.2 = 14 \text{ Kg. de lodos digeridos/día.}$$

$$\text{Sólidos desalojados} = 200 - 75 = 125 \text{ Kg. de lodos digeridos totales.}$$

En resumen podemos establecer el valor de las corrientes por día que conforman a los digestores en conjunto.

Entrada 277.7 Kg. de mezcla digerible con 22.2 Kg. de sólidos totales y 55.5 Kg. de agua.

Salida de gases = 8.2 Kg. de biogás = 6.6 m³ de biogás.

Tomando como consideración que la mezcla sea 60% de metano y 40% de CO, se tendrán 36 m³ de CH⁴ y 24 m³ de CO₂.

Salida lodos = 2425 Kg. de lodos sin digerir con 125 Kg. de sólidos totales y 230 Kg. de agua.

Salida lodos = 269.44 Kg. de lodos digeridos / día, con 13.8 Kg. de sólidos y 255.5 Kg. de agua.

2.6 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO A UTILIZAR.

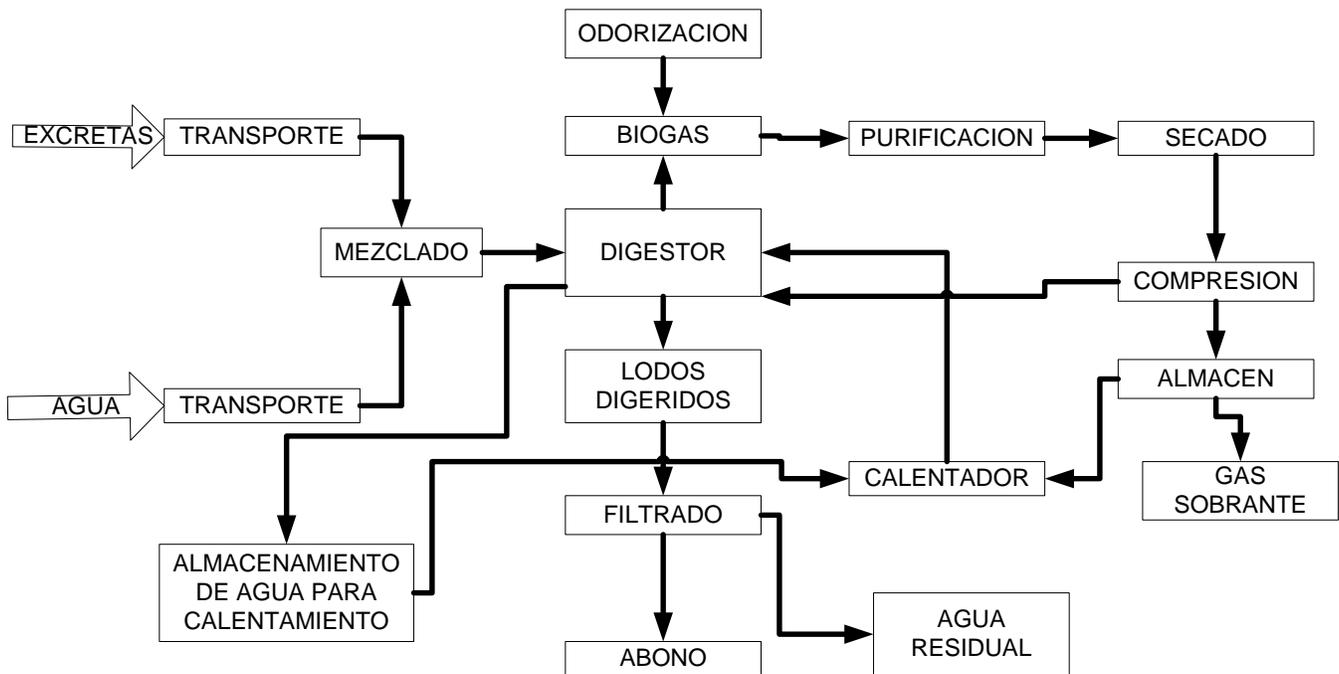


Figura 2.5 Diagrama de flujo del proceso.

En la figura 2.5 se muestra un diagrama donde se presenta el proceso que se lleva a cabo para realizar la digestión anaerobia de materia orgánica, y sus principales etapas de las que va a constar el proceso son las siguientes:

a) *Molienda*. Es recomendable moler los desechos orgánicos frescos que se va a utilizar para la digestión, ya que al disminuir el tamaño de los sólidos se está aumentando el área de contacto con los microorganismos encargados de iniciar el proceso. Tomando en cuenta la anterior consideración, el siguiente paso es vaciar los desechos orgánicos en un recipiente adecuado para hacer el acondicionamiento.

b) *Acondicionamiento*. Esta parte es la más importante del proceso para obtener una lechada (agua y desechos orgánicos) que garantice la producción de biogás. La secuencia a seguir es la siguiente:

1.- Pesar la cantidad de desechos orgánicos a tratar y adicionar la cantidad necesaria de agua para obtener una solución con una concentración al 6% de sólidos totales. Es importante saber que los desechos orgánicos tienen un contenido de humedad del 90%. Para facilitar la dispersión de los desechos orgánicos puede utilizarse agua ligeramente caliente. Además el agua utilizada será agua residual que se utiliza en el mismo tratamiento.

2. Medir el pH de la lechada obtenida y ajustar a un valor aproximado a 7, agregando CaCO_3 ó $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a la mezcla.

c) *Carga del digestor.* La mezcla (lechada) acondicionada se cargará al digestor y una vez cargado, se tapaná herméticamente para evitar el paso de aire al interior. Es aquí donde da inicio el proceso de digestión. A partir de esta etapa se espera la producción de gas. La verificación se efectúa realizando en los siguientes 4 días purgas periódicas por la válvula de salida del gas, con el propósito de eliminar la más mínima presencia de aire, así como también vapor de agua formado durante el arranque. En estas condiciones la digestión (fermentación) perdurará durante 9 días; después de este período, se puede cargar diariamente el digestor, manteniendo así la operación continua del digestor.

d) *Purificación del biogás.* Esta etapa es necesaria para aumentar el poder calorífico del biogás.

Resulta comprensible que a medida que la humedad sea menor, la facilidad de combustión es mayor, por eso es necesario eliminar el vapor de agua que contiene el biogás.

La presencia de bióxido de carbono en el gas presenta un aspecto grave: reduce el poder calorífico del combustible, aumenta el volumen a almacenar e incrementa la presión de los tanques receptores. Esto también es causa de baja efectividad en el momento de la combustión del gas, pues requiere algo de calor producido para elevar su temperatura hasta la de ignición. A pesar de esto, la operación de absorción resulta sencilla mediante el paso del gas a través de una solución de agua con cal. El uso de este absorbente deja de ser práctico y costeable cuando se trabaja a gran escala, en este caso se emplean sustancias como la dietilamina, trietilamina, hidróxido de calcio, carbonato de potasio e hidróxido de potasio. El hidrógeno aumenta el poder calorífico del biogás, por lo que no es necesario eliminarlo. El sulfhídrico que acompaña al metano es un elemento peligroso que degradaría en seguida los elementos mecánicos tales como tuberías, calderas, compresores, etc. [14]

e) *Almacenamiento.* Las presiones de trabajo dentro del digestor son muy pequeñas, esto es una ventaja ya que el gas alcanza presiones de hasta 20 cm de columna de agua durante su generación y su inmediato almacenamiento. Pero se puede comprimir fácilmente en tanques a presiones de 10 Kg./cm sin ningún problema grave durante la operación.

f) *Descarga.* El efluente se debe descargar de la manera adecuada para evitar que entre aire al digestor; este efluente pueda ser aplicado directamente sobre las tierras de cultivo o puede ser separado, el componente líquido se puede utilizar para el acondicionamiento de la lechada por cargar, y el efluente sólido puede ser tratado para utilizarse como acondicionamiento del suelo de cultivo.

g) *Filtrado y secado de lodos.* Una vez llevada a cabo la digestión, los lodos que ya tuvieron su tiempo de residencia dentro del digestor son sacados por la acción misma de los lodos entrantes en el régimen continuo. Estos lodos pueden pasar a un filtrado para eliminarles el exceso de agua que contienen. La materia seca puede ser almacenada en sacos para su venta como fertilizante o acondicionador de suelos, dependiendo principalmente de su composición.

h) *Uso de gas para calentamiento.* Para llevar a cabo el calentamiento del digestor se puede utilizar parte del gas generado y comprimido.

El líquido resultante de una digestión y que es filtrado, tiene una variedad de usos como:

- Fertilizante en forma directa.
- Reutilización en las instalaciones para propósitos de limpieza.
- Medio de crecimiento para peces con bajas necesidades de oxígeno, por ejemplo la tilapia.
- Medio de cultivo para el crecimiento de algas, bacterias, levaduras, las cuales se cosechan más tarde, se secan e incluyen dentro de raciones para animales.
- Utilizarlos de nuevo dentro de las instalaciones para proveer de revolcaderos en climas cálidos.

En la Figura 2.6 se presenta el diagrama de flujo del proceso, representando el equipo instalado.

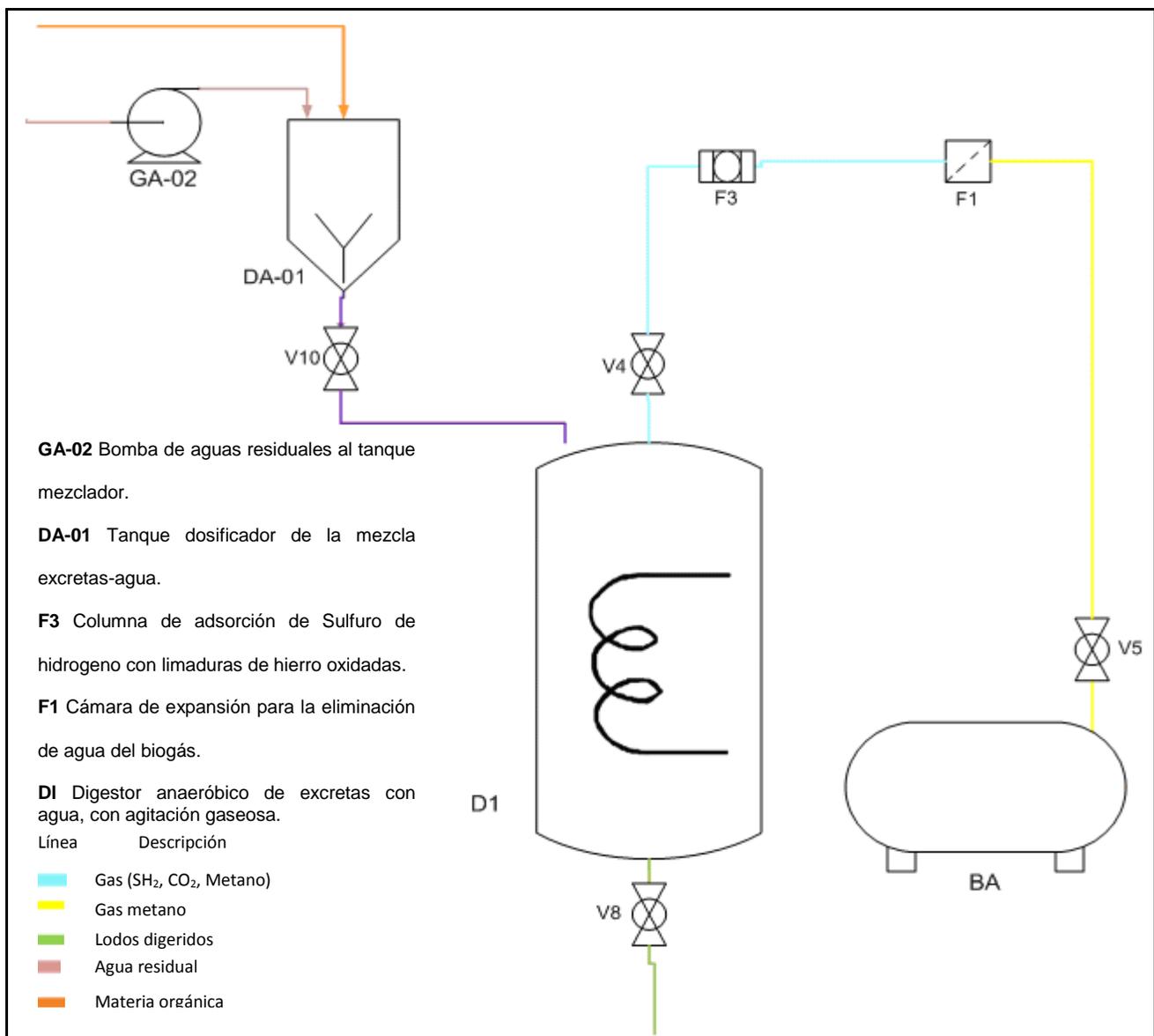


Figura 2.6 Equipo Instalado

2.7 PROBLEMA DEL DIGESTOR

La forma en que se opera el digestor a estudio es de forma manual esto es con ayuda de una persona la cual se encargada de vigilar, muestrear, accionar y controlar las diferentes variables inmersas en el proceso de digestión anaerobia, debido a esto se pretende instalar un sistema el cual funcione de una manera autónoma. La parte del proceso que requiere mayor grado de automatización es la parte que corresponde al calentamiento de la materia orgánica debido a que se debe mantener entre 50°C y 60 ° C la temperatura debido a que se traba en proceso mesofílico ya que presenta las mejores características en cuestión a tiempo de residencia y gas generado.

Como Ingenieros en control y automatización pretendemos realizar procesos sencillos, seguros y económicos para no solo obtener ganancias sino también beneficiar nuestro medio ambiente y que mejor manera que reduciendo la cantidad de desechos orgánicos y mas aun que el procesos sea automático puesto que no será necesario tener una personal accionando y controlando todas y cada una de las variables del proceso.

CAPITULO 3

DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN

A lo largo de los dos capítulos anteriores se habló acerca de la problemática que los desperdicios orgánicos provocan, de los diversos procesos que se tienen actualmente para reducir los daños provocados por estos desperdicios, dentro de los cuales se encuentran los digestores anaerobios tipo horizontal. Se estableció las características del digestor a emplear, cuya capacidad de almacenamiento es de dos toneladas de desperdicio orgánico, también se planteó los balances de materia, esto con el fin conocer los valores de entradas y salidas así como sus características, para realizar una buena propuesta de automatización.

A continuación se describe el proceso a estudio, así como las características requeridas de los equipos que se deben de instalar, por ende es lo primero que se debe establecer. Cabe señalar que existen normas para la selección de equipo (ver anexo 10) así como para la descripción y simbología de los diagramas de tubería e instrumentación (Norma ISA 5.1).

3.1 ASPECTOS A CONSIDERAR PARA REALIZAR LA AUTOMATIZACIÓN DEL DIGESTOR ANAEROBIO HORIZONTAL

De acuerdo con las necesidades del proceso de digestión anaerobio, como se describe en el capítulo dos, a una temperatura de entre 50 y 60 °C se tiene el mejor rendimiento, en cuestión al tiempo de residencia y gas obtenido. Los datos de las condiciones de operación y cantidades de material a emplear se resumen y presentan en la tabla 3.1. Estos datos, cabe mencionar, son los que requerimos para realizar el análisis para la propuesta de automatización [21].

Tabla 3.1 Condiciones en el tanque digestor	
Tiempo de residencia	9 días
Temperatura de operación	50 °C. / 60 °C
Contenido de sólidos	8% de sólidos totales
PH de la lechada	entre 7 y 8
Desechos orgánicos totales a tratar	2000 Kg desechos orgánicos húmedos
Contenido de humedad del desecho orgánico	90%
Volumen total del digestor	3 m ³
Producción de biogás (Vg)	
Vg =200 Kg. Materia seca	60 m ³
Wg = 60m3 (1.25 Kg/m ³)	75 Kg de gas
Sólidos desalojados	125 Kg de lodos digeridos

3.1.1 Extracción de fangos.

Las tuberías de extracción de fangos suelen estar colocadas sobre bloques a lo largo del suelo inclinado del digestor. El fango se extrae por el centro del tanque, estas tuberías son de 3 in y van equipadas con válvulas tipo bola para evitar obstrucciones, y se utilizan para llevar periódicamente el fango del digestor a un sistema de evacuación de fangos. El digestor cuenta con salidas de lodos digeribles, lo suficientemente grandes como para lograr la extracción sencilla de los lodos y la remoción de las natas en forma sencilla.

3.1.2 Válvulas de seguridad

Ya que el digestor es un recipiente que trabaja con un gas y por lo tanto está sujeto a presión, debe contar invariablemente con un sistema de seguridad.

3.1.3 Equipo de medición.

Es necesario instalar instrumentos de medición de temperatura, con la finalidad de saber la distribución de temperaturas en el digestor, así como las pérdidas de calor del sistema.

Los medidores de presión para gases pueden ser de diversos tipos, como fuelles, diagramas de flujo en paralelo, molinetes y placas de orificios o presión de diferencial entre otros.

Los manómetros se instalan en varios puntos del sistema para indicar la presión del gas en las unidades que requieran los operadores del proceso.

3.1.4 Pérdidas de calor y aislamiento térmico.

Para tener las mínimas pérdidas de calor se puede recurrir al uso de aislantes como el asbesto u otro material que evite la disipación de la temperatura.

3.1.5 Válvulas de seguridad en contenedor del biogás

Si el gas producido se comprime en un recipiente especial, éste deberá contar también con una válvula de seguridad que opere dentro de una presión mayor de 10 Kg /cm², de acuerdo a las normas para tanques que están sujetos a presión.

3.1.6 Forma de calentamiento de tanque

Para mantener la temperatura constante de alrededor de 58 °C en el digestor, se utiliza un sistema de calentamiento con serpentín, el agua a emplear será calentada con parte del gas obtenido. También es importante hacer notar que parte del gas será comprimido e inyectado al digestor para una agitación homogénea.

3.1.7 Purificación del biogás

Esta etapa es muy necesaria para aumentar el poder calorífico del biogás y se puede efectuar de la siguiente manera:

Resulta comprensible que a medida que la humedad sea menor, la facilidad de combustión es mayor, para eliminar el vapor de agua contiene el biogás se puede utilizar una cámara de expansión.

La presencia de bióxido de carbono en el gas presenta un aspecto grave: reduce el poder calorífico del combustible, aumenta el volumen a almacenar e incrementa la presión de los tanques receptores. Esto también es causa de baja efectividad en el momento de la combustión del gas, pues requiere algo de calor producido para elevar su temperatura hasta la de ignición.

3.1.7.1 Sulfuro de hidrógeno (SH₂)

El sulfhídrico que acompaña al metano es un elemento peligroso que debe ser eliminado no solo porque es venenoso, sino que acelera el fenómeno de oxidación de una manera increíble, envejeciendo toda la instalación, esto se elimina fácilmente con un filtro de viruta de hierro (virulana). Las esponjas deben cambiarse periódicamente por otras limpias. Cuando se encuentran saturadas pueden regenerarse con la simple exposición al aire.

3.1.7.2 Humedad del biogás

Las características naturales de generación del biogás hacen que este sea un gas naturalmente húmedo y que en las cañerías se almacene un elevado porcentaje de humedad, esta humedad no siempre es conveniente ya que disminuye la caloría por m³, produce oxidación de materiales y además obstruye cañerías, por lo que es conveniente su eliminación si queremos comprimir el biogás. Una forma de hacerlo es mediante filtro de silicato de silicio llamado comúnmente silica-gel.

3.1.8 Almacenamiento y descarga

Las presiones de trabajo dentro del digestor son muy pequeñas, esto es una ventaja ya que el gas alcanza presiones de hasta 20 cm de columna de agua durante su generado y su inmediato almacenamiento. Pero se puede comprimir fácilmente en tanques a presiones de 10 Kg. /cm sin ningún problema grave durante la operación.

El efluente se debe descargar de la manera adecuada para evitar que entre aire al digestor; este efluente pueda ser aplicado directamente sobre las tierras de cultivo o puede ser separado, el componente líquido se puede utilizar para el acondicionamiento de la lechada por cargar, y el efluente sólido puede ser tratado para utilizarse como acondicionamiento del suelo de cultivo.

3.1.9 Uso de gas para calentamiento.

Para llevar a cabo el calentamiento del digestor se puede utilizar parte del gas generado y comprimido, utilizándose un calentador de paso instantáneo y recirculando el agua de calentamiento. Un digestor puede funcionar a cualquier temperatura, sin embargo, el tiempo que tarda en completar la digestión es variable y está en relación con ella. A medida que aumenta la temperatura, disminuye el tiempo necesario para que se produzca la estabilización del fango. En general, los digestores modernos funcionan en un rango de temperaturas medias, entre 50 y 60 °C.

Los digestores se pueden calentar de diversos modos, aunque las instalaciones actuales están dotadas de digestores que se calientan por medio de la recirculación a través de un intercambiador exterior de agua caliente. El gas del digestor se usa como combustible en la caldera, cuya temperatura óptima de operación es de 75 a 95°C. El agua caliente se bombea desde la caldera al intercambiador de calor, donde cede su calor al fango recirculante.

3.1.10 Mezclado de la materia orgánica

El mezclado es muy importante en un digestor, un buen equipo mezclador acelera en gran manera la digestión, porque consigue los siguientes objetivos:

- a) Inoculación (introducción de un cultivo biológico) inmediata del efluente con microorganismos.
- b) Prevención de la formación de costras.
- c) Mantenimiento de la homogeneidad del contenido del tanque, es decir, distribución de alimentos, organismos, alcalinidad, calor y productos bacterianos de desecho.
- d) Utilización máxima del contenido total del digestor y disminución de sólidos inertes en el fondo.

En los tanques de digestión la agitación o mezcla puede conseguirse ya sea por recirculación de gas o por sistemas mecánicos girando a baja velocidad, las principales características de estos son:

3.1.10.1 Mezclado por gas.

Este tipo de mezclado es el que se utiliza generalmente en la actualidad, el gas extraído del tanque es comprimido y descargado dentro del digestor a través de unos orificios situados la superficie del fango. El gas, que sube a la superficie a través del fango en digestión, lleva fango con él, creando una recirculación rotativa dentro del tanque.

Los componentes para el mezclado por gas son: una tobera de alimentación del biogás: que no es mas que un distribuidor de acero inoxidable 304 dentro del digestor, con orificios a una distancia de 5 cm cada una de ellas .

Para realizar este tipo de mezclado además de tener la tobera se necesita que el gas a recircular este comprimido en un tanque aparte, con la finalidad de que el gas entre a presión y se realice el mezclado rotativo que nos interesa para evitar la formación de natas las cuales pararían el proceso de digestión anaerobio (figura 3.1).

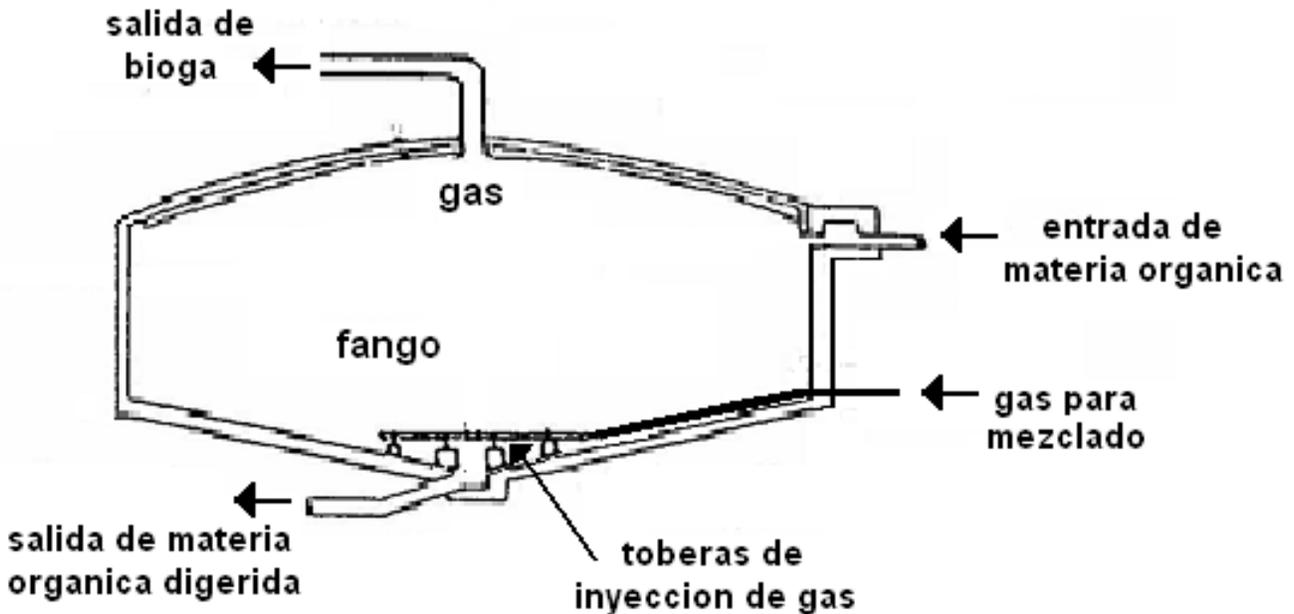


Figura 3.1 Digestor con mezclado por gas (digestor de la planta)

3.1.10.2 Mezclado mecánico.

Este mezclado costa de una o dos aspas de acero inoxidable las cuales están conectadas a un motor el cual le proporciona el giro a las aspas. El mezclado mecánico es muy simple pues solo hay que contar con un motor que pueda soportar la carga de la materia prima y las aspas que sean de acero inoxidable las cuales pueden ser costosas. Este mezclado presenta buenas características en cuestión a la recirculación de la materia.

El problema principal con este tipo de mezclado radica en el empaque de la flecha del motor, ya que se está hablando de que el tanque digestor es anaerobio, es decir sin presencia de oxígeno. Si no se tiene un buen empaque en el digestor cuando se mueva la flecha del motor provocará que entre el aire y lo más peligroso sería que escapara el gas contenido en el digestor provocando incendio ya que el motor sería eléctrico. Otra razón para no utilizar este sistema de mezclado es en cuestión de costos, ya que sería necesario emplear energía eléctrica para el funcionamiento del motor, ya que el gas obtenido por medio de la digestión anaerobia se reutilizaría para la recirculación. Por tales motivos este sistema de mezclado no lo ocuparemos (figura 3.2).

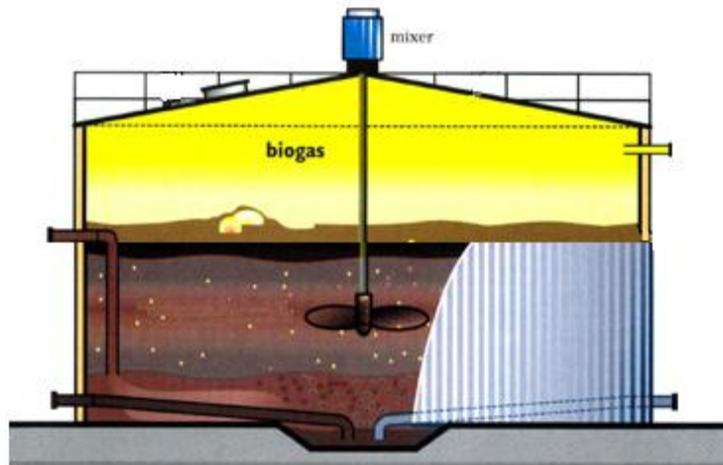


Figura 3.2 digestor mezclado mecánico

3.2 SISTEMA DE GAS

El sistema de gas se trata por separado ya que es muy importante mantener dentro de los parámetros establecidos para que no exista peligro de explosión o contaminación, ya que como se vio anteriormente el gas metano obtenido no es solo metano sino que también lo acompaña CO_2 y sulfuro de hidrógeno, este último muy peligroso para el ser humano. Por tales motivos se trata aparte y en el proceso instalado se cuenta con cada una de estas especificaciones. El sistema de gas lo traslada desde el digestor hasta los puntos de consumo o al quemador de gases en exceso. El sistema de gas se compone de las siguientes partes:

3.2.1 Cúpula de Gas.

Es un punto en el techo del digestor desde el cual se extrae el gas del tanque. En los tanques de cubierta fija puede haber también un cierre de agua incorporado, para proteger la estructura del tanque del exceso de presión positiva o negativa (vacío) creada por la extracción del fango o del gas demasiado rápidamente.

Si la presión de gas sube por encima de los 30 cm. de columna de agua, se escapará a través del cierre de agua hacia la atmósfera, sin levantar la cubierta. Si se extrae el fango o se utiliza el gas con demasiada rapidez, el vacío puede pasar de los 20 cm y romper el cierre de agua, permitiendo la entrada del aire en el tanque. Sin el cierre de agua, el vacío aumentaría enormemente y destrozaría el tanque. La tubería entre el tanque de almacenaje de gas y el digestor puede también proteger a éste de las pérdidas del cierre de agua, si el paso no está cortado. Cuando se introducen líquidos en el digestor, el gas puede salir por la tubería hacia el tanque de almacenaje y cuando se extraen del digestor, el gas puede volver al tanque a través de la misma conducción.

3.2.2 Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.

La válvula de seguridad y la rompedora de vacío van colocadas sobre la misma tubería, pero cada una trabaja independientemente. La válvula de seguridad consta de un plato cargado con arandelas de peso calibrado. La combinación de estos pesos junto con el peso del plato debe igualar la presión de gas de proyecto del tanque (entre 15 y 20 cm. de columna de agua). Si la presión de gas en el tanque excede de este límite, la válvula se abrirá y dejará escapar gas durante un par de minutos. Ello debe ocurrir antes de que se rompa el cierre de agua. El cierre de agua se puede romper cuando la alimentación del tanque sea excesiva o cuando la extracción del gas sea demasiado lenta.

La válvula rompedora de vacío funciona de manera idéntica, excepto en que alivia las presiones negativas para evitar el colapso del tanque.

3.2.3 Apagallamas.

El apagallamas típico es una caja rectangular que contiene aproximadamente de 50 a 100 placas de aluminio corrugado con agujeros taladrados. Si se generara alguna llama en la tubería del gas, el enfriamiento se realizaría por debajo del punto de ignición al pasar a través de los deflectores, pero el gas podría seguir pasando con poca pérdida de carga.

Para evitar explosiones deben de instalarse apagallamas:

- a) Entre las válvulas de seguridad y rompedora de vacío y en la cúpula del digestor.
- b) Después del purgador de sedimentos, en la tubería de gas del digestor.
- c) Delante de cada caldera, horno o llama.

3.2.4 Medidores de Gas.

Los medidores de gas pueden ser de diversos tipos, como fuelles, diagramas de flujo en paralelo, molinetes y placas de orificios o presión de diferencial. Se necesita la instalación de un registrador de flujo de gas (gasómetro) ya que es necesario cuantificar la producción de gas.

Los manómetros se instalan en varios puntos del sistema para indicar la presión del gas en las unidades que requieran los operadores del proceso. Se instalan reguladores de presión, generalmente, antes y después del quemador de gases. Estos reguladores suelen ser del tipo diafragma y controlan la presión en todo el sistema de gas del digestor. Están colocados a 20 cm. de columna de agua, ajustando la tensión del muelle sobre el diafragma. Si la presión de gas en el sistema es inferior a 20 cm. de columna de agua, no llegará gas al quemador. Cuando la presión del gas alcance los 20 de columna de agua, el regulador se abre ligeramente, dejando que el gas pase al quemador, si la presión continua aumentando, el regulador se abre aún más para compensar.

3.2.5 Almacenamiento del Gas.

El gas que se produce en el digester es enviado por medio de compresores a depósitos donde queda almacenado a presión. Posteriormente, es extraído de estos depósitos y enviado al quemador. La presión de almacenamiento es, aproximadamente, de 3,4 atmósferas, lo que permite disminuir el volumen de gas a una tercera parte de lo que ocupa en el digester.

3.3 EQUIPO CONSIDERADO A INSTALAR.

En base a las condiciones necesarias de operación y los requerimientos del sistema realizaremos la propuesta de automatización del proceso de digestión aerobia, el cual consta, para su mejor análisis, de 7 sistemas:

- Sistema entrada de la materia orgánica a digerir.
- Sistema de gas.
- Sistema de calentamiento de la materia en el digester
- Sistema de desalojo de desechos orgánicos digeridos.
- Sistema de mezclado de materia orgánica y agua
- Sistema de entrada de la materia orgánica al mezclador
- Acondicionamiento de la materia orgánica, considerando de 7 a 8 el pH.

Resulta conveniente recordar que la propuesta de automatización solo corresponde a los cuatro primeros sistemas antes mencionados, ya que los restantes 4 se tiene ya en control. En cada uno de estos sistemas se requiere menor o mayor grado de automatización y continuación se detallará cada uno de los sistemas para saber de que consta cada uno.

3.3.1 Sistema entrada de la materia orgánica a digerir.

En este sistema se tiene presente el mezclador de la materia orgánica con agua a digerir de un lado y del otro el digester aerobio, como se observa en el diagrama.

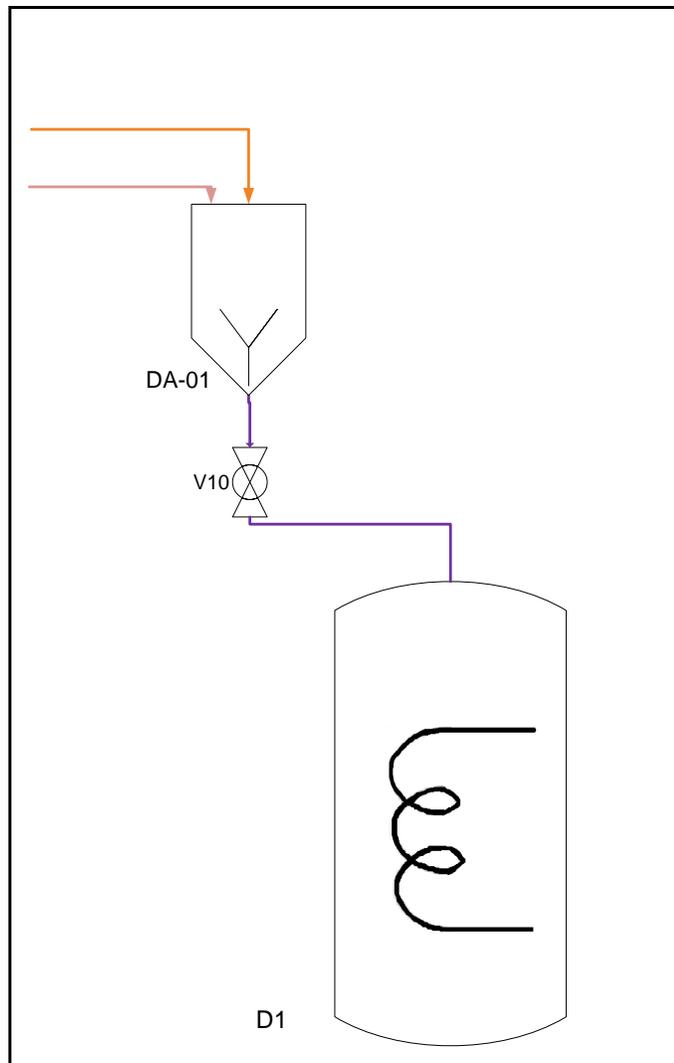


Figura 3.3 Estado actual del Sistema entrada de la materia orgánica a digerir

El diagrama anterior muestra una sección del equipo instalado, la alimentación de la materia orgánica en la parte superior del mezclador se realiza empleando un tornillo sin fin, adicionalmente se suministra simultáneamente un flujo de agua, posteriormente a la salida del mezclador, la apertura de la válvula de bola que permite el paso de la materia a digerir al digestor, se realiza de manera manual. La razón de la alimentación de agua al sistema es por las características que requiere el proceso, ya que necesita un 8% de concentración de sólidos.

La propuesta en esta parte del proceso se realizó considerando la implementación de los dos siguientes equipos: válvula solenoide de 0-5 volts y un PLC. En la figura 3.4 se muestra la propuesta para que el proceso de entrada de materia orgánica al digestor se realice de forma automática y periódica.

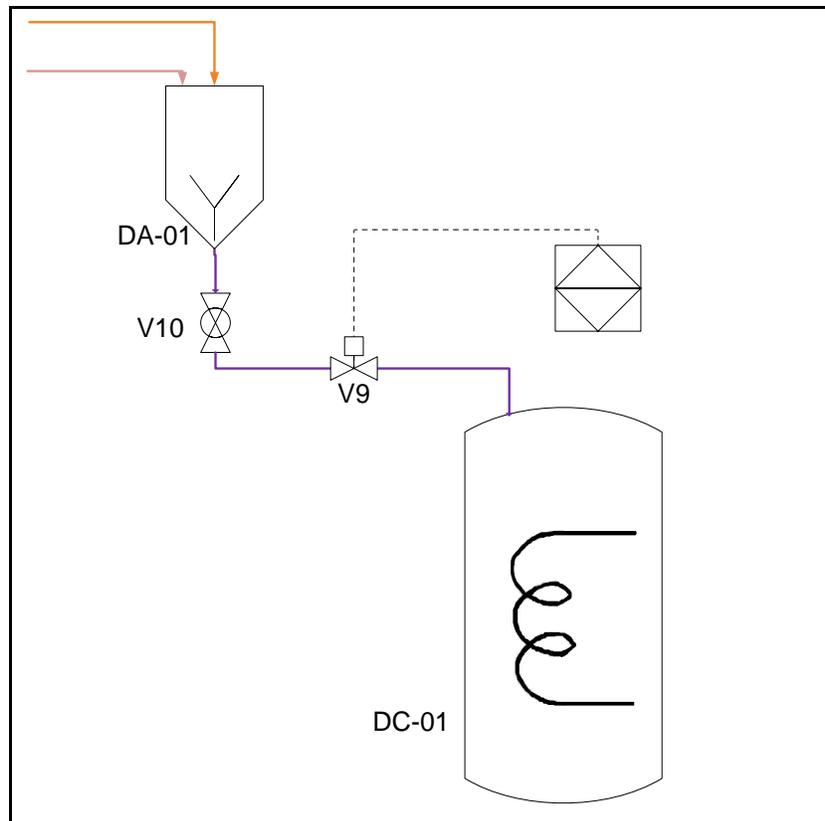


Figura 3.4 Propuesta del Sistema entrada de la materia orgánica a digerir

El PLC a instalar tendrá las funciones que no solo van a servirán para este sistema, sino también deberá ser funcional en otras partes del proceso, de aquí la importancia de realizar la selección adecuada del controlador.

3.3.2 Sistema de gas.

Las partes constitutivas del equipo instalando los las siguientes(figura 3.5):

T-2 Tanque con mercaptano para la odorización del gas.

La forma en que se realiza este proceso es la siguiente: la purga de gas se efectúa periódicamente cada 24 horas, esto cuando el proceso se encuentra en régimen permanente, es decir, cuando ya paso el periodo de arranque de duración de 8 días, periodo en el cual la materia orgánica en el digestor, incrementa su temperatura entre 50 a 60 °C. Dicha temperatura permanecerá constante, además se realizarán purgas periódicas para eliminar el oxígeno presente en el digestor. El posible gas que se llegue a generar en ese lapso de tiempo, se liberará al aire.

Después de haber pasado por la etapa de arranque, el noveno día se comenzará a obtener gas metano, obtenido en la parte de la cúpula del digestor, la manera en que se realiza la apertura de la válvula que se tiene instalada en la salida correspondiente al gas metano se realiza en forma manual.

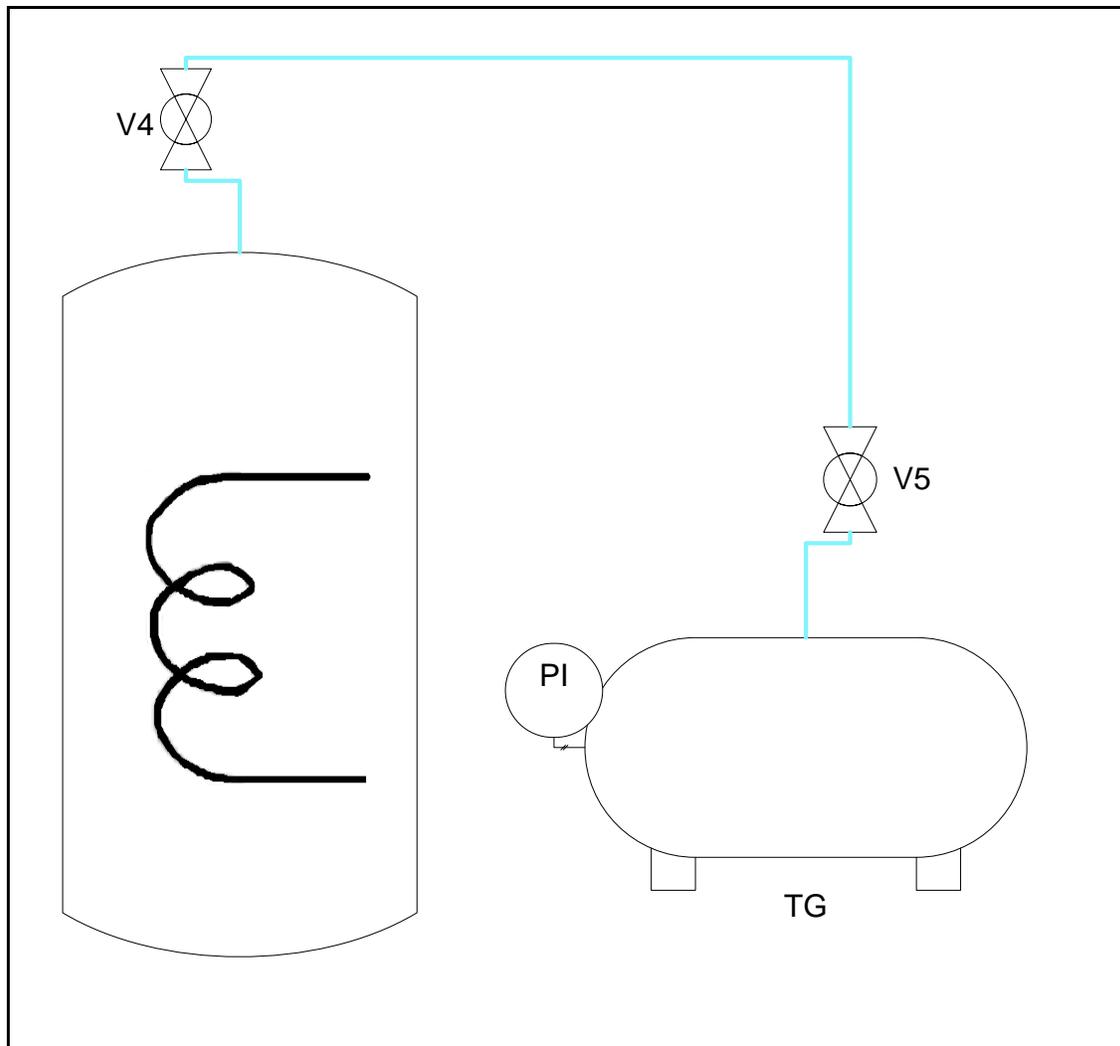


Fig. 3.5 muestra el estado actual del sistema de gas.

La propuesta (figura 3.6) para este sistema radica en la instalación de una válvula solenoide para que, con ayuda del PLC sea controlada y realice purgas periódicas del gas, además de un compresor para que el gas pueda ser utilizado por el sistema de calentamiento y el sistema de mezclado por tobera de inyección de gas. El tanque que se quiere instalar deberá tener una capacidad de 300 litros, en cual contará con un manómetro.

Debido a que el gas metano está compuesto por otros compuestos como, bióxido de carbono, humedad y sulfuro de hidrógeno, este último muy peligroso, se debe de instalar unos filtros los cuales eliminen en primer lugar el sulfuro de hidrógeno y después de este filtro uno mas que elimine la humedad y sólidos, por lo tanto la propuesta que se realiza es adicionar dos filtros uno de virulana, el cual se encarga de eliminar el sulfuro de hidrógeno, y un segundo filtro de silicato de silicio comúnmente llamado silicagel que permite eliminar la humedad y sólidos en suspensión.

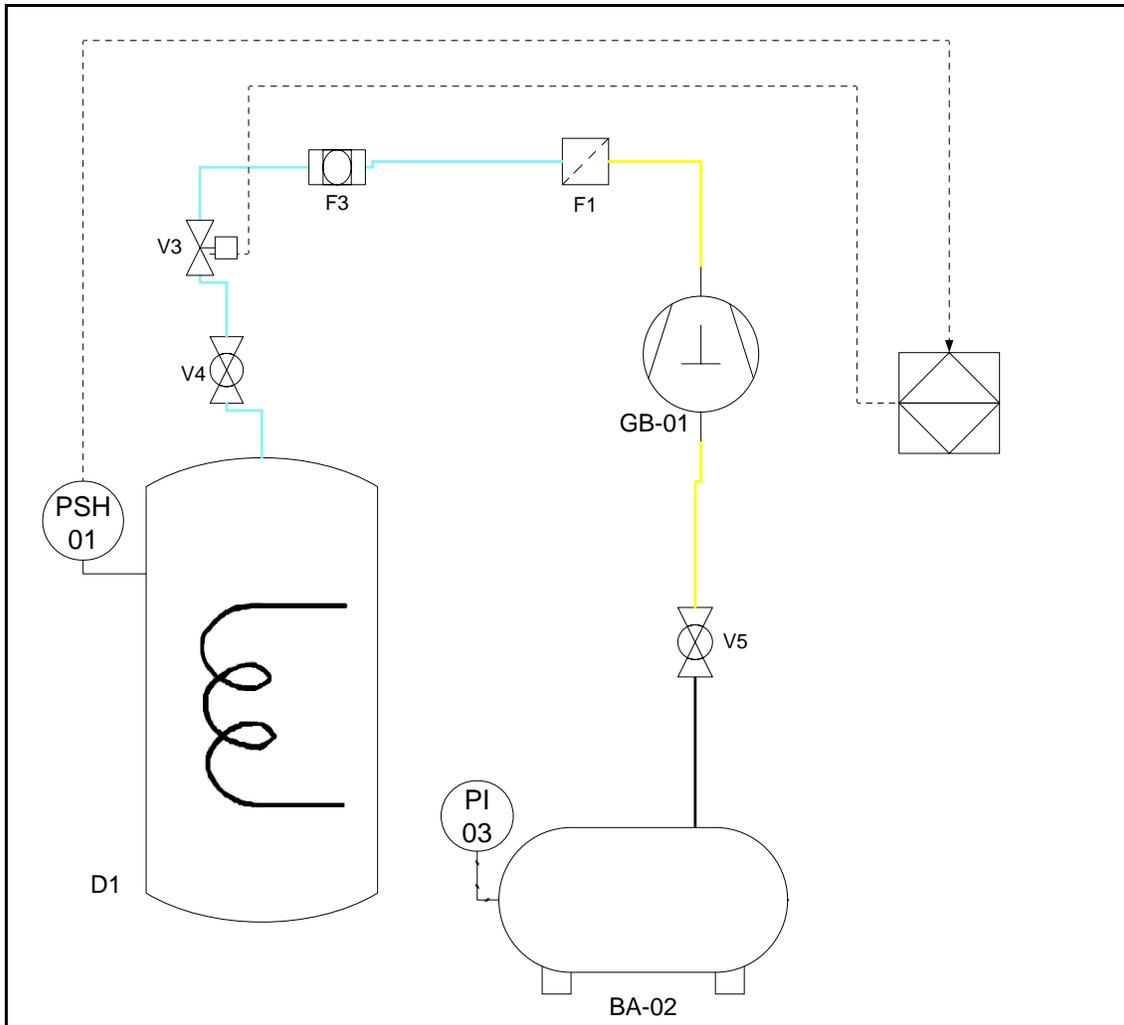


Figura 3.6 Propuesta del Sistema de gas.

3.3.3 Sistema de calentamiento de la materia en el digestor.

Este sistema tiene como propósito fundamental el control de la temperatura en el digestor y es la piedra angular para que el proceso de la digestión metánica tenga efecto, se requiere mantener la temperatura en el digestor entre 50 y 60 °C esto con el fin de que el proceso se lleve a cabo de la manera mas rápida posible y con la mayor obtención de biogás, como se presentó en el capítulo uno, la mayor obtención de metano en un corto tiempo se realiza en 9 días manteniendo la temperatura entre 50 y 60 °C.

Es muy importante este sistema puesto de que en el radica el éxito o fracaso del proceso, si se asegura un control que mantenga en esos intervalos de temperatura se tendrá un proceso eficiente y auto sustentable.

El sistema de calentamiento instalado en la planta es nulo de aquí la impetuosa necesidad de instalar uno. La propuesta que se realiza para este propósito es el siguiente;

Instalación de un calentador de paso instantáneo con una potencia de 32 KW.

La figura 3.7 representa el funcionamiento de un calentador de paso instantáneo, el principio de operación de este tipo de calentadores es a base de diferencia de presión entre las líneas del flujo de proceso. Como se observa en la línea de proceso a la salida del calentador se tiene presente un dispositivo electrónico switch el cual es el encargado de detectar la variación de presión en esta línea, cabe mencionar que este switch viene calibrado de fabrica a 0,03 MPa (0,30 bares).

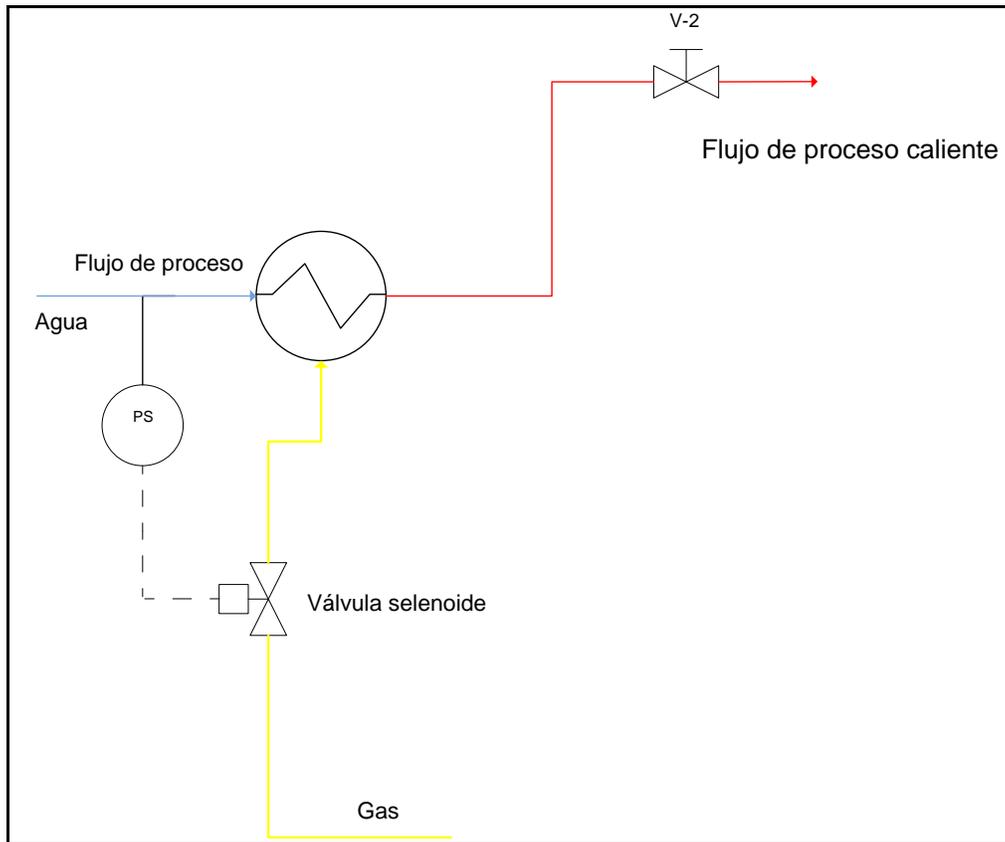


Figura 3.7 Diagrama de tubería e instrumentación del calentador de paso instantáneo

Como se mencionó el switch de presión es el encargado de mandar una señal a la válvula solenoide que se encuentra localizada en la tubería de gas, si el switch manda la señal de apertura a la válvula el gas pasara a través de esta tubería la cual en su extremo final se cuenta con un piloto, así cuando el gas fluya y se encuentre con el piloto se encenderá toda el área del calentador que se llama parrilla o quemador. El agua que fluya a través del serpentín se calienta conforme pasa por el serpentín. Si la velocidad de flujo se es lenta es agua se calienta mas que si la velocidad de flujo es muy rápida.

Si la presión del agua es menor 0,03 MPa (0,30 bares) la válvula solenoide se cerrara provocando la obstrucción del flujo de gas hacia la parrilla o quemador (figura 3.8).

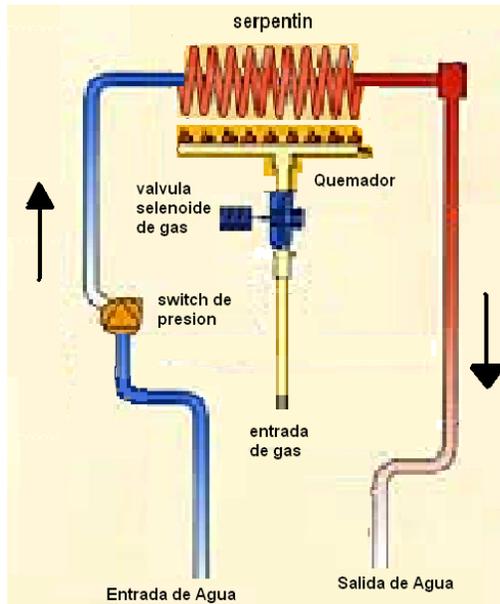


Figura 3.8 Diagrama esquemático del calentador de paso

Aprovechando las características de este tipo de calentador se pretende realizar el control de la temperatura del digestor como se muestra en la figura 3.9:

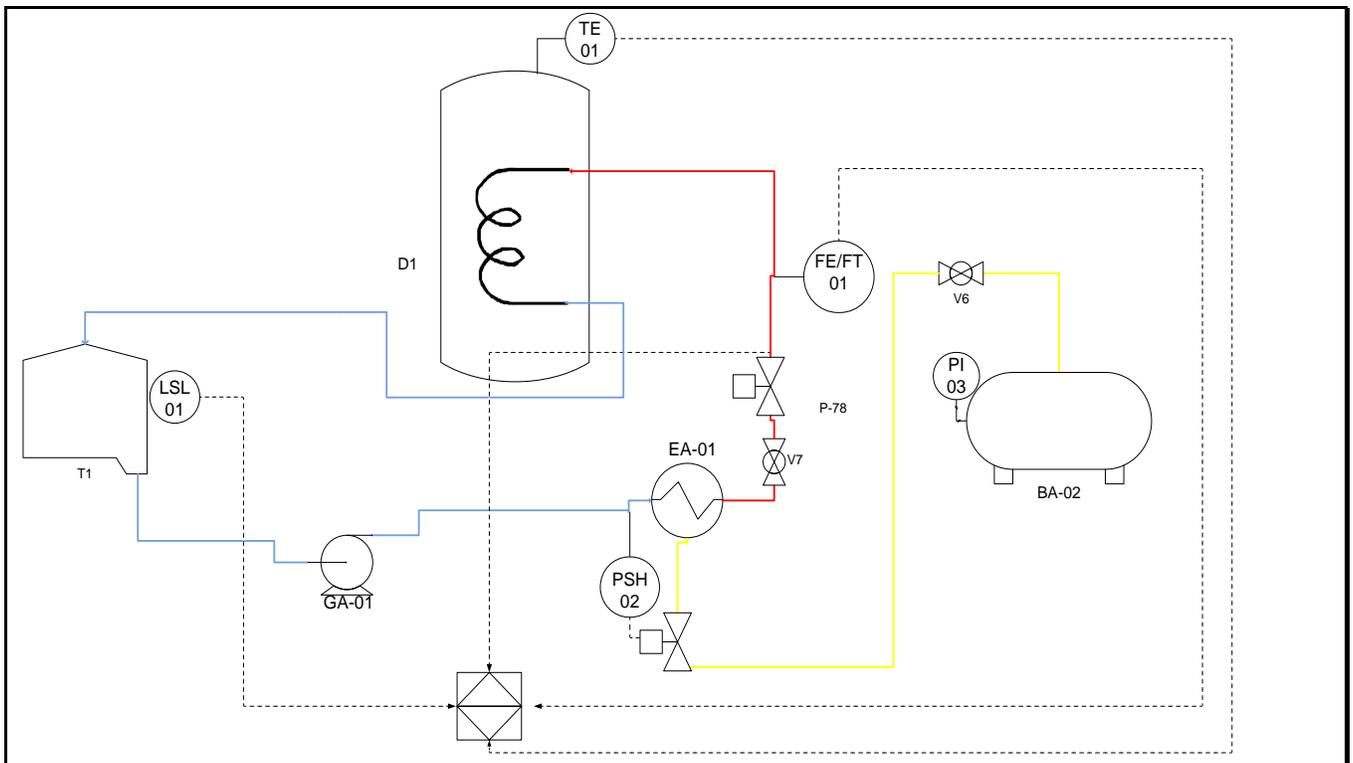


Figura 3.9 Sistema de calentamiento de la materia en el digestor propuesta 1

Lo que se pretende en este diagrama es controlar la apertura de la válvula solenoide que se encuentra sobre la tubería de color rojo con el fin de que cuando exista una diferencia de presión el switch de presión instalado en la línea azul lo detecte y mande abrir la válvula de gas (línea amarilla) y a su vez funcione el calentador. El principio del cual se hace uso es el de diferencia de presión para activar el switch de presión y utilizando la velocidad de flujo de proceso (línea roja) se incrementa en menor o mayor grado la temperatura del agua [8]. A medida que la temperatura en el tanque valla aumentando se abrirá mas la válvula para que el agua que fluye por el serpentín no absorba mucha temperatura como lo aria si tuviese una velocidad de flujo menor.

La bomba centrífuga se agrega ya que el serpentín que se encuentra en el digestor es muy largo, de tal manera que se requiere tener para que el agua caliente atravesase todo el digestor y regrese al tanque de almacenamiento que es de donde la bomba centrífuga toma el agua. El tanque de almacenamiento de agua debe tener una capacidad mayor al volumen total del serpentín, esto seria: $\frac{1}{2}$ pulgada diámetro = 0.9525 cm

Longitud 163.37 m

Volumen del serpentín = $\pi * r^2 * L = 46564.200 \text{ cm}^3 = 46.5642 \text{ litros}$.

El volumen del tanque de almacenamiento de agua seria mayor de 46 litros esto con el fin de asegurar que siempre se tenga agua para calentar. El tanque que se pretende instalar seria de una capacidad de 55 litros ya que este volumen es comercial.

Otra manera de realizar el control de la temperatura se presenta en el siguiente diagrama.

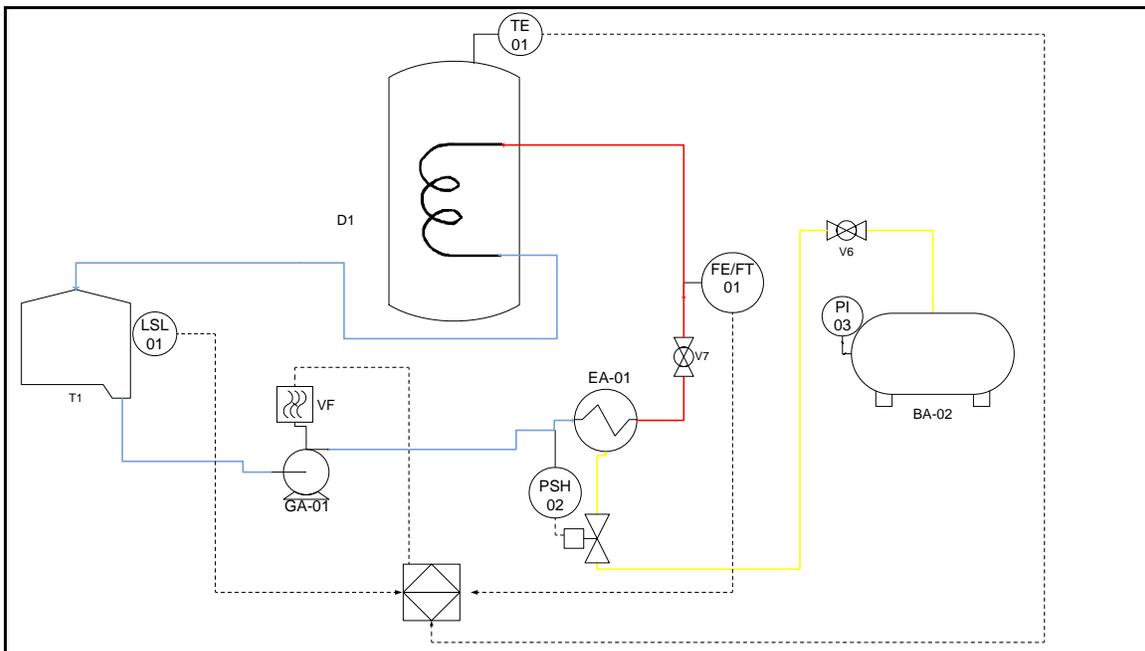


Figura 3.10 Sistema de calentamiento de la materia en el digestor propuesta 2

En este caso se tiene instalado, envés de una válvula solenoide para controlar el flujo de agua, un variador de frecuencia el cual controla la bomba centrífuga, como se observa en el diagrama la señal que le llega al variador proviene del PLC que a su vez se conecta con un termopar tipo T

El cual realiza el sensado de la temperatura y el controlador manda una señal al variador de frecuencia para que gire más rápido o más lento. De la misma manera que la anterior propuesta se hace uso del principio de funcionamiento del calentador de paso instantáneo.

También se puede observar que se realiza una propuesta de control en cascada debido a que la temperatura es una variable lenta y nuestro proceso no debe de tener mucha oscilación, recordando que la temperatura debe de estar alrededor de 50 y 60 con el fin de beneficiar el proceso. Con el control propuesto realizamos una medición de la temperatura en el serpentín (línea roja) de tal manera que si existe perturbación en la temperatura de flujo de proceso este termopar se encarga de mandar una señal a PLC para corregir la velocidad de la bomba centrífuga a su vez el PLC recibe la señal del termopar que se encuentra instalado en el digestor.

Es conveniente señalar que la salida hacia el actuador será la misma para los dos termopares, es decir, el variador de frecuencia instalado en la bomba centrífuga será el único actuado requerido para este lazo de control y no es necesario comprar otro elemento actuador de control para realizar el control en cascada, solo es necesario un termopar extra.

3.3.4 Sistema de desalojo de desechos orgánicos digeridos.

Este sistema se encarga de desalojo de los residuos digeridos y se realiza por la parte de abajo del digestor. El estado actual de este sistema es como se muestra en el diagrama (figura 3.11):

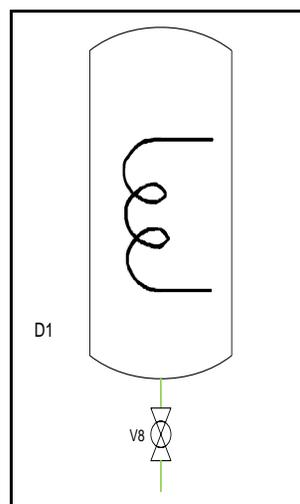


Figura 3.11 Sistema de desalojo de desechos orgánicos digeridos estado actual

Como se observa solo tiene instalado una válvula tipo globo y un filtro para separa la materia solida digerida que será usada como composta y el agua que se puede reutilizar como agua de riego.

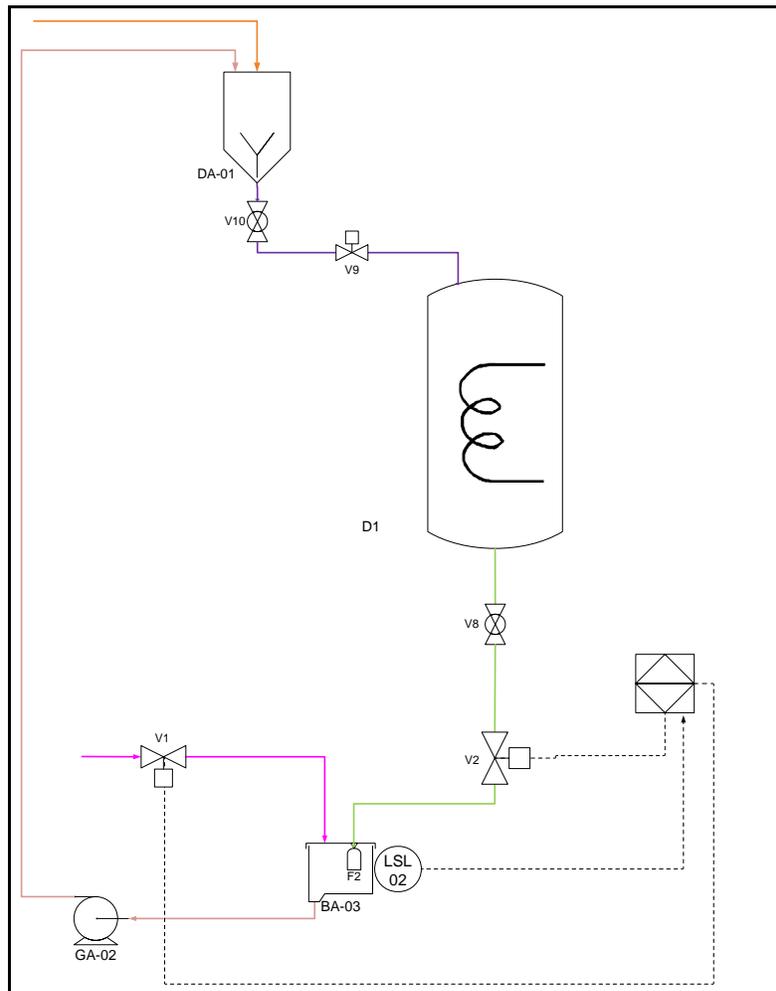


Figura 3.12 Propuesta en el sistema de desalado de desechos orgánicos digeridos

La propuesta (Figura 3.12) radica en la instalación de una válvula tipo solenoide pide de 0 a 5 volts o 4 a 20 mA la cual estará instalada en la parte de la salida de la materia digerida. Se pretende hacer uso de lo que se tiene instalado como s el caso de la válvula globo y el filtro pero con la variación de que se pretende mandar el agua que se obtenga del proceso de filtrado hacia un tanque de almacenamiento para que pueda ser usada en el sistema de entrada de la materia orgánica al tanque digestor, con esto se estaría ahorrando agua ya que no se necesitaría agregar selección al tanque digestor según los balances de materia que se tienen en el capítulo dos.

Salida lodos = 13.8 Kg de sólidos y 55.5 Kg de agua.

Si se pretende utilizar esta agua desaloja otra vez en el proceso de digestión anaerobia se tendrá que instalar un tanque con una capacidad mayo a 55.5 litros para que pueda mantener el

proceso continuo puesto que en la entrada de material orgánico en el sistema de alimentación se requiere agregar una cantidad de agua similar a esta. Sabiendo que en todo sistema hay pérdidas se tendrá que el tanque de almacenamiento de agua de rehusó podrá soportar estas pérdidas. Para tales efectos se instala una válvula solenoide que se controla por medio del PLC y esta válvula esta conectada a una toma de agua cualquiera. El sensor de nivel instalado es con el fin de controlar dicho nivel, este nivel debe ser mayor a 55.5 litros para asegurar que si el sistema de alimentación al digestor requiere agua se tenga para realizar el mezclado.

3.3.5 LISTA DEL EQUIPO INSTALADO Y PROPUESTO PARA EL PROCESO

Símbolo	Descripción
	PLC
	Sensor de flujo volumétrico de área variable
	Switch de nivel
	Switch de nivel
	Sensor de temperatura
	Switch de presión
	Válvula solenoide
	Válvula solenoide
	Válvula solenoide
	Válvula solenoide
	Válvula bola
	Válvula bola

PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN DIGESTOR ANAEROBIO TIPO HORIZONTAL

	Válvula bola
	Válvula bola
	Válvula bola
	Válvula bola
	Tanque T2
	Filtro tipo bolsa F2
	Tanque T1
	Variador de frecuencia VF
	B1 bomba centrífuga
	B2 bomba centrífuga
	Mezclador
	Compresor (C1)
	Tanque de almacenamiento de gas
	Calentador C1
	Digestor anaerobio con recirculación gaseosa y serpentín
	Filtro (F3) virulana
	Filtro (F1) silicato de silicio

3.3.7 LOGICA DE CONTROL EN EL PLC

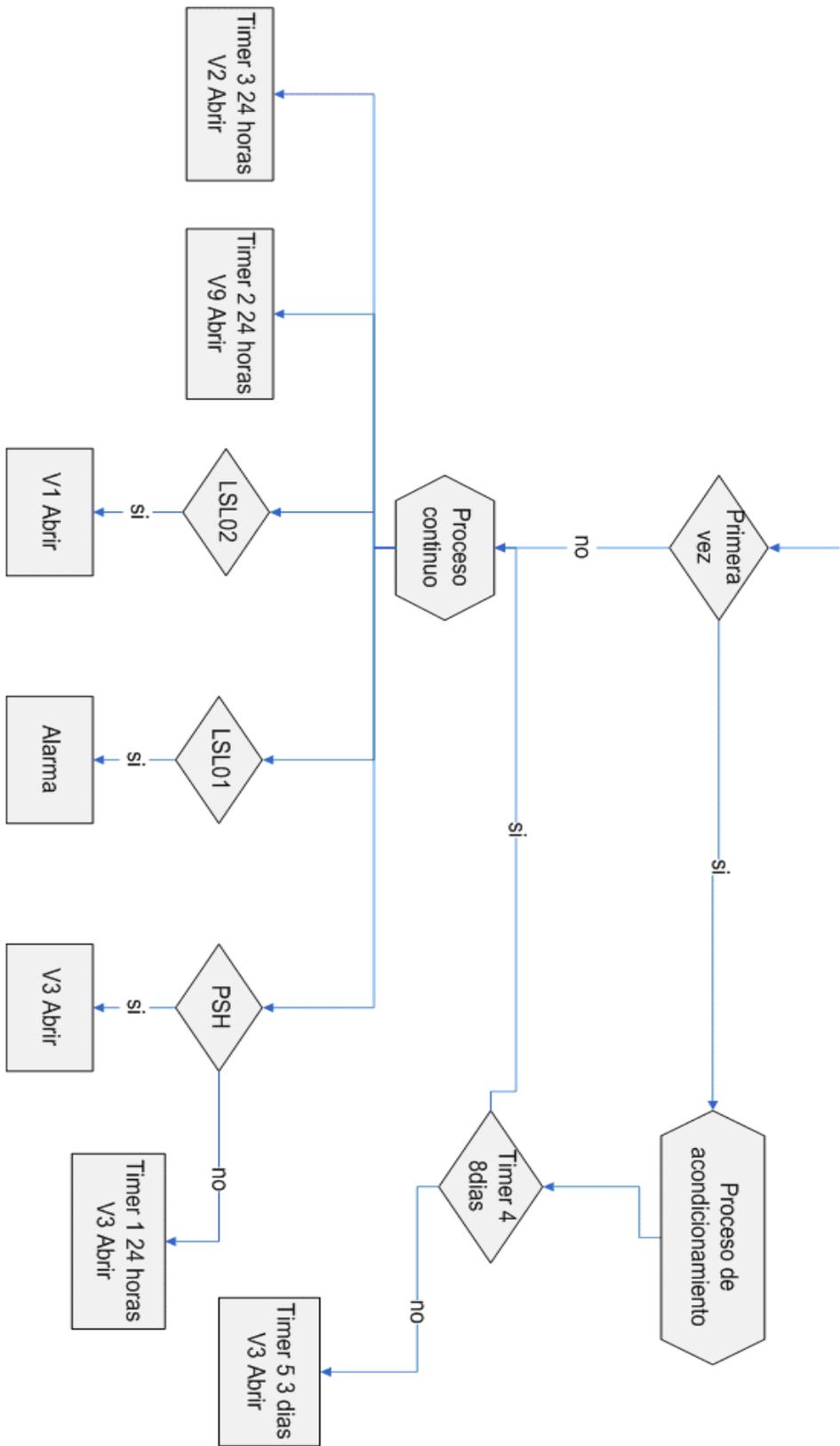


Figura 3.14 Lógica de Control

CAPITULO 4

DESCRIPCION DEL EQUIPO A INSTALAR

Ya que se realizó la propuesta de automatización para el digestor anaerobio se procede a describir los diversos equipos que realizarán la medición y control en el sistema propuesto. Lo que se verá en este capítulo es la manera en que se selecciona el equipo para la automatización propuesta así como la descripción de estos, el precio, modelo y fabricante, también cabe señalar que se realizan varias propuestas para un solo equipo debido a que existen en el mercado una gran variedad de ellos.

Un factor muy importante que se toma en cuenta para la selección es el costo del equipo ya que requerimos que sea lo más económico posible, esto claro, sin descuidar la calidad y seguridad. Los precios que se anotan son en dólares US debido a que la mayoría de los fabricantes maneja este tipo de moneda.

4.1 SENSOR DE FLUJO O CAUDAL:

Para realizar control de la temperatura en el reactor se requiere un sensor de flujo, con el fin de realizar un control en cascada. Entre la mayoría de sensores de flujo que existen en el mercado seleccionamos un sensor de flujo volumétrico de desplazamiento positivo (ver anexo 4).

Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	actuador	Capacidad litros / min
FLMW-1205	209	1/2	pistón	30

Los pasos que se siguieron para seleccionar este sensor fue la siguiente:

1. Que medición se desea realizar: volumétrico o másico
2. El principio de operación
3. Costo del sensor

Como funciona el sensor seleccionado: el fluido entra por la parte inferior forzando el pistón a moverse debido al flujo del fluido, contrayendo el resorte lo suficiente para que pase el flujo alrededor del pistón. El pistón tiene una gresca y por medio de ella se realiza la medición.

La serie FLMW y FMLH contiene salida analógica (-MA) y es típicamente usado para transmitir una señal proporcional a la velocidad de flujo a cualquier controlador como; PLC, registrador, o panel bien. El tipo de salida se puede seleccionar entre; 0 a 2000 Hz, 0 a 5 Vdc señal analógica, o 2-hilos para 4 a 20 mA. El Modelo FL-505, FL-510, y FL-515 son equipados con estas características (fig.4.1, 4.2).

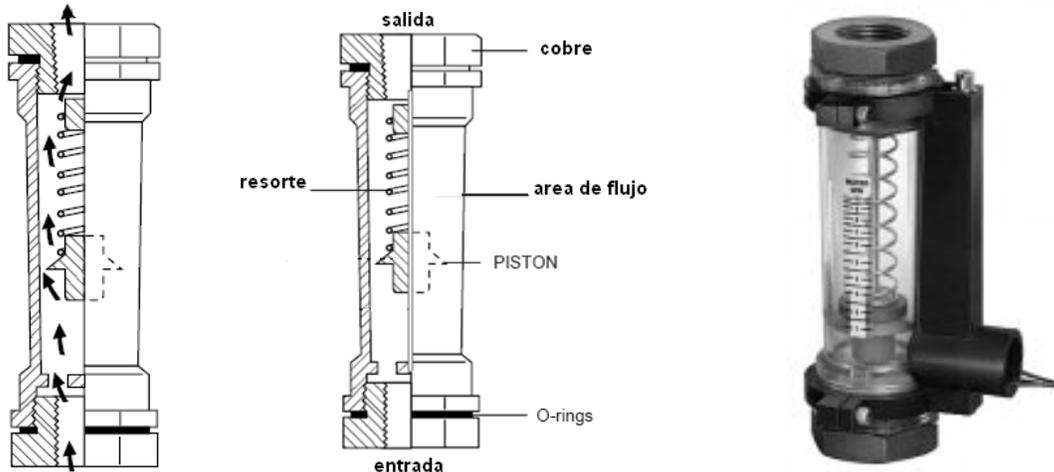


Figura 4.1 Sensor de flujo de desplazamiento positivo



Figura 4.2 Sensor de flujo FLMW-1205

4.2 SWITCH DE NIVEL 1

El interruptor flotador es un sensor de nivel de punto, el flotador con imán se mueve directamente con la superficie líquida y actúa con un interruptor herméticamente sellado dentro del flotador.

Se diseña para proporcionar alta repetitividad y minimiza los efectos de golpe, vibración y presión. Pueden usarse interruptores de flotador en una gran variedad de medios ya que están disponibles en varios materiales de construcción. También, el mantenimiento es mínimo y la instalación es simple. El interruptor incorporado en el flotador está herméticamente sellado y pueden ser de solo 1 tiro (SPST), o tiro doble (SPDT).

Con el fin de proteger la bomba centrífuga B1 de trabajar en vacío se sugiere agregar un switch de nivel al tanque T1, para así poder activar una alarma.

Tabla 4.3 Switch de nivel 1				
Modelo	Material	Tamaño	Señal de salida	Precio \$dólares
L-15	PVC	2 cm.	5 volts	\$3

4.3 SWITCH DE NIVEL 2

En el tanque de almacenamiento de agua que se encuentra después del filtro bolsa se requiere mantener un nivel óptimo para que el sistema de mezclado de la materia orgánica pueda realizar su proceso. Para esto se selecciona un switch de nivel de punto, esto debido q que en el proceso solo se requiere un punto de control de nivel y no es necesario hacer toda la medición del tanque solo cuando el nivel sea menor a lo que deseamos el sensor mandara una señal eléctrica para abrir la válvula de agua. Para seleccionar este switch se tomo en cuenta el medio donde iba estar sumergido el cual es agua proveniente del reactor anaerobio, además de las condiciones que solo se requiere un punto de control (ver anexó 3) (fig 4.3).

Tabla 4.2 switch de nivel 2					
Modelo	Material	Tamaño	CONEXIÓN	Señal de salida	Precio \$dólares
LV-11 56	Acero 316	6,12,18, 24"	9/16 "	5 volts	\$33



Figura 4.3 Sensor de nivel LV-1156

4.4 SENSOR DE PRESIÓN

Se requiere instalar un elemento que mida la presión en el digestor con el fin de que no exceda los 20cm de columna de agua según se especifica en el reactor, también se debe de tomar en cuenta para su selección que el sensor va estar en contacto con el gas que contiene; metano, sulfuro de hidrogeno, bióxido de carbono, otra característica importante es el lugar donde se va instalar que es un tanque cerrado.

El sensor propuesto en realidad es un switch ya que lo único que se requiere es mantener una presión de operación no mayor a 20 cm. De columna de agua por ende es mucho gastar en un sensor transductor que tome una serie de valores si lo único que se requiere es un punto a sensar. El material del que esta construido es de cloruro de polivinilo (PVC) ya que este material es muy resistente a la corrosión que es el principal factor a tener en cuenta para su selección, cabe señalar que el sensor es de tipo diferencial ya que va instala en tanque cerrado (Fig. 4.4).

Tabla 4.4sensor de presión					
Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Orificio	Setpoint prefijado	Presión máxima
PSW23-20W	22	1/8	9/16	20 in H ₂ O	250 inH ₂ O



Figura 4.4 Sensor de presión

4.5 SELECCIÓN DE VÁLVULAS

Para realizar la selección de válvulas se respondieron estas sencillas preguntas. Para mayor información acerca de cómo seleccionar una válvula ver anexo 6.

Tomando en consideración los aspectos anteriormente descritos se procedió a seleccionar las diferentes válvulas, a continuación se describe cada una de ellas, sus características y precio para mejor referencia ver el DTI general (capitulo 3).

4.5.1 Válvula 1 (V1)

El fluido que se transporta es agua, las condiciones de operación son; temperatura ambiente, presión atmosférica. El servicio no es critico, conexión ½" NPT.

La válvula propuesta es una válvula tipo globo de simple asiento con cuerpo de cobre, temperatura máxima de operación 50⁰ Celsius, la solenoide es a 120 V 10 watts. (anexo 6)(Fig. 4.5).

Tabla 4.5 Válvula 1							
Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Orificio	Cv	Sello	Temperatura a máx. (°C)	Tiempo de respuesta
SV202	125	1/2	19/32	4.4	Buna n	75	350 a 900 ms



Figura 4.5 Válvula 1

4.5.2 Válvula 2 (V2)

El fluido que se transporta es agua con sólidos disueltos de materia orgánica ligeramente corrosiva, temperatura de 50 a 60 °C, conexión 3" NPT.

La válvula propuesta es una tipo bola ya que el fluido que pasara contiene sólidos en suspensión y este tipo de válvula es recomendado para lechadas. Cuerpo de la válvula acero inoxidable, temperatura máxima de operación 75 °C. Voltaje 120 volts AC (Fig. 4.6).

Tabla 4.6 Válvula 2							
Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Orificio	Cv	Sello	Temperatura máx. (°C)	Tiempo de respuesta
SV6003	560	3"	2 ½ "	5.3	PTFE	75	500 a 1100 ms



Figura 4.6 Válvula 2

4.5.3 Válvula 3 (V3)

El tipo de fluido que maneja esta válvula será gas metano partículas sólidas suspendidas en el gas, sulfuro de hidrogeno y bióxido de carbono, el compuesto mas peligroso del sistema es el sulfuro de hidrogeno ya que es muy corrosivo y mortal si se inhala en grandes cantidades así que se requiere una válvula que tenga un sello perfecto y que el cuerpo de esta sea resistente a la corrosión. La conexión que se requiere es una NPT1/2”.

La válvula propuesta es una válvula de diafragma ya que este tipo de válvula garantiza un cierre hermético además que es apta para fluidos corrosivos y con contenido de sólidos en suspensión. El cuerpo de la válvula es de cloruro de polivinilo (PVC) ya que los materiales termoplásticos son resistentes a al corrosión, voltaje 120 volts (fig. 4.7).

Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Orificio	Cv	Sello	Especificación Válvulas para servicio de gases sulfurosos	Temperatur a máxima (°C)	Tiempo de respuesta
SV-11	473	½”	9/16 “	5.8	Viton	MR0175	75	850 ms



Figura 4.7 Válvula 3

4.5.4 Válvula 4 (V4)

Ya que esta válvula esta instalada en la misma tubería que la V3 tiene las mismas características y necesidades por lo tanto se selecciona una válvula de tipo globo ¼ vuelta con cuerpo de cloruro de Polivinilo (PVC) o polipropileno ya que muestran las mismas características en cuestión a corrosión a su vez es de acción rápida por si ocurre una emergencia (Fig. 4.8)

Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Orificio	Cv	Sello	Especificación Válvulas para servicio de gases sulfurosos	Temperatura máx. (oC)
FVL101	29	½"	9/16"	1.8	Viton	MR0175	75



Figura 4.8 Válvula 4

4.5.5 Válvula 5 (V5) y válvula 6 (V6)

El fluido que maneja esta válvula es gas el cual contiene metano y CO₂. El servicio no es crítico y se requiere una válvula de acción rápida. Conexión ½ ". La propuesta es una válvula tipo bola ¼ de vuelta con cuerpo de acero inoxidable ANSI 300 con el fin de evitar la corrosión, la válvula es perfectamente hermética para evitar que salga el gas al exterior (fig. 4.8).

Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Orificio	Cv	Sello	Temperatura máx. (oC)
152- iusa	7.90	½"	9/16"	2.1	Viton	50

4.5.6 Válvula 7 (V7)

El fluido que pasa a través de esta válvula es agua (líquido, no viscoso poco corrosivo) caliente a 95 ° C máximo. Conexión ½". La válvula propuesta es una válvula bola ¼ vuelta con cuerpo de acero inoxidable ANSI 304.V7

Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Orificio	Cv	Sello	Temperatura máx. (oC)
255- iusa	5.0	½"	9/16"	2.1	Viton	95

4.5.7 Válvula 8 (V8)

el fluido que se transporta es agua con sólidos disueltos de materia orgánica ligeramente corrosiva, temperatura de 50 a 60 °C, conexión 3" NPT.

La válvula propuesta es una tipo bola ¼ de vuelta ya que el fluido que pasara contiene sólidos en suspensión y este tipo de válvula es recomendado para lechadas. Cuerpo de la válvula acero inoxidable, temperatura máxima de operación 75 °C.

Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Orificio	Cv	Sello	Temperatura máx. (oC)
SV6003	56	3"	2 ½ "	38	Viton	75

4.5.8 Válvula 9 (V9)

El fluido que se transporta es agua con sólidos disueltos de materia orgánica ligeramente corrosiva además de estar en contacto con el gas metano, temperatura ambiente, conexión 3".

La válvula propuesta es una tipo globo ya que el fluido que pasara contiene sólidos en suspensión y este tipo de válvula es recomendado para lechadas. Cuerpo de la válvula PVC, temperatura máxima de operación 75 °C. Voltaje 120 volts AC (figura 4.9).

Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Orificio	Cv	Sello	Temperatura máx. (oC)	Tiempo de respuesta
SV16	760	3"	2 ¾ "	41.9	PTFE	75	500 a 1100 ms



Figura 4.9 Válvula 9

4.5.9 Válvula 10 (V10)

El fluido que se transporta es agua con sólidos disueltos de materia orgánica ligeramente corrosiva, temperatura ambiente, conexión 3" NPT.

La válvula propuesta es una tipo bola ¼ de vuelta ya que el fluido que pasara contiene sólidos en suspensión y este tipo de válvula es recomendado para lechadas. Cuerpo de la válvula acero inoxidable 304, temperatura máxima de operación 75 °C.

Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Orificio	Cv	Sello	Temperatura a máx. (oC)
SV6003	56	3"	2 ½ "	58	Viton	75

4.6 SELECCIÓN DE FILTROS.

Sulfuro de hidrógeno (SH₂) que acompaña al metano es un elemento peligroso que debe ser eliminado no solo porque es venenoso, sino que acelera el fenómeno de oxidación de una manera considerable, envejeciendo toda la instalación, esto se elimina fácilmente con un filtro de viruta de hierro y como se lo conoce en el mercado (virulana)(figura 4.10). Las esponjas deben cambiarse periódicamente por otras limpias. Cuando se encuentran saturadas pueden regenerarse con la simple exposición al aire.

Tabla 4.14 Filtró viruta

0 – 150 Micrones	(Esponja -100)	\$120	Hierro, Aluminio
150 – 500 Micrones	(Esponja -35+100)	\$150	Hierro, Aluminio



Figura 4.10. Filtro de viruta de hierro

Humedad del biogás

Las características naturales de generación del biogás hacen que este sea un gas húmedo y que en las cañerías se almacene un elevado porcentaje de humedad, esta humedad no siempre es conveniente ya que disminuye la caloría por m³, produce oxidación de materiales y además obstruye cañerías, por lo que es conveniente su eliminación si queremos comprimir el biogás. Una forma de hacerlo es mediante filtro de silicato de silicio llamado comúnmente silica-gel.

Filtro Desecante de ½", Vaso Metálico de 29 OZ con Mirilla de nivel de Saturación. Incluye 1 bote de ¼ Gal de Silica Gel (Desecante). **PRECIO: \$147.64 USD.**



Figura 4.11 Filtro de silicato de silicio

Para realizar la selección del filtro se requiere tomar en cuenta la cantidad de materia que se va a filtrar a su vez de saber la composición de esta y el tamaño máximo de la material a filtrar. Para este proceso se propone que el filtro que se instale sea simplemente un tanque de plástico con capacidad de 500 litros, esto debido al balance de materia que se tiene (ver balance capítulo 2), dentro del tanque justo a la salida de la tubería (línea verde) se propone poner una bolsa de polipropileno para que esta realice la función de medio filtrante, el tamaño de esta bolsa debe de ser de 25 kilogramos, de acuerdo con el balance de materia y tendrá que ser remplazada diariamente. La bolsa propuesta puede ser el medio también de transporte de la materia orgánica lo que significaría que no se necesita otra bolsa para transportarla y a su vez requerimos comprar bolsas una para cada día.

Tabla 4.15 Bolsa filtrante			
Modelo	Precio \$	Capacidad	Material
BG-25	1	20 KG	Cloruro de polivinilo



Figura 4.12 Bolsa filtrante

4.7 SELECCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Para la selección de tanques de almacenamiento se considero los siguientes aspectos:

1. Capacidad máxima en litros (tiempo de residencia)
2. Material que va almacenar
3. Características del material a almacenar (temperatura, presión, corrosivo,)

4. Tapa o al aire libre
5. Diámetro de tubería

Tanque de almacenamiento T1

Este tanque requiere una capacidad máxima de 110 litros, de material de cloruro de polivinilo (PVC) ya que este tipo de material es muy resistente al ambiente además de su bajo costo. La manera en que se cálculo la capacidad máxima del tanque fue como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Longitud del serpentín} &= 163.37 \text{ m} \\ \text{Diámetro de tubería} &= \frac{1}{2} \text{ in} = 0.0127 \text{ m} \\ V_{\text{Serpentín}} &= \pi r^2 l = \pi(0.0127\text{m})^2(163.37\text{m}) = 0.082\text{m}^3 = 82 \text{ litros} \end{aligned}$$

La capacidad propuesta es de 110 litros esto con el fin de tener una reserva en el tanque, ya que puede haber pérdidas en el transporte del fluido y la bomba centrífuga instalada en esta línea se tiene que proteger para que no funcione si es que no tiene agua en el tanque.

Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Capacidad máxima	Material
BIC-110	21	½"	110 litros	Cloruro de polivinilo

Modelo	Precio \$	Conexión a tubería	Capacidad máxima	Material
BIC-500	51	½"	500 litros	Cloruro de polivinilo

4.8 SELECCIÓN DE BOMBA DE AGUA

Para la selección de las bombas se consideraron los siguientes y para mayor información ver el anexo 7. Se calcula el caudal (litros por minuto, litros por segundo, etc.). Los criterios más importantes en la selección de bombas incluyen:

1. Condiciones de operación (temperatura y presión)
2. Características del fluido (viscosidad, densidad, presión de vapor o ebullición, propiedades corrosivas, toxicidad inflamabilidad, limpieza.)
3. Rango de capacidad (caudal normal máximo)
4. Condiciones de aspiración (presión de aspiración NPSH)
5. Presión de descarga (simple o múltiple etapa)
6. Practicas operatorias (continuo o intermitente)

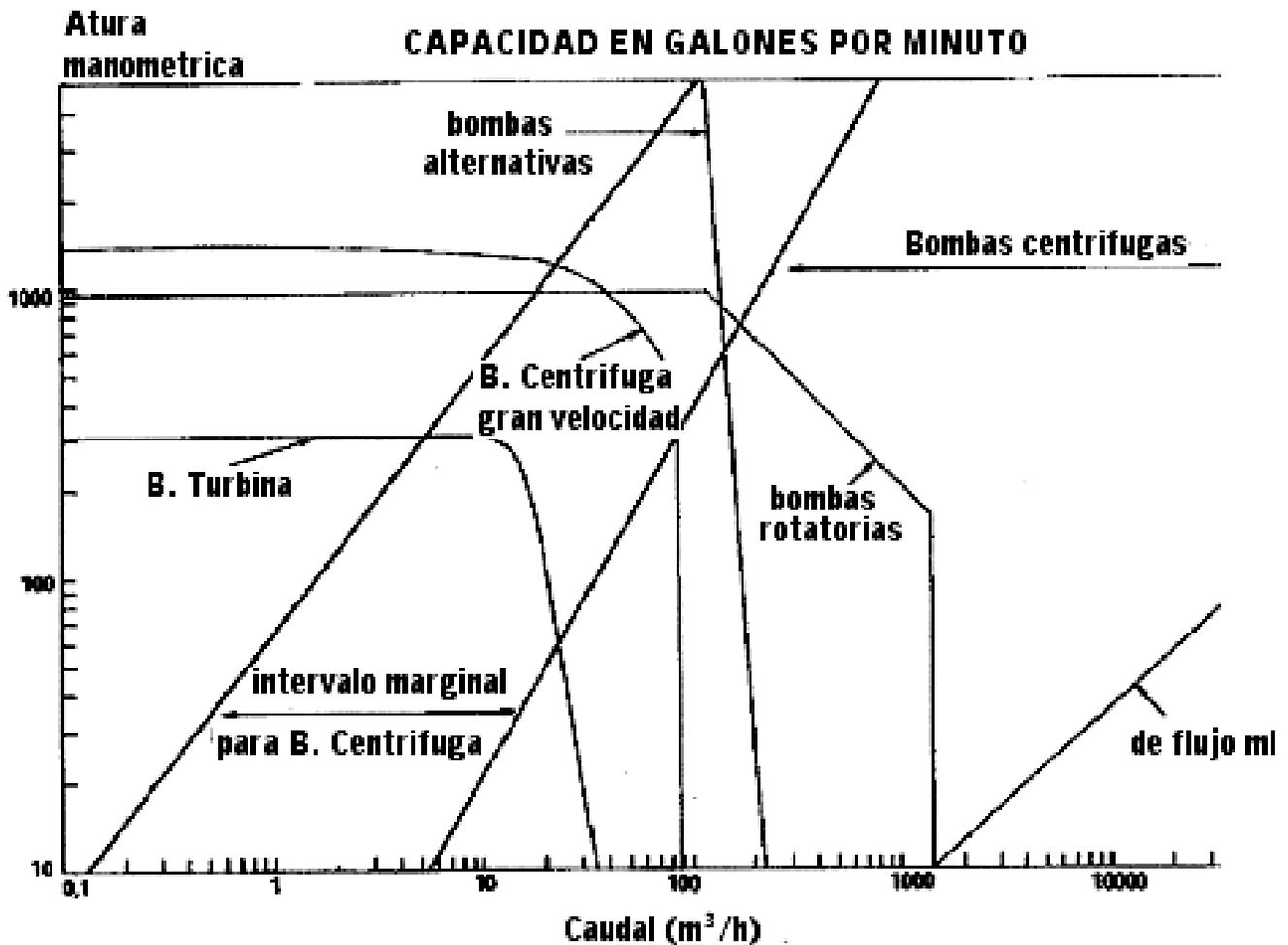


Figura 4.13 Curvas de diferentes bombas

Con este mismo procedimiento, usted podrá ir observando qué caudales producen varias bombas a esa misma altura total que usted calculó, para entonces así escoger la bomba que más le convenga a sus necesidades.

Bomba 1

Asiendo uso de los puntos anteriores se selecciono la bomba 1 la cual sus condiciones de operación son: temperatura ambiente, presión atmosférica, liquido agua, el caudal requerido esto en base al calentador de paso instantáneo es 19 litros / minuto altura propuesta 3.5 metros.

Tabla 4.18 Bomba 1					
Modelo	Marca	Precio \$	Conexión a tubería	Potencia	Litros por minuto
5P-1500	SIEMENS	90	½"	1 Hp	100

4.9 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

Para seleccionar el controlador se tomo en cuenta los siguientes puntos:

1. Variable que se debe medir, en nuestro caso es temperatura
2. Señal que puede recibir el controlador para seleccionar a su vez el sensor
3. Señal de salida que maneja
4. Si lo requerimos analógico o digital
5. Montado en campo o remoto

Inicialmente se planteó instalar un controlador de temperatura de la marca honeywell (figura 4.14)el cual permite de señal de entrada termopar o RTD, de señal de salida presenta la opción de 0-5 volts o 4-20 mA, sin embargo se descartó debido a lo siguiente:

1. Número de actuadores que se requieren controlar, ya que aunque en el lazo de control de la temperatura solo se regula la válvula solenoide V3 y se recibe señal del termopar y el sensor de flujo, se tiene 4 válvulas mas a controlar lo que implica que se instale otro tipo de controlador.

2. Costo del controlador de temperatura es alrededor de \$140 dólares y el controlador propuesto \$300 dólares. Se pensaría que no seria conveniente en cuestión de costo pero el controlador propuesto puede manejar 32 entradas/salidas las cuales pueden ser utilizadas para el control de temperatura y el control de las válvulas además de tener la posibilidad de hacer una lógica para el sistema.

3. El controlador propuesto tiene la posibilidad de realizar auto sintonización de los lazos de control además que puede controlar 8 de ellos, en comparación con el controlador de temperatura que solo puede realizar el control de un lazo.



Figura 4.14 Controlador de temperatura honeywell

Debido a las características anteriores el controlador de temperatura honeywell no cumplía con las necesidades que el sistema ya que en cuestión al costo implicaría la selección de un controlador extra para las válvulas.

El controlador seleccionado es un PLC el cual tiene la posibilidad de controlar 8 lazos PID y solo se requiere añadir slots de entradas y salidas analógicas. Estos módulos están disponibles en 4 entrada análogas y 4 salidas análogas de 0 – 5 volts, 0 – 10 volts o 0 – 20 mA y 4 – 20 mA y los rangos pueden ser seleccionados por un DIP switch en los módulos respectivos. Además el PLZ cuenta con un monitor de los lazos PID que nos ayuda para la auto sintonización.

La capacidad de manipular 8 lasos de control PID simultáneamente es posible por que usa un procesador de 40 MHz Esta característica solo esta disponibles en PLC como compac logix y control logix pero cuestan 20 veces más que el EZPLC (fig 4.15).

Tabla 4.18 Características generales del PLC	
Modelo	EZPLC-A-32
Canales de I/O	32
Inputs	16
Outputs	16
Canales Máximo	32
Tiempo de escaneo (ms)	3.00
Memoria de Datos (kilowords)	64.00
Opciones de Programación	Computadora
	Hand Held
Opciones de red	DeviceNet, Profibus (opcional)
Lenguajes de Programación	Diagrama de escalera
Alimentación	115VAC
Opciones de montaje	Panel / Chasis

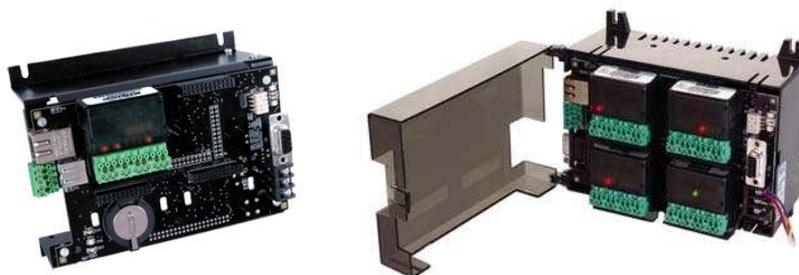


Figura 4.15 EZ PLC

4.10 SENSOR DE TEMPERATURA

Para realizar la medición de la temperatura en el digestor se requiere seleccionar el tipo de elemento primario de medición así como sus características de este. La manera en que se seleccionó fue en base al controlador que se propuso (EZPLC) el cual tiene capacidad para termopares Tipos J, K, S, T y RTD Tipos PT100, PT1000, 120 Ni, 10 Cu. En base a estos datos se realizó la comparación de estos en relación al costo (ver anexo 5).

El termopar a emplear es de tipo T, de cobre-constantán, tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras (figura 4.16). Se prefiere generalmente para las medidas de temperatura entre -200 a +260 °C. Las características se presentan en la tabla 4.18.

Descripción	Modelo	Tipo de termopar	Aislante	Tamaño	Aplicaciones	Precio \$dólares
Termopozo	NB1, 2, 3, 4	J, K, T, E, N	Acero inoxidable 304 o 310SS / 316SS	0.375" diámetro, 6, 12, 18, 24 Y 36" de largo	Inmersión en líquido, gas o aire, en ambiente oxidante y reductor.	\$ 42
Termopar	SH, DH, FS	J, K, T, E, N	Cerámico o Nextel	6, 12, 18, 24"	Dentro de termopozo	\$6

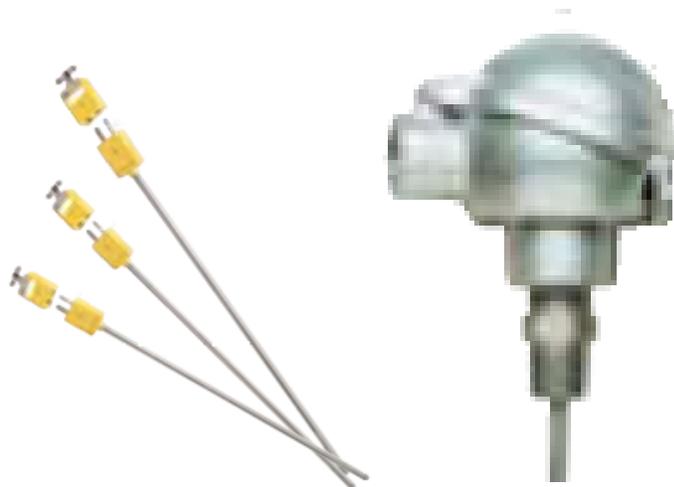


Figura 4.16 Termopar y Termopozo

4.11 SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA:

Para realizar el control del flujo de agua en el serpentín se propuso un variador de frecuencia el cual realizara el control de la velocidad de la bomba centrífuga (V1), la forma en que se selecciono el variador de frecuencia fue considerando los siguiente s aspectos.

1. Voltaje de la bomba centrífuga a controlar
2. Potencia de la bomba centrífuga
3. Señal de control al variador de frecuencia

Tabla 4.19 Variador				
Modelo	Marca	Precio \$	Potencia	Voltaje máximo bomba
NFXF50A0-1	EAT-N	\$192	1 Hp	120



Figura 4.17 Variador de frecuencia

4.12 SELECCIÓN DEL CALENTADOR

Como se explico en los capítulos anteriormente, para poder obtener la mayor eficiencia posible en el digestor la temperatura dentro del reactor debe estar entre los 50 y 60 ° C, para este proceso se intentara obtener la mayor eficiencia posible y se seleccionara un calentador que nos pueda suministrar 60 °C en el interior del reactor.

El reactor se selecciono en base a otras variables además de la temperatura necesitada en el reactor como lo es el volumen de mezcla a calentar, incluso la mezcla misma es una variable a considerar, para tener una base exacta de la selección del calentador nos ayudamos de la fórmula 3.1 que utiliza Resistencias Industriales MAXIWATT para calcular cuanta potencia se requiere para calentar un volumen sólido, líquido o gas en un tiempo determinado, aunque este cálculo no tiene en cuenta las eventuales pérdidas caloríficas, la formula será de utilidad para la selección de nuestro calentador (anexo 8).

Tabla 4.21 Formula para calcular la potencia del calentador

$$P = \frac{V * p * Cp * (t_2 - t_1) * 1.2}{860 * T}$$

P = Potencia a Instalar en Kw
V = Volumen a Calentar en litros o dm ²
p = peso en Kg./dm ³ o Kg./litro
Cp = Capacidad Calorífica en Kcal./Kg.* C
t ₂ = Temperatura final en centígrados
t ₁ = Temperatura final en centígrados
T = Tiempo en horas

Aunque la capacidad total del reactor es de 3000 litros, solo se agregara a este 2500 litros de mezcla como lo dicen los calculos antes mencionados donde: 1800 litros representa el 90% de los desechos orgánicos húmedos (agua agregada), 200 litros son el 10% de desechos orgánicos húmedos (estiércol seco) y los últimos 500 litros es el agua que se le agrega a la mezcla, por lo tanto el valor de “V” sería de 2500 litros.

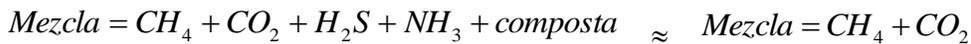
Para el valor de “p” se obtiene con un análisis dimensional ya que las unidades que nos piden son de Kg. / dm³ o Kg. / litro podemos deducir que el valor que aquí nos piden es un equivalente a la densidad de la mezcla, la cual para fines de cálculos y considerando que la lechada tiene un contenido de sólidos bajo, podemos decir que la densidad de la lechada es casi igual a la del agua, por lo tanto, el valor que utilizaremos de “p” será de 1 Kg. / litro.

La temperatura t₂ que es la temperatura final debe estar entre el rango de 50° C y 60° C, pero como se menciono anteriormente con fines de obtener la mejor eficiencia en la reacción se levantara una temperatura de 60 ° C, con lo cual se asegurara que la mezcla ocasione una reacción donde se producirá la mayor cantidad de gas metano posible, por lo tanto el valor de “t₂” será de 60° C.

Para la temperatura t₁ que es la temperatura inicial (la temperatura a la cual estará el agua al entrar al calentador), se considera que esta es igual a la temperatura ambiente la cual en la ciudad de México que puede ir desde los 15° C hasta los 30° C aproximadamente, para tomar una cifra constante usaremos una temperatura de 21.3° C para “t₁”.

El valor de Cp, depende de la sustancia a estudiar, es decir, el valor de Cp que requiere de diversas formulas y consideraciones relacionados a cada uno de los componentes de la mezcla (ver anexo 9).

Dado lo anterior se calculara el valor de Cp, para tener un valor más ideal, se utilizaran los valores de tablas de constantes y coeficientes de propiedades físicas tomadas de “Operaciones de separación de etapas de equilibrio en ingeniería química pág. 783” (tablas 3.1), para fines de reducir cálculos consideraremos que la mezcla (antes de la reacción) es igual a los gases de descomposición (después de la reacción), para esto utilizaremos las dos sustancias predominantes en la mezcla del reactor las cuales son el metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), aunque en la mezcla también se presenta sulfuro de hidrogeno (H₂S) y en algunos casos amoniaco (NH₃), solo consideramos para el calculo de la Cp el metano y dióxido de carbono ya que se encuentran en mayores proporciones cuando la mezcla hace reacción.



Dado los valores de las constantes de las tablas establecidas anteriormente tenemos que:

Tabla 4.22 calculo de la Cp					
Elemento	a1	a2	a3	a4	a5
Metano	8.245223	0.00380333	8.8647E-06	-7.4612E-09	1.823E-12
dióxido de carbono	8.398605	-0.00647558	-3.555E-06	1.1946E-09	-1.8517E-13

Esta bibliografía nos marca que para obtener el valor de Cp de los materiales tenemos que seguir la siguiente formula

$$Cp = a1 + a2 * T + a3 * T^2 + a4 * T^3 + a5 * T^4$$

Donde las constantes a1, a2, a3, a4, a5 se tomarán de la tabla antes mencionada y el valor de T que se da en grados Fahrenheit, en donde esta se tiene que calcular en base a su temperatura reducida y su temperatura critica, para esta operación se considera como el gas metano tiene mayor presencia en la reacción será a este compuesto al que se le aplicara los cálculos de temperatura.

$$T = (1 - T_r)$$

$$T_r = T/T_c$$

Debido a esto nos da una Temperatura en ° C de 33, pero como la formula nos pide la temperatura en grados Fahrenheit se realiza la conversión la cual da 144 °F. Por lo tanto el valor de “T” para el cálculo de la “Cp” será de 144

Dado estos resultados se introducen los datos de las constantes y de temperatura en la formula y da como resultado:

$$Cp = 8.9316 \frac{BTU}{lb \text{ mol } ^\circ F}$$

Para el gas metano y

$$Cp = 7.4255 \frac{BTU}{lb \text{ mol } ^\circ F}$$

Para el dióxido de carbono

Para el manejo de un solo valor de Cp se usara el promedio de la Cp del metano y de la Cp del dióxido de Carbono.

$$Cp = \frac{Cp \text{ metano} + Cp \text{ dióxido de carbono}}{2}$$

$$Cp = \frac{8.9316 \frac{BTU}{lb \text{ mol } ^\circ F} + 7.4255 \frac{BTU}{lb \text{ mol } ^\circ F}}{2}$$

$$Cp = 8.17855 \frac{BTU}{lb \text{ mol } ^\circ F}$$

Pero la fórmula para el cálculo de la potencia del calentador nos pide el valor de Cp en Kcal./Kg °C, por lo tanto, debemos hacer una conversión adecuada para que se puedan utilizar estas unidades.

Primero convertiremos el valor de libra mol a libra considerando las moléculas de metano y de dióxido de carbono únicamente, ya que están son las moléculas que están presentes en el gas con mayor proporción.

Basándose en el peso molecular de las sustancias de la mezcla se dice que

$$8.17855 \frac{BTU}{lb \text{ mol } ^\circ F} = 0.224 \frac{BTU}{lb \text{ } ^\circ F}$$

Para convertir BTU/ lb °F a Kcal/KG °C se tiene que multiplicar por un factor de conversión equivalente a 1.0007 por lo cual usaremos el mismo valor para introducirlo en la formula, por lo tanto, se considera para el valor de “Cp” sería igual a 0.224 Kcal/Kg °C.

Ahora para la “T” que es el tiempo en horas daremos un tiempo de 1 hora para que el equipo alcance la temperatura deseada que es de 60 ° C, este tiempo se propuso debido a análisis experimentales previos tenidos en prácticas pasadas, es decir, este valor se da debido a la experiencia obtenida al controlar temperatura.

Se tomaran estos valores para ingresarlos a la formula y obtener una potencia en Kw

$$P = \frac{2500 * 1 * 0.224 * (60 - 21.3) * 1.2}{860 * 1} = 30.24KW$$

Otros valores comerciales por como se pueden encontrar de manera comercial son los siguientes:

Tabla 4.23 Potencia en diferentes unidades	
P=30.24	kw

109169.675	kJ/h
25994.1204	Kcal /h
40.5518397	Hp
2.94460093	BHP
103151.862	BTU/hr

Ya que se obtuvo la potencia se puede seleccionar una calentador que cumpla con esta característica, se consultaron los productos de diferentes proveedores los cuales se mencionan a continuación a modo de propuesta.

4.12.1 Propuesta 1

Caldera mrcale de gas, mixta instantánea con microacumulacin, digitales FERSTYLE modelo "F 30 MEL con salida humos"

Tabla4.24 calentador MURALE											
Modelo	Potencia Útil		Potencia Nominal		Potencia Útil Sanitaria		Rendimiento Pn %	Peso Kg	Producción de agua sanitaria máxima		Precio \$ (dólares)
	Kw.	Kcal /h	Kw.	Kcal/h	Kw.	Kcal/h			Δt	Δt	
									30°C l/min	25°C l/min	
F 30 MEL	31	26,660	33.1	28,450	31	26,660	93.6	49	14.3	17.2	1,668



1. Ida calefacción \varnothing 3/4"
2. Ida agua sanitaria \varnothing 1/2"
3. Entrada gas \varnothing 1/2"
4. retorno agua sanitaria \varnothing 1/2"
5. retorno calefacción \varnothing 3/4"

Figura 4.20 Calentador FERSTYLE

4.12.2 Propuesta 2

Calentadores de agua a base de gas marco Leflam



Fig. 4.21 Calentador Leflam

Tabla 4.26 calentador Leflam			
Modelo	Catálogo	Descripción	Precio
LeFlam	110-042	Para 4 servicios simultáneos, 23 litros / min.	\$ 20,800.00
Calentadores de Acero Inoxidable			
LeFlam	110-042-304	Para 4 servicios simultáneos, 23 litros / min.	\$ 30,800.00

Este calentador puede suministrar la suficiente potencia como para 4 servicios lo cual es una potencia equivalente a 139,087 KJ/h o en su valor en Kw que será de 38.5 aproximadamente.

Se considera como primer factor para la selección del calentador que cumpla con las características de potencia, dado esto se podría descartar la propuesta No. 2; como segundo factor se considera que el proveedor nos de todas las características técnicas para una instalación apropiada, como tercer factor se considera el precio, dada esta consideración se observa que la mejor opción es la propuesta No.1.

Con esto se da como mejor opción para el calentador que suministrara el agua caliente para el proceso es el calentador “ferstyle modelo F 30 MEL”

4.13 EQUIPO DEL SISTEMA DE GAS

Cuando el gas se genera tiene que ser almacenado en el equipo apropiado, no solo para fines de almacenamiento, sino también para que el gas generado pueda ser retroalimentado y poder así autoalimentar el proceso.

Las instalaciones de gas se componen generalmente de cuatro elementos: 1) La fuente de abastecimiento que son los tanques en gas (que se alimenta del mismo proceso); la regulación de presión (reguladores de baja presión), las tuberías y los equipos de consumo (digestor). Si seguimos las normas oficiales mexicanas vigentes para el uso de cilindros y tanques estacionarios se podrá seleccionar el equipo apropiado para este proceso (véase Anexo 9).

El tanque de almacenamiento se selecciona en base a varios factores los cuales son:

Ubicación del tanque de almacenamiento: Uno de los factores más importantes en las instalaciones de gas es la ubicación del recipiente de almacenamiento. La NOM-125-PAT (para cilindros y tanques estacionarios utilizados en la prestación del servicio público domiciliario de Gas Licuado del Petróleo, GLP, y sus procesos de mantenimiento) dice que se debe contar con tanques

ubicados a la intemperie, en sitios ventilados, separados de materiales combustibles y de equipos eléctricos y fuentes de chispa; separarlos del lindero del predio y de puertas o ventanas. Como el digestor se encuentra en una ubicación que ya cumple con los requisitos mencionados, dejando a considerar las posibles fuentes de chispa o de flama: La única fuente de flama sería el calentador, por seguridad, debe estar separado por lo menos tres metros de este; se considera como posible fuente de chispa al PLC, esta es una razón más para que el PLC este alejado del área de campo. Todos los recipientes de almacenamiento de gas cuentan con una válvula de alivio de presión que se abre automáticamente para dejar escapar un poco de gas si hay sobre presión. Esta es la principal razón por la que los tanques deben estar alejados de toda fuente chispa o flama.

Cuidado con la temperatura: La presión del gas en el interior de un tanque depende principalmente de la temperatura. La presión varía entre invierno y verano de 3 a 12 kg/cm² aproximadamente, mientras que la presión a la que operara los equipos de consumo (calentador) es mucho menor, sólo 28 g/cm², por lo que se requiere un regulador de presión para reducirla del tanque a la tubería, el cual debe ir lo más cercano posible a la válvula del tanque de almacenamiento, para tener la menos tubería posible entre el tanque y el regulador.

Protege las tuberías: Las tuberías que conducen el gas también tienen que cumplir con requisitos de material, tipo, diámetro y recubrimiento para considerarlas correctas. Por ejemplo, si las tuberías son de fierro, deben protegerse contra la corrosión. Si las tuberías se encuentran visibles, deben ubicarse de manera que no se expongan a daños por golpes o desgaste, además, deben pintarse con pintura esmalte (color amarillo para identificarlas). La tubería del proceso es de cobre estándar con un diámetro de ½ pulgada que por las características del cobre no necesita mas recubrimiento que la pintura esmalte que se usa para identificar.

Capacidad: La capacidad se determina con la cantidad de gas que se va a producir menos la cantidad de gas que el proceso consume. Al considerar que cada Kg de materia seca se produce 0.3 m³ de gas metano, y si la materia seca total es de 200 Kg la producción total de gas es de 60m³ (6000 litros), teniendo esto en cuenta se puede seleccionar un tanque de almacenamiento eficiente.

4.13.1 Selección del compresor

Para que el tanque tenga una presión mínima dentro del tanque de almacenamiento de 28 g/cm² ya que la presión de servicio es de 28g/cm² y como presión máxima en el tanque de almacenamiento de 16 kg/cm², teniendo en cuanto que en esta presión el gas cambia de estado, el tanque debe tener una relación de llenado del 42%. (Figura 4.22)

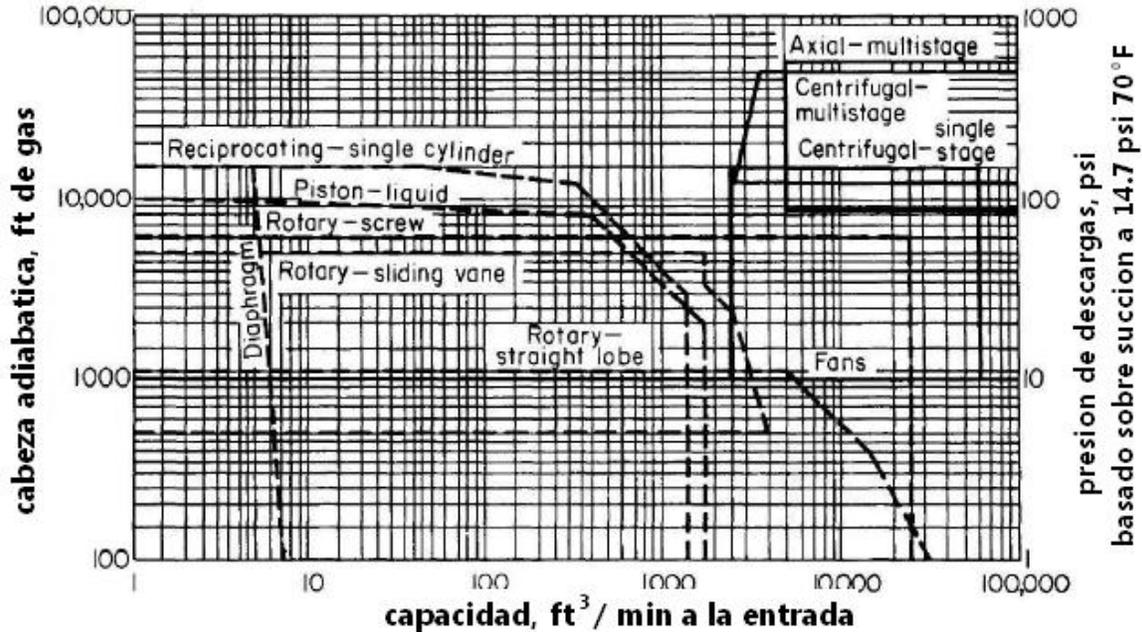


Figura 4.22 Cobertura de compresores basada en el rango de operaciones de tipos disponibles comerciales.

Líneas sólidas utilizar valores de la izquierda. Líneas punteadas, utilizar valores de la derecha. Para convertir ft^3 / min a m^3 / hora multiplicar por 1.699. Como compresor de gas (Figura 4.23) para el tanque de almacenamiento se utilizara un compresor de pistones:



Figura 4.23 Compresor de pistones

4.13.2 Selección del tanque de almacenamiento de gas

Las instalaciones de gas se componen generalmente de cuatro elementos: 1) La fuente de abastecimiento que son los tanques en gas (que se alimenta del mismo proceso); la regulación de presión (reguladores de baja presión), las tuberías y los equipos de consumo (digestor). Si seguimos las normas oficiales mexicanas vigentes para el uso de cilindros y tanques estacionarios se podrá seleccionar el equipo apropiado para este proceso (véase Anexo 9).

El tanque de almacenamiento se selecciona en base a varios factores los cuales son:

Ubicación del tanque de almacenamiento: Uno de los factores más importantes en las instalaciones de gas es la ubicación del recipiente de almacenamiento.

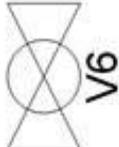
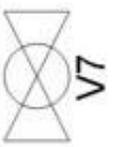
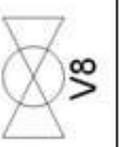
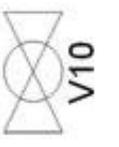
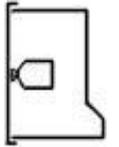
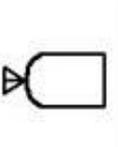
La NOM-125-PAT dice que se debe contar con tanques ubicados a la intemperie, en sitios ventilados, separados de materiales combustibles y de equipos eléctricos y fuentes de chispa; separarlos del lindero del predio y de puertas o ventanas. Como el digestor se encuentra en una ubicación que ya cumple con los requisitos mencionados, dejando a considerar las posibles fuentes de chispa o de flama. La única fuente de flama sería el calentador, por seguridad, debe estar separado por lo menos tres metros de este; se considera como posible fuente de chispa al PLC, esta es una razón más para que el PLC este alejado del área de campo. Todos los recipientes de almacenamiento de gas cuentan con una válvula de alivio de presión que se abre automáticamente para dejar escapar un poco de gas si hay sobrepresión. Esta es la principal razón por la que los tanques deben estar alejados de toda fuente chispa o flama.

Cuidado con la temperatura: La presión del gas en el interior de un tanque depende principalmente de la temperatura. La presión varía entre invierno y verano de 3 a 12 kg/cm² aproximadamente, mientras que la presión a la que operara los equipos de consumo (calentador) es mucho menor, sólo 28 g/cm², por lo que se requiere un regulador de presión para reducirla del tanque a la tubería, el cual debe ir lo más cercano posible a la válvula del tanque de almacenamiento, para tener la menos tubería posible entre el tanque y el regulador.

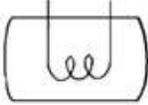
Las tuberías que conducen el gas también tienen que cumplir con requisitos de material, tipo, diámetro y recubrimiento para considerarlas correctas. Por ejemplo, si las tuberías son de fierro, deben protegerse contra la corrosión. Si las tuberías se encuentran visibles, deben ubicarse de manera que no se expongan a daños por golpes o desgaste, además, deben pintarse con pintura esmalte (color amarillo para identificarlas). La tubería del proceso es de cobre estándar con un diámetro de ½ pulgada que por las características del cobre no necesita mas recubrimiento que la pintura esmalte que se usa para identificar. La capacidad se determina con la cantidad de gas que se va a producir menos la cantidad de gas que el proceso consume. Al considerar que cada Kg de materia seca se produce 0.3 m³ de gas metano, y si la materia seca total es de 200 Kg la producción total de gas es de 60m³ (6000 litros), teniendo esto en cuenta se puede seleccionar un tanque de almacenamiento eficiente.

4.14 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO Y COSTO

Símbolo	Descripción	localización	En contacto con...	Características	modelo	precio (dólares)
	Plc	En tablero		Controlador lógico programable con 32 input/ output, y control de 8 lazos pid	EZPLC-32	\$300.00
	Sensor de flujo volumétrico de área variable	Tubería de salida del calentador (roja)	Agua caliente a 95 ° C máximo	Conexión de 1/2 pulgada capacidad 30 litros/ minuto,	FLMW-1205	\$ 209.00
	Switch de nivel	Tanque 2 almacenamiento de agua residual	Agua residual poco corrosiva	Conexión 9/16, material acero inoxidable	LV-1156	\$33.00
	Switch de nivel	Tanque 1 almacenamiento de agua para el calentador	Agua a temperatura máxima 90 ° C	Sensor de limite con salida 5 volts dc	L-15	\$ 3.00
	Sensor de temperatura	Biodigestor	Agua a 60 ° C con sólidos en suspensión así como gas metano, acido sulfúrico y bióxido de carbono	Instalado con termopozo, termopar tipo t, conexión 1/4 in	termopozo: NB3 termopar: SDH	\$ 48.00
	Switch de presión	Biodigestor	Gas metano, acido sulfúrico, bióxido de carbono	Conexión 1/8", switch cierra a 20.in de agua	PSW23-20W	\$ 22.00

	Válvula bola	Tubería salida del tanque de almacenamiento del biogás (amarilla)	Gas metano con bióxido de carbono	Tipo bola 1/4 de vuelta, conexión 1/2", sello viton, cv=2.1, cuerpo de acero inoxidable ansi301	152-IUSA	\$ 7.90
	Válvula bola	Tubería salida del calentador de paso (rojo)	Agua a 95 ° C	Tipo bola 1/4 de vuelta, conexión 1/2", cv= 2.1, sello viton, cuerpo de acero inoxidable ansi 304	255- IUSA	\$ 5.00
	Válvula bola	Tubería salida de lodos del digestor(verde)	Agua con sólidos en suspensión temperatura 60 ° C	Tipo bola 1/4 de vuelta, conexión 3", cv 38, sello viton, cuerpo de acero inoxidable ansi 304	SV6003	\$56.00
	Válvula bola	Tubería salida del mezclador(morado)	Agua con sólidos en suspensión, temperatura ambiente	Tipo bola 1/4 de vuelta, conexión 3", sello pffe, cuerpo de acero inoxidable 304	SV6003	\$ 56.00
	Tanque T2	Salida de lodos digeridos (verde)	Lodos digeridos con agua	Tanque de almacenamiento de agua de 500 litros de PVC, conexión de tubería 1/2 "	BIC-500	\$ 51.00
	Filtro F2	Salida de lodos digeridos (verde)	Agua con sólidos disueltos	Filtro de bolsa de polipropileno, capacidad 20KG	BG-25	\$ 1.00
	Tanque T1	Tubería proveniente del serpentín	Agua a temperatura máxima de 95 ° C	Material de PVC, capacidad 1.10. litros	BIC-110	\$21.00

	Vf	Tablero	Conectado a la bomba centrífuga 1	Variador de frecuencia, capacidad 1 hp, voltaje de alimentación 120vac	NXF50A0-1	\$ 120.00
	B1	Salida tanque t1 (línea azul)	Agua a temperatura máxima 95 ° C	Bomba centrífuga de 1hp conexión a tubería 1/2", 100 litros por minuto	5P-1500	\$90.00
	B2	Salida tanque t2	Agua residual a temperatura máxima de 60 ° C	Bomba centrífuga de 1/2 hp conexión a tubería 1/2", 100 litros por minuto	SP-500	
	Mezclador	Alimenta el digestor anaerobio	Agua residual y desechos orgánicos	Mezcla los desechos orgánicos con el agua con el fin de hacer una lechada,		
	Compresor (C1)	Tubería de gas (amarilla)	Gas metano y bióxido de carbono	Compresor de pistón para gas natural.		\$1,200.00
	Tanque de almacenamiento de gas	Tubería de gas (amarilla)	Gas metano y bióxido de carbono	Deposito de gas capacidad comprendida entre 2500 y 3000 l, de acero inoxidable con manómetro para una presión de 0 a 25 barg, de esfera de 100 mm y rosca de conexión de 1/2", válvula para llenar depósito. Válvula de purga para depósito		\$2,800.00
	Calentador C1	Tubería de agua fría(azul)	Agua a 95 ° C	Calentador de paso instantáneo, capacidad 26 litros por minuto,	FERSTYLE	\$ 1,668.00

	Digestor		Agua residual con desechos orgánicos, en la cúpula se tiene gas metano sulfuro de hidrogeno y bióxido de carbono	Material cloruro de polivinilo, serpentín de acero inoxidable ANSI 304, sujetado con acrílico, compuerta de entrada de 0.75 m.	Rotoplas	
	Filtro (F3)	Salida del gas (amarilla)	Sulfuro de hidrogeno gas metano, bióxido de carbono, humedad.	Filtro de viruta de hierro, elimina el sulfuro de hidrogeno	Marca Arrow Pneumatics	\$ 120.00
	Filtro (F1)	Salida del gas (amarilla)	Gas metano, bióxido de carbono, humedad.	Filtro de silicagel filtro desecante de 1/2"	Marca Arrow Pneumatics	\$147.00
Costo del equipo en dólares						\$ 8,912.90

4.15 ANALISIS DE COSTOS

La propuesta realizada cumple con las características necesarias para realizar el proceso de digestión de manera automática además del control de la temperatura en el mismo, teniendo en cuenta los productos obtenidos a partir de dicho proceso los cuales son gas metano y composta los cuales generan insumos y por ende tienen un precio en el mercado el cual se detalla a continuación.

Gas metano:

Aunque en el proceso diseñado se reutiliza el gas generado de 2 maneras, mezclado y calentamiento, es conveniente conocer el precio de mercado que este producto tiene y la mejor referencia es el gas licuado del petróleo (L.P) es necesario para esto realizar una conversión ya que no es el mismo poder calorífico que presenta el gas metano[9].

Tomando en cuenta que 1 m^3 de gas metano es equivalente a 0.89 m^3 de gas LP, a su vez que 1 m^3 de gas lp = 1.25 Kg y tomando como base de cálculo $6.66 \text{ m}^3/\text{día}$ de biogás tenemos lo siguiente:

$$\text{Equivalencia en gas LP} = \frac{6.66 \text{ m}^3 (0.89 \text{ m}^3)}{1 \text{ m}^3} = 5.9274 \text{ m}^3 \text{ de gas LP}$$

$$\text{Peso del gas} = \frac{(5.9274 \text{ m}^3)(1.25 \text{ Kg})}{1 \text{ m}^3} = 7.40925 \text{ kg}$$

El precio del gas LP para el mes de Noviembre del 2007 para el área metropolitana es:

Kilo	\$ 9.04
Litro	\$ 4.88
Cilindro 45 Kg	\$ 406.74
Cilindro 30 Kg	\$ 271.16
Cilindro 20 Kg	\$180.77
Cilindro 10 Kg	\$ 90.39

De acuerdo con la cantidad generada y el precio del mismo se estaría hablando de \$ 67 por día.

Composta.

La composta que se genera diariamente es 14 Kg (ver balance de materia capítulo 2) y el precio de esta depende de la calidad de la misma y está dada de acuerdo al producto por el cual es generada. Cotizando en el mercado productos similares a los que tenemos en proceso se obtuvo lo siguiente.

Empaque	Precio
Saco de 15 Kg	\$ 55
Saco de 30 Kg	\$ 100
Saco de 50 Kg	\$ 140

Con base a lo anterior se obtendría un ingreso diario por este medio de \$50, que aunque no sea una cantidad considerable resulta un ingreso extra.

Este sistema de digestión tiene la capacidad de procesar una cantidad de desecho orgánico de 278 Kg de materia orgánica diaria y con base a la generación de desechos orgánicos por habitante[15] la cual es de 0.48 kg de materia orgánica diario se puede calcular el número de habitantes para aportar la materia orgánica de este digestor.

$$\frac{\text{materia orgánica diario en el digestor}}{\text{materia orgánica diaria per capita}} = \frac{278 \text{ Kg}}{0.52 \text{ Kg/persona}} = 535 \text{ personas}$$

Esta cantidad de personas es la que posiblemente viva en una unidad habitacional.

La propuesta total tiene un costo de \$ 8,912.90 dólares utilizando un tipo de cambio a 10.85 se tiene \$ 96,704.96 si es dividido entre la cantidad de personas se tiene que la aportación de cada una de ellas sería de \$ 181 pesos, de tal manera que este costo es relativamente bajo.

Contemplando el ingreso que nos proporciona la venta de composta, la inversión realizada se pagaría en 5 años, en el supuesto de que todo el ingreso se destinara a pagar la deuda, el cual no es un tiempo muy largo además si contemplamos los beneficios ecológicos que este proceso representa.

Cabe mencionar que dentro del costo del proyecto solo se contempla el equipo requerido para la propuesta y no se toma en cuenta la mano de obra ni la tubería que se requieren para realizar la instalación debido a que varia respecto a la dimensión donde se desee instalar y la posición de dichos equipos. Con el fin de dar una idea de la inversión extra requerida se detalla a continuación el costo de la diversa tubería, necesaria para la instalación.

Línea	Descripción	Material	se vendo por...	precio \$ (dólares)
	Gas (SH ₂ , CO ₂ , Metano)	PVC 1/2"	tubo de 4 metros	10
	Gas metano	Cobre estándar 1/2"	tubo de 4 metros	33
	Agua caliente	Cobre estándar 1/2"	tubo de 4 metros	33
	Agua fría	Acero inoxidable 1/2"	tubo de 4 metros	42
	Lodos digeridos	Acero inoxidable 3"	tubo de 4 metros	98
	Agua de servicio	Cobre estándar 1/2"	tubo de 4 metros	33
	Agua residual	Acero inoxidable 1/2"	tubo de 4 metros	42
	Materia orgánica	Acero inoxidable 1/2"	tubo de 4 metros	42

CONCLUSIONES

El motivo principal para realizar esta tesis fue debido a la inquietud de conocer una forma de generación de energía por medio de la materia orgánica, y con los conocimientos adquiridos a lo largo de la vida estudiantil, se desea mejorar el proceso de digestión anaerobia esto, con la ayuda de la automatización y todo lo que esto implica.

Para desarrollar este proyecto se partió de un proceso de digestión anaerobio ya instalado, el cual se realiza de una forma manual, esto con la ayuda de 1 operador encargado de vigilar, muestrear, accionar y controlar las diferentes variables inmersas en el proceso de digestión anaerobia, debido a esto se pretende instalar un sistema el cual funcione de una manera autónoma en la cual no sea necesario tener una personal vigilando todas y cada una de las variables, ya que nuestro trabajo como Ingenieros en control y automatización es hacer procesos sencillos, seguros y económicos para no solo obtener ganancias sino también beneficiar nuestro medio ambiente y que mejor ejemplo que este proceso.

Para realizar la propuesta de Automatización del proceso, siempre se tubo una idea muy clara y definida que fue el COSTO, ya que si es muy elevado no seria viable que se instalara por tal motivo en cuestión a la selección de equipo se tubo dificultades, ya que hay equipo muy sofisticado y lo mas importante hay una diversidad enorme de ellos, por lo tanto se llevo a cabo una exhaustiva búsqueda de proveedores con el fin de cotizar el equipo que fuera el mas adecuado y que tuviera las mejores características aunado con un costo económico. Por ejemplo para la selección del controlador se tienen infinidad de ellos y algunos mas baratos que el propuesto, se pensaría que es una contradicción con lo anterior pero el controlador seleccionado tiene muchas mas ventajas de las que los controladores de temperatura, en este caso, presentan.

La selección de un PLC como controlador fue tomada debido a las ventajas que este equipo presenta en comparación que un controlador de uso específico ya que como se vio se requiere controlar diversos actuadores así como tomar varias señales de control las cuales nos ayudan a tener dentro de los parámetros establecidos el proceso de digestión anaerobia. Con un controlador específico no se podría realizar el accionamiento de diversos actuadores a diferentes perturbaciones y esto implicaría comprar otros controladores lo cual aumentaría el costo de la propuesta.

Al final del capítulo 4 se tiene la lista de cada uno de los equipos necesarios así como su costo en dólares ya que los proveedores manejan este tipo de cambio por lo regular.

En lo que respecta a la viabilidad de la propuesta se tiene un costo de \$8900 dólares (\$97000 pesos), y considerando que el proyecto tiene la capacidad de digerir la cantidad de 277 kg por día, el numero de personas necesario para proveer esta materia orgánica es de 535 persona (anexo 1), da como resultado una inversión individual de \$181 pesos por persona, además es importante señalar que se obtienen productos que representan un ingreso. Contemplando los ingresos que representa la venta del abono y además de la generación de gas metano que sirve para solventar los gastos energéticos que el digestor presenta, asiendo este autosuficiente se concluye que la propuesta es viable ya que contribuye a disminuir la contaminación y el costo es admisible si se realiza en grupo de inversionistas.

Para satisfacer las necesidades del proceso se necesito revisar diversas normas para la selección del equipo ya que como se esta trabajando con gas y sulfuro de hidrógeno se necesita tener mucha atención con los equipos que se instalan y que compran con los requerimientos como por ejemplo en la válvula de salida de biogás V3 se había propuesto que fuera una válvula de acero inoxidable 316 ANSI pero como el gas va mezclado con sulfuro de hidrogeno el cual es muy corrosivo, terminaría dañando la válvula y tal vez hasta provocaría fuga. También para la selección del tanque d almacenamiento de biogás se requirió revisar la norma para selección de tanque a presión de gas ya deben de tener ciertas características las cuales debemos cumplir.

Las normas que se revisaron fueron de gran utilidad y aunque unas ya las conocíamos, como la ISA 5.1 revisión 2007, fue bueno volver a revisarlas puesto que se obtuvo mayor conocimiento acerca de esta, debido a la necesidad que se tenia y cito al Profesor Cruz del Camino Salvador “el conocimiento viene acompañado de una necesidad” lo cual se pudo comprobar con la elaboración de este trabajo.

Una de las experiencia obtenidas, sin saber si es buena o mala, es que es muy difícil que se nos de información a estudiantes esto puesto que cuando se hacia una cotización de algún equipo nunca llegaba la respuesta o si llegaba y sabían que era información para tesis, no tomaban atención y se perdía el contacto. Este fue uno de los principales problemas que se tuvieron ya que la parte fuerte de este trabajo la propuesta de automatización del proceso y para realizarla se requiere saber los equipos con los que se pueden contar para así hacer una buena propuesta.

La propuesta de automatización que se realiza se tomo en cuenta las características para que se trabajara el digestor en un régimen Termofilico el cual genera la mayor cantidad de gas en el menor tiempo, tomando que la cantidad de gas producido seria de 300 litros por cada 1 Kg de materia orgánica sólida en un tiempo de 9 días [2], otra ventaja que nos brinda la digestión anaerobia es la generación de un excelente fertilizante, o sea, que un biodigestor genera dos recursos invaluable en

la actualidad, gas metano para distintas aplicaciones (cocina, calefacción de ambientes, calentamiento de agua, funcionamiento de motores a gas para generación de energía eléctrica, etc.) y biofertilizante.

Algunas otras ventajas de la digestión anaerobia son:

- Elimina el poder contaminante de los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, desechos de jardín o cualquier materia orgánica que se tenga.
- El lodo digerido es mucho menos oloroso que la mezcla de entrada al digestor lo que beneficia al medio ambiente y los humanos.
- En comparación con los métodos de disposición de materia orgánica (tiradero o compostaje) es mucho más eficiente y rápido además de regenerar recursos que se pueden utilizar en usos diversos.

Las posibles dificultades técnicas de los biodigestores serían:

- El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge la materia orgánica así como la zona de consumo.
- El tamaño de la materia orgánica a digerir debe de ser pequeño con el fin de facilitar la descomposición.
- Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 55°C y esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.

El gas metano obtenido de la digestión anaerobia se puede utilizar de muy diversas maneras como es combustión Directa donde se usa como combustible para Calentamiento ambiental, de Calderas, de Hornos y en Refrigeración, también se están realizando estudios para utilizarlo en automóviles esto debido a los elevados costos de los combustibles fósiles, el uso de biogás como combustible automotor es una alternativa muy interesante, teniendo en cuenta que su contenido de metano y otros gases es muy similar al del Gas Natural extraído del subsuelo o al del gas licuado de petróleo. Si la utilización del gas es con fines de generación de energía eléctrica, los motores necesitarían para una mejor combustión y rendimiento, contar con la menor cantidad de CO₂. También se puede utilizar el biogás generado en cualquier equipo a gas aunque vengan diseñados de fábrica para trabajar con GLP y gas propano a alta presión, para utilizarlo solo se requiere ampliar el orificio del fisto, ya que el gas proveniente del biodigestor tiene menor presión de operación y se debe mantener un mismo flujo.

Hay diversos países que utilizan desde hace mucho tiempo esta tecnología, esto debido a la escasez de hidrocarburos tal es el caso de Cuba en donde se tiene la mayor cantidad de biodigestores

instalados así como en india que ya tiene muchos años trabajando. Alemania, por ejemplo, ha implementado la primera planta piloto completa en un sistema Anaerobio sostenible que, con el fin de satisfacer su demanda de electricidad, usa las aguas residuales y los desechos orgánicos producidos diariamente.

Pero este combustible no solo es para tener otro medio para obtener energía, es también en pro del medio ambiente ya que los desechos orgánicos que se tiran diariamente y no se destinan a lugares adecuados provocan muchas enfermedades además de ocupar grandes cantidades de terreno para su confinamiento, esto aunado a los olores que provocan. Por tales motivos, una buena manera de tratar la materia orgánica y ayudar al medio ambiente es empleando la digestión anaerobia.

El presente trabajo se realiza con el deseo de poder contribuir con el medio ambiente esto con la ayuda de la ingeniería y de los procesos automáticos con la firme convicción de trabajar en conjunto para poder tener un lugar mas sano en el cual podamos vivir.

ANEXO 1

Tabla 5.1 Generación de residuos sólidos urbanos por tipo de basura, 2004 a 2005

(A Millones de toneladas)

Tabla 5.2 Generación per cápita diaria y anual de residuos sólidos urbanos por zona geográfica, 2004-2006

Zona	Generación per cápita diaria(Kilogramos por habitante por día)			Generación anual (Toneladas)		
	2004	2006	2007	2004	2005	2006
Estados Unidos Mexicanos	0.888	0.9	0.911	32,915,700	34,602,000	35,383,10
Centro a/	0.857	0.869	0.882	16,581,950	17,366,700	17,795,57
Distrito Federal	1.386	1.4	1.414	4,380,000	4,500,450	4,549,725
Norte b/	0.913	0.922	0.774	6,257,195	2,587,850	3,912,800
Sur c/	0.677	0.684	0.697	2,459,005	6,701,400	3,533,200
Frontera norte d/	0.847	0.855	1.048	3,237,550	3,445,600	5,591,800

INEGI. Con base en SEDESOL. DGOT. Subdirección de Asistencia Técnica a Organismos Operadores Urbanos Regionales.

FUENTE:

Regionales.

Tabal 5.3 Generación, recolección y disposición final de residuos sólidos urbanos, 2004 al 2005		
Método	(Miles de toneladas)	
	2004	2005
Generación de residuos sólidos urbanos	34 602.0	35 383.1
Recolección	30 106.7	31 257.4
Disposición final a	33 707.0	34 233.0
Rellenos sanitarios	18 318.3	19 221.9
Rellenos de tierra controlados	3 986.9	3 673.8
Sitios no controlados (Tiraderos a cielo abierto)	11 401.8	11 337.3
<p>FUENTE: INEGI. Con base en SEDESOL. DGOT. Subdirección de Asistencia Técnica a Organismos Operadores Urbanos Regionales.</p>		

ANEXO 2

Para calcular la cantidad de gas obtenido a partir de la cantidad de materia orgánica. Solo se debe agregar el peso en Kg de la materia orgánica que se procesara en el digestor anaerobio, la hoja de cálculo obtiene la cantidad de gas generado

Tabla 5.4 Producción de gas con desechos animales

A	B	C	D	E	F	G
Clase de animal	Peso Total Kg	% Estado Sólido	Total S. Orgánico Kg	Relación C/N	P - Producción de biogás (m3 de gas / 1.Kg. SO)	Producción Total Gas M3
Vacunos		15.5	=B24*(C24/100)	20	0.25	=D24*F24
Cerdos		16	=B25*(C25/100)	13	0.35	=D25*F25
Caprinos, ovejás		30	=B26*(C26/100)	30	0.2	=D26*F26
Caballos		25	=B27*(C27/100)	20	0.25	=D27*F27
Avícolas, gallinas		25	=B28*(C28/100)	5,0-8,0	0.4	=D28*F28
Humanos		20	=B29*(C29/100)	8	0.3	=D29*F29
TOTAL	=SUMA(B24:B29)		=SUMA(D24:D29)			=SUMA(G24:G29)

Tabla 5.4 Producción de Gas con plantas

A	B	C	D	E	F	G	H
Material fresco	Peso Kg.	%EST Sólidos totales	Total estado Sólido Kg.	%SO Sólidos orgánicos	Total Sólidos Orgánicos Kg.	P - Producción de biogás (m3de gas / 1. Kg. SO)	Producción Total Gas M3
Paja de arroz		89	$=(B7*C7)/100$	93	$=(E7*D7)/100$	0.22	$=(F7*G7)$
Paja de trigo		82	$=(B8*C8)/100$	94	$=(E8*D8)/100$	0.25	$=(F8*G8)$
Paja de maíz		80	$=(B9*C9)/100$	91	$=(E9*D9)/100$	0.41	$=(F9*G9)$
Hierba fresca		24	$=(B10*C10)/100$	89	$=(E10*D10)/100$	0.41	$=(F10*G10)$
Jacinto de agua		7	$=(B11*C11)/100$	75	$=(E11*D11)/100$	0.325	$=(F11*G11)$
Bagazo		65	$=(B12*C12)/100$	78	$=(E12*D12)/100$	0.16	$=(F12*G12)$
Desechos de verdura		12	$=(B13*C13)/100$	86	$=(E13*D13)/100$	0.35	$=(F13*G13)$
Desechos orgánicos de cocina		15	$=(B14*C14)/100$	28	$=(E14*D14)/100$	0.25	$=(F14*G14)$
TOTAL	$=SUMA(B7:B14)$		$=SUMA(D7:D14)$		$=SUMA(F7:F14)$		$=SUMA(H7:H14)$

ANEXO 3

MEDICIONES DE NIVEL

Es la distancia existente entre una línea de referencia y la superficie del fluido, generalmente dicha línea de referencia se toma como fondo del recipiente.

Métodos de medición.

Como se menciono anteriormente el nivel es la variable que puede ser medida mas fácilmente, pero existen otros factores, tales como viscosidad del fluido, tipo de medición deseada, presión, si el recipiente esta o no presurizado, que traen como consecuencias que existan varios métodos y tipos de instrumentos medidores del nivel. El medidor de nivel seleccionado dependerá de nuestras necesidades o condiciones de operación.

Los métodos utilizados para la medición del nivel de líquidos, básicamente pueden ser clasificados en: Métodos de medición directa y método de medición indirecta.

Métodos de medición indirecta:

Método por medidores actuados por desplazadores.

Estos tipos de instrumentos se utilizan generalmente para llevar la medición a sitios remotos o para el control de nivel, aunque también pueden utilizarse como un indicador directo. Están compuestos principalmente por un desplazador, una palanca y un tubo de torsión.

La figura (a) muestra los componentes básicos de uno de estos medidores. Como podemos observar, el objetivo principal de estos componentes, es convertir el movimiento vertical del desplazador en un movimiento circular del tubo de torsión.

Método de medidores actuados por presión hidrostática.

Medidor de nivel mediante Presión Hidrostática

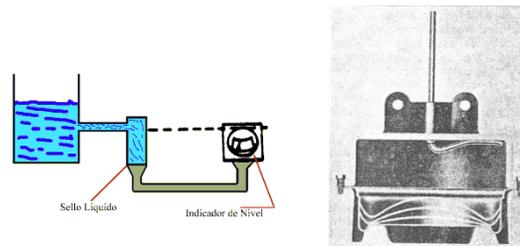


Figura 5.1 Diafragma-caja medidor de nivel de líquidos

Método de presión diferencial

Para la medición de niveles en tanques al vacío o bajo presión pueden utilizarse los instrumentos de medición del flujo por métodos de presión diferencial. La única diferencia es que el instrumento dará una lectura inversa; es decir, cuando señale caudal cero en medidas de flujo, se leerá nivel máximo en medidas de nivel. Deben tomarse precauciones para obtener la correspondiente

respuesta del instrumento. Por ejemplo, es posible utilizar medidores de rango compuesto. Como estos instrumentos están diseñados para permitir el flujo en ambas direcciones, es posible utilizarlos para mediciones de nivel de líquido, teniendo la posición de cero en el interior de la grafica, moviéndose la pluma hacia su borde con el aumento de nivel.

El principio de funcionamiento se basa en aplicarle al instrumento la presión existente en la superficie del liquido en ambas conexiones con la finalidad de anularla y que la presión detectada, sea la presión hidrostática, la cual como se ha visto, la podemos representar en unidades de nivel.

Método de presión relativa.

Las mediciones de nivel que se basan en la presión que ejerce un líquido por su altura, implican que la densidad sea constante. El instrumento se debe calibrar para una densidad específica y cualquier cambio en ella trae consigo errores de medición. El método más simple para medir el nivel de un líquido en un recipiente abierto, es conectar un medidor de presión por debajo del nivel mas bajo que se va a considerar. Este nivel es, entonces, el de referencia y la presión estática indicada por el medidor es una medida de la altura de la columna del líquido sobre el medidor, y por lo tanto del nivel del líquido. El medidor de presión, cuando se usa para mediciones de nivel de líquidos, se calibra en unidades de presión, en unidades de nivel de líquido correspondientes a la gravedad específica del líquido, o en unidades volumétricas calculadas según las dimensiones del recipiente. También se puede calibrar de 0 a 100, lo que permite lecturas en términos de tanto por ciento de nivel máximo. Para que el medidor lea cero cuando el liquido esta en su nivel mínimo, a través del elemento accionador debe haber una línea horizontal aproximadamente al mismo nivel que la línea de centros de la toma de la tubería de mínimo nivel. En el medidor se pueden usar tornillos de ajuste a cero para compensar pequeñas diferencias. Para controlar el límite, el medidor de presión puede ser un controlador, o puede estar ligado a un interruptor de presión. Cuando no se requiere una indicación de nivel, este último es suficiente.

Método de trampa de aire

Cuando no se puede usar un diafragma, se puede instalar una caja sin este. Esto requiere que el líquido se encuentre libre de sólidos, que pueden obstruir el capilar. El líquido, mientras sube en la caja comprime el aire del capilar y el instrumento da la respuesta correspondiente.

Método de equilibrio de presión de aire

Este método se prefiere, normalmente, al de caja de diafragma si se dispone de aire o liquido para purga, aunque se puede aceptar un bombeo manual. Se puede aplicar ya sea desde lo alto del depósito o de las paredes laterales.

Métodos de medición directa:

Método de medición de sonda.

Consiste en una varilla o regla graduada, de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza generalmente en tanques de fuel oil o gasolina.

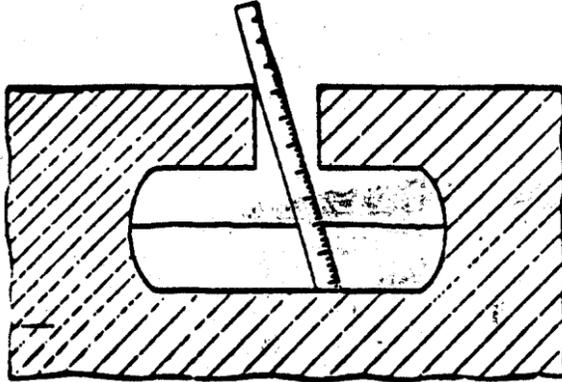


Fig. 5.2 Medidor de sonda

Método por aforación.

Es el método de medir nivel por medio de cintas. El instrumento está compuesto por tres partes principales que son: el carrete, la cinta graduada y un peso o plomada.

La plomada sirve para que se mantenga la cinta tensa al penetrar en el líquido. Para medir el nivel se deja que la cinta baje lentamente hasta que la plomada toque el fondo del recipiente. Una vez que la plomada toca el fondo se empieza a recoger la cinta con el carrete, hasta que aparezca la parte donde el líquido ha dejado la marca que indica su nivel.

Método indicador de cristal.

Otra forma simple y quizás la más común de medir el nivel, es por medio del indicador de cristal. Estos tipos de indicadores sirven para varias aplicaciones y se pueden utilizar tanto para recipientes abiertos como para cerrados.

El indicador consiste de un tubo de vidrio, en el caso del indicador de bajas presiones y de un vidrio plano en el caso del indicador para altas presiones, montadas entre dos válvulas, las cuales se utilizan para sacar de servicio el indicador sin necesidad de parar el proceso.

Método de flotador-boya

Los instrumentos que utilizan un flotador-boya no dependen de la presión estática para medir el nivel de líquidos. De todos modos la presión estática debe tomarse en cuenta al proyectar el flotador; ya que siendo este hueco, ha de construirse lo suficientemente robusto como para soportarla sin deformarse. El flotador se suspende de una cinta sometida a leve tensión. Conforme aquel se desplaza arriba o abajo, siguiendo el nivel del líquido, arrastra la cinta la cual hace girar una rueda catalina.

ANEXO 4

MEDIDORES DE FLUJO

La medida nivelada es una parte íntegra para el control del proceso, La medición de nivel puede ser dividida en dos categorías, medición en punto de nivel y medición continua de nivel. En la medición en punto de nivel se usan sensores que miden una sola altura de líquido, es decir, una condición de nivel prefijada. Generalmente, este tipo de sensor se usa como una alarma alta, para señalar la existencia de una condición de sobrelleno, o como un marcador para una condición de la alarma baja. Los sensores del nivel continuos más sofisticados pueden proporcionar nivel completo que supervisa un sistema. Un sensor de nivel continuo, como su nombre lo implica, realiza las mediciones dentro de un rango de nivel, en lugar de solo un punto específico. El sensor de nivel continuo proporciona una salida analógica que directamente pone en correlación al nivel dentro del tanque que contiene el líquido. Esta señal analógica del sensor puede unirse directamente a un indicador visual o a un lazo de control de proceso, formando un sistema de dirección nivelado.

Medidores mecánicos

Los captadores hasta ahora descritos transmiten el desplazamiento del flotador o la inclinación de la balanza tórica, por medio de juegos de palancas, levas, u otro dispositivo mecánico, a un eje que gira arrastrando la pluma del registrador. Este eje ha de salir al exterior atravesando la pared de la cámara del flotador, que esta bajo presión. Esto se consigue por medio de una chumacera o cojinete estanco que, para no falsear la medida ha de producir el mínimo rozamiento posible sobre el eje.

Medidores eléctricos

Se utilizan frecuentemente sistemas de medida de caudal con transmisión eléctrica, cuando el instrumento de medida o registro se localiza lejos del elemento primario. Para ello se dispone de varios métodos. Se utiliza la elevación del nivel del mercurio en la rama de baja presión de un tubo U para variar la resistencia de un circuito eléctrico. La corriente eléctrica que fluye por este circuito será, por tanto, función de la presión diferencial aplicada al cuerpo medidor y en consecuencia función de la velocidad del fluido que atraviesa el elemento primario.

Medidores de flujo de tipo reten

Los captadores de caudal de este tipo utilizan un reten en lugar de la placa con orificio u otra restitución del flujo. Miden la fuerza con que la corriente fluida choca contra una superficie interpuesta en su camino. El empuje que el fluido ejerce sobre el reten tiende por medio de la barra de fuerza, a variar la distancia entre la tapa o paleta y la tobera, lo que provoca la variación de la presión de aire en el relevador, en los fuelles de retroalimentación y en la salida de señal hacia el receptor.

Medidores de caudal de vertedero

Cuando el fluido se mueve en canales abiertos, se utilizan otros medios de medición. Generalmente se requiere algún tipo de vertedero o angostura, que proporcionan restricciones al paso del fluido. Cuando las pérdidas de altura deben ser mínimas o si el líquido medio contiene considerables cantidades de sólidos, sedimentos, etc., se prefiere una angostura.

Medidores de flujo de desplazamiento positivo

Los medidores de desplazamiento positivo son esencialmente instrumentos de cantidad de flujo. Se utilizan frecuentemente para medida de líquidos en procesos discontinuos. Para procesos continuos se prefieren los instrumentos de caudal. El instrumento de desplazamiento positivo, toma una cantidad o porción definida del flujo, y la conduce a través de un medidor, luego produce con la siguiente torsión y así sucesivamente. Contando las porciones pasadas por el medidor se obtiene la cantidad total pasada por este.

Medidores de corrientes de fluido

Estos medidores tienen una hélice u otro elemento giratorio, que es accionado por la corriente de fluido y transmite su movimiento, por engranajes, al contador. Miden la velocidad del fluido y la corriente en medidas de flujo. Una de las ventajas de estos aparatos es la pequeña caída de presión que provocan; por ejemplo, en líneas de tubería de 20,3 cm o más, la pérdida es generalmente menor que 7,6 cm de columna de agua, a velocidades normales. Generalmente el propulsor ocupa aproximadamente ocho décimas partes del diámetro de la tubería y se disponen de estas paletas rectas con el fin de reducir la tubería y asegurar un flujo suave a través del propulsor.

Medidores de flujo ultrasónicos

Un transmisor que genera sonido ultrasónico, se monta en el exterior de una tubería colocando a distancias determinadas, aguas arriba y abajo, sendos receptores de ultrasonidos opuestos al emisor. En condiciones de no-flujo, ambos receptores reciben igual cantidad de energía ultrasónica y generan tensiones iguales. En condiciones de flujo (en cualquier sentido) las ondas ultrasónicas se reflejan y como resultado los receptores generan voltajes distintos. Comparando ambos voltajes, se tiene indicación del sentido y la magnitud del flujo.

Medidores de masa de flujo

Los medidores de masa de flujo diferentes de los demás en que miden directamente el peso del flujo y no su volumen. El medidor de masa de flujo de la General Eléctrica mide flujos gaseosos o líquidos, por ejemplo, expresándolos directamente en libras y, por tanto no le afectan las variaciones de presión, temperatura ni densidad del fluido. La unidad completa incluye cuatro componentes básicos: el elemento sensible a la velocidad del flujo, el mecanismo del giroscopio integrador, el registrador ciclométrico y el accionador de contactos.

ANEXO 5

CRITERIO PARA SELECCIÓN DE TERMOPARES

Los termopares más comunes son:

Termopar tipo E, de cromel – constantán. Puede usarse en vacío o en atmósfera inerte o medianamente oxidante o reductora. Este termopar posee la fem más alta por variación de temperatura. Es adecuado para temperaturas entre -200 a +900 °C.

Termopar tipo T, de cobre-constantán. Tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras. Se prefiere generalmente para las medidas de temperatura entre -200 a +260 °C.

Termopar tipo J, de hierro-constantán, es adecuado en atmósferas con escaso oxígeno libre y para temperaturas entre -200 a +750 °C. La oxidación del hilo de hierro aumenta rápidamente por encima de +550 °C, siendo necesario un mayor diámetro del hilo hasta una temperatura límite de +750° C.

Termopar tipo K, de cromel-alumel. Se recomienda en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 °C y 1.250 °C. No debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas a menos que esté protegido con un tubo de protección. Se utiliza para temperaturas entre -40 C a 1.000°C.

Termopar tipo R o S, de platino-platino rodio. Se emplea en atmósferas oxidantes y temperaturas de trabajo hasta 1.500 °C. Si la atmósfera es reductora el termopar debe protegerse con un tubo cerámico estanco.

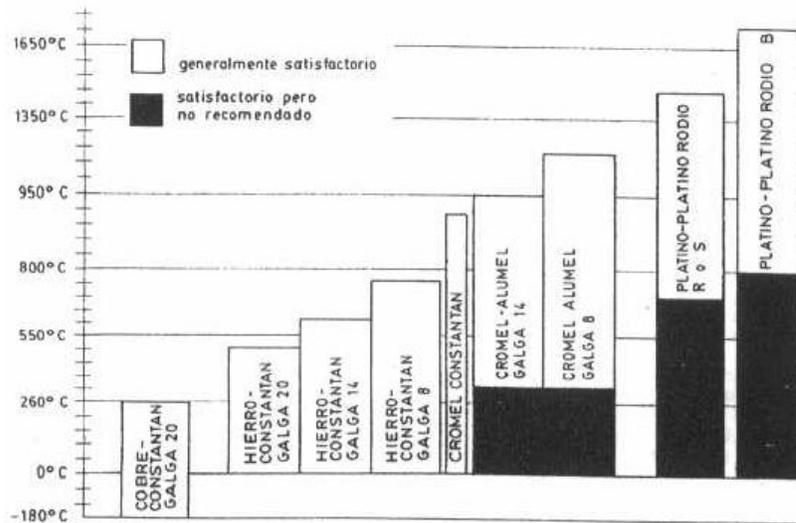


Tabla 5.6 Criterio para selección de termopar

ANEXO 6

SELECCIÓN DE VÁLVULAS

Como consecuencia de la selección inadecuada de las válvulas, la industria pierde cada año millones de dólares. La selección incorrecta de válvulas puede provocar que éstas fallen, lo cual podría suponer la merma de fluidos de sistemas, producción fuera de especificación, gastos derivados de paradas, malas condiciones en las áreas de trabajo y daños medioambientales. Para realizar una selección adecuada de las válvulas de control se deben de considerar los siguientes aspectos.

¿Qué tipo de fluido contendrá el sistema?

Con anterioridad a la selección de la válvula, piense en el tipo de fluido que el sistema debe conducir. ¿Es viscoso o ligero?, ¿Gas o líquido?, ¿Corrosivo o inerte? Variables como éstas, pueden afectar a los componentes y a la operativa del sistema.

Por ejemplo, la viscosidad del fluido afecta al caudal del sistema y a los requisitos de la válvula. Los fluidos viscosos reducen el caudal del sistema y las fugas. Por otro lado, un gas ligero a alta presión fluye libremente por todo el paso de caudal, pero puede ser más difícil de contener.

Algunos gases como el hidrógeno o el metano, suponen riesgos significativos de ignición, e incluso la más mínima pérdida a la atmósfera puede ser crítica. Si el fluido del sistema es un gas tóxico como la arsina o el fosfito, las fugas a la atmósfera pueden ser dañinas para el personal de planta. Los gases o líquidos corrosivos como el cloruro de hidrógeno, el sulfuro de hidrógeno o incluso el vapor, pueden dañar componentes o literalmente eliminar materiales por ataque químico o físico.

¿Cuáles son las condiciones de operación del sistema?

Las condiciones del sistema, como la temperatura y la presión, también son importantes al seleccionar una válvula. Por ejemplo, tenga en cuenta la selección del material según sea la aplicación de alta o baja temperatura; los materiales de componentes con diferentes coeficientes de dilatación pueden provocar fugas. Los componentes plásticos pueden contraerse y fugar, o pueden absorber agua u otros fluidos del sistema y hacerse frágiles a baja temperatura. Los elastómeros, también, pueden endurecerse y quebrarse en servicio criogénico, y tienen altos coeficientes de dilatación. Además, la presión diferencial también puede afectar a la capacidad de cierre. Por ejemplo, un sistema operando a 1000 psig puede fugar diez veces más que el mismo sistema operando a 100 psig.

¿El servicio en que se utilizará la válvula, es crítico?

Si necesita una válvula que pueda operar con fiabilidad en servicio. A continuación, se muestran algunos ejemplos de aplicaciones y sus códigos industriales correspondientes reconocidos.

1. Válvulas utilizadas en aplicaciones de seguridad ante incendio (servicio de fuego) — Especificación de Seguridad ante Incendios API 607.

2. **Válvulas para servicio de gases sulfurosos**—Especificación NACE (National Association of Corrosion Engineers) MR0175.
3. Válvulas utilizadas en aplicaciones de fluidos con variaciones térmicas—Especificación ANSI/FCI 70-2 sobre cierre sin fugas y una normativa sobre riesgo de incendio como API 607.
4. Válvulas utilizadas en servicio de cloro—Folleto #6 del Instituto del cloro, “Sistemas de tubería para cloro seco”.

¿Qué características de diseño específicas se requieren?

Una vez conocidas las características del fluido y las condiciones de operación, también es importante saber las características de diseño de la válvula que son críticas en cuanto al rendimiento. Una característica importante es la forma en que la válvula cierra a la atmósfera.

Dimensionamiento de las válvulas

El tamaño de las válvulas es a veces descrito por el tamaño nominal de la conexión final. Sin embargo, para la mayoría de los sistemas de fluidos es más importante el caudal que la válvula pueda ofrecer. Los principios de los cálculos del caudal establecen que se deben conocer algunos aspectos relativos al paso del caudal, como:

1. Tamaño y forma del orificio y del paso del caudal
2. Diámetro interno de la tubería o tubo
3. Características del fluido, como densidad y temperatura
4. Diferencial de presión entre la entrada y la salida

ANEXO 7

SELECCION DE BOMBA DE AGUA

Cuando se requiera comprar una Bomba de Agua para funciones sencillas, como trasegar o transportar el líquido de un sitio a otro, se deben estimar dos datos muy importantes:

1) **ALTURA TOTAL:** la cual está compuesta por la sumatoria de dos alturas, la Altura de Succión y la Altura de Descarga.

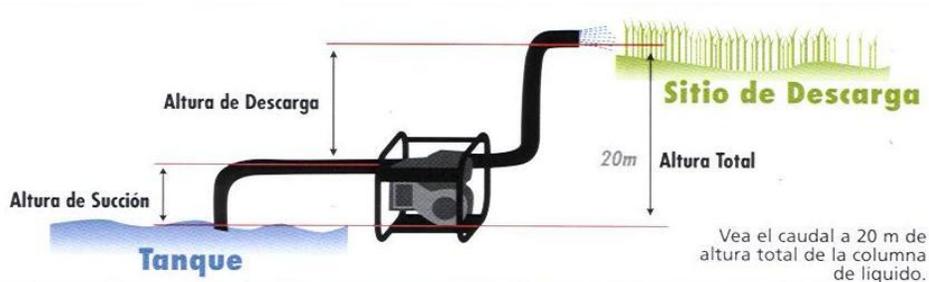


Fig. 5.3 Alturas a considerar cuando se selecciona una bomba de agua

Altura de Succión:

Se obtiene midiendo la distancia vertical (en metros, pies, etc.), que habrá entre la superficie del agua (del tanque), hasta el punto donde se instalaría la bomba que va a adquirir.

Altura de Descarga:

Se obtiene midiendo la distancia vertical (la altura neta, en la misma unidad de medida que utilizó anteriormente), que habría entre el punto donde se instalaría la bomba, y el punto extremo donde descargaría el agua la manguera o tubería que se va a colocar. Aquí lo importante es la altura neta entre estos dos puntos.

NOTA: también se debería tomar en cuenta la distancia ó recorrido en sí (longitud total de la tubería de descarga), así como las conexiones que ésta tenga a lo largo (codos, "tees"), y el material con el cual esté construida esta tubería o manguera; para con estos datos poder calcular un factor llamado "pérdidas por fricción", que debería sumarse a las dos alturas anteriores. Pero esto se haría realmente necesario para casos en que se requiera de cálculos exigentes, para proyectos donde el diseño debe ser meticuloso. Para casos sencillos de simplemente llevar agua de un sitio a otro, en los que la presión a la descarga no es relevante, no se hace necesario.

$$\text{Altura Total} = \text{Altura de Succión} + \text{Altura de Descarga}$$

2) Luego debe calcular el Caudal (litros por minuto, litros por segundo, etc.); es decir, la cantidad de agua que saldrá por el tubo de descarga:

Se obtiene observando las diferentes Curvas de Rendimiento del fabricante de la bomba (cada bomba posee una curva de rendimiento propia

Los criterios más importantes en la selección de bombas incluyen:

7. Condiciones de operación (temperatura y presión)
8. Características del fluido (viscosidad, densidad, presión de vapor o ebullición, propiedades corrosivas, toxicidad inflamabilidad, limpieza.)
9. Rango de capacidad (caudal normal máximo)
10. Condiciones de aspiración (presión de aspiración NPSH)
11. Presión de descarga (simple o múltiple etapa)
12. Practicas operatorias (continuo o intermitente)

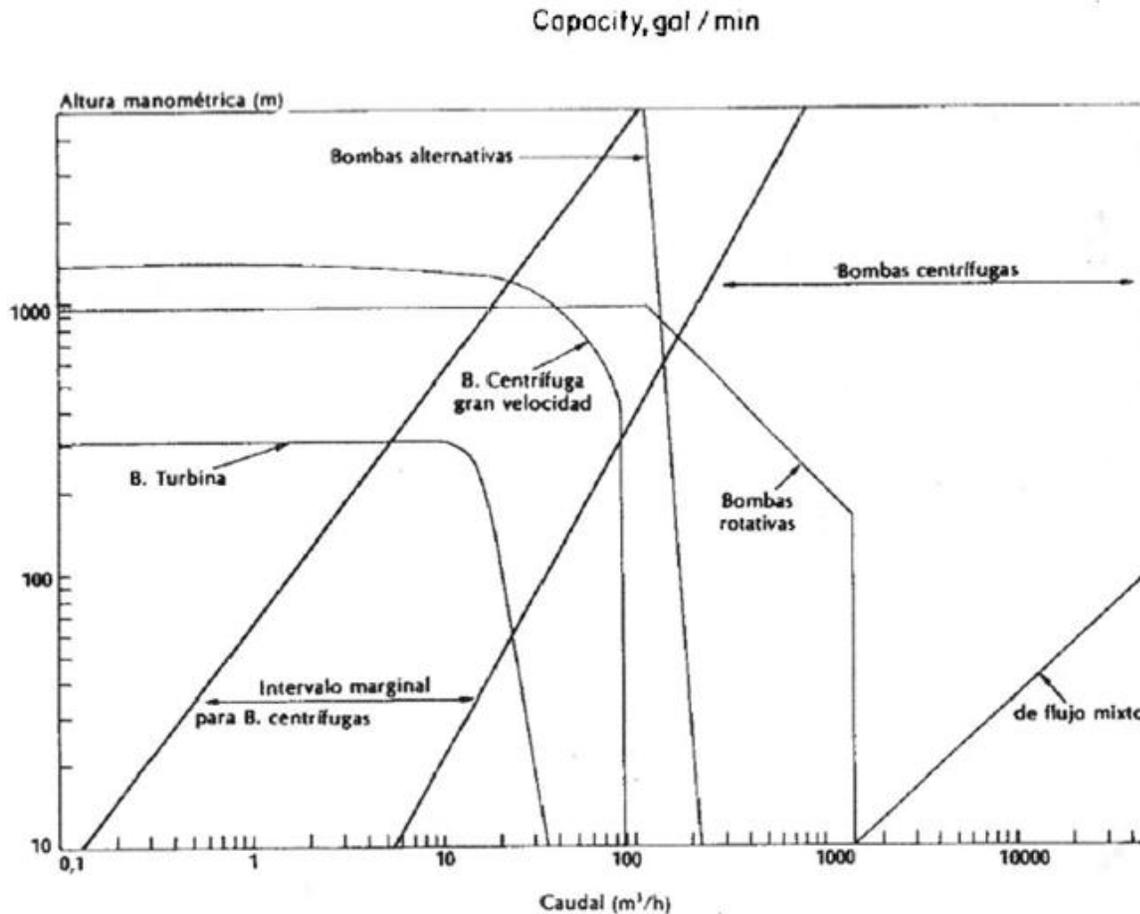


Fig. 5.5 Criterio de selección de bombas

Con este mismo procedimiento, usted podrá ir observando qué caudales producen varias bombas a esa misma altura total que usted calculó, para entonces así escoger la bomba que más le conviene.

ANEXO 8

CAPACIDAD CALORÍFICA

Antes de entrar a los cálculos de la C_p para este proceso se mencionara algunos términos importantes que se deben considerar para tener este valor.

Capacidad calorífica, energía necesaria para aumentar en un grado la temperatura de un cuerpo.

Si un cuerpo intercambia cierta cantidad de energía térmica Q y se produce un incremento de temperatura ΔT , la relación entre ambas magnitudes es:

$$Q = C \cdot \Delta T$$

Donde C es la capacidad calorífica del cuerpo. Aumentar o disminuir la temperatura de un gas encerrado en un recipiente se puede realizar a volumen o a presión constante, por lo que en el caso de las sustancias gaseosas se habla de capacidad calorífica a volumen constante, C_v , y de capacidad calorífica a presión constante, C_p .

También es importante recordar que la capacidad calorífica de un cuerpo es proporcional a la cantidad de masa presente:

$$C_p = m \cdot c$$

La constante c se denomina capacidad calorífica específica o, más comúnmente, calor específico y sólo depende del tipo de sustancia de que se trate, pero no de su cantidad. Es la energía necesaria para elevar en un grado la temperatura de un kilogramo de una sustancia.

Igualmente se puede utilizar el concepto de capacidad calorífica molar, que se define como la energía necesaria para elevar en un grado la temperatura de un mol de sustancia.

Para medir la capacidad calorífica bajo unas determinadas condiciones es necesario comparar el calor absorbido por una sustancia (o un sistema) con el incremento de temperatura resultante. La capacidad calorífica viene dada por:

$$C = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

Donde:

- C es la capacidad calorífica, que en general será función de las variables de estado.
- ΔQ es el calor absorbido por el sistema.
- ΔT la variación de temperatura

La capacidad calorífica (C) de un sistema físico depende de la cantidad de sustancia o masa de dicho sistema. Para un sistema formado por una sola sustancia homogénea se define además el calor específico o capacidad calorífica específica c a partir de la relación:

$$C = c \cdot m \quad \frac{\Delta Q}{\Delta T} \approx c \cdot m$$

Donde:

- c es el calor específico o capacidad calorífica específica
- m la masa de sustancia considerada

De las anteriores relaciones es fácil inferir que la masa de una sustancia, se aumenta su capacidad calorífica ya que aumenta la inercia térmica, y con ello aumenta la dificultad de la sustancia para variar su temperatura. Un ejemplo de esto se puede apreciar en las ciudades costeras donde el mar actúa como un gran termostato regulando las variaciones de temperatura.

ANEXO 9

NOM-125-PAT

Para cilindros y tanques estacionarios utilizados en la prestación del servicio público domiciliario de Gas Licuado del Petróleo, GLP, y sus procesos de mantenimiento.

RESUELVE:

Artículo 1°. Expedir, con carácter de urgencia, el Reglamento Técnico que deben cumplir los cilindros y tanques estacionarios utilizados en la prestación del servicio público domiciliario de Gas Licuado del Petróleo, GLP, que se fabriquen o importen para ser usados en Colombia, y sus procesos de mantenimiento, en orden a que sus condiciones de operación garanticen la seguridad de los usuarios y de la comunidad en general.

1. OBJETO

Este reglamento tiene por objeto prevenir riesgos de seguridad y prácticas que puedan inducir a error a los usuarios en desarrollo de las actividades en las que se utilizan cilindros y tanques estacionarios para la prestación del servicio público domiciliario de Gas Licuado del Petróleo, GLP, y sus procesos de mantenimiento.

2. CAMPO DE APLICACION

Los requisitos y prescripciones técnicas de este reglamento serán de obligatorio cumplimiento en Colombia respecto de todos los cilindros y tanques estacionarios utilizados en la prestación del servicio público domiciliario de GLP y sus procesos de mantenimiento.

3. DEFINICIONES Y SIGLAS

3.1 Definiciones. Para efectos de interpretar y aplicar el presente Reglamento Técnico, se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

Abolladura. Hundimiento o depresión de la superficie del recipiente, provocada por un golpe, sin que se produzca corte en el material.

Abombamiento. Deformación que se presenta en el recipiente al ser sometido a presión interna, la cual se aprecia como una protuberancia o ensanchamiento de la superficie, que cambia su geometría original.

Accesorios del tanque estacionario. Elementos acoplados a la entrada y salida del tanque estacionario, entre los que se encuentran: Válvula de llenado de doble cheque, válvula manual de corte, indicador fijo de nivel líquido, válvula de alivio de presión, medidor de volumen por flotación y válvula de drenaje con tubo buzo.

Acreditación. Procedimiento mediante el cual se reconoce la competencia técnica y la idoneidad de organismos de certificación e inspección, laboratorios de ensayo y de metrología para que lleven a cabo dichas actividades, conforme a lo previsto en el Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología.

Aro base. Elemento soldado al fondo que sirve de apoyo al cilindro con el objeto de mantenerlo en posición vertical y protegerlo del contacto con el piso.

Brida. Pieza circular con un orificio central que presenta una rosca cónica y que soldada al recipiente sirve para instalar la válvula.

Certificación. Procedimiento mediante el cual una tercera parte da constancia, por escrito o por medio de un sello de conformidad, de que un producto, un proceso o un servicio cumple los requisitos especificados conforme a lo previsto en el Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología.

Certificado de conformidad. Es un documento emitido de acuerdo con las reglas de un sistema de certificación, en virtud del cual se puede confiar razonablemente que un producto, proceso o servicio debidamente identificado está conforme con un Reglamento Técnico, norma técnica u otra especificación técnica o documento normativo específico.

Cilindro. Recipiente utilizado en la prestación del servicio público domiciliario de Gas Licuado del Petróleo, con capacidad entre 5 y 46 kilogramos (kg) de GLP que puede ser metálico o de construcción compuesta, y que cumple con lo previsto en el presente Reglamento Técnico.

Construcción compuesta. Técnica para la fabricación de cilindros que involucra dos elementos principales: Una botella soplada en PET (terftalato de polietileno), recubierta en fibra de vidrio y bañada en resina epóxica, y una chaqueta protectora sustituible fabricada en polietileno lineal de alta densidad, ABS o Polipropileno.

Corrosión. Alteración del material por efectos fisicoquímicos del medio exterior o interior que provocan una disminución del espesor útil o tolerancia de trabajo del mismo.

Cuello protector. Elemento soldado a la tapa que sirve para la protección de la válvula y manipulación del cilindro.

Cuerpo del recipiente. Corresponde a la sección cilíndrica del cilindro o tanque estacionario, conformada por una sola pieza.

Destrucción de recipientes. Actividad de inutilizar cilindros o tanques estacionarios que no cumplen normas técnicas de seguridad, por aplastamiento u otro método igualmente efectivo para garantizar la no utilización posterior de los mismos.

Destrucción de válvulas. Actividad de inutilizar una válvula que no cumple normas técnicas de seguridad, por deformación de la conexión roscada y su volante u otro método igualmente efectivo, de manera que se garantice la no utilización posterior.

Empresa de mantenimiento de cilindros y/o tanques estacionarios. Persona jurídica que realiza el mantenimiento de cilindros y/o tanques estacionarios utilizados para la prestación del servicio público domiciliario de GLP, y que cuente con certificado de gestión de la calidad cuyo alcance sea la

realización de esta actividad conforme a lo establecido en el presente Reglamento Técnico.

Evaluación de la conformidad. De acuerdo con lo previsto en el Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología, es el procedimiento utilizado directa o indirectamente para determinar que se cumplen los requisitos o prescripciones pertinentes de un Reglamento Técnico, norma técnica u otra especificación técnica o documento normativo específico.

Fabricante de cilindros y/o tanques estacionarios. Persona jurídica que realiza la fabricación de cilindros y/o tanques estacionarios para la prestación del servicio público domiciliario de GLP. Para todos los efectos, se reputan fabricantes los importadores de cilindros o tanques estacionarios.

Fondo. Sección cóncava del lado de la presión colocada en la parte inferior del cilindro.

Gas Licuado del Petróleo o GLP. Combustible constituido por mezclas de hidrocarburos extraídos del procesamiento del gas natural o del petróleo que en condiciones atmosféricas se licúa fácilmente por enfriamiento o compresión, constituidos principalmente por propano y butanos.

Limpieza exterior. Retiro o remoción completa, mediante proceso mecánico u otro procedimiento, del óxido visible, pintura o cualquier otro material extraño presente sobre la superficie del recipiente.

Limpieza interna. Remoción de los residuos del interior del recipiente mediante agua a presión u otro procedimiento para este mismo propósito.

Mantenimiento. Conjunto de actividades que se realizan a un recipiente con el fin de retirar y reemplazar los accesorios que, por efecto de su uso, no cumplen con las normas establecidas en el presente Reglamento Técnico. En el proceso de mantenimiento no se pueden reparar o intervenir las partes del recipiente sometidas a presión.

Organismo nacional de acreditación. De conformidad con el literal j) del artículo 2° y el artículo 17 del Decreto 2269 de 1993, es la Superintendencia de Industria y Comercio la entidad gubernamental que acredita y supervisa los organismos de certificación, los laboratorios de pruebas y ensayo y de metrología que hagan parte del Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología.

Organismo de certificación acreditado. De conformidad con lo previsto en el Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología, es una entidad imparcial, pública o privada, nacional, extranjera o internacional, que posee la competencia y la confiabilidad necesarias para administrar un sistema de certificación, consultando los intereses generales y que ha sido reconocida por el Organismo Nacional de Acreditación.

Presión máxima de servicio. Es la mayor presión a la cual puede estar expuesto el cilindro o tanque estacionario en su uso normal.

Relación de llenado. Relación entre la masa del gas licuado del petróleo que se envasa en el

recipiente y la masa del agua que se requeriría a condiciones normales para llenarlo completamente.

Reposición. Actividad de retirar del servicio un cilindro o tanque estacionario que, por efecto de su estado o condición, no es susceptible de mantenimiento y debe destruirse para reemplazarlo por uno nuevo.

Revisión. Inspección que se realiza a un cilindro o tanque estacionario para determinar si se requiere someterlo a un proceso de mantenimiento o destrucción. En este último caso, debe hacerse la reposición del recipiente de conformidad con la regulación vigente.

Sobresano. Lámina metálica soldada al cuerpo de un tanque estacionario, como refuerzo para colocar los soportes y evitar que estos estén en contacto directo con la lámina del cuerpo.

Soportes. Bases soldadas al sobresano del cuerpo de un tanque estacionario con el objeto de darle estabilidad y protegerlo del contacto con el piso.

Tanque estacionario. Recipiente utilizado en la prestación del servicio público domiciliario de Gas Licuado del Petróleo, con capacidad superior a 46 kilogramos (kg) de GLP, para almacenamiento de este combustible en las instalaciones del usuario final, que puede ser Tipo 1 o Tipo 2 y que cumple con lo previsto en el presente Reglamento Técnico.

Tanque estacionario Tipo 1. Es un tanque estacionario que se instala en lugar fijo para el almacenamiento de GLP en las instalaciones del usuario final. Para hacer posible su llenado en el sitio de ubicación debe contar con un indicador de máximo llenado.

Tanque estacionario Tipo 2. Es un tanque estacionario para almacenamiento de GLP en las instalaciones del usuario final que, por su tamaño y características, puede ser transportado y llenado en una planta de envasado o ser llenado en su sitio de ubicación. En este último caso, debe contar con un indicador de máximo llenado.

Tapa. Sección cóncava del lado de la presión, colocada para los cilindros en su parte superior y para los tanques Estacionarios en sus extremos.

Tara. Peso en kilogramos (kg) del cilindro o tanque estacionario vacío incluyendo la válvula y todos los accesorios que componen normalmente el recipiente.

Válvula. Dispositivo mecánico empleado para graduar o interrumpir el flujo de gas contenido en un cilindro o tanque. En algunos casos pueden presentarse integradas la válvula de llenado, la de servicio del producto y un dispositivo de alivio de presión.

Vida útil. Medida de tiempo en que un cilindro o tanque estacionario mantiene sus condiciones técnicas y de seguridad para ser utilizado en la prestación del servicio público domiciliario de Gas Licuado del Petróleo, GLP.

4. REQUISITOS TECNICOS PARA CILINDROS Y TANQUES UTILIZADOS EN LA PRESTACION DEL SERVICIO PUBLICO DOMICILIARIO DE GAS LICUADO DEL PETROLEO, GLP, Y SUS PROCESOS DE MANTENIMIENTO

4.1 Requisitos para los fabricantes y/o empresas de mantenimiento de cilindros y/o tanques

La actividad de fabricación de cilindros y tanques destinados a la prestación del servicio público domiciliario de GLP deberá ser realizada por fabricantes que cuenten con certificado de conformidad de estos productos bajo una de las modalidades establecidas en el Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología, expedido por un organismo acreditado o reconocido a través de acuerdos de reconocimiento mutuo por la Superintendencia de Industria y Comercio.

La actividad de mantenimiento de cilindros y tanques destinados a la prestación del servicio público domiciliario de GLP deberá ser realizada por empresas de mantenimiento que cuenten con un certificado de gestión de la calidad expedido por un organismo acreditado o reconocido a través de acuerdos de reconocimiento mutuo por la Superintendencia de Industria y Comercio, cuyo alcance sea la realización de dicha actividad de acuerdo con el presente Reglamento Técnico.

4.2 Requisitos para los cilindros utilizados en la prestación del servicio público domiciliario de Gas Licuado del Petróleo, GLP

Todo cilindro utilizado para la prestación del servicio público domiciliario de Gas Licuado del Petróleo debe cumplir, como mínimo, los siguientes requisitos técnicos:

4.2.1 La presión máxima de servicio debe ser de 1.654 kPa (240 psig).

4.2.2 La capacidad del cilindro debe estar de acuerdo con una relación de llenado de 42%, como máximo.

4.2.3 El cilindro debe ser apto para ser manipulado manualmente.

4.2.4 El material de fabricación debe ser resistente a las condiciones ambientales.

4.2.5 Los cilindros metálicos deben contar con un recubrimiento de protección contra la corrosión atmosférica (recubrimiento anticorrosivo).

4.2.6 El cilindro debe contar con un mecanismo de conexión o unión de la válvula al cuerpo del cilindro.

4.2.7 La válvula del cilindro debe contar con certificado de conformidad.

4.2.8 Las soldaduras de los cilindros metálicos deben ser realizadas por personal calificado de acuerdo con la normatividad técnica vigente.

4.2.9 El cilindro debe contar, en forma permanente, con la marcación única del recipiente establecida en el numeral 4.7 del presente Reglamento Técnico.

4.2.10 Cuando se trate de cilindros metálicos, estos deberán cumplir, adicionalmente, los siguientes requisitos:

BIBLIOGRAFIA

1. Estudio para la transformación de basura en productos utilizables Ontiveros Arreola, Ignacio te esiqie onar 1976
2. Tratamiento de los residuos urbanos institute for solid wastes of american public works association
3. Monroy O. and Viniegra G. *Bioteología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos*. México, AGT Editor 1990, pp. 65-95.
4. Prasad C. R., Krishna Prasad K, Reddy A., *Biogas plants: prospects, problems and tasks*. Economic and Political Weekly Special number august 1974, pp 1347-1364.
5. Taiganides E.P., *Biogas: recuperación de energía de los excrementos animales*, Zootecnia, N° 35, 1980.
6. Digestión anaerobia http://www.eco-gel.com/vivienda_tecnologia.htm
7. Henry Antonio Mendiburu Díaz automatización medioambiental aplicación de la automatización industrial y el control de procesos, en la protección y conservación del medio ambiente (versión e-book) <http://hamd.galeon.com>
8. Henry Antonio Mendiburu Díaz instrumentación virtual industrial (versión e-book) <http://hamd.galeon.com>
9. Biometanización una planta que transforma la basura en energía eléctrica <http://aula.el-mundo.es/aula/index.html>
10. Tratamiento de basura <http://tq.educ.ar/tq02003/transformacion>.
11. Disposición y tratamiento de residuos
12. <http://www.tecnociencia.es/especiales/residuos/index.htm>
13. Artículo de siglo 21 periódico industrial “generación de energía eléctrica por basura doméstica” por M.C. Gustavo López badilla
14. Artículo de energía de la biomasa por: Jaime a. Moragues y Alfredo t. Rapallini
15. Pagina de instituto nacional de ecología <http://www.ine.gob.mx/>
16. Pagina del INEGI www.inegi.gob.mx
17. El tratamiento de los residuos. <http://www.uned.es/biblioteca/rsu/>
18. Digestión anaerobia http://www.eco-gel.com/vivienda_tecnologia.htm

19. Curso: “producción de biogás y electricidad solar sin partes móviles, y aplicaciones” – san Juan. República argentina- marzo 2004 <http://groups.msn.com/energiasalternativas>
20. Construcción de un biodigestor <http://www.tierramor.org/index.htm>
21. Componentes del proceso de digestión anaerobia www.monografias.com
22. Digestión anaeróbica <http://www.agroinformacion.com/>
23. Obtención de biogás a través de la fermentación anaerobia de residuos alimenticios. Alfredo Rodrigo Señel ebook www.ainia.es
24. Situación en el D.F. www.gdf.gob
25. Bernal Díaz del Castillo “Historia verdadera de la conquista de la Nueva España” editorial alfa omega.
26. Reporte “generación de energía eléctrica a travez de la basura” EL UNIVERSAL 24-septiembre-2007.
27. Precio del gas en el mes de Noviembre del 2007 para el área metropolitana www.gas2007.com/mes/noviembre.htm

GLOSARIO

Residuos orgánicos: son los residuos de comida y restos del jardín. Son todos aquellos residuos que se descomponen gracias a la acción de minúsculos organismos llamados desintegradores, como las bacterias y las lombrices. Con los residuos orgánicos, al biodegradarse, se elabora composta, que es un abono natural de gran utilidad para mejorar los suelos.

CONTROL: Acción ejercida con el fin de poder mantener una variable dentro de un rango de valores predeterminados.

SISTEMA DE CONTROL: Conjunto de equipos y componentes, que van a permitir llevar a cabo las operaciones de control.

LAZOS DE CONTROL: Un lazo de control cerrado está conformado por un elemento primario de medición (sensor), un elemento final de control (actuador), el controlador, y el proceso que se desea controlar. Los instrumentos industria les como los sensores y actuadores se dictaminan de acuerdo a la variable del proceso que se está controlando.

OPERACIONES DE CONTROL: Conjunto de acciones que buscan mantener una variable dentro de patrones de funcionamiento deseados.

CONTROL AUTOMÁTICO: Es el desarrollo de la acción de control, sin la participación directa de un ser humano (operario).

AUTOMÁTICO: Es todo aquello que se mueve, regula, y opera, por sí solo, independiente del medio que lo rodea.

AUTOMATIZACIÓN: Consiste de un sistema de control automático, por el cual el sistema verifica su propio funcionamiento, efectuando mediciones y correcciones sin la interferencia del ser humano.

SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN: Conjunto de equipos, sistemas de información, y procedimientos que van a permitir asegurar un desempeño independiente del proceso, a través de operaciones de control y supervisión.

SUPERVISIÓN Y MONITOREO: Es el proceso de lectura de valores de las diversas variables del proceso, con el objetivo de identificar el estado en el que se viene desarrollando el proceso en un tiempo actual.

Elementos de Control en Procesos Industriales

Dependiendo del tipo de proceso industrial y la función de control requerida, los sistemas de control van desde los más simples como mantener el nivel de agua o de temperatura en un tanque, hasta los más complicados en los cuales se hace uso de equipos sofisticados y conjuntos de algoritmos de control óptimo, control robusto, inteligencia artificial, etc.

Planta: Es el ambiente donde se encuentran los equipos y donde se lleva a cabo el proceso. Se puede decir que es el conjunto de objetos físicos, en los cuales es necesario desarrollar acciones especialmente organizadas con el fin de lograr los resultados de funcionamiento y performance deseados; estos objetos van a ser controlados por medio de “acciones”.

Señales de control: Son aquellas acciones elaboradas por el sistema de control, o dadas por un operario, a través de las variables manipuladas (por ejemplo si se desea mantener un tanque a una temperatura constante, se deberá manipular el nivel de voltaje que recibe la resistencia que brinda calor al tanque).

Perturbaciones: Son aquellas acciones que no dependen del sistema de control ni del operario, pero intervienen positiva o negativamente en el proceso (por ejemplo para el caso anterior si se desea mantener una temperatura constante en un tanque, la temperatura ambiental actuará e interferirá con el calor del tanque)

Variables de salida: Son aquellas que caracterizan el estado de los procesos dentro de la planta, estas variables son guiadas por variables controladas. Por ejemplo, si se cuenta con un recipiente de agua en el cual la variable de salida será el nivel, entonces la variable controlada será el flujo de líquido que ingresa al recipiente.

Proceso industrial: Es la sucesión de cambios graduales (en el tiempo) de materia y energía, todo proceso implica una transformación; generalizando se puede decir que es todo fenómeno físico que se puede medir y controlar. Pueden ser procesos continuos (siderúrgica, petroquímica), procesos de manufactura (embotelladoras, confección de textiles), procesos de servicio (distribución de agua), y procesos híbridos (reciclaje de vidrio).