



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

TEMA:

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA LA GRANJA ZAPOTEPAMBA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

TESIS DE GRADO PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTROMECAÁNICO.

AUTORES:

Darío Alexander Díaz Castillo.

Hermes Estuardo Rodríguez Castillo.

DIRECTOR:

Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, Ph.D.

LOJA ECUADOR.

2011.

CERTIFICACIÓN

Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, Ph. D.

CATEDRÁTICO DEL ÁREA DE ENERGÍA LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

CERTIFICA:

Que la presente tesis en Ingeniería Electromecánica elaborada por los Señores Darío Alexander Díaz Castillo y Hermes Estuardo Rodríguez Castillo, con el tema: “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA LA GRANJA ZAPOTEPAMBA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**”, ha sido desarrollada bajo mi dirección, cumpliendo al momento con todos los requisitos de fondo y forma establecidos por los respectivos reglamentos e instructivos del Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, para los trabajos de esta categoría, por lo que autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Loja, Marzo de 2011

Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, Ph. D.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Los criterios expuestos en el presente trabajo de tesis titulado “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA LA GRANJA ZAPOTEPAMBA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**” son responsabilidad absoluta de los autores, salvo las citas textuales que constan como tales en el desarrollo de la tesis.

Darío Alexander Díaz Castillo.

Hermes Estuardo Rodríguez Castillo.

Autores

AGRADECIMIENTO

Nuestro más encarecido agradecimiento a la **Universidad Nacional de Loja, al Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables**, por habernos brindado la oportunidad de culminar nuestra carrera universitaria, agradecimiento que lo hacemos a cada uno de nuestros docentes de la carrera que gracias a sus conocimientos impartidos por ellos logramos plasmar este trabajo de tesis, además de todas las personas que intervinieron de alguna u otra manera con ayuda teórica técnica mediante la cual logramos cumplir los objetivos planteados.

De manera muy especial al **Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, Ph. D**, quien con su dirección y asesoramiento inquebrantable alcanzamos la culminación de nuestro trabajo de manera satisfactoria.

DEDICATORIA

Dedico con mucho cariño el presente trabajo de tesis; a mis queridos padres, hermanos, a mis abuelitos, tíos, primos y amigos, ya que sin su apoyo no habría sido posible el desarrollo y culminación del presente.

Darío.

El presente trabajo de tesis se lo dedico con todo cariño y aprecio, a mi madre que ha sido el pilar fundamental en mi vida, mi guía, mi luz para ser mejor persona cada día; a mi padre que gracias a sus consejos he podido superarme y ser una persona útil a la sociedad; a mis hermanos y familia por su apoyo y confianza incondicional.

Hermes.

ÍNDICE GENERAL

Certificación	ii
Autoría	iii
Agradecimiento	iv
Dedicatoria	v
Índice general	vi
a.- Título	xiv
b.- Resumen	xv
Summary	xvi
c.- Introducción	xvii

d.- REVISIÓN LITERARIA

d.1. Generalidades de la Bioenergía	27
d.1.1. La Bioenergía en el Ecuador	28
d.2. BIOMASA	29
d.2.1. Composición química y física	30
d.2.2. Contenido de humedad relativa (H.R)	30
d.2.3. Recolección, transporte y manejo	31
d.2.4. Descomposición Anaerobia	31
d.2.5. Biodigestores Anaerobios	33
d.3. BIOGÁS	35
d.3.1. Uso del Biogás	35
d.3.1.1 Calor y Electricidad.	35
d.4. Producción de Abono orgánico	35
d.4.1. Ventajas de su uso	36
d.5. TIPOS DE BIODIGESTORES	37
d.5.1. Biodigestor de domo flotante (Indio)	37
d.5.2. Biodigestor de domo fijo (Chino)	37
d.5.3. Biodigestor de estructura flexible	38
d.5.4. Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno	39
d.5.5. Biodigestores Industriales	40

d.6. Diseño de la metodología de selección del digestor anaerobio	41
d.6.1. Factores humanos	42
d.6.2. Factores biológicos	42
d.6.3. Factores físicos	42
d.6.4. Factores de construcción	42
d.6.5. Factores utilitarios	43
d.6.6. PH (Acidez)	43
d.6.7. Temperatura	44
d.6.8. Nivel de Carga	45
d.6.9. Tiempo de retención	46
d.7. Sistema de Agitación	47
d.7.1. Motor	48
d.7.2. Motor Eléctrico	48
d.7.3. Agitador Vertical	49
d.7.4. Reductores	49
d.8. Introducción a los Sistemas Automatizados	50
d.8.1. Concepto de Sistema Automatizado	51
d.8.2. Características Distintivas de un Sistema Automático	53
d.8.3. Elementos de un Sistema de Control Automático	55
d.8.4. TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL	56
d.8.4.1. Sistemas de Control de Lazo Abierto (Open loop)	56
d.8.4.2. Sistemas de Control de Lazo Cerrado (Feedback)	57
d.8.4.3. Control Anticipatorio (Feedforward)	57
d.8.5. Clasificación de los Procesos Tecnológicos	58
d.8.6. Clasificación de las variables	59
d.8.6.1. Variables de un proceso automatizado	59
d.8.7. Las señales digitales	61
d.8.8. Las señales analógicas	61
d.9. Autómata Programable PLC	62
d.9.1. Características principales que distinguen a los PLC	63
d.9.2. Lenguajes de programación	64
d.9.2.1. Lenguaje de contactos (LD)	64
d.9.2.2. Lenguaje por Lista de Instrucciones (IL)	65
d.9.2.3. Grafcet (SFC)	65

d.9.2.4. Plano de funciones. (FBD)	66
d.10. Sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos. (SCADA)	66
d.10.1. Funciones de un SCADA	68
d.11. Biodigestores Automatizados	68
d.12. Referencia bibliográfica de un biodigestor automatizado construido en la Universidad Autónoma de San Luis de México	69

e: MATERIALES Y MÉTODOS

e.1 INTRODUCCIÓN	73
e.2. TIPO DE BIODIGESTOR A SER EMPLEADO EN EL PROYECTO	73
e.3 PARÁMETROS DE DISEÑO	75
e.3.1. Biogás generado	75
e.3.2. Requerimiento de demanda de biogás por día	76
e.3.2.1. Parámetros para el diseño de la incubadora de huevos	77
e.3.2.2. Cálculo Térmico.	80
e.3.2.3. Calor necesario para calentar los Huevos.	80
e.3.2.4. Calor perdido en el alojamiento de los huevos	81
e.3.2.5. Calor perdido en las bandejas nacedoras	82
e.3.2.6. Calor perdido en el depósito de agua	83
e.3.2.7. Calor perdido al calentar el aire que puede entrar en la cámara de la Incubadora	84
e.3.2.8. Calor perdido por irradiación a través de la abertura cuando la incubadora se carga y descarga:	85
e.3.2.9. Calor cedido a la plancha metálica de la cámara de la incubadora	85
e.3.2.10. Calor cedido a la plancha metálica de la cámara de combustión	87
e.3.2.11. Calor cedido a las esquinas de la cámara de combustión y de la cámara de la incubadora	89
e.3.2.12. Balance térmico	89
e.3.3. Cocina para Biogás	90

e.3.4. CANTIDAD DE DEMANDA DE BIOGÁS POR DÍA	91
e.3.5. Diseño y Capacidad del Biodigestor	91
e.3.5.1. Fuente de la Materia Orgánica	92
e.3.5.2. Peso Promedio de Animal en Kilogramos (W)	93
e.3.5.3. Cantidad Total de Estiércol por Día (Tt)	93
e.3.5.4. Contenido Total de Sólidos (TSt)	94
e.3.5.5. Contenido de Sólidos Volátiles (VS)	96
e.3.5.6. Tiempo de Retención (RT)	96
e.3.5.7. Temperatura (TC)	97
e.3.5.8. Potencial de Producción de Metano (BO)	98
e.3.5.8.1. Primer Método para la obtención de Metano	98
e.3.5.8.2. Primer Método para la obtención de Metano	99
e.3.5.8.2. Cantidad de Biogás (C_{BIO})	100
e.3.6. DISEÑO DE LA OBRA CIVIL	101
e.3.6.1. Diseño del Tanque de Pre-mezcla	102
e.3.6.2. Diseño del Tanque Digestor	104
e.3.6.3. Diseño del Tanque de Evacuación	106
e.3.6.4. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Biogás	106
e.3.6.5. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Agua	107
e.3.6.6. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Agua + cal	107
e.3.7. DISEÑO DEL SISTEMA AGITACIÓN MECÁNICA	107
e.3.7.1. Descripción del Sistema de Agitación	107
e.3.7.2. Diseño del Sistema de Agitación	109
e.3.7.3. CÁLCULO DE LA PRESIÓN EN EL TANQUE DIGESTOR	111
e.3.7.4. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO	114
e.3.8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN	116
e.3.8.1. Ingeniería Básica	117

e.3.8.1.1. Bases o Criterios de Diseño	117
e.3.8.1.2. Tipo de Panel de Control	117
e.3.8.1.3. Niveles de Señales a Trabajar	117
e.3.8.1.4. Diagrama Entradas Proceso Salidas (EPS)	117
e.3.8.1.5 Tipo de Instrumentación a Utilizar	118
e.3.8.1.6. Controlador Lógico Programable (PLC)	118
e.3.8.1.7. Sensor de Presión + Sello Químico	118
e.3.8.1.8. Sensor de temperatura + PH	119
e.3.8.1.9. Switch de Nivel	119
e.3.8.1.10. Válvulas	120
e.3.8.1.11. Válvulas para Ingreso y Evacuación de la Mezcla	120
e.3.8.1.12. Válvulas para Ingreso de Agua e Ingreso de agua más cal	121
e.3.8.1.13. Actuadores de las Válvulas de Control	122
e.3.8.2. Esquema General de Proceso de Control	123
e.3.8.3. Narrativa de Proceso	123
e.3.8.4. Delimitación del Proceso de Automatización	124
e.3.8.5. Narrativas de Control	126
e.3.8.5.1. Narrativa del Lazo de Control de Nivel (H)	127
e.3.8.5.2. Narrativa de Control de Temperatura (T)	127
e.3.8.5.3. Narrativa de Control de Acidez (PH)	128
e.3.8.5.4. Narrativa de lazo de control de Presión (P)	129

f: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

f.1 CÁLCULO DE LA DEMANDA DE BIOGAS DIARIA	130
f.1.1. CALCULOS Y CONTROL DE LA INCUBADORA	130
f.1.1.1. Cálculo Térmico.	130
f.1.1.2. Calor necesario para calentar los Huevos.	130

f.1.1.3. Calor perdido en el alojamiento de los huevos	131
f.1.1.4. Calor perdido en las bandejas nacedoras	133
f.1.1.5. Calor perdido en el depósito de agua	135
f.1.1.6. Calor perdido al calentar el aire que puede entrar en la cámara de la Incubadora	137
f.1.1.7. Calor perdido por irradiación a través de la abertura cuando la incubadora se carga y descarga:	138
f.1.1.8. Calor cedido a la plancha metálica de la cámara de la incubadora	138
f.1.1.9. Calor cedido a la plancha metálica de la cámara de combustión	140
f.1.1.10. Calor cedido a las esquinas de la cámara de combustión y de la cámara de la incubadora	143
f.1.1.11. Balance térmico	145
f.1.2 Requerimiento de demanda de biogás para la cocina	146
f.1.3 DEMANDA TOTAL DE CONSUMO DE BIOGAS	146
f.2 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL BIODIGESTOR	148
f.2.1. Peso Total de Cada Animal	148
f.2.2. Cantidad Total de Estiércol por Día (Tt)	149
f.2.3. Contenido Total de Sólidos (TSt)	150
f.2.4. Contenido de Sólidos Volátiles (VS)	152
f.2.5. Potencial de Producción de Metano (BO)	153
f.2.5.1. Primer Método para la obtención de Metano	153
f.2.5.2. Segundo Método para la obtención de Metano	154
f.3 CÁLCULO DE LA OBRA CIVIL	157
f.3.1. Cálculo de la Capacidad del Tanque de Pre-mezcla	157
f.3.2. Cálculo de la Capacidad del Tanque Digestor	160
f.3.2.1. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Biogás	162
f.3.3. Cálculo de la Capacidad del Tanque de Evacuación	163
f.4 CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AGITACION	164

f.4 CÁLCULO DE LA PRESION EN EL TANQUE DEL DIGESTOR	168
f.4.1. CALCULO DE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO	169
f.6 Dimensiones de la Incubadora	172
f.7 Proceso de Control de la Incubadora Mediante Logo	173
f.7.1. Funcionamiento del motor	173
f.7.2. Funcionamiento de la electroválvula que suministra el biogás, del ventilador del flujo de aire y del electrodo, mediante un sensor de temperatura	177
f.7.3. Control de la humedad	181
f.8 PROGRAMACION Y SIMULACION DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION	183
f.8.1. PROGRAMA Y SIMULACIÓN	186
f.8.1.1. Segmento 0	186
f.8.1.2. Segmento 1 y Segmento 2: (Control del agitador)	187
f.8.1.3. Segmento 3, Segmento 4 y Segmento 5. (Control de nivel) + Agitador	188
f.8.1.4. Segmentos 9	189
f.8.1.5. Segmentos 10 y segmento 11.(Control de temperatura)	189
f.8.1.6. Segmentos 12 y segmento 13. (Control de PH)	190
f.8.1.7. Segmentos 14 y segmento 15. (Presión)	191
f.8.1.8. Segmento 8. Paro de todo el proceso	192
f.9 DISCUSIÓN	193
f.10 IMPACTO AMBIENTAL	196
f.11 EVALUACIÓN TÉCNICA – ECONÓMICA	197
f.12 MANUAL DE USUARIO	203
g: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	208
h: BIBLIOGRAFÍA	213
i: ANEXOS	215
ANEXO 1	Tabla para encontrar la humedad relativa de la incubadora.
ANEXO 2	Costos que se deberían desglosar en la construcción y automatización. de la incubadora de huevos.
ANEXO 3	Costos que se deberían desglosar en la construcción de la cocina.
ANEXO 4	Costos que se deberían desglosar en la construcción de 4 filtros para ácido sulfhídrico.

- ANEXO 5** Selección de quemadores para la cocina.
- ANEXO 6** Selección del sistema de sujeción, mediante acoples de bridas tipo elásticos.
- ANEXO 7** Tabla para la identificación de equipos de automatización según la ISA.
- ANEXO 8** Materiales y costos utilizados en la construcción física y civil del biodigestor.
- ANEXO 9** Equipos utilizados en la automatización del biodigestor.
- ANEXO 10** Diagramas - Autocad.
- ANEXO 11** Anteproyecto.

a: Título.

**“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR AUTOMATIZADO
PARA LA GRANJA ZAPOTEPAMBA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”.**

b: RESUMEN.

El diseño del Biodigestor Automático, está encaminado a resolver la problemática que atraviesa la Granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja en lo que respecta a la elevada demanda de gas licuado para la cocción de alimentos, además de dar solución al tratamiento de las excretas animales, con el fin de obtener abono de mayor calidad y en un menor tiempo.

Para desarrollar el proceso investigativo se utilizó el método tradicional de la observación y de la entrevista, se tomó en consideración la experiencia de profesores y estudiantes de la granja para la realización de un borrador que nos dio las pautas para el desarrollo de nuestro proyecto investigativo.

El objetivo principal de este trabajo consiste en diseñar y simular un biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno de flujo semicontinuo con desplazamiento horizontal, el cual permitirá realizar la automatización a todos los procesos que conlleva la obtención y producción del bioabono a más de la obtención del biogás para la cocción de alimentos y calefacción de una incubadora automatizada, como resultado de la descomposición anaeróbica de los desechos vegetales y residuos de estiércol animal.

El presente trabajo se realiza con el deseo de poder contribuir con el medio ambiente, con la ayuda de la ingeniería y de los procesos automáticos con la firme convicción de contribuir en la conservación de nuestro entorno natural con el uso de energías alternativas.

Mediante este modelo se logra realizar una planta de generación de biogás y bioabono en espacios pequeños con un mayor rendimiento con respecto a los demás.

SUMMARY

The Automatic Biodigestor design is aimed to solving the problems that crosses the farm Zapotepamba in the National University of Loja in regard to the high demand for liquefied gas for cooking food, in addition to resolving the treatment of animal manure with fertilizer to obtain higher quality in less time.

To develop the research process we use the traditional method of observation and interview, we took into consideration the experience of teachers and students from the farm for the realization of a draft that gave us the guidelines for the development of our research project.

The main objective of this work is to design and simulated a biodigester with traditional storage tank and polyethylene dome semi-flow horizontal displacement. Which will allow for the automation processes all involved in procurement and production of manure to more than the collection of biogas for cooking and heating in an automated incubator, as a result of anaerobic descomposition of plant litter and animal manure waste.

This work of research is performed with the desire to contribute to environment, with the help of the engineering and automatic processes in the firm conviction to contribute to the conservation of our natural environment with the use of alternative energies.

By this model succeed in building a biogas generation plant and biofertilizer in small spaces with greater performance against other.

c: INTRODUCCIÓN.

La preservación del medio ambiente representa uno de los mayores desafíos para la humanidad al iniciarse el siglo XXI. El acelerado desarrollo tecnológico, en respuesta a las crecientes demandas y expectativas del hombre, junto al acelerado crecimiento de la población, producen una enorme presión sobre nuestro ambiente, que se traduce en niveles cada vez mayores de contaminación. Se ha llegado incluso a plantear que, de continuar el acelerado ritmo de crecimiento observado en la segunda mitad del siglo XX, nuestro planeta podría sucumbir en un plazo imaginable, a consecuencia del agotamiento y contaminación de sus recursos. Afortunadamente, el hombre ha demostrado, históricamente, su extraordinaria capacidad de resolver las encrucijadas que le plantea su propio desarrollo. Así, la contaminación ambiental puede ser hoy enfrentada con el aporte de la tecnología que en gran medida es responsable de ella. La preservación ambiental, sin embargo, es un desafío tan grande que requiere no sólo de soluciones tecnológicas, sino de propuestas educacionales, jurídicas y sociales que comprometan a todos los actores sociales.

La contaminación ambiental es una preocupación principal en nuestra sociedad de hoy, afectando seriamente las condiciones de vida.

La digestión anaerobia se propone como una alternativa para convertir la materia orgánica de los desechos animales y vegetales en biogás, un combustible natural actualmente explotado en diferentes sectores industriales a nivel mundial. Los nutrientes (N y P), que también son muy abundantes en las aguas residuales porcinas, pueden ser recuperados en forma de biol, un bioabono líquido con excelentes propiedades fertilizantes.

La granja Zapotepamba se caracteriza por ser un centro de educación superior de alta calidad en el campo agropecuario, se encuentra ubicada en el cantón Catacocha localizada en el corredor Sur Occidental de la Provincia de Loja a 50.6 Km a 1270 msnm con una temperatura aproximada de (25 a 30)°C. Cuenta con 100 estudiantes, una de las principales actividades económicas es la obtención de abono.

En esta granja no se cuenta con la tecnología apropiada para producción y obtención de abono lo cual da como resultado un prolongado tiempo al realizar este proceso de forma artesanal, además se lo realiza al aire libre siendo un ambiente contaminante y no favorable para la salud de las personas encargadas de esta actividad.

El presente trabajo investigativo dispone de un sustento teórico interrelacionando así al proceso educativo con el entorno social y natural, con el único fin de poder dar solución a problemas que se suscitan en nuestra realidad.

Con ello se pretende la identificación de los problemas concernientes al proceso de obtención de biogás, producción y obtención de abono con el objeto de aportar alternativas que aseguren un mayor rendimiento.

Dentro de los tipos de biodigestores existen: los de domo flotante (indio), de domo fijo (chino), de estructura flexible, con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno, de alta velocidad o flujo inducido, de tipo industrial.

En el primer capítulo se realiza la recopilación bibliográfica mediante la cual se obtiene una descripción general de biomasa y de todos los procesos que conlleva la digestión anaerobia, los subproductos que se obtienen de la misma, son la producción de bioabono y las ventajas de su uso en el sector agrícola, además de la generación de biogás con los diferentes usos que se le puede dar, con lo que se realiza el diseño de la metodología para la selección del digestor anaerobio teniendo en cuenta los criterios expuestos anteriormente, obteniendo como objetivo seleccionar el digestor adecuado para tratar los residuales existentes en la granja los cuales son de orden secundario (excretas animales) y desechos agrícolas, con la mayor eficiencia en el tratamiento del residual y en la producción de biogás con el menor costo posible o llegando a un compromiso entre estas variables.

Se describen los factores que involucra la construcción de un biodigestor de régimen semicontinuo y de las variables que tendrán que ser controladas para el óptimo funcionamiento y rendimiento del biodigestor.

Se aborda lo referente a sistemas automatizados además de un sistema de supervisión (SCADA) que permitirá observar el funcionamiento de la planta generadora de biogás y bioabono a través del proceso de digestión anaerobio y el control de todos los procesos lo cual conlleva a determinar el tipo y modelo de biodigestor que mejor se adapte a las condiciones propias de la granja.

Mediante la recopilación de información bibliográfica establecimos el diseño que mejor se adapta a las necesidades de la granja, se trata del biodigestor con tanque de almacenamiento

tradicional y cúpula de polietileno, el cuál será de flujo semicontinuo de desplazamiento horizontal, éste tipo de biodigestor nos permitirá realizar la automatización a todos los procesos que conlleva la obtención y producción del bioabono además de la obtención del biogás para la cocción de alimentos y calefacción de una incubadora automatizada, como resultado de la descomposición anaeróbica de los desechos vegetales y residuos de estiércol animal.

En el segundo capítulo se realiza lo referente a materiales y métodos que serán utilizados para determinar el modelo del biodigestor, su capacidad y características finales, sus partes constitutivas, además se establecerán las variables con sus valores permisibles para el óptimo funcionamiento del biodigestor. Se aborda todo lo referente a su automatización con sus diferentes diagramas de lazo y las estrategias de control necesarias para realizarla, con lo que mediante la automatización se encargará de controlar el proceso de la planta generadora de biogás donde estén representadas las variables controladas, los actuadores, sensores, etc., A continuación se describe el desarrollo de la propuesta de automatización, así como las características requeridas de los equipos que se deben instalar.

En el tercer capítulo se realiza lo concerniente a resultados y discusión, mediante el cual se obtiene la carga diaria que se introduce al biodigestor, el tiempo de retención que serán digeridas las excretas animales en el interior de la cámara de digestión, obteniendo de esta forma los cálculos finales de la capacidad de los diferentes tanques que constituyen el biodigestor.

Un sistema de adquisición de datos SCADA Labview versión 8.2 de National Instruments donde será representada la planta generadora de biogás y bioabono en una pantalla donde se encuentran los indicadores y alarmas para conocer el funcionamiento de la planta de generación, además permite observar los mecanismos que se encuentren funcionando y las alarmas que se generen en caso de que exista algún fallo dentro del proceso.

El diseño de una cocina e incubadora automatizada con todas sus partes constitutivas y parámetros de funcionamiento, empleando como fuente principal el biogás que será producido debido al proceso de digestión.

El programa de control de la planta generadora de bioabono y biogás, se realizó en un PLC Twido, determinando las entradas y salidas de acuerdo a los equipos que intervendrán,

realizando la denominación para cada uno de ellos, además el programa Twido-Suite versión 2.20 permite realizar la simulación de todo el proceso.

El programa de control de la incubadora automatizada, se realizó en el programa LOGO de Siemen, que permite realizar la simulación del mismo con lo que se puede apreciar los parámetros y tiempos de control.

En este capítulo se realiza la discusión del diseño propuesto, el impacto ambiental que representa la construcción del mismo y de la evaluación técnica-económica que permitirá conocer si la implementación del diseño es factible o no.

ENUNCIADO DE LA PROBLEMÁTICA

La tecnología disponible en nuestra región no permite aprovechar la energía de la biomasa produciendo altos índices de contaminación ambiental, en la granja “Zapotepamba” de la Universidad Nacional de Loja existe una gran demanda de gas licuado de petróleo GLP, que es utilizado para la cocción de alimentos, además no cuenta con un proceso adecuado para la producción del abono obtenido mediante las excretas animales.

Estos dos factores son determinantes en la contaminación del medio ambiente y mal aprovechamiento de los recursos agropecuarios.

Según la observación de campo que realizamos en la granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja, constatamos que existe una gran demanda de consumo de gas licuado de petróleo para la cocción de alimentos en el centro de educación superior.

Nos percatamos que el proceso de producción y obtención de abonos es demasiado lenta por ser elaborada en forma artesanal además se lo realiza al aire libre siendo un ambiente contaminante y no favorable para la salud.

PROBLEMA GENERAL DE INVESTIGACIÓN

Inadecuada utilización de residuos agrícolas y excretas animales, como proceso de obtención de bioabono y biogás, con el correspondiente efecto negativo al medio ambiente por la emisión de gas metano.

ESPACIO

El espacio designado para nuestro tema de investigación es la granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja, la cual se caracteriza por ser un centro de educación superior de alta calidad en el campo agropecuario, donde se implementará un biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno, el mismo que permitirá realizar la automatización de todos los procesos que conlleva la obtención y producción del bioabono y biogás. Además se podrá realizar pruebas de laboratorio concernientes al proceso de digestión anaerobia en el biodigestor por parte de los estudiantes perteneciente al centro de estudio y del aprovechamiento de las energías alternativas principalmente la de la energía de la biomasa.

TIEMPO

El tiempo que se ha creído conveniente emplear para el cumplimiento de los objetivos propuestos en nuestro proyecto de investigación será un tiempo aproximado de un año y medio.

UNIDADES DE OBSERVACIÓN

- Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.
- Cantidad de animales existentes en la granja.
- Cantidad de excretas producidas por día.
- Tiempo de retención de la carga en el biodigestor.
- Temperatura, nivel, presión, PH.
- Partes y mecanismos constitutivos de un biodigestor.

- Equipos, sensores y procesos automáticos que involucren la digestión anaerobia en el digestor.
- Documentos que contengan información sobre el diseño, construcción, automatización y montaje de Biodigestores.

JUSTIFICACIÓN.

Con la construcción e implementación de un biodigestor en la granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja se logrará un adecuado aprovechamiento de las excretas animales, lo cual permitirá obtener la producción de biogás y bioabono con el fin de contribuir con la conservación del medio ambiente y de brindar nuevas alternativas de aprovechamiento de energía.

La elaboración de la presente investigación es factible, en primera instancia gracias a los conocimientos adquiridos en el transcurso de nuestra carrera, nos permite dar a conocer que como estudiantes nos encontramos en capacidad de cuestionar y dar alternativas válidas al tema a realizar. Se cuenta con la información, conocimientos técnicos científicos y medios que ayuden a dar ideas al mejoramiento de problemas planteados aportando al refuerzo de conocimientos.

Para la realización del proyecto nos basaremos en documentos, libros, folletos, relacionados con nuestro medio y de esta manera sustentar el tema a desarrollarse, por lo cual se recolectará datos con los cuales se ayudará a la definición de conceptos y variables.

Además se realizarán los cálculos pertinentes los cuales servirán como apoyo a estudiantes, profesores y personas particulares, en el desarrollo de nuevas tecnologías para que de esta manera tengan un enfoque claro sobre el diseño y dimensionamiento de un biodigestor automatizado.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General.

Diseñar un biodigestor automatizado que permita aprovechar el uso integral de los desechos orgánicos producidos en la Granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja, a partir del proceso de digestión anaerobia con la implementación de un sistema de control automático que logre mantener las condiciones adecuadas en el biodigestor.

Objetivos Específicos.

- Buscar la información bibliográfica para seleccionar el tipo de biodigestor que se ajuste a las condiciones y necesidades de la granja.
- Realizar los cálculos pertinentes, para el dimensionamiento y partes constitutivas del biodigestor.
- Automatizar los procesos del biodigestor.
- Simular los procesos del biodigestor, mediante un sistema SCADA.
- Diseñar una incubadora de huevos automatizada, utilizando como fuente principal el biogás.
- Diseñar una cocina para el uso de biogás.

PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Hipótesis General.

Mediante la construcción e implementación de un biodigestor en la granja Zapotepamba, se logrará un mejor aprovechamiento de los desechos orgánicos y excretas animales obteniendo biogás y bioabono de calidad como proceso de la descomposición anaeróbica en el biodigestor.

Hipótesis Específicas.

- Mediante la recopilación bibliográfica y de observación, se podrá determinar qué tipo de biodigestor es el que mejor se adapta a las necesidades de la granja.
- Mediante los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera e investigación lograremos conocer con exactitud, cuales son los cálculos a llevarse a cabo para el diseño y dimensionamiento de las partes del biodigestor.
- Mediante los cálculos realizados para determinar dimensiones y formas de las diferentes partes del biodigestor se logrará acoplar todas las piezas de forma tal que no surja ningún inconveniente de tipo mecánico-eléctrico.
- Mediante el sistema SCADA se lograra automatizar los procesos y mecanismos del biodigestor.

d: REVISIÓN LITERARIA.

d.1. Generalidades de la Bioenergía:

La Tierra es un organismo vivo donde cada instante se produce un intercambio entre la producción y el consumo de energía. Cualquier desequilibrio en esta transformación es absorbido por el aire, la tierra y el mar. Sin embargo, una mayor demanda de energía para los procesos de las actividades humanas está comenzando a alterar este equilibrio natural y los efectos están comenzando a verse en el calentamiento del planeta; en la escasez, aumento de precios y dificultad en la exploración y explotación de combustibles y de materias primas; en los mayores requerimientos para la producción de cultivos y control de plagas; en la obtención de agua para riego y consumo humano; en el crecimiento de los desiertos y en las alteraciones climáticas. El ser humano está cuestionando su efecto en la naturaleza y en su afán de mantener el equilibrio ha empezado a investigar y desarrollar nuevas tecnologías para el aprovechamiento de fuentes de energía que no afecten al ambiente, la biosfera, ni a los seres vivientes.

Los conflictos que crea la **dependencia de los combustibles fósiles** por parte de los países desarrollados y que se manifiestan en intereses por posesión y control de los centros de producción de combustibles, sumados a la incertidumbre en los precios del petróleo, a su calidad estratégica en la marcha del mecanismo de la civilización, obliga a dirigir los esfuerzos a buscar fuentes alternativas de energía al interior de cada país. Es así que se ha empezado a reducir el consumo, a mejorar la eficiencia de los procesos energéticos, a crear una conciencia sobre la escasez de los recursos, a reutilizar y reprocessar los residuos, a disminuir los efectos contaminantes del uso de la energía, a reubicar al ser humano en su hábitat, a respetar a los demás seres vivos. En fin, a establecer una nueva forma de funcionamiento de este mecanismo con un enfoque global, sintiendo que el daño en una parte del planeta tiene consecuencias en todas las latitudes. El problema energético, en algunos casos, ha llegado a extremos de convertirse en un enfrentamiento racial y religioso, con consecuencias que pueden llevar al mundo a su destrucción.

De otra parte, la tecnología requerida para la producción energética proviene de países en desarrollo y se vende a los países en vías de desarrollo.

Esto ha creado una dependencia tecnológica asociada a los intereses comerciales de las grandes potencias, que ha coartado el desarrollo de tecnologías propias y locales que aprovechen los recursos humanos y naturales de los países más pobres. La bioenergía puede quebrar esta dependencia y fomentar tecnologías apropiadas en países pobres.

Las perspectivas de **desarrollo de la biomasa** como fuente de energía en las próximas décadas han llevado a creer en un cambio de la composición energética de la humanidad: el paso de los hidrocarburos (combustibles fósiles) a los carbohidratos (materia orgánica).

d.1.1. La Bioenergía en el Ecuador

En el caso del Ecuador, al ser un país exportador de petróleo y su principal fuente de ingresos, la promoción de sistemas energéticos que aprovechen la bioenergía podría reducir significativamente el uso de combustibles fósiles que pueden destinarse para la exportación, crearía una infraestructura de autoabastecimiento y auto sustentación energética, ampliaría las áreas de cultivo de productos agrícolas y pecuarios, incrementaría el empleo y con ello se mejoraría el nivel de vida de los ecuatorianos. En zonas alejadas, el uso de la bioenergía traería los beneficios de la electricidad y el calor a hogares y actividades productivas pequeñas y medianas, incorporando al mercado nacional grandes extensiones y poblaciones que ahora son improductivas. En nuestro país la biomasa constituye un 5,2% de la producción energética primaria y el 20,5% del consumo¹, es decir un equivalente a 78000 Tera Joules. Estos datos se muestran en la Fig. d.1, de forma comparativa con las demás energías convencionales.

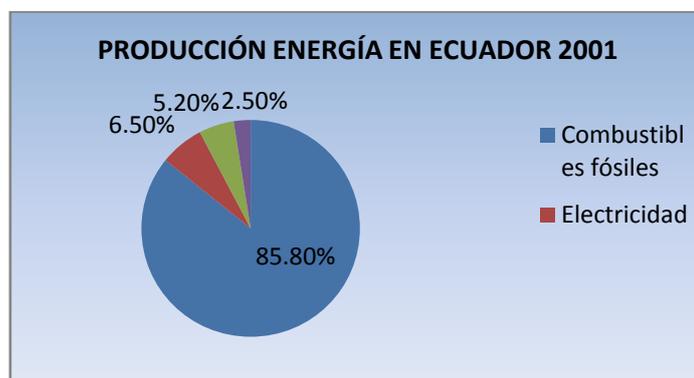


Figura d.1 Producción Energía en Ecuador.

¹ OLADE, Reporte Anual 2001. (Miño, 2003)

d.2. BIOMASA.

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía con biomasa de distintos órdenes:

- Biomasa primaria: Es la materia orgánica formada directamente por los seres fotosintéticos (algas, plantas verdes y demás seres autótrofos). Este grupo comprende toda la biomasa vegetal, incluidos los residuos agrícolas (paja o restos de podas) y forestales (leñas).
- Biomasa secundaria: Es la producida por los seres heterótrofos que utilizan en su nutrición la biomasa primaria. Este tipo de biomasa implica una transformación biológica de la biomasa primaria para formar un nuevo tipo de biomasa de naturaleza distinta a la inicial. Un ejemplo sería la carne o las deyecciones debidas a los animales herbívoros.
- Biomasa terciaria: es la producida por los seres que se alimentan de biomasa secundaria, como sería el caso de la carne de los animales carnívoros, que se alimentan de los herbívoros.
- El uso de la biomasa como combustible tiene beneficios significativos como: mitigar el efecto del cambio climático; reducir la lluvia ácida, la erosión del suelo, la contaminación del agua; reducir las cantidades de desechos en rellenos sanitarios y botaderos de basura; mejorar el ambiente y el hábitat natural; y, en general, mejorar las condiciones del suelo para los cultivos y bosques.

El tipo de biomasa a ser usada en el biodigestor para la producción de biogás y bioabono es de orden secundario (excretas animales), las mismas que expuestas al aire libre originan un impacto de gran consideración ambiental debido a la emisión de gas metano el mismo que es un causante del calentamiento global y de un sin número de enfermedades

d.2.1. Composición química y física

Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar, por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera pueden producir el denominado "gas pobre", que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar. El método básico de operación consiste en alimentar al biodigestor con materiales orgánicos y agua, dejándolos un periodo de semanas o meses, a lo largo de los cuales, en condiciones físicas y químicas favorables, el proceso bioquímico y la acción bacteriana se encargan de la descomposición de la materia orgánica hasta producir biogás.

d.2.2. Contenido de humedad relativa (H.R)

El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.

Toda materia orgánica residual que se destine como alimentación para un biodigestor, generalmente está compuesta por una importante cantidad de agua, y una fracción sólida, caracterizada por la concentración de sólidos totales (ST).

Para calcular el volumen de agua necesario para diluir la materia prima, hasta la proporción adecuada, es imprescindible estimar el contenido de sólidos del residuo a utilizar. Por ejemplo, en el caso común del estiércol bovino fresco, que contiene entre un 17 % al 20 % de sólidos totales (ST), se deberá agregar entre 1 a 1,5 litros de agua por cada Kg. de estiércol fresco, a fin de obtener una mezcla con 8 % de sólidos totales.

Según la recopilación bibliográfica hemos determinado que la carga en el biodigestor será hasta obtener un 75% de volumen con una relación estiércol: y la proporción de disolución de agua debe ser de acuerdo al tipo de animal para obtener un 8 % de

sólidos totales, además en el biodigestor existirá un mecanismo de agitación que permitirá obtener un mayor rendimiento en el proceso de digestión y producción de biogás, el mismo que impedirá la formación de desechos sólidos.

d.2.3. Recolección, transporte y manejo.

Las condiciones para la recolección, el transporte y el manejo en planta de la biomasa son factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética.

La ubicación del material respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional.

La recolección del estiércol en la granja lo realizan los estudiantes los mismos que son encargados de llevarlo hasta el sitio donde lo procesan por lo tanto no habría dificultades para el traslado de las excretas hasta el biodigestor.

d.2.4. Descomposición Anaerobia.

El proceso anaerobio es aquel en que se efectúa la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular como aceptor de electrones. Tal es el caso, por ejemplo, de los procesos de producción de alcohol, los procesos de desnitrificación y de digestión anaerobia, Estos dos últimos empleados en el tratamiento de aguas residuales. La digestión anaeróbica se produce por la acción de bacterias en tres etapas diferenciadas: En la primera, llamada **hidrólisis**, las bacterias de fermentación descomponen las largas cadenas de carbohidratos, proteínas y lípidos en moléculas más pequeñas. En la segunda etapa, llamada **acidificación**, las bacterias productoras de ácidos o ácido-génicas convierten los productos de la hidrólisis en ácido-acético, hidrógeno y dióxido de carbono y, en el proceso, consumen oxígeno preparando el ambiente para la tercera etapa llamada **formación de metano**, donde las bacterias metano-génicas combinan estos elementos para producir metano. Las cuatro etapas

metabólicas que ocurren en los procesos de digestión anaerobia pueden ser representadas según la figura d.2.

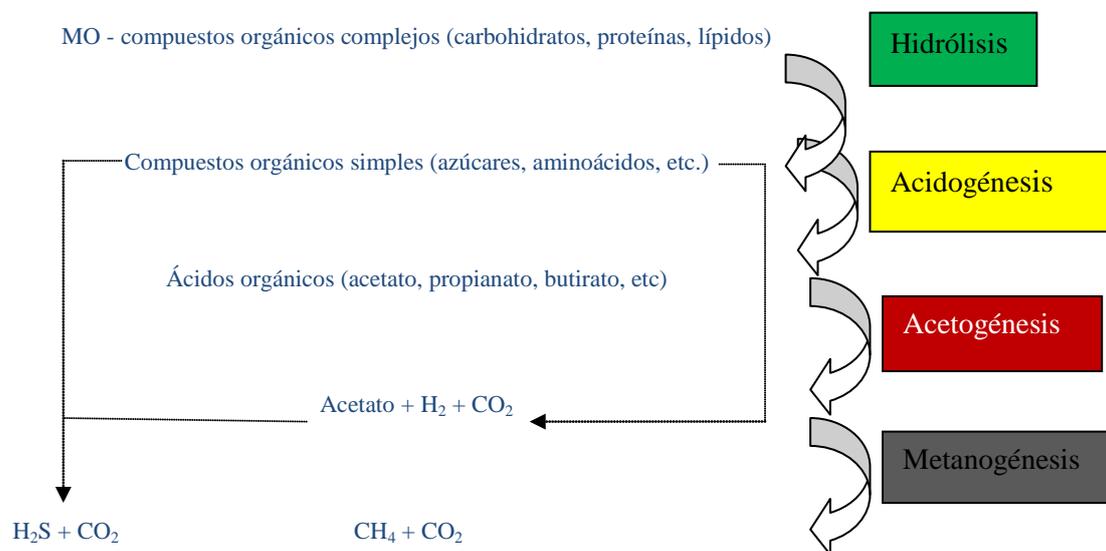


Figura d.2 Proceso de digestión anaerobia.

La ventaja principal de los procesos anaerobios con relación a los aerobios se fundamenta en la transformación de la materia orgánica a través de una tecnología de bajo consumo energético, obteniéndose, un balance comparativo de energía y de masa entre ambos procesos, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla d.1 Balance energético de los procesos aerobios y anaerobios.

Proceso aerobio	Proceso anaerobio
Durante los procesos aerobios cerca del 60% de la energía se consume durante la síntesis de nueva biomasa (células de microorganismos) y el 40% de la energía se pierde en la forma de calor de reacción.	Durante los procesos anaerobios casi 90% de la energía que existe originalmente en el sustrato (residual) se retiene en el biogás que se produce durante estos procesos perdiendo solamente un 7% de la energía inicial como calor de reacción.
Durante los procesos aerobios cerca del 50% del carbono contenido en el sustrato se convierte en biomasa y el otro 50% pasa a bióxido de carbono.	Durante los procesos anaerobios cerca del 95% pasa a biogás (metano (CH ₄ , CO ₂) y sólo el 5% es convertido en biomasa.

d.2.5. Biodigestores Anaerobios²:

Los reactores anaerobios pueden ser utilizados para tratar efluentes domésticos o industriales con altas cargas orgánicas.

Pueden utilizarse solos o con unidades de pos-tratamiento para producir un efluente final adecuado para su disposición final.

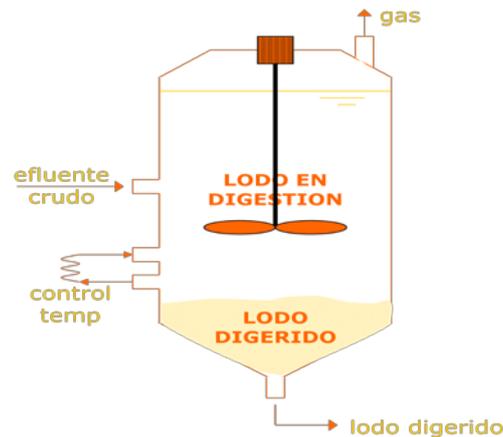


Figura d.3. Biodigestor anaerobio con agitador.

Mediante el balance energético de los procesos anaerobios se obtienen los siguientes aspectos:

- Se consume mucho menos energía externa, fundamentalmente eléctrica, que en los procesos aerobios, además se obtiene energía, en forma de gas combustible útil para cualquier fin energético.
- Sólo se generan del 10 al 30% de los lodos (biomasas) que se producen en los aerobios, lo que disminuye considerablemente los costos de disposición final de estos; además los lodos anaerobios están mucho más estabilizados que los aerobios.
- No se producen aerosoles potencialmente peligrosos para el ambiente circundante de la planta de tratamiento.
- Bajo consumo de energía; no se requiere aporte de O₂
- Posibilidad de recuperar y utilizar CH₄ como combustible (caro)
- El lodo obtenido (substrato) es un lodo ya estabilizado

² Descomposición del estiércol en forma anaeróbica, sistema que aprovecha el estiércol y orina de los bovinos y el agua usada en el aseo de los establos, procesándola y convirtiéndola en gas metano o biogás y abono líquido o bioabono. (dgranda)

d.3. BIOGÁS.

Término que se aplica a la mezcla de gases que se obtienen a partir de la descomposición en un ambiente anaerobio (sin oxígeno) de los residuos orgánicos, como la boñiga, el estiércol animal, o la combinación de ambos productos y desechos de los vegetales

El biogás es similar al gas licuado de petróleo, producto del resultado de la degradación anaerobia de materia orgánica, dicho gas está compuesto por cerca de 60% de metano y 40% de dióxido de carbono. Contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos 1% de ácido sulfhídrico. Es un poco más liviano que el aire, posee una temperatura inflamación de 700° C y su llama alcanza una temperatura de 870° C.

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible, tanto para la cohesión de alimentos, en sustitución de la leña, el queroseno, el gas licuado, etc., como para el alumbrado, mediante lámparas adaptadas. Mezclas de biogás con aire, con una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también sea empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados. El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano - alrededor de 20 – 25 MJ/m³, comparado con 33 – 38MJ/m³ para el gas natural (Werner et al 1989).

Es importante aclarar que este gas puede usarse como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 %.

Los sustratos empleados para la carga del biodigestor corresponderán a los animales existentes en la granja (cerdos, vacas, cabras, gallinas, cuyes, pavos).

El ácido sulfhídrico del biogás con el agua condensada forma ácidos corrosivos, sobre todo, refrigeradores y aparatos de agua caliente son sensibles a estos ácidos. Con la ayuda de un filtro a partir de óxido de hierro se puede purificar el biogás.

El biogás producido tendrá algún porcentaje de ácido sulfhídrico (SH₂), lo que significa decir que “tendrá siempre mal olor”, pero este hecho servirá para detectar alguna pérdida en la instalación o dentro de la habitación en donde se encuentran los artefactos para consumo del biogás, como ser cocina, calefón, estufa, etc.

d.3.1. Uso del Biogás.

d.3.1.1. Calor y Electricidad.

El biogás puede tener dos usos: a) para calentamiento, en sustitución de leña o del gas licuado de petróleo (LPG); o, b) como combustible para motores de combustión interna. En el caso del uso como gas, 1 kg de metano equivale a 55 MJ mientras que 1 kg de LPG es 50 MJ. El **gas metano**, por tener una presión baja, debe usarse con quemadores de cocina modificados con orificios más grandes para el paso del gas. No es conveniente comprimir el biogás para uso como combustible líquido porque la presión requerida es muy alta y esto eleva su costo. Al usar el metano como combustible de motores, el octanaje es menor por lo que la cantidad de combustible requerido es mayor que cuando se usa gasolina o diesel. Se puede usar una mezcla de biogás y el combustible normal, para lo cual es necesario modificar el sistema de inyección o carburador para este propósito.

A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en combustión directa en estufas simples en la cocción de alimentos, atenuando de esta manera la presión sobre los materiales dendroenergéticos (madera, leña, carbón vegetal)³ representando un ahorro para el agricultor por no tener que comprar gas natural comercial. Sin embargo, también puede ser utilizado para iluminación (lámparas de gas o a gasolina), para calefacción y refrigeradoras.

d.4. Producción de abono orgánico.

En el proceso de fermentación se remueven sólo los gases generados (CH₄, CO₂, H₂S) que representan del 5% a 10% del volumen total del material de carga. Se conservan en el efluente todos los nutrientes originales (N, P, K) contenidos en la materia prima, que son esenciales para las plantas. Lo anterior lo convierte en un valioso abono orgánico, prácticamente libre de olores, patógenos⁴, y de fácil aplicación.

³ Se ha calculado que un 1 m³ de biogás utilizado para cocinar evita la deforestación de 0.335 ha de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles (Sasse 1989). (dgranda)

⁴ Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión (Hohlfeld y Sasse 1986). En condiciones de laboratorio, con temperaturas de 35°C los coliformes fecales fueron reducidos en 50 – 70% y los hongos en 95% en 24 horas (Marchaim 1992). (dgranda)

La composición del bioabono en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5 (Botero y Thomas, 1987).

d.4.1. Ventajas de su uso:

- El efluente lleva parte de sus nutrientes en forma no disponible de inmediato para las plantas, es decir, los libera paulatinamente mediante ciertos procesos de descomposición de materia orgánica. De esta forma, la nutrición es lenta, pero continúa.
- Aumenta el contenido del humus del suelo, el cual mejora la estructura y la textura del terreno, facilita la aireación, la rata de formación de depósitos de nutrientes, y la capacidad de retención e infiltración del agua.
- Permite el ahorro de la cantidad de otros abonos convencionales sin disminución de la producción.
- Presenta incrementos de la producción, al compararla con la de suelos no abonados.

Lodo fertilizante que sale del digestor, especialmente su parte líquida, es un excelente fertilizante, no solamente por su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio muy similar al de la tierra natural, sino por las fibras y el humus que permiten cohesionar a la tierra, a diferencia de los fertilizantes químicos. Antes de utilizar el lodo fertilizante residual este debe ser expuesto al aire al menos por 10 días para liberar los gases tóxicos como el sulfuro de hidrógeno. Para ello es conveniente hacerlo sobre unas piscinas de poco fondo (30 a 50 cm) por donde circule por gravedad el lodo. El fondo de estas piscinas deberá ser en concreto o recubiertas de plástico para impedir que el nitrógeno del fertilizante se escurra por el suelo.

Deberán además estar cubiertas del sol y de la lluvia. El fertilizante así tratado es de mucho mejor rendimiento que el compost aeróbico y puede ser empleado directamente para alimento de animales, una vez secado, o dentro de los sistemas de riego para cultivos agrícolas. Se ha empleado con mucho éxito como alimento para peces ya que el contenido de nutrientes es ideal, especialmente para trucha y tilapia.

Los residuos orgánicos obtenidos después de la biodegradación anaerobia (efluente) tienen mayor riqueza nutricional que los obtenidos en la biodegradación aerobia (Noyola y Monroy, 1994).

d.5. TIPOS DE BIODIGESTORES

Existen diversos tipos de plantas generadoras de biogás, las más comunes son el biodigestor de domo flotante (indio) y el biodigestor de domo fijo (chino). La no aceptabilidad de estos tipos de biodigestores en nuestro medio se debe principalmente al alto costo de inversión inicial; la dificultad de instalación, puesta en marcha y a problemas relacionados en la obtención de partes y repuestos.

d.5.1. Biodigestor de domo flotante (Indio):



Figura d.4 Biodigestor tipo Indio.

Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas disponible depende del peso del poseedor de gas por el área de la unidad y normalmente varía entre 4 a 8 cm de presión de agua. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada.

d.5.2. Biodigestor de domo fijo (Chino).

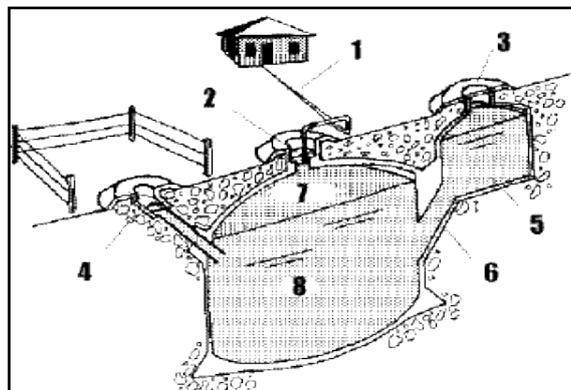


Figura. d.5 Esquema del digestor chino: 1. tubería de salida del gas; 2. Sello removible; 3. Tapa móvil; 4. Entrada; 5. Tanque de desplazamiento; 6. Tubería de salida; 7. Almacenamiento de gas; 8. Materia orgánica.

Este reactor consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme.

La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de la inspección a la cima del digester que facilita el limpiado. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digester en la cámara del efluente, con presiones en el domo entre 1 y 1.5 m de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la cima hemisférica y el fondo. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor.

Más de cinco millones de biodigestores se ha construido en China y ha estado funcionando correctamente (FAO, 1992) pero, desgraciadamente, la tecnología no ha sido tan popular fuera de China.

Esta instalación tienen como ventaja su elevada vida útil (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.

d.5.3. Biodigestor de estructura flexible.



Figura d.6. Biodigestor de estructura flexible.

La inversión alta que exigía construir el biodigestor de estructura fija resultaba una limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivó a ingenieros en la provincia de Taiwán en los años sesenta (FAO, 1992)⁵ a realizar biodigestores de materiales flexibles más baratos. Inicialmente se usaron nylon y neopreno pero ellos demostraron ser relativamente costoso.

⁵ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), (Corporation.) Microsoft ® Encarta ® 2009.

Un desarrollo mayor en los años setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio producto llamado "el barro rojo PVC." Esto fue reemplazado después por polietileno menos costoso que es ahora el material más comúnmente usado en América Latina, Asia y África.

Desde 1986, el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha estado recomendando biodigestores de plástico económico como la tecnología apropiada por hacer mejor uso de excrementos del ganado, reduciendo la presión así en otros recursos naturales. En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.

d.5.4. Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.



Figura d.7 Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.

Otro tipo de planta de producción de biogás que ha logrado disminuir los costos hasta 30 % con respecto a los prototipos tradicionales, es la que se caracteriza por tener una estructura semiesférica de polietileno de película delgada en sustitución de la campana móvil y la cúpula fija, y un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillo como los empleados en los prototipos tradicionales, y la estructura de polietileno flexible puede llegar a alcanzar hasta diez años de vida útil.

Los biodigestores de régimen semicontinuo se construyen enterrados, se cargan por gravedad una vez al día, en la parte superior consta de un recipiente donde se almacena el gas (Viñas, 1994).

Los biodigestores de desplazamiento horizontales también se construyen enterrados semejantes a un canal, se operan a régimen semicontinuo, entrando la carga por un extremo del biodigestor y saliendo el efluente por el extremo opuesto.

De acuerdo a las características propias de la granja establecimos que el diseño y construcción más adecuado para éstas condiciones es el *biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno de desplazamiento horizontal*, el cuál será de flujo semicontinuo, además nos permitirá realizar la automatización a todos los procesos que conlleva la obtención y producción del bioabono y biogás.

d.5.5. Biodigestores Industriales.



Figura d.8. Biodigestores industriales.

Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado.

Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento contruidos de ladrillo u hormigón.

Con el objetivo de lograr su mejor funcionamiento se usan sistemas de bombeo para mover el material orgánico de los estanques de recolección hacia los biodigestores, y el biofertilizante de los digestores hacia los tanques de almacenamiento. También se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás con vistas a lograr que éste llegue hasta el último consumidor.

Para evitar los malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad, redes de tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación.

La tendencia mundial en el desarrollo de los biodigestores es lograr disminuir los costos y aumentar la vida útil de estas instalaciones, con el objetivo de llegar a la mayor cantidad de usuarios de esta tecnología.

d.6. Diseño de la metodología de selección del digestor anaerobio.

Esta metodología ha sido realizada teniendo en cuenta los criterios expuestos anteriormente tiene como objetivo llegar a seleccionar el digestor adecuado para tratar los residuales existentes en la granja los cuales son de orden secundario (excretas animales) y desechos agrícolas, con la mayor eficiencia en el tratamiento del residual y en la producción de biogás con el menor costo posible o llegando a un compromiso entre estas variables.

Se analiza el lugar donde se produce el residual con el fin de determinar si este es adecuado para construir una planta de tratamiento anaerobio de residuales con producción de biogás.

Se realiza la caracterización física – química y biológica del residual para determinar si puede aplicarse a las plantas de tratamiento. Esta caracterización incluye: la temperatura, el pH, los ST, los SV, la DQO, la DBO, el % de materia seca, la relación carbono – nitrógeno, la disponibilidad de nutrientes y la presencia de sustancias tóxicas que interfieran en el desarrollo de las poblaciones bacterianas que intervienen en el proceso.

Se determina si el residual es biodegradable y si no presenta sustancias que inhiban la actividad bacteriana. Se mide la cantidad de residual a la que se le quiere aplicar el tratamiento. Se procede a determinar el digestor que pueda tratar el residual y aportar esa producción de biogás. Una vez determinado se puede realizar el proceso procediendo a determinar el volumen de los mismos por las tablas que relacionan el tamaño del digestor con su correspondiente producción de biogás. Cuando se tiene el volumen del digestor se determinan las condiciones de operación del sistema.

La carga orgánica y el tiempo de retención hidráulica son determinados según las características de cada digestor. Se procede a analizar el costo de los digestores en función del volumen de los mismos. Una vez seleccionado el digestor se procede al

diseño del equipo y su automatización para posteriormente proceder a la construcción del mismo.

A continuación se da una breve ilustración de los aspectos y factores que son cruciales a tener en cuenta en el diseño, planificación y construcción de un biodigestor:

d.6.1. Factores humanos.

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

d.6.2. Factores biológicos.

- Enfermedades y plagas tanto humanas como pecuarias y agrícolas.

d.6.3. Factores físicos.

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

d.6.4. Factores de construcción.

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

d.6.5. Factores utilitarios.

- Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.
- Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.
- Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala domestica, para grupo familiar, comunitario o empresas.
- Capacidad, si es pequeño de 3 a 12 m³ / digestor; si es mediano de 12 a 45 m³ digestor y si es grande de 45 a 100 m³ / digestor.
- Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento del pre tratamiento, la mezcla, la carga, y controles de PH, obstrucciones de líquidos, sólidos y gases: las descargas de efluentes tanto liquidas como gaseosas y de lodos; el almacenamiento de los líquidos, sólidos y gases; la aplicación de líquidos por bombeo, por tanques regadores o arrastre por riego; los sólidos que están disueltos en el agua y los sólidos en masa y por último los gases utilizados para la cocción, iluminación e indirectamente en los motores.

Con el objetivo de disminuir el tamaño de los digestores se han utilizado los productos orgánicos que brindan mayor cantidad de biogás por unidad de volumen; algunos de ellos son: la excreta animal, la cachaza de la caña de azúcar, los residuales de mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara del café, así como la materia seca vegetal.

d.6.6. PH (Acidez).

El rango de PH óptimo⁶ es de 6.6 a 7.6. Los ácidos grasos volátiles (AGV) y el acetato tienden a disminuir el PH del sustrato. Si las bacterias metanogénicas no alcanzan a convertir rápidamente los AGV a medida que lo producen las bacterias acetogénicas, estos se acumulan y disminuyen el PH en el biodigestor.

⁶ (Hayes *et al.*, 1979). (64w7039jg.pdf)

Tabla d.2. Rango de valores de PH en la generación de biogás.

Valor PH	Característica
6.6 – 7.6	OPTIMO
Menor de 6.2	Retardo por ácidos
Mayor a 7.6	Retardo por amonios

Sin embargo, el equilibrio CO₂-bicarbonato opone resistencia al cambio de PH. Existen dos métodos prácticos para corregir los bajos niveles de PH en el biodigestor:

- El primero es parar la alimentación del biodigestor y dejar que las bacterias metanogénicas asimilen los AGV; de esta forma aumentará el pH hasta un nivel aceptable. Deteniendo la alimentación disminuye la actividad de las bacterias fermentativas y se reduce la producción de los AGV. Una vez que se haya restablecido el pH se puede continuar la alimentación del biodigestor pero en pocas cantidades, después se puede ir aumentando gradualmente para evitar nuevos descensos.
- El segundo método consiste en adicionar sustancias buffer para aumentar el pH, como el agua con cal. Las cenizas de soda (carbonato de sodio) constituyen una variante más costosa, pero previenen la precipitación del carbonato de calcio.

Los requerimientos de buffer varían según el residual, los sistemas de operación y tipos de operación. Las normas para calcular estos requerimientos han sido desarrolladas por Pohland y Suidon (1978). La medición del PH lo realizaremos mediante un indicador de acidez que va a estar incluido en el proceso de control en la descomposición anaeróbica.

d.6.7. Temperatura.

Los niveles de reacción química y biológica normalmente aumentan con el incremento de la temperatura. Para los biodigestores de biogás esto es cierto dentro de un rango de temperatura tolerable para diferentes microorganismos.

Las altas temperaturas causan una declinación del metabolismo, debido a la degradación de las enzimas; y esto es crítico para la vida de las células. Los microorganismos tienen un nivel óptimo de crecimiento y metabolismo dentro de un rango de temperatura bien definido, particularmente en los niveles superiores, los cuales dependen del tiempo de estabilidad de la síntesis de proteínas para cada tipo particular de microorganismo.

Las bacterias metanogénicas son más sensibles a los cambios de temperatura que otros organismos en el biodigestor. Esto se debe a que los demás grupos crecen más rápido, como las acetogénicas, las cuales pueden alcanzar un catabolismo sustancial, incluso a bajas temperaturas.

Tabla d.3. Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica.

FERMENTACION	MINIMO	ÓPTIMO	MAXIMO	TIEMPO DE FERMENTACION
Psychofilica	4-10 °C	15-18°C	25-30°C	Arriba de 100 días
Mesophilica	15-20 °C	28-33°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Las bacterias mesofílicas completan su ciclo biológico en el ámbito de 15 a 45°C con una temperatura óptima de 35°C. Las bacterias termofílicas cumplen sus funciones en el ámbito de 35 a 60°C con una temperatura óptima de 55°C (Marty, 1984).

Por las experiencias y realizaciones científico-técnicas mencionadas en libros y fuentes digitales la temperatura en el biodigestor quedara en el rango de 35°C a 45°C para el óptimo funcionamiento de nuestro biodigestor, debido a que su tiempo de retención será de 30 días.

d.6.8. Nivel de Carga.

Este parámetro es calculado como la materia seca total (MS) o materia orgánica (MO) que es cargada o vertida diariamente por metro cúbico de volumen de biodigestor. La

MO o sólidos volátiles (SV) se refiere a la parte de la MS o sólidos totales (TS), que se volatilizan durante la incineración a temperaturas superiores a 500 0C. Los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano.

Los residuales de animales pueden tener un contenido de MS mayor del 10 % de la mezcla agua estiércol. Según los requerimientos operacionales para un reactor anaerobio, el contenido de MS no debe exceder el 10 % de la mezcla agua estiércol en la mayoría de los casos. Por eso, los residuales de granjas se deben diluir antes de ser tratados. La eficiencia de la producción de biogás se determina generalmente expresando el volumen de biogás producido por unidad de peso de MS o SV.

La fermentación de biogás requiere un cierto rango de concentración de MS que es muy amplio, usualmente desde 1% al 30%. La concentración óptima depende de la temperatura. En China, la concentración óptima es del 6% en el verano a temperaturas entre 25-27°C y entre 10 y 12 % en la primavera a temperaturas de 18-23°C, que son temperaturas similares a las que se dan en la granja.

d.6.9. Tiempo de Retención.

Es el número de días que demora la masa en producir metano, y depende del volumen del digestor y del caudal de materia que ingresa por día. Cada sustrato tiene un óptimo tiempo de retención y éste solo puede ser determinado en la práctica para cada caso. Para estiércol líquido a temperatura termofílica, el tiempo de retención aproximado, dependiendo del residuo de animal, es:

Tabla d.4. Tiempo de retención en días para diferentes sustratos.

Sustrato	Tiempo de Retención en días
Estiércol vacuno	20 a 30
Estiércol porcino	15 a 25
Estiércol animal mezclado con plantas	50 a 80

Existen dos parámetros para identificar el tiempo de retención de las sustancias en el biodigestor:

- El tiempo de retención de los sólidos biológicos (TRSB) que se determinan dividiendo la cantidad de MO o SV que entra al biodigestor entre la cantidad de MO que sale del sistema cada día. El TRSB es asumido para representar la media del tiempo de retención de los microorganismos en el biodigestor.
- El tiempo de retención hidráulico (TRH) es la relación entre el volumen del biodigestor (VD) y la media de la carga diaria.

Estos parámetros son importantes para los biodigestores avanzados de alto nivel, los cuales han alcanzado un control independiente del TRSB y del TRH a través de la retención de la biomasa. La medición del TRH es más fácil y más práctica que el TRSB al nivel de las granjas.

d.7. Sistema de Agitación:

Las características constructivas de los agitadores permiten su empleo en los procesos de industria química, galvánica, alimenticia, farmacéutica, en tratamiento de circuitos estampados y en la depuración de aguas y ríos, en los sistemas de depuración y de neutralización y hasta en los sectores de mezcla de reactivos, aditivos o floculantes y en toda aplicación donde la resistencia química se complementa con confianza y seguridad.

La generación del biogás depende fundamentalmente del íntimo contacto entre bacterias, la materia prima en degradación y los compuestos intermedios producto de las diferentes etapas del proceso fermentativo. En consecuencia, la agitación de la masa en digestión es sumamente beneficiosa para el buen funcionamiento del proceso.

Con biodigestores operando en el nivel mesófilico se requiere una leve agitación, siendo suficiente un movimiento intermitente realizado con algún elemento mecánico.

En el caso de instalaciones que trabajan a nivel termófilico, la agitación debe ser continua para mantener una temperatura uniforme en todo el reactor. Esta operación

puede realizarse, mediante el reciclado del contenido del digestor por bombeo, agitación mecánica con paletas; recirculación de biogás comprimido, con un compresor adecuado, desde la parte superior hacia el fondo del tanque.

En el proceso del biodigestor éste sistema será de vital importancia debido que se logrará un mayor rendimiento en la obtención de biogás, no permitirá la formación de residuos sólidos (costras), se accionará de forma intermitente y su agitación debe ser leve por lo que constará de un motor-reductor para disminuir las revoluciones de las aspas que realizan la agitación.

d.7.1. Motor.

Es una máquina que convierte energía en movimiento o trabajo mecánico. La energía se suministra en forma de combustible químico, como gasóleo o gasolina, vapor de agua o electricidad, y el trabajo mecánico que proporciona suele ser el movimiento rotatorio de un árbol o eje.

d.7.2. Motor Eléctrico.

Un motor eléctrico es un dispositivo rotativo que transforma energía eléctrica en energía mecánica, y viceversa, convierte la Energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generador o dínamo. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa con frenos dinamo.

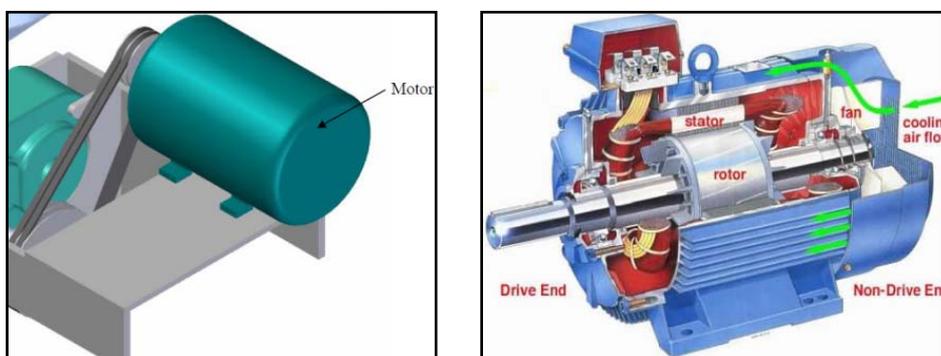


Figura d.9 Motor eléctrico.

d.7.3. Agitador Vertical.

Se pueden utilizar en procesos de mezcla, disolución, dispersión y mantenimiento tanto en la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y química dónde se requiera una agitación suave o media, el mismo que constará de un motor- reductor.

Estos agitadores se pueden instalar centrados instalando rompe corrientes en el depósito, o descentrados así el mismo descentramiento del agitador evita que el producto entre en rotación. La rotación de la hélice empuja el flujo de producto hacia el fondo del depósito, consiguiendo que este flujo suba hasta la superficie del líquido por el lado de la pared del digestor.



Figura d.10. Agitador vertical.

d.7.4. Reductores.

Los reductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente. Las transmisiones de fuerza por correa, cadena o trenes de engranajes que aún se usan para la reducción de velocidad presentan ciertos inconvenientes. Al emplear reductores se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

Los reductores se suministran normalmente acoplando a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado. Los valores de las corrientes nominales están grabados en las placas de identificación del motor.

Las relaciones de velocidad se obtienen con las siguientes reducciones:

- SIMPLE: Comprenden desde 6.75:1 hasta 70:1
- DOBLE: Desde 100:1 hasta 5000:1. Estas relaciones se logran con doble Sinfín-Corona o Sinfín-Corona piñones helicoidales.



Figura d.11. Motor- Reductor.

d.8. Introducción a los Sistemas Automatizados.

El desarrollo creciente de la industria moderna dio lugar a la necesidad de la creación de sistemas capaces de obtener información en diferentes puntos del proceso y transmitirla a centros procesadores de ésta información, los cuales en función de los algoritmos que emplean para su trabajo, la utilizan para:

1. Representarla.
2. Realizar funciones de control.
3. Almacenarla.

Si realizáramos una breve reseña histórica acerca de cómo se han desarrollado los sistemas de automatización y control por computadora hasta nuestros días, pudiéramos resumirlo de la siguiente forma:

- 1950 - Concepción de un sistema de control por computadora. Brown and Campbell.
- 1954 - Primera computadora digital para control. Aplicada en control de vuelos.
- 1958 - Primer sistema para monitoreo en una Planta de Potencia.
- 1959 - Primer sistema en lazo cerrado en una refinería en Texas, 40 lazos supervisorios.
- 1962 - Primer Control Digital Directo (DDC) en una planta química en el Reino Unido.
- 1963 - Aparecen los Sistemas Operativos para tiempo real con súper lenguajes.
- 1974 - Con el desarrollo de los microprocesadores y microcomputadoras, aparecen los sistemas de Control Distribuido, con sus diferentes variantes y estructuras.

En el siglo pasado y hasta alrededor de los años 60 se desarrollaron notablemente teorías de control para sistemas simples, métodos de optimización, modelos matemáticos, etc. A partir de entonces los sistemas multivariables, digitales. Luego comenzaron a desarrollarse investigaciones en relación a los sistemas de automatización, las cuales no se han detenido hasta nuestros días.

El desarrollo de las técnicas de computación influyó en dos sentidos:

- Aplicación práctica de sistemas de medición y control complejos.
- Aparición de nuevas técnicas de control que han necesitado de máquinas veloces y potentes para el análisis y diseño.

d.8.1. Concepto de Sistema Automatizado⁷.

Un sistema automatizado es el conjunto de elementos (equipamiento, sistema de información, y procedimientos) interrelacionados funcionalmente entre sí que conforman una estructura jerárquicamente expandida cuya función es garantizar el desempeño independiente del proceso a través operaciones de control y supervisión total del sistema, bajo las técnicas más modernas y cumpliendo los requisitos establecidos de acuerdo al tipo de planta. Las características que distinguen un sistema automatizado son:

1. Esquemas de comunicación que garantizan el intercambio confiable de datos, tanto vertical como horizontal entre todos los componentes del sistema.

⁷ Sistemas Automatizados (Izaguirre, 2008)

2. Alta capacidad de adaptación en las características del proceso para futuras aplicaciones, automatización flexible.
3. Trabajo en Tiempo Real.
4. Operación según el principio de: “Control descentralizado bajo mando e información centralizados”.
5. Manejo y explotación de bases de datos.
6. Gran variedad de funciones implementadas que abarcan la explotación del sistema en las esferas de: automatización, control del proceso, monitoreo, ingeniería (simulación y parametrización), diagnóstico y ayuda, administración, etc.

Para concebir un sistema automatizado es necesario tener presente las diferentes partes que componen el mismo, ellas son:

1. Proceso tecnológico o planta.
2. Los medios técnicos de automatización.
3. Elementos acondicionadores de señales.
4. Interfaces con los medios de cómputos.
5. Medios de cómputo.
6. Aseguramiento matemático.
 - Métodos.
 - Algoritmos.
 - Software.
7. El aseguramiento informativo.
8. El aseguramiento organizativo.
9. Hombre - Operador.

Se ha incluido al hombre por su importancia dentro del sistema; el mismo debe tomar las decisiones correctas no solo para el adecuado funcionamiento del sistema sino también ante la ocurrencia de anomalías.

En la actualidad el uso de las tecnologías informáticas ha permitido el aumento en la velocidad de realización de los cálculos, ha posibilitado además disponer de mayor cantidad de memoria para el almacenamiento de los datos y su procesamiento, una mejor representación de la información y visualización de parámetros, y sobre todo la comunicación con otras plantas o sistemas.

Todo esto tributa en una mejor operación y explotación general del sistema.

El paso hacia sensores inteligentes es ya una realidad; y la transformación de señales de corriente (4-20 mA) muy popular y difundida desde hace años en la automatización de procesos, se transforma hacia el empleo de señales digitales sobre un bus de campo.

Por otro lado tenemos, que en todo sistema automatizado es necesario e imprescindible realizar la medición de las variables del proceso, calidad requerida y funciones que se va a cumplir.

d.8.2. Características Distintivas de un Sistema Automático.

En un sistema de control automático, las tareas se suelen dividir en cuatro niveles o grupos distintos. En consecuencia, la estructura de comunicaciones se suele distribuir también por funciones en cuatro grupos.

Grupo 1: Interfaz con el proceso.

Este nivel está constituido básicamente por unidades de captación de señales y entrada/salida de datos del proceso o de un operador local. Su conexión a red permite la comunicación con sensores, captadores y accionamientos y el control manual a pie de proceso.

El enlace entre unidades de este nivel suele efectuarse mediante redes simples o buses de campo, cuya estructura suele ser del tipo maestro esclavo o en algunos casos de maestro flotante.

Grupo 2: Mando y regulación.

Constituido por unidades de control, como PLC y programas propios, que se encargan del control automático de partes del proceso. La integración en red de estas unidades permite intercambien datos e información que son de utilidad para el control global del proceso. Estas unidades suelen ejercer el papel de maestro en la comunicación con el nivel inferior (bus de campo), pero a su vez permiten el enlace con los niveles superiores, enlace que suele requerir redes con protocolos más elaborados que el bus de campo.

Grupo 3: Supervisión y mando centralizados.

Este nivel incluye una serie de unidades destinadas al control global del proceso, terminales de diálogo, sinópticos, terminales de enlace con oficina técnica entre otros. Desde estas unidades se tiene acceso a la mayor parte de variables del proceso, generalmente con propósito de supervisar, cambiar consignas, alterar programas y obtener datos con vista a su posterior procesamiento.

Grupo 4: Gestión y documentación.

Este nivel incluye la comunicación con ordenadores de gestión y se encarga del procesamiento de los datos obtenidos por el nivel 3 para efectos estadísticos, control de la producción, control de calidad.

En cada uno de los grupos podemos distinguir dos tipos de bloques: bloques de procesamiento y bloques de comunicación, con funciones distintas, los primeros serán responsables del control propiamente dicho y del diálogo con los operadores, mientras que los bloques de comunicación tienen a su cargo asegurar las transferencias de información con la máxima rapidez y fiabilidad.

- Secuencias de control:

- Definición alarmas
- Creación de reportes y pantallas gráficas.
- Creación de bases de datos.
- Configuración de la comunicación.

d.8.3. Elementos de un Sistema de Control Automático

Adicionalmente a los componentes anteriores, se encuentran aquellos que le van a dar la particularidad de ser automático, es decir, el sistema de control va a actuar independiente del operario y va a determinar por sí mismo los mejores valores para las señales de control.

Para ello se contará con una referencia, que es un valor dado por el operario, este valor es fijo y depende del tipo de proceso y de las exigencias que este amerite; es conocido como set -point , este valor es el que se desea alcanzar y mantener.

CONTROLADOR: Es aquel instrumento que compara el valor medido con el valor deseado, en base a esta comparación calcula un error (diferencia entre valor medido y deseado), para luego actuar a fin de corregir este error. Tiene por objetivo elaborar la señal de control que permita que la variable controlada corresponda a la señal de referencia.

Los controladores pueden ser de tipo manual, neumático, electrónico; los controladores electrónicos más usados son: PLC (controladores lógicos programables), micros controladores (PIC).

El tipo de controlador más común es el PLC, el cual es un equipo electrónico basado en microprocesadores, hace uso de memorias programables y regrabables (RAM), en donde se almacenan instrucciones a manera de algoritmos que van a permitir seguir una lógica de control. Contiene interfaces que le permiten manejar gran número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales.

ACTUADOR: Es aquel equipo que sirve para regular la variable de control y ejecutar la acción de control, es conocido como elemento final de control, estos pueden ser de 3 tipos:

Actuadores eléctricos: Son usados para posicionar dispositivos de movimientos lineales o rotacionales. Ej. Motor, relé, switch, electroválvulas.

Actuadores neumáticos: Trabajan con señales de presión, estas señales son convertidas a movimientos mecánicos. Ej. Pistones neumáticos, válvulas.

Actuadores hidráulicos: Operan igual a los neumáticos, son usados en tareas que requieren mayor fuerza por ejemplo levantar compuertas, mover grúas, elevadores, etc. Ej. Pistones hidráulicos.

PROCESO: Esta referido al equipo que va a ser automatizado, por ejemplo puede ser una bomba , tolva , tanque, compresor, molino, intercambiador de calor, horno, secador, chancadora, caldera, etc.

SENSOR: Es un elemento de medición de parámetros o variables del proceso.

Los sensores pueden ser usados también como indicadores, para transformar la señal medida en señal eléctrica. Los sensores más comunes son los de nivel, temperatura, presencia, proximidad, flujo, presión, entre otros.

d.8.4. Tipos de Sistemas de Control.

En base a su principio de funcionamiento los sistemas de control pueden emplear o no, información a cerca de la planta, a fin de elaborar o no, estrategias de supervisión y control, se cuenta con dos tipos de sistemas de control: de lazo abierto y de lazo cerrado.

d.8.4.1. Sistemas de Control de Lazo Abierto (Open loop)

Un sistema de control de lazo abierto es aquel en el cual no existe realimentación, del proceso al controlador. Algunos ejemplos de este tipo de control están dados en los hornos, lavadoras, licuadoras, batidoras, etc.

Su principal ventaja consiste en su facilidad para implementar, además son económicos, simples, y de fácil mantenimiento. Sus desventajas consisten en que no son exactos, no corrigen los errores que se presentan, su desempeño depende de la calibración inicial.

Se representa a través del siguiente diagrama de bloques:

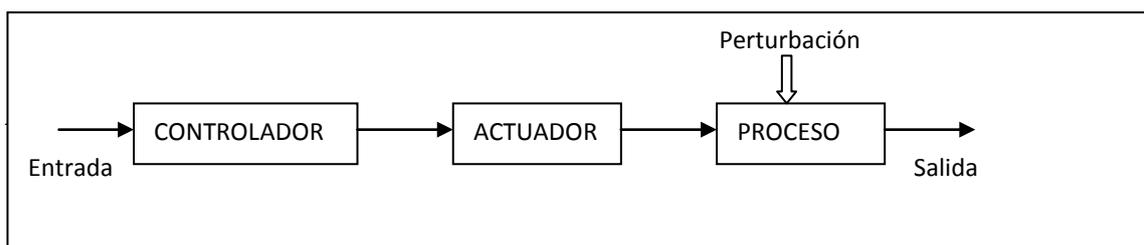


Figura d.12. Diagrama de lazo abierto.

d.8.4.2. Sistemas de Control de Lazo Cerrado (Feedback).

Un sistema de control de lazo cerrado, es aquel en donde la señal de salida o parte de la señal de salida es realimentada y tomada como una señal de entrada al controlador. Existen dos tipos: de realimentación positiva, y de realimentación negativa.

Realimentación Positiva: Es aquella en donde la señal realimentada se suma a la señal de entrada. Se conoce también como regenerativa, no se aplica en el campo de control de procesos industriales. Un ejemplo es el caso de los osciladores.

Realimentación Negativa: Es aquella en donde la señal realimentada, se resta de la señal de entrada, generando un error, el cual debe ser corregido. Este es el caso común utilizado en el campo del control de procesos industriales.

Se representa a través del siguiente diagrama de bloques:

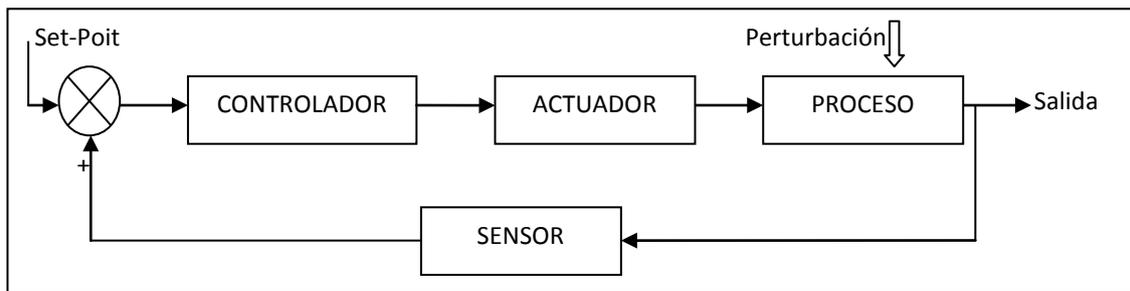


Figura d.13. Diagrama de lazo cerrado o feedback.

d.8.4.3. Control Anticipatorio (Feedforward).

Este método permite al controlador analizar los datos de entrada y de salida y mediante algoritmos matemáticos calculará la próxima salida probable, de modo tal que autoajusta sus parámetros con la finalidad de adecuarse al cambio, y minimizar la diferencia de medidas.

Se recomienda para procesos lentos. Su desventaja radica en que es necesario medir todas las variables perturbadoras, ya que no corrige las perturbaciones no medidas.

Se puede mejorar este método agregando una retroalimentación a la salida, de modo tal que se deje que se produzca un error mínimo, el cual será detectado y corregido en la siguiente medición.

Se representa a través del siguiente diagrama de bloques:

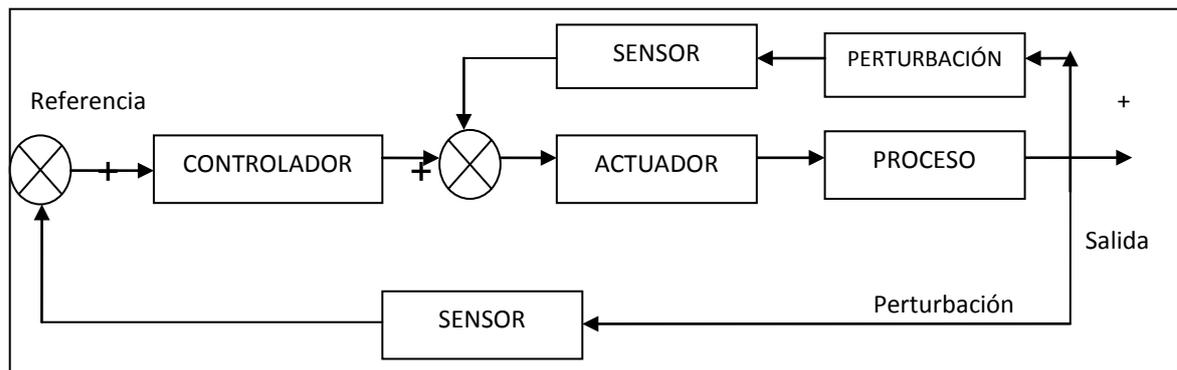


Figura d.14. Control de lazo cerrado tipo Feedforward.

d.8.5. Clasificación de los Procesos Tecnológicos.

Para el tratamiento desde el punto de vista de la automatización, se pueden clasificar los procesos en tres grandes grupos, en dependencia del tipo de producción que los caracteriza, a saber:

- Por lotes (batch). Descontinuos:

Su producción lo constituyen elementos discretos: piezas, equipos, etc. Poseen incluso sus propias nomenclaturas para designar la automatización de dichos procesos.

Ejemplo: CAD-CAM, células flexibles de automatización, etc.

- Continuos: En estos procesos la producción es un flujo continuo de energía, materiales, etc. Por ejemplo la producción de fertilizantes, generación de energía eléctrica, etc.

- Laboratorios:

Además de la posible producción, los objetivos fundamentales están encaminados a las investigaciones, por lo que presentan características de las anteriores. Están diseñados para realizar experiencias en períodos de tiempos relativamente cortos. Puede definirse un sistema automatizado de medición y control por computadora como un sistema hombre-máquina que garantiza la adquisición de la información, procesamiento, formación de acciones de dirección, en correspondencia con criterios de optimización dados.

d.8.6. Clasificación de las variables.

Para lograr un adecuado control de un sistema automatizado es necesario caracterizar las magnitudes o variables relacionadas con el mismo, pues estas determinan entre otras cosas las características y nivel de complejidad del sistema, la magnitud de la base de datos a implementar, los medios técnicos de automatización, instrumentación y elementos de cómputo que deberán disponerse.

En los sistemas automatizados, generalmente, existen variables que sus valores deben ser introducidos manualmente como es el caso de análisis de laboratorios, por ejemplo se tienen las características energéticas del petróleo que se usará en un generador de vapor para ser utilizado en el cálculo de la eficiencia.

Numerosas variables se miden en el proceso, otras se calculan a partir de otras, como ejemplo cálculo de la energía consumida, entalpías, trasferencias de energía, etc.

Se tienen las variables manipuladas fundamentalmente para las funciones de control. Las variables de perturbación pueden o no medirse, como es el caso de la temperatura ambiente que puede medirse.

d.8.6.1. Variables de un proceso automatizado.

Variable Controlada: Es aquella que se busca mantener constante o al menos con cambios mínimos durante la operación estable del sistema. Su valor debe seguir a la referencia (setpoint) o valor deseado.

Variable Manipulada: A través de ella se debe corregir el efecto de las perturbaciones sobre la planta. La misma constituye la salida del elemento actuador.

Variable Perturbadora: Variable que provoca cambios no deseados en la salida del sistema, afectando el comportamiento del mismo. Puede llevar a la inestabilidad.

Variable Medida: Es toda variable adquirida cuyo valor es necesario visualizar, almacenar y monitorear, y que necesariamente no hay que controlar.

Variable Calculada: Aquella que el valor es el resultado de operaciones de cálculo realizadas a partir de los valores conocidos de otras variables.

Variables introducidas manualmente: Son las variables ingresadas al sistema por el operador, empleando las interfaces del proceso (teclados, botones, interruptores, paneles, etc.).

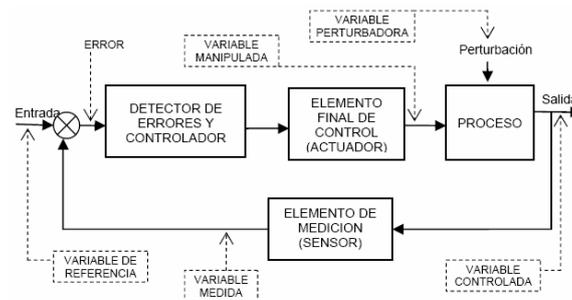


Figura d.15. Representación de las variables dentro del lazo de control.

Como las variables físicas son señales variantes con el tiempo, en dependencia del método de medición habrá que tener en cuenta los siguientes parámetros para poder censar adecuadamente las mismas.

- Estado de la señal.
- Cantidad de cambios de estados.
- Nivel o amplitud de la señal.
- Forma de la señal.
- Frecuencia.

En dependencia de la naturaleza de la información que portan las señales las podemos clasificar en:

- Analógicas.
- Discretas.

Mientras que en dependencia de la forma de su obtención las clasificamos en:

- Variables medidas.
- Variables calculadas.
- Entrada manual.

En dependencia de la procedencia, se pueden clasificar en:

- Externas e Internas

Las variables físicas son señales variantes con el tiempo, en dependencia del método de medición las señales se clasifican en los tipos siguientes:

- Estado.
- Cantidad de cambios de estados.
- Magnitud o Nivel.
- Forma.
- Frecuencia.

d.8.7. Las señales digitales.

O discretas como también se le conoce, presentan dos niveles: alto (ON) y bajo (OFF), en este caso nos interesa el estado como tal de la misma o la medición de la cantidad de pulsos asociados a la señal dentro de un intervalo de tiempo dado.

Las señales analógicas contienen información por su continua variación con respecto al tiempo y se puede plantear que la información está dada por su magnitud en el tiempo (señales de baja frecuencia o DC) y otras en que su información está en la frecuencia de la señal y su análisis.

Las señales ON-OFF o de niveles alternados caracterizan condiciones del proceso del tipo AUSENCIA - PRESENCIA, SI-NO, 0-1, TODO o NADA. Al medir estas señales lo que nos interesa es el estado de dicha variable, por ejemplo: si la temperatura llegó a un valor dado o no, si la presión se excedió de un límite establecido, etc.

d.8.8. Señales Analógicas.

Señales sinusoidales.

Las señales sinusoidales pueden ser portadoras de información en su:

- a) Amplitud: manteniendo constante la frecuencia.
- b) Frecuencia: manteniendo constante su amplitud.
- c) Fase relativa: manteniendo constante frecuencia y amplitud.
- d) Cambio de frecuencia alternadamente entre 2 valores: representando de esta manera dos posibles estados diferentes del proceso.

d.9. Autómata Programable PLC.



Figura d.16. PLC.

El autómata programable industrial (PLC) es un dispositivo electrónico programable, capaz de trabajar en entornos industriales, que basa su funcionamiento en el empleo de los microprocesadores. Siendo capaz de gestionar, según el programa que la aplicación requiera, entradas y salidas digitales y analógicas.

Con ello se consigue que con un único hardware y atendiendo al software que se le cargue, se dé respuesta a cada necesidad concreta de automatización.

Además de las ventajas mencionadas los PLC's, desde su aparición en 1.968, han evolucionado hacia las tecnologías de sus periféricos y hacia la compatibilidad plena con otros dispositivos de control mediante comunicaciones; buscándose la estandarización en los protocolos.

En la actualidad estos dispositivos están dotados de puertos de comunicaciones en distintas capas físicas como lo son las normas RS-232C, RS-422 y RS-485. Estos puertos facilitan las conexiones con: Módems RTC, GSM, radio MODEM, pantallas de lenguaje "Hombre- Máquina", etc.

Mundialmente existe además la proliferación, desarrollo y perfeccionamiento de los lenguajes gráficos de programación para autómatas los cuales se encuentran establecidos y regulados por la (ISA)⁸, entre los cuales tenemos (Lista de Instrucciones, Diagrama de Contactos, y Gráfico Secuencial de Funciones -Grafcet-) que evidentemente indican que los mismos no se han quedado atrás en lo que respecta al desarrollo del software para aplicaciones de todo tipo.

⁸ (ISA) La "Instrument Society of América" (Izaguirre, 2008)

El conocimiento de las características principales que distinguen a los controladores lógicos programables, resulta muy útil conocer a la hora de concebir una aplicación con esta tecnología, estas las podemos resumir a continuación.

d.9.1. Características principales que distinguen a los PLC.

1. Constituyen elementos inteligentes de control, potentes, de alta fiabilidad y robustez.
2. Presentan estructura modular, expandible.
3. Alta flexibilidad en la configuración tanto del software como del hardware.
4. Emplean lenguajes de programación de alto nivel, con lenguajes estructurados, programación sencilla y elementos de programación bien diseñados acorde a las aplicaciones industriales.
5. Alta capacidad de realización de tareas (multitareas) y operación en tiempo real.
6. Adaptabilidad máxima gracias a diferentes tipos y gran número de módulos de E/S configurables, garantizando alta versatilidad según el tipo de aplicación, incluyéndose módulos con funciones inteligentes (comunicación, regulación PID, control de motores, etc.)
7. Permiten la realización del tratamiento primario de la información (filtraje, conversión A/D y D/A y linealización por solo mencionar algunos).
8. Amplias facilidades de comunicación (a través de procesadores de comunicación) con elementos periféricos de todo tipo (computadoras, impresoras, instrumentación digital, autómatas).
9. Capaces de formar redes de comunicación de alto nivel que garantizan la transmisión de información segura y transparente a todos los niveles dentro de la jerarquía de automatización.
10. Conforman familias de grado de potencialidad y prestaciones ascendentes, garantizando niveles de funcionalidad escalonada.

11. Disponen de variadas y potentes interfaces de comunicación Hombre-Máquina que incluyen visualizadores de texto, paneles de mando, operación y supervisión del proceso.

12. Fácil montaje, puesta en marcha, ajuste y mantenimiento (se incluyen: menús de ayuda, programas prueba, generación de código de errores y detección de fallas).

d.9.2. Lenguajes de programación.

Cuando surgieron los autómatas programables, lo hicieron con la necesidad de sustituir a los enormes cuadros de maniobra contruidos con contactores y relés. Por lo tanto, la comunicación hombre-máquina debería ser similar a la utilizada hasta ese momento. El lenguaje usado, debería ser interpretado, con facilidad, por los mismos técnicos electricistas que anteriormente estaban en contacto con la instalación.

Estos lenguajes han evolucionado en los últimos tiempos, de tal forma que algunos de ellos ya no tienen nada que ver con el típico plano eléctrico a relés.

Los lenguajes más significativos son:

d.9.2.1. Lenguaje de contactos (LD)

Es el que más similitudes tiene con el utilizado por un electricista al elaborar cuadros de automatismos. Muchos autómatas incluyen módulos especiales de software para poder programar gráficamente. (Figura d.17.)

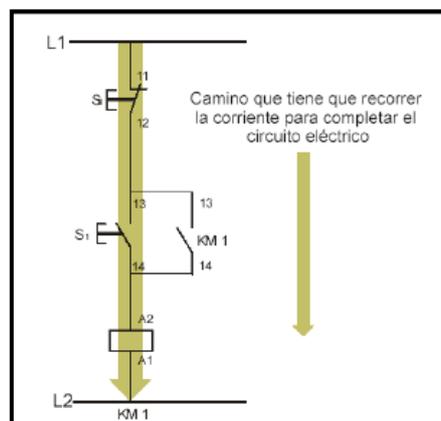


Figura d.17. Lenguaje de contactos.

d.9.2.2. Lenguaje por Lista de Instrucciones (IL).

En los autómatas de gama baja, es el único modo de programación. Consiste en elaborar una lista de instrucciones o nemónicos que se asocian a los símbolos y su combinación en un circuito eléctrico a contactos (figura. d.18). También decir, que este tipo de lenguaje es, en algunos los casos, la forma más rápida de programación e incluso la más potente.

000	LD	%I0.1	Bp. inicio ciclo
	AND	%I0.0	Dp. presencia vehículo
	AND	%M3	Bit autorización reloj calendario
	AND	%I0.5	Fc. alto rodillo
	AND	%I0.4	Fc. detrás pórtico
005	S	%M0	Memo inicio ciclo
	LD	%M2	
	AND	%I0.5	
	OR	%I0.2	Bp. parada ciclo
010	R	%M0	
	LD	%M0	
	ST	%Q0.0	Piloto ciclo

Figura d.18. Lenguaje de instrucciones.

d.9.2.3. Grafcet (SFC)

Es el llamado Gráfico de Orden Etapa Transición, ha sido especialmente diseñado para resolver problemas de automatismos secuenciales. Las acciones son asociadas a las etapas y las condiciones a cumplir a las transiciones. Este lenguaje resulta enormemente sencillo de interpretar por operarios sin conocimientos de automatismos eléctricos. Muchos de los autómatas que existen en el mercado permiten la programación en GRAFCET, tanto en modo gráfico o como por lista de instrucciones. También podemos utilizarlo para resolver problemas de automatización de forma teórica y posteriormente convertirlo a plano de contactos, como podemos ver en (fig. d.19).

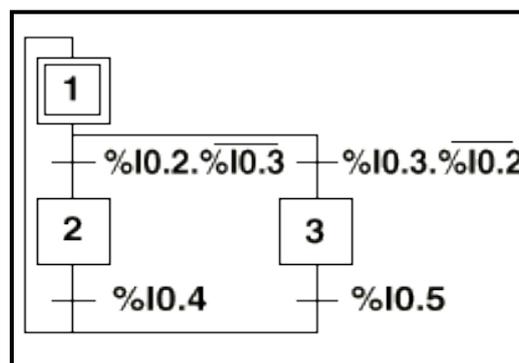


Figura d.19. Programación en GRAFCET.

d.9.2.4. Plano de funciones. (FBD).

El plano de funciones lógicas, resulta especialmente cómodo de utilizar, a técnicos habituados a trabajar con circuitos de puertas lógicas, ya que la simbología usada en ambos es equivalente, (figura d.20.).

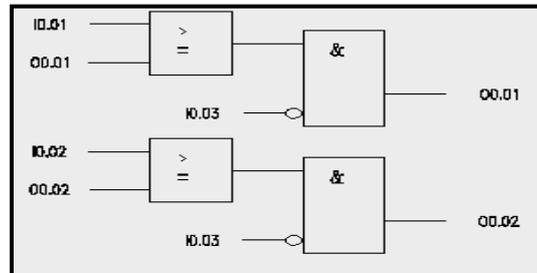


Figura d.20. Plano de funciones.

d.10. Sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos. (SCADA)

Los sistemas Control Supervisorio y Adquisición de Datos, son conocidos por el término SCADA, que proviene de las siglas en inglés "Supervisory Control And Data Acquisition".

Los primeros SCADA (supervisión, control y adquisición de datos) eran simples sistemas que proporcionaban reportes periódicos de las condiciones de campo, vigilando las señales que representaban medidas o condiciones de estado en ubicaciones de campo remotas, en muchos casos lo que se hacía era imprimir en papel para registrar información de variables y poder llevar un histórico de eventos que ocurrían durante el proceso (Ushuaia, 2008). Por otro lado, los sistemas en tiempo real permiten conocer el estado del proceso en el momento que se requiere ejecutar alguna instrucción de control o simplemente conocer su situación (LinuxFocus, 1999). Finalmente es importante poder desarrollar estos sistemas para que funcionen bajo plataformas libres (Barrera, 2002).

Un SCADA consiste en un software de aplicación diseñado especialmente para ejecutarse sobre ordenadores destinados al control de la producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores digitales autónomos, autómatas programables, instrumentación inteligente, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

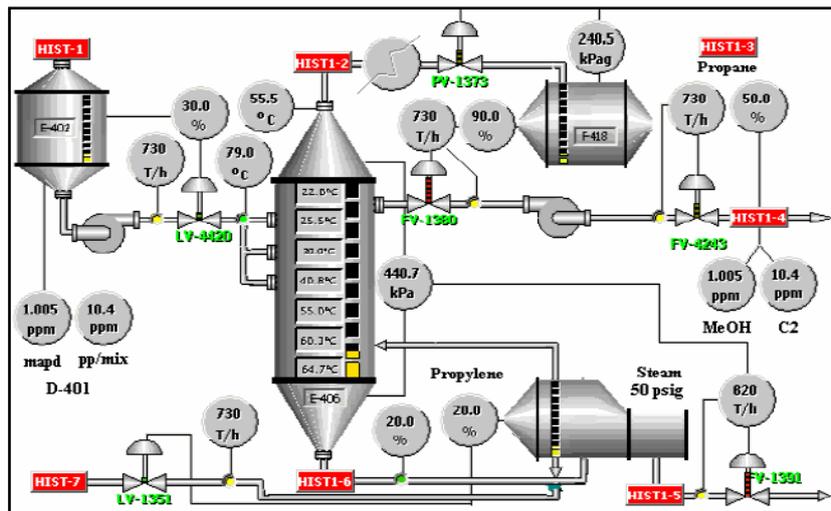


Figura d.21. Sistema SCADA.

El mismo permite realizar a distancia operaciones de control, supervisión y registro de datos del proceso industrial, de esta manera un sistema de este tipo, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto desde el propio nivel de campo como de otros niveles supervisores superiores que pueden llegar hasta nivel de empresa, abarcando aspectos tan importantes como el control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Estos sistemas mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas. De igual forma, ya que cuenta con información del proceso de primera mano (alarmas, históricos, paradas, etc.), permite la integración con otras herramientas como lo son las bases de datos, estadísticas del proceso, uso de intranets, etc.

De forma general, los SCADA permiten conocer en todo momento el estado de una instalación, centralizando toda la información de los emplazamientos remotos en uno o varios Puestos de Control. Además de gestionar alarmas y de capturar datos, los sistemas SCADA permiten generar planes de mantenimiento y eficaces procedimientos de actuación para los operadores.

Los sistemas SCADA mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas.

d.10.1. Funciones de un SCADA.

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA están las siguientes:

1. Adquirir, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, acerca del estado de los dispositivos de campo, demás mediciones y alarmas.
2. Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador.
3. Alertar al operador de los cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Los cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
4. Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de anomalías, etc.

d.11. Biodigestores Automatizados.

La razón principal de desarrollar la automatización de un biodigestor anaerobio es de evaluar las variables que fueron identificadas anteriormente de forma experimental por otros investigadores, de tal forma que permitieron determinar las dimensiones y necesidades del sistema de biodigestión. Es por esto que los valores calculados y mostrados cualitativamente, dimensionaron y ayudaron a determinar cuál es la necesidad para un posterior modelo más detallado.

El sistema de tratamiento de excretas de animales es esencial en el control de la contaminación ambiental, debido a que la utilización de biodigestores automatizados ofrece grandes ventajas, pues además de disminuir la carga contaminante, extrae gran parte de la energía contenida en el material produciendo el producto de interés, el biogás; también mejora su valor fertilizante en el efluente y controla de manera considerable los malos olores.

Las variables fundamentales en el desarrollo del proceso de automatización de un biodigestor anaerobio que deben estar regulados son los cambios bruscos en la

temperatura son un factor que también afecta la producción, ya que crean un desbalance entre las bacterias productoras de metano y de ácido, de esta forma se crea un ambiente ácido el digestor, decayendo su producción, otra variable que se debe establecer y controlar es el rango de la acidez (PH) debido principalmente que es el factor que puede inhibir o eliminar a las bacterias que son las responsables de la digestión anaerobia.

El tiempo de retención es de vital importancia en el proceso de biodigestión, mediante el cual se determina la calidad del sustrato y de la cantidad de biogás que se quiere obtener, ésta variable está relacionada directamente con la temperatura con lo que de acuerdo al tipo de sustrato que se ingresará al digestor se tiene que determinar en qué rango de temperatura se va a trabajar dependiendo del tiempo de residencia de las excretas en el interior del biodigestor.

Otra variable que se debe tener en consideración para el óptimo funcionamiento del digestor es la presión que debe controlarse en su cúpula y tanques de almacenamiento del biogás, además del nivel que ocuparán las excretas en el interior de la cámara de digestión para que exista una proporción del área del tanque de digestión que se encuentre libre para la producción del biogás.

d.12. Referencia bibliográfica de un biodigestor automatizado construido en la Universidad Autónoma de San Luis de México⁹.

Propuesta de automatización de un biodigestor anaerobio tipo horizontal.

Se trata de una propuesta de automatización de un digestor anaerobio de residuos orgánicos con capacidad de 2500 litros tipo horizontal instalado en la universidad autónoma de San Luis, la agitación es por medio de gas, éste digestor fue elaborado en México en el año 2008.

Los kilogramos de mezcla de excretas más agua introducidos por día es de 278kg, este biodigestor tiene una retención de 9 días, dando un total de los 2500 litros mencionados anteriormente.

Los equipos utilizados en la automatización del mismo son los siguientes, los mismos que constan con su precio en dólares americanos.

⁹ Tesis final 19 de agosto.pdf (Barajas, 2008)

Tabla d.5. Equipos y costos de un biodigestor automatizado de México

<u>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO Y COSTO</u>				
DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS	MODELO	CANTIDAD	PRECIO
PLC	32input/output y control de 8lazos pid	EZ-PLC32	1	300
Sensor de flujo volumétrico de área variable	Conexión de ½ pulgada, capacidad 30 litros/min	FLMW-1205	1	209
Switch de nivel	Conexión 9/16 acero inoxidable	LV-1156	1	33
Switch de nivel	Sensor limite con salida 5Volts DC	L-15	1	3
Sensor de temperatura	Instalado con termopozo termopar, tipo t	NB3 SDH	1	48
Switch de presión	Conexión 1/8	PSW23-20W	1	22
Válvula bola	¼ de vuelta, conexión ½ cuerpo de acero inoxidable ANSI 301	SV6003	4	56
Tanque1 (Biodigestor)	Material cloruro de polivinilo, compuerta de entrada de 0.75m	Rotoplas	1	
Tanque 2	Tanque plástico PVC de 500litros de capacidad	BIC-500	1	51
Tanque 3	Tanque plástico PVC de 110litros de capacidad	BIC-110	1	21
Filtro 1	Filtro de bolsa de polipropileno de 20kg de capacidad	BG-25	1	1

Filtro 2	De viruta de hierro, elimina el sulfuro de hidrógeno	Arrow Pneumatics	1	120
Filtro 3	De silicagel, filtro desecante de 1/2pulgada	Arrow Pneumatics	1	147
Variador de frecuencia	Capacidad 1HP, conexión 110VAC	NFXF50A0-1	1	120
Bomba	1HP, conexión ½ capacidad 100 litros/min	SP-500	2	
Compresor	De pistón para gas natural			1200
Tanque de almacenamiento de gas	Capacidad 3000litros, presión de 0 a 25bar		1	2800
Calentador de agua	De paso instantáneo, capacidad de 26 litros/min	FERSTYLE	1	1668
<u>COSTO DEL EQUIPO EN DÓLARES</u>				<u>9012</u>

Cabe mencionar que no existe precio en el ítem del tanque de digestión debido a que éste ya se encontraba construido, además de las dos bombas de 1HP.

Análisis de Costos:

Esta propuesta cumple con las características necesarias para realizar la automatización del proceso de digestión, además del control de la temperatura, teniendo en cuenta los productos obtenidos a partir de dicho proceso los cuales son 6.6m³/día de gas metano y composta.

Producción de gas metano:

Tomando en cuenta que un m³ de biogás equivale a 0.89 m³ de gas LP, y a su vez que 1m³ de gas Ip=1.25kg se tiene:

$$\text{Equivalencia en gas LP} = \frac{6.6m^3(0.89m^3)}{1m^3} = 5.9274m^3 \text{ de gas LP}$$

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

El precio del gas en el mercado mexicano es de:

Kilo=9.04 pesos mexicanos/10.85=0.833 dólares americanos

$$7.40925kg(\$0.833) = \$6.17$$

Este rubro del biogás no cuenta en la amortiguación del valor de inversión debido a que es utilizado para realizar el calentamiento de la mezcla en el interior del digestor para mantener el rango de temperatura óptimo.

Producción de composta (bioabono):

La composta que se genera diariamente es luego del proceso de digestión es de 15kg El precio de la composta en el mercado mexicano es de:

El saco de 15Kg=55 pesos mexicanos/10.85= 5.069 dólares americanos/día

$$\frac{\text{Costo total de los equipos } \$9012}{\$5.069/dia} = 1777 \text{ días}$$

$$\frac{1777 \text{ días}}{365 \text{ días/año}} = 4.86 \text{ años} = 5 \text{ años}$$

Con el ingreso económico que proporciona la venta de bioabono la inversión realizada para los equipos se pagaría alrededor de los 5 años.

e: MATERIALES Y MÉTODOS.

e.1. INTRODUCCIÓN:

El capítulo está conformado por dos epígrafes. En uno se establece el modelo del biodigestor, su capacidad y características finales, sus partes constitutivas, además se establecerán las variables con sus valores permisibles para el óptimo funcionamiento del biodigestor. En el otro se aborda todo lo referente a su automatización con sus diferentes diagramas de lazo y las estrategias de control necesarias para realizarla, un PLC Twido de la marca Schneider AC, el cual posee 14 entradas digitales DC, 10 salidas, además de un módulo de expansión para entradas y salidas analógicas DC24, 4E, 2S, 0~10V, 4~20ma, que se encargara de controlar el proceso de la planta generadora de biogás donde estén representadas las variables controladas, los actuadores, sensores, etc., su programación se la realizará a través del programa Twido-Suite versión 2.20 es un entorno fácil de desarrollar, editar y observar el programa del PLC, comprende tres editores que permiten desarrollar de forma cómoda y eficiente la programación de control.

La simulación del programa de control realizado en el PLC Twido será mediante su opción run realizando las conexiones de las válvulas al mismo, además el programa Twido-Suite versión 2.20 permite realizar la simulación de todo el proceso.

Un sistema de adquisición de datos SCADA Labview versión 8.2 de National Instruments donde será representada la planta generadora de biogás y bioabono en una pantalla donde se encuentran los indicadores y alarmas para conocer el funcionamiento de la planta de generación, además permite observar los mecanismos que se encuentren funcionando y las alarmas que se generen en caso de que exista algún fallo dentro del proceso.

e.2. TIPO DE BIODIGESTOR A SER EMPLEADO EN EL PROYECTO

Se realizó un análisis intensivo de la información y referencias bibliográficas mediante el cual se llegó a la conclusión de que el modelo más idóneo para las características y necesidades propias de la granja, será el de un *Biodigestor con Tanque de Almacenamiento Tradicional y Cúpula de Polietileno de Desplazamiento Horizontal y*

*Flujo Semicontinuo*¹⁰, además permitirá realizar la automatización a todos los procesos que conlleva la obtención y producción del bioabono y biogás.

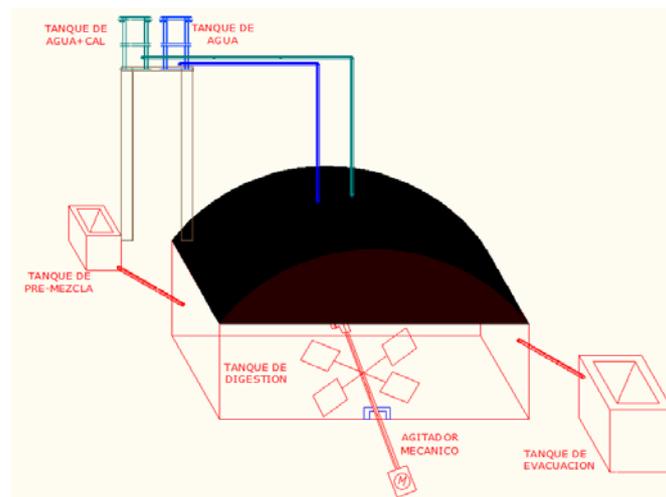


Figura e.1 Biodigestor con Tanque de Almacenamiento Tradicional y Cúpula de Polietileno de Desplazamiento Horizontal y Flujo Semicontinuo.

Este tipo de biodigestor se recomienda cuando se requiere trabajar, por cuestiones de diseño, con volúmenes mayores a los cinco (5 m^3) metros cúbicos aproximadamente; debido a que la excavación de un pozo en forma vertical comienza a resultar problemática, porque puede aparecer demasiada humedad a causa del nivel de las capas freáticas. El biodigestor tiene una geometría “alargada” donde la mezcla de materia orgánica y agua circula en “flujo pistón”, como si fuese la circulación que se produce en el intestino del ser humano o de otro mamífero.

Este tipo de flujo permite que cada porción del residuo que ingresa por un extremo cumpla el tiempo de residencia necesario dentro del biodigestor antes de salir por el otro extremo.

La cubierta superior será fija, utilizando geomembrana “flexible”, lo suficientemente durable y que no presente fugas.

Mediante estas condiciones se establece el diseño de todas las partes constitutivas del biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno el mismo que constará de un mecanismo de agitación, mediante el cual se evitará la formación de

¹⁰ Chara, J.; Pedraza, G. 2002. Biodigestores plásticos de flujo Semicontinuo: Investigación y transferencia en países tropicales. Fundación CIPAV. Cali. CO. 278 p.

sedimentos, lo que permitirá obtener un mayor rendimiento en el proceso de digestión y obtención de biogás con un afluente de sustrato de alta calidad.

4.1. PARÁMETROS DE DISEÑO:

e.3.1. Biogás Generado.

El biogás es el gas producido durante el proceso de fermentación anaerobia (sin presencia de oxígeno) de la fracción orgánica de los residuos. Está compuesto principalmente por Metano (CH₄) y Dióxido de Carbono (CO₂), además de otros gases en cantidades menores. Con tecnologías apropiadas, el biogás se puede transformar en otros tipos de energía, como calor, electricidad o energía mecánica¹¹.

El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano alrededor de 25 – 30 MJ/m³, comparado con 33 – 38 MJ/m³ para el gas natural (Werner et al 1989).

El biogás ha sido utilizado en combustión directa en estufas simples en la cocción de alimentos, atenuando de esta manera la presión sobre los materiales dendro-energéticos (madera, leña, carbón vegetal)¹² representando un ahorro para el agricultor al no tener que comprar gas natural comercial. Asimismo puede ser utilizado para iluminación (lámparas de gas o a gasolina), para calefacción y refrigeradoras.

Un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para:

- ✓ Generar 2.2 kw/h de electricidad.
- ✓ Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt.
- ✓ Poner a funcionar un refrigerador de 1 m³ de capacidad durante 1 hora.
- ✓ Hacer funcionar una incubadora de 1 m³ de capacidad durante 30 minutos.
- ✓ Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas

¹¹ SIMPOSIO CENTROAMERICANO SOBRE APLICACIONES DE ENERGÍA BIOMÁSICA, Diseño y Construcción de biodigestores, Editorial Tecnológica, Costa Rica, 1985.

¹² Se ha calculado que un 1 m³ de biogás utilizado para cocinar evita la deforestación de 0.335 ha de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles (Sasse 1989).

- ✓ Equivale a 1.1 litros Alcohol, 0.8 litros Gasolina, 0.65 litros Gas-oil, 0.76 m³ Gas natural, 1.5kg Carbón de piedra.

La utilización de los biodigestores además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos:

- ✓ Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno (Hohlfeld y Sasse 1986).
- ✓ El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.
- ✓ Control de patógenos.
- ✓ Control de malos olores
- ✓ El efluente puede ser utilizado como alimento para peces, en lagos o estanques artificiales, además de la lombricultura.

En nuestro caso en particular el biogás obtenido se lo utilizará en hornillas para la cocción de alimentos, para calentar el interior de una incubadora para pollos, servirá para la calefacción de agua la utilización de hornillas especiales que serán diseñadas, así mismo el poder calorífico del biogás se utilizará en la calefacción de una Incubadora de huevos que al igual que las Hornillas serán diseñadas y dimensionadas. Y el biofertilizante será utilizado para mejorar la producción de los terrenos de las fincas y para su venta a la colectividad.

e.3.2. REQUERIMIENTO DE DEMANDA DE BIOGÁS POR DÍA:

Se realiza mediante la demanda que existe en la granja en lo referente a la producción de biogás que debería producir el biodigestor por día, para alimentar una incubadora de huevos cuya fuente principal sea el biogás, por lo que nos hemos visto en la necesidad de realizar el diseño y cálculos que nos permitan determinar las medidas finales de la incubadora que va ser de carácter automático y de una cocina a biogás que permita realizar la calefacción de 300litros de agua por día a 60°C Además del diseño de la incubadora automatizada se va a diseñar una cocina cuya fuente principal sea la de biogás, el diseño de la misma se debe principalmente que en la granja Zapotepamba existe la necesidad de la calefacción de 300litros de agua por día a 60°C; con lo que se

pretende determinar la cantidad de biogás necesario que nos permita realizar esta operación.

De esta forma determinaremos la cantidad necesaria de metros cúbicos de biogás que se necesitaría al día para la alimentación de éstas dos aplicaciones y constatar si la cantidad producida por el biodigestor al día puede suplir dicha necesidad, brindándonos así la pauta de que si la cantidad de animales es la idónea, es decir si otorgan el volumen necesario de biogás luego de que hayan sido tratadas en la cámara de digestión o de que tendría que aumentar la cantidad de los mismos para lograr completar dicha demanda.

Con lo que se tendrá que determinar la demanda total por día de metros cúbicos de biogás, para lo cual se suman las demandas de consumo de la incubadora y de la cocina al día.

Para observar medidas finales de la incubadora y cocina (*ver i10*).

e.3.2.1. Parámetros para el diseño de la incubadora de huevos.

Para nuestro diseño tomaremos en cuenta parámetros de referencias bibliográficas que nos ayudarán a realizar el diseño más ajustable a las necesidades de la granja.

La incubadora deberá estar funcionando media hora antes de la colocación de los huevos, con el fin de obtener una perfecta estabilidad en su temperatura interior.

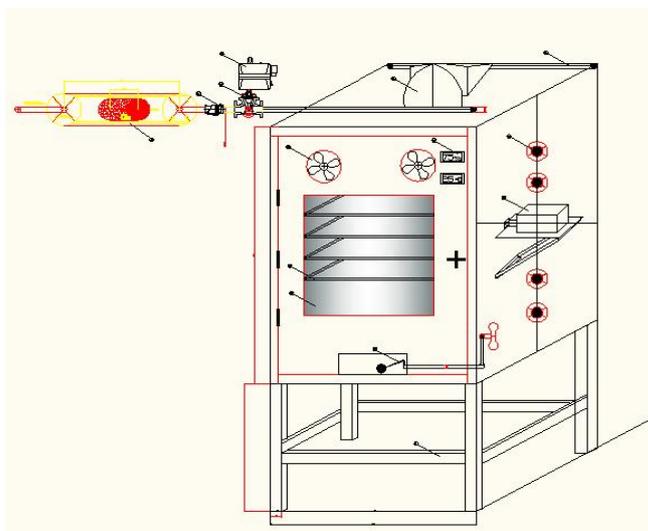


Figura e.2 Forma y componentes de la incubadora de huevos automatizada.

Para los parámetros a controlar como son temperatura, ventilación, humedad y cambios de posición de los huevos utilizaremos un LOGO 230RC micro-Plc de la SIEMENS.

La temperatura ideal que se va a mantener en el interior de la incubadora es de 37,7° C que es indispensable para el desarrollo embrionario¹³, para la calefacción utilizaremos el principio de calefacción de un horno, ubicada en la parte superior de la incubadora que funcionará con el biogás producido por la planta generadora, para su control se censará la temperatura a través del sensor que enviara una señal al controlador para que se abra o cierre una electroválvula para el paso del biogás, para la incineración se utilizará un electrodo que estará en relación de funcionamiento con la electroválvula. A partir de los 3 últimos días se regulará la incubadora para que las condiciones en la nacedora sean las más adecuadas, para esto la Temperatura será reducida hasta 35,5° C, pues en los últimos días, el huevo desprende más calor. La ventilación es forzada, mediante ventiladores que hacen circular y renovar el aire, esto es de vital importancia para eliminar el agua que produce el huevo por transpiración y a su vez permitirá renovar el oxígeno; esto es imprescindible para la respiración del embrión¹⁴, se utilizara los ventiladores de las PC's que funcionan a 12 voltios para lo que se tiene que utilizar una fuente de 12V.

Para el volteo de los huevos se utilizará un motor eléctrico este girará los depósitos de los huevos a 45 grados centígrados, con un rango de tiempo de 12 veces al día es decir una vez por cada dos horas con un periodo de tiempo de veinte segundos, este proceso es importante ya que influye en el porcentaje de eclosiones (nacimientos), siendo necesario para que el embrión no se adhiera a la pared de la cáscara.

A partir del día 18 los huevos se dejan de voltear y se pasan a la nacedora (cámara que se encuentra en la incubadora debajo de la bandeja de colocación de los huevos). En la nacedora han de permanecer hasta que todos los pollitos estén bien secos (día 22), desechándose todos aquellos que no hayan nacido.

Para el caso de la Ventilación, el desarrollo embrionario normal genera una concentración de CO₂ promedio entre 0,4% a 0.6% por lo tanto debe ser extraída del

¹³ Almira V. Almiral, Roberto Sardá. Incubación artificial. Edit. Pueblo y Educación. 1989. 125 pág.

¹⁴ Burtov Y.Z. Prontuario de Incubación de huevos. Kolos, 1983, 174 pág.

ambiente de incubación. Pero se debe considerar que en la primera semana al contrario de las dos subsiguientes el CO₂ ayudará en la formación del fluido subembrionario que es necesario para la disolución de los nutrientes provenientes de la yema¹⁵.

Para la Humedad Relativa se utilizará un sensor de humedad que censará y enviara una señal al LOGO para que controle los ventiladores que se activaran para mantener un rango estable de humedad, estos rangos deben situarse entre un 60% a un 70% durante los primeros 18 días, pues en los tres últimos el requerimiento será mayor para evitar que los pollitos mueran por no poder salir del cascarón debido a la resequedad, por lo tanto esta deberá ser de un 80%¹⁶.

Para la calefacción se utilizará el biogás el flujo del mismo será controlado por una electroválvula cuando el sensor de temperatura envía la señal, para la ignición se utilizará un electrodo que dará el chispazo.

Para tener una idea de la Humedad Relativa en la incubadora utilizaremos el Diagrama de Mollier (*ver i I*) que nos permitirá determinar su valor, cuyo aire se encuentra a una temperatura diferente a la del ambiente. Para esto seguimos los siguientes pasos:

Primer paso: Identificamos los grados de temperatura ambiente en el eje de ordenadas, y nos desplazamos hacia la derecha con la línea roja hasta intersectar la curva de humedad del local.

Segundo paso: Nos desplazamos hacia arriba siguiendo la línea roja vertical, hasta encontrar los gramos de vapor de agua que contiene el aire del local (gramos por Kg de aire seco).

Tercer paso: Repetimos el procedimiento anterior para la temperatura que se va a regular en la incubadora manteniendo constante los gramos de vapor de agua, y obtenemos la línea azul, que interseca la línea roja vertical.

¹⁵ BOERIAN, Marleen y Reform, "Control de CO₂ en incubación y beneficios e inconvenientes", Avicultura Profesional, Vol. 20, No 5, 2002 Holanda, p.28

¹⁶ ZEBALLOS, María Gabriela, Parámetros Técnicos correspondientes a la Incubación, www.agroconnection.com/secciones/avicultura

e.3.2.2 Cálculo Térmico.

Teniendo en cuenta la primera ley de la termodinámica se realiza el balance térmico verificativo de la incubadora.

El calor generado por el quemador, debe ser igual o mayor que el calor que se pierde por diferentes causas en el funcionamiento de la incubadora.

e.3.2.3. Calor necesario para calentar los Huevos.

Para calcular el calor necesario para mantener calientes los huevos, se parte de la suposición de que la cantidad de calor que llega a un cuerpo en un período de tiempo dado, es igual a la cantidad de calor acumulada por el cuerpo.

$$Q_h = G_h * C_h(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación e.1}$$

Dónde:

G_h : Peso de los huevos que se van a calentar;

C_h : Capacidad calórica de los huevos; en nuestro caso:

$$C_h = 1.003 \frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ K}$$

T_1 : Temperatura inicial (a la que se introducen los huevos en la incubadora); $T_1 = 18^\circ C$

T_2 : Temperatura final (a la que queremos que estén los huevos); $T_2 = 37.7^\circ C$

$$T_2 - T_1 = 19.7^\circ C = 292.85^\circ K$$

El peso específico (γ) de los huevos es de $0.001078 \frac{Kg}{cm^3}$

Para saber el peso G_h total de los huevos que van a estar dentro de la incubadora, partimos suponiendo que dentro de cada alojamiento para los huevos entrarán 10, y como son 21 alojamientos entonces tenemos un total de 210 huevos, ahora el peso promedio de cada huevo de gallina está entre los 50 y 100 gramos para que por efectos de cálculo y buen dimensionamiento vamos a tomar el valor de 100 gramos, entonces:

$$G_h = 210 * 100g$$

$$G_h = 21000g = 21Kg$$

Los huevos van a permanecer en los alojamientos de la incubadora por 18 días (432 horas) en este tiempo permanecerán a una temperatura de 37.7°C, luego van a ser pasados a las nacedoras hasta el día 21 que serian 3 días (72 horas) con una temperatura de 35.5°C.

$$Q_{hT} = \frac{Q_h}{t} \quad \text{Ecuación e.2}$$

e.3.2.4. Calor perdido en el alojamiento de los huevos.

Los huevos se introducen en la incubadora en unos alojamientos dispuestos en forma de V con una separación en sus puntas de 1cm, son en total 21 alojamientos y cada uno utiliza 2 láminas que serian en total 41 láminas de acero inoxidable con un espesor de 1/16 pulgadas (0.0015875m), las mismas que absorben parte del calor que se genera para mantener calientes los huevos.

$$Q_a = G_a * C_a(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación e.3}$$

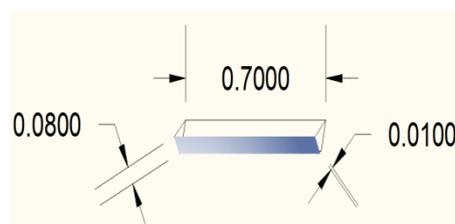
El material de la bandeja se selecciona de acero, para el cual se conoce:

$$\gamma \quad : \quad 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$C_a \quad : \quad 0.12 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ C = 9.7^\circ C = 282.85^\circ K$$

Para el cálculo del volumen de los alojamientos de los huevos se toma en cuenta las dimensiones que se observan en la figura.



El volumen de los alojamientos se calcula tomando en cuenta una sola lámina de la siguiente forma:

$$V_a = b * h * e \quad \text{Ecuación e.4}$$

Pero como ya se explico anteriormente existen 41 láminas para lo que nos quedaría el volumen total:

$$V_a * 41 \quad \text{Ecuación e.5}$$

El peso de la bandeja será:

$$G_a = V_a * \gamma \quad \text{Ecuación e.6}$$

Si dividimos para el tiempo de permanencia de los huevos en la incubadora, que es de 504 h nos queda:

$$Q_{aT} = \frac{Q_a}{t} \gamma \quad \text{Ecuación e.7}$$

e.3.2.5. Calor perdido en las bandejas nacedoras.

Los huevos después de 18 días se pasan desde los alojamientos a las bandejas nacedoras que en este caso son dos, aquí permanecen por un tiempo de 3 días con una temperatura de 35.5°C.

$$Q_b = G_b * C_b(T_2 - T_1) \gamma \quad \text{Ecuación e.8}$$

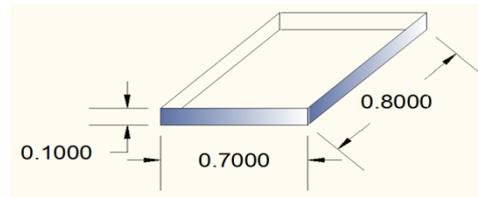
El material para su construcción es el mismo con el que se construirá los alojamientos para el cual se conoce:

$$\gamma \quad : \quad 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$C_b \quad : \quad 0.12 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ C = 9.7^\circ C = 282.85^\circ K$$

Para el cálculo del volumen de las bandejas se toma en cuenta las dimensiones que se observan en la figura:



El volumen de las bandejas se calcula de la siguiente forma:

$$V_b = a * l * h \gamma \quad \text{Ecuación e.9}$$

Pero como son 2 bandejas entonces se tiene:

$$V_b * 2$$

El peso de la bandeja será:

$$G_b = V_b * \gamma \quad \text{Ecuación e.10}$$

Si dividimos para el tiempo de permanencia de los huevos en la incubadora, que es de 504 h nos queda:

$$Q_{bT} = \frac{Q_b}{t} \quad \text{Ecuación e.11}$$

e.3.2.6. Calor perdido en el depósito de agua

El depósito de agua sirve para controlar el nivel de humedad dentro de la incubadora el material con que será construida es el mismo de las bandejas nacedoras, para lo que se tiene:

$$Q_c = G_c * C_c (T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación e.12}$$

$$\gamma \quad : \quad 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$C_c \quad : \quad 0.12 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ C = 9.7^\circ C = 282.85^\circ K$$

Para el cálculo del volumen del depósito de agua se toma en cuenta las mismas dimensiones de la nacedora para lo que tenemos, $V_c = 0.056m^3 = 56000cm^3$

El peso del depósito será:

$$G_c = V_c * \gamma \quad \text{Ecuación e.13}$$

Si dividimos para el tiempo de permanencia de los huevos en la incubadora, que es de 504 h nos queda:

$$Q_{cT} = \frac{Q_c}{t} \quad \text{Ecuación e.14}$$

Ahora el agua que va a estar alojada en el depósito también interviene en la pérdida de calor de la incubadora para lo que tenemos:

$$Q_{ag} = G_{ag} * C_{ag} (T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación e.15}$$

$$\gamma \quad : \quad 0.000993 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$C_{ag} \quad : \quad 0.00363 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ C = 9.7^\circ C = 282.85^\circ K$$

El total de agua que se ingresará en el depósito será de $V_d = 0.028m^3 = 28000cm^3 = 28lit$

El peso del agua será:

$$G_{ag} = V_{ag} * \gamma \quad \text{Ecuación e.16}$$

Si dividimos para el tiempo operación de la incubadora, que es de 504 h nos queda:

$$Q_{agT} = \frac{Q_{ag}}{t} \quad \text{Ecuación e.17}$$

e.3.2.7. Calor perdido al calentar el aire que puede entrar en la cámara de la Incubadora

El aire que pueda eventualmente penetrar en la cámara de la incubadora, consume parte del calor generado para proporcionar el calor a los huevos; este se calcula por la siguiente expresión:

$$Q_{ai} = 60 \times 10^3 * b * h * \sqrt{h} * \Delta f \quad \text{Ecuación e.18}$$

Dónde:

$b =$ Ancho de la puerta. De acuerdo al cálculo geométrico, $b = 1.70m$

$h =$ Altura de la puerta. En nuestro caso, $h = 1.30m$

$\Delta f =$ Tiempo de entrada de aire. Se considera $\Delta f = 0.05h$

e.3.2.8. Calor perdido por irradiación a través de la abertura cuando la incubadora se carga y descarga:

Durante el tiempo que la puerta de la incubadora permanece abierta que es en el momento en que se pasan los huevos de los alojamientos hacia las nacedoras, se produce pérdida de calor por irradiación; esta se calcula de la siguiente forma:

$$Q_i = 4.9 \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right] A * \theta * \Delta f \quad \text{Ecuación e.19}$$

Dónde:

$T_i =$ Temperatura interior del horno. En nuestro caso, $T_i = 37.7^\circ\text{C} = 310.52^\circ\text{K}$

$A =$ Área de la puerta abierta. Conocido que las dimensiones de la puerta de carga de la incubadora es de (0.90x1.30) m, entonces el área será:

$$A = 0.90m * 1.30m = 1.17m^2$$

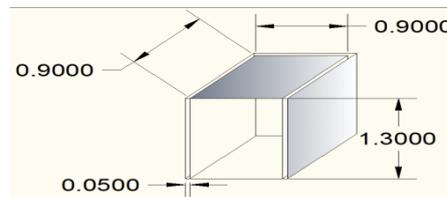
$\theta =$ Coeficiente de diafragma. Para ventanas comunes como es el caso: $\theta = 0,9$

$\Delta f =$ Tiempo de entrada de aire. En nuestro caso: $\Delta f = 0.5h$

e.3.2.9. Calor cedido a la plancha metálica de la cámara de la incubadora

La cámara de incubación consta de 6 paredes, 4 de estas tienen por medidas (0.90 x 1.30) metros con un espesor de 1/16 pulgadas (0.0015875m), las otras dos tienen las

siguientes medidas (0.90 x 0.95) metros tiene el mismo espesor de las anteriores, serán de acero inoxidable, para lo que tenemos:



$$\gamma \quad : \quad 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$C_e \quad : \quad 0.12 \frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ K}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ C = 9.7^\circ C = 282.85^\circ K$$

El calor cedido a la plancha metálica de la cámara de la incubadora, se calcula por la expresión siguiente:

$$Q_e = G_e * C_e (T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación e.20}$$

La plancha metálica se somete a una diferencia de temperatura dada por la temperatura de funcionamiento del horno con respecto a la temperatura ambiente:

$$T_1 - T_2 = 9.7 \text{ } ^\circ C = 282.85 \text{ } ^\circ K$$

El volumen total de las planchas de la cámara viene definido por el volumen de las paredes laterales y de las paredes superior e inferior:

Paredes Laterales:

$$V_1 = l * h * e \quad \text{Ecuación e.21}$$

Paredes superior e inferior:

$$V_2 = l * h * e e \quad \text{Ecuación e.22}$$

El volumen total de las planchas de la cámara será:

$$V_T = V_1 + V_2 e \quad \text{Ecuación e.23}$$

El peso de la plancha metálica que separa ambas cámaras será:

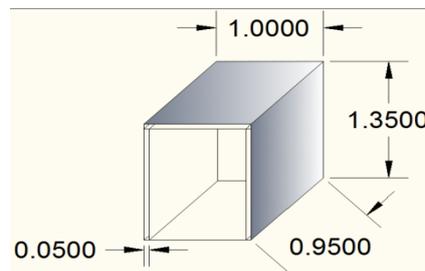
$$G_e = V_T * \gamma e \quad \text{Ecuación e.24}$$

Si dividimos por el tiempo de de trabajo ($t = 504$ h)

$$Q_{eT} = \frac{Q_{eT}}{t} e \quad \text{Ecuación e.25}$$

e.3.2.10. Calor cedido a la plancha metálica de la cámara de combustión

Realizamos los pasos realizados en la cámara de incubación, consta de 4 paredes, las 2 laterales y la posterior tienen por medidas (2.90 x 1.35) metros con un espesor de 1/16 pulgadas (0.0015875m), la superior con medidas de (1.00 x 0.95) con el mismo espesor, serán de acero inoxidable, para lo que tenemos:



$$\gamma \quad : \quad 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$C_d \quad : \quad 0.12 \frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ K}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ C = 9.7^\circ C = 282.85^\circ K$$

El calor cedido a la plancha metálica de la cámara del horno, se calcula por la expresión siguiente:

$$Q_d = G_d * C_d (T_2 - T_1) e \quad \text{Ecuación e.26}$$

La plancha metálica se somete a una diferencia de temperatura dada por la temperatura de funcionamiento del horno con respecto a la temperatura ambiente:

$$T_1 - T_2 = 9.7 \text{ } ^\circ C = 282.85 \text{ } ^\circ K$$

El volumen total de las planchas de la cámara viene definido por el volumen de las paredes laterales y de las paredes superior e inferior:

Paredes Laterales y posteriores:

$$V_1 = l * h * e \quad \text{Ecuación e.27}$$

Pared Superior:

$$V_2 = l * h * e \quad \text{Ecuación e.28}$$

Pared Inferior:

Para este valor le vamos a restar el volumen total de la plancha inferior que tiene por medidas (1.00 x 0.95), de la plancha inferior de la cámara de incubación con medidas (0.90 x 0.90), las dos poseen el mismo espesor que en los casos anteriores, para lo que tenemos:

$$V_{3-1} = l * h * e \quad \text{Ecuación e.29}$$

$$V_{3-2} = l * h * e \quad \text{Ecuación e.30}$$

Restando las dos tenemos:

$$V_3 = V_{3-1} - V_{3-2} \quad \text{Ecuación e.31}$$

El volumen total de las planchas de la cámara será:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \quad \text{Ecuación e.32}$$

El peso de la plancha metálica que separa ambas cámaras será:

$$G_d = V_T * \gamma \quad \text{Ecuación e.33}$$

Si dividimos por el tiempo de de trabajo (t = 504 h)

$$Q_{dT} = \frac{Q_{dT}}{t} \quad \text{Ecuación e.34}$$

e.3.2.11. Calor cedido a las esquinas de la cámara de combustión y de la cámara de la incubadora

Tanto en la cámara de combustión como en la de incubadora tenemos 8 esquinas para lo que necesitamos un factor de forma:

$$F_e = 0.15e$$

$$e = \text{Espesor}(0.0015875\text{m})$$

Calor cedido en las esquinas de las paredes de la cámara de combustión:

$$Q_{es1} = K * F_e * \Delta T \quad \text{Ecuación e.35}$$

Calor cedido en las esquinas de las paredes de la cámara de la incubadora:

$$Q_{es2} = K * F_e * \Delta T \quad \text{Ecuación e.36}$$

Ahora encontramos el calor total cedido en las esquinas de la incubadora

$$Q_{es} = Q_{es1} + Q_{es2} \quad \text{Ecuación e.37}$$

e.3.2.12. Balance térmico.

El calor total que se pierde durante el funcionamiento de la incubadora será:

$$Q_T = Q_h + Q_a + Q_b + Q_c + Q_{ag} + Q_{ai} + Q_i + Q_e + Q_d + Q_{es} \quad \text{Ecuación e.38}$$

Ahora queremos saber la cantidad de biogás que se va a necesitar en los 21 días del proceso de incubación para lo que partimos del poder calorífico del biogás que es de $25 \text{ MJ}/\text{m}^3$ transformados:

$$25 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} = 25 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \quad \text{Ecuación e.39}$$

Encontrando la relación con el poder calorífico del biogás tenemos el consumo de biogás:

$$C_{biogas} = \frac{Q_T}{25 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}} \quad \text{Ecuación e.40}$$

e.3.3. Cocina para Biogás.

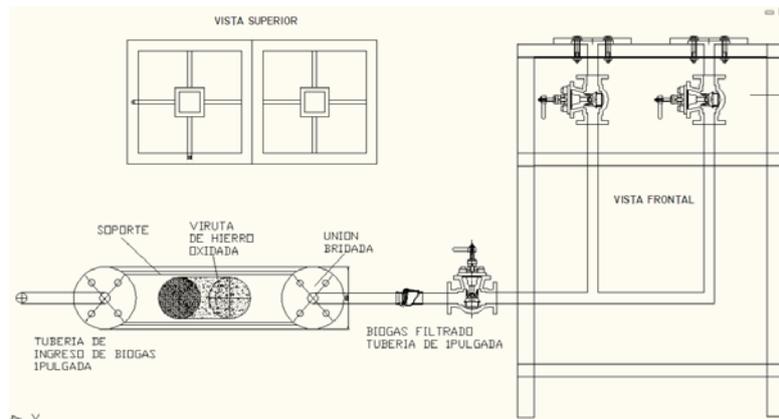


Figura e.3 Forma y componentes de la cocina para biogás.

Además del diseño de la incubadora automatizada se va a realizar el diseño de una cocina cuya fuente principal sea la de biogás, para ver medidas finales (*ver i10*).

El diseño de la misma se debe principalmente que en la granja Zapotepamba existe la necesidad de la calefacción de 300litros de agua por día a 60°C; con lo que se pretende determinar la cantidad de biogás necesario que nos permita realizar esta operación, es decir suplantar esta cantidad de gas licuado de petróleo por la de biogás que se generaría en el biodigestor.

La cantidad de 300litros de agua son utilizados en diferentes procedimientos como son: el lavado de ubres del ganado vacuno y caprino, aseo de las chancheras y utilización en la planta de procesamiento de alimentos con la que cuenta la granja, con lo que se desea aumentar la temperatura ambiente de 15°C a los 60°C que es la temperatura que se requiere, con lo que se pretende determinar la cantidad de biogás necesario que nos permita realizar esta operación para lo cual partimos de la definición de *kilocaloría* que nos dice que es una unidad de energía térmica que equivale a mil calorías, es decir, la cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de un litro de agua.

Partimos de la demanda de litros necesarios a ser calentados, de la definición de kilocaloría y de la diferencia de temperatura:

$$lit * \frac{1kcal}{1^{\circ}C * 1lit} * (\Delta P) = Kcal$$

Ecuación e.41

Ahora procedemos a encontrar la cantidad de biogás al día que se debe utilizar partiendo de la cantidad de kilocalorías necesarias mediante la relación del poder calorífico de un m³ del mismo que es de $25 \times 10^6 J$ tenemos el consumo de biogás que se necesitaría al día:

$$CBIO_{cocina} = Kcal * \frac{1m^3}{25 \times 10^6 J} \quad \text{Ecuación e.42}$$

e.3.4. CANTIDAD DE DEMANDA DE BIOGÁS POR DÍA:

Se lo realiza mediante el requerimiento diario que se necesita para la alimentación de la incubadora automatiza y de la demanda de biogás que debe implementarse a la cocina en lo concerniente al calentamiento de agua.

Aquí sumamos las demandas de consumo de la incubadora y de la cocina al día explicadas anteriormente:

$$CBIO_T = CBIO_{incu} + CBIO_{cocina} \quad \text{Ecuación e.43}$$

Mediante la cantidad necesaria de biogás que se requiere por día se determinará si la producción de biogás del biodigestor puede suplir dicha cantidad, brindándonos así la pauta de que si la cantidad de animales es la idónea o de que tendría q aumentar la cantidad de los mismos.

e.3.5. Diseño y Capacidad del Biodigestor.

Los datos para calcular el volumen de biogás que podemos obtener de un biodigestor son:

- ✓ Fuente de la materia orgánica.
- ✓ Materia orgánica total obtenible.
- ✓ Contenido total de sólidos.
- ✓ Contenido de sólidos volátiles.
- ✓ Potencial de producción de metano.
- ✓ Tiempo de retención.

- ✓ Temperatura de la reacción.

e.3.5.1. Fuente de la Materia Orgánica.

Es el animal o cultivo del que proviene el residuo. Tradicionalmente se utiliza el estiércol de vaca por ser el más común. El estiércol de otros animales como chanchos, ovejas, caballos, gallinas, etc., pueden ser utilizados solos o mezclados.

Tabla e.1. Características de la Materia Orgánica Utilizada en Biodigestión Anaeróbica.

No.	FUENTE	W	T	TS	VS	N	P	K	TS/T	VS/TS
1	Vaca	500	86	12	10	0,45	0,094	0,29	14%	83%
2	Toro	500	58	8,5	7,2	0,34	0,092	0,21	15%	85%
3	Becerro	40	62	5,2	2,3	0,27	0,066	0,28	8%	44%
4	Chanco	70	84	11	8,5	0,52	0,18	0,29	13%	77%
5	Oveja	60	40	11	9,2	0,42	0,087	0,32	28%	84%
6	Chivo	50	41	13		0,45	0,11	0,31	32%	0%
7	Caballo	400	51	15	10	0,3	0,071	0,25	29%	67%
8	Gallina	2,2	85	22	17	0,84	0,3	0,3	26%	77%
9	Roedor	2	64	16	12	1,1	0,3	0,4	25%	75%
10	Pavo	8	47	12	9,1	0,62	0,23	0,24	26%	76%
11	Pato	3	110	31	19	1,5	0,54	0,71	28%	61%

Fuente: ASAE estándar D384.1 DEC93, American Society of Agricultural Engineers

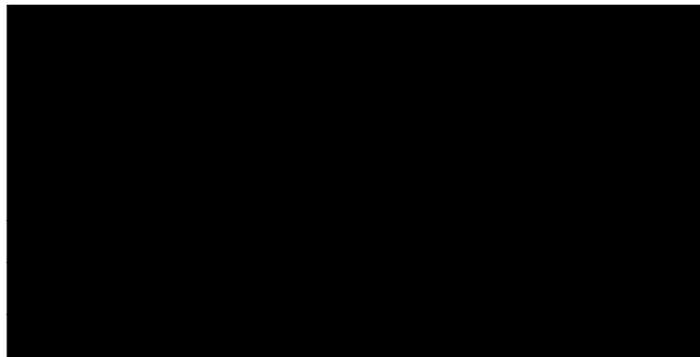
Donde:

- W : Peso promedio del animal en kg.
- T : Cantidad total de residuo (estiércol) promedio en kg por cada 1000 kg de peso del animal.
- TS : Contenido promedio total de sólidos en kg por cada 1000 kg de peso del animal.

- VS : Contenido promedio de sólidos volátiles en kg por cada 1000 kg de peso del animal.
- N : Contenido promedio de nitrógeno en gramos por kilo de sustancia.
- P : Contenido promedio de fósforo gramos por kilo de sustancia.
- K : Contenido promedio de potasio en gramos por kilo de sustancia.
- TS/T : Porcentaje de TS sobre T.
- VS/TS : Porcentaje de VS/TS.

La cantidad de animales existentes en la Granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja se encuentra expresada en la siguiente tabla:

Tabla e.2. Cantidad y variedad de animales existentes en la granja.



e.3.5.2. Peso Promedio de Animal en Kilogramos (W).

Para encontrar este valor nos fijamos en el peso de cada animal (W) que se encuentran especificados en la *Tabla e.1*, luego multiplicamos ese peso por la cantidad de animales en este caso los que se encuentran en la granja de Zapotepamba especificados en la *Tabla e.2* y así obtenemos con la siguiente ecuación el peso total de cada animal:

$$W_{t_animal} = W_{animal} * cantidad_animales \quad \text{Ecuación e.44}$$

e.3.5.3. Cantidad Total de Estiércol por Día (Tt).

Es la cantidad de residuo orgánico que produce la fuente en kg por día, los valores promedio de producción de residuo por animal (T) se muestran en la *Tabla e.1*. Se la obtiene mediante el promedio en [kg] por cada 1000 kg de peso del animal. En nuestro

caso tenemos que encontrar inicialmente la cantidad total de estiércol por día de cada animal expresado por la siguiente ecuación:

$$T_{animal} = W_{t_animal} * \frac{T[Kg]}{1000Kg} \quad \text{Ecuación e.45}$$

Luego sumamos la de todos los animales y obtenemos la cantidad total de estiércol por día:

$$Tt = T_{animal_1} + T_{animal_2} + \dots + T_{animal_n} \quad \text{Ecuación e.46}$$

e.3.5.4. Contenido Total de Sólidos (TSt).

Toda materia orgánica compuesta de agua y una fracción sólida, esta última es llamada sólidos totales. El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con la que se carga el biodigestor, es también un factor muy importante a considerar para asegurar que el proceso se lleve a cabo en forma satisfactoria.

Experimentalmente se ha demostrado que una carga que contenga entre el 7% y 9% de sólidos totales es óptima para llevar a cabo la generación de biogás. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de biogás.

Para calcular el volumen de agua que debe ser mezclada con la materia prima para dar la proporción deseada, es indispensable conocer el porcentaje de sólidos de esta. En el caso del estiércol del bovino fresco, que tiene de 17% a 20% de sólidos totales, se deberán agregar de 1 a 1,5 litros de agua por cada kilogramo de estiércol para así obtener una mezcla de alrededor del 8% de sólidos totales y con una densidad de la mezcla de 1145kg/m³.

A continuación se muestra una tabla con valores promedio sobre el contenido de sólidos totales en diversos desechos orgánicos. En esta tabla se tiene la cantidad de litros de agua por kilogramo de desecho a agregar para obtener 8% de sólidos totales, con lo que se logra obtener la mayor cantidad de biogás y un sustrato de alta calidad.

Tabla e.3. Datos promedio sobre el contenido de sólidos totales de diversos desechos (Fuente: Biogás, Energía y Fertilizantes de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Cuernavaca, Morelos, México 1981).

Tipo de materia orgánica	Sólidos Totales (%)	Litros de agua por Kilogramo de desecho para la obtención de 8% de sólidos totales (lt/kg)
Heces humanas	17	1.1
Estiércol de vaca	20	1.5
Caballos, bueyes y mulas	25	2.1
Cerdos	18	1.3
Ovejas, cabras	32	3
Gallinas, pavos	44	4.5
Conejos, cuyes	30	2.5

De acuerdo a la tabla e.3. se determina la cantidad de agua que se debe suministrar a las excretas animales para cada tipo y variedad de animales existentes en la granja mediante la cual se obtendrá una mezcla homogénea que contenga alrededor del 8% de sólidos que asegure la máxima producción de biogás determinándose de esta forma el total de mezcla diaria que ingresará mediante el tanque de pre-mezcla que además nos permitirá obtener el volumen necesario de dicho tanque que deberá abarcar la cantidad de mezcla diaria la cual luego de ser pre-mezclada será depositada hacia el tanque biodigestor.

El contenido total de sólidos corresponde a la parte de la materia orgánica seca, sin la humedad. Para determinar el **TS** de un sustrato se lo debe secar durante 5 horas a 105 °C y luego pesar el residuo sólido que queda. Este valor se lo obtiene multiplicando el peso total de cada animal [W_{t_animal}] por el contenido promedio total de sólidos (**TS**) en kg por cada 1000 kg de peso del animal el cual se encuentra expresado en la *Tabla e.1*, para lo cual aplicamos la siguiente ecuación:

$$TS_{animal} = W_{t_animal} \cdot \frac{Ts[Kg]}{1000kg} \quad \text{Ecuación e.47}$$

Luego sumamos todos los valores de cada animal y obtenemos el contenido total de sólidos:

$$TSt = TS_{animal_1} + TS_{animal_2} + \dots + TS_{animal_n} \quad \text{Ecuación e.48}$$

e.3.5.5. Contenido de Sólidos Volátiles (VS).

Es la parte del total de sólidos que se puede transformar en biogás. Se lo puede obtener quemando los sólidos orgánicos (TS) hasta que quede solamente la ceniza. La relación de la cantidad de ceniza respecto de la cantidad total son los (VS). Valores promedio de (VS) de algunos substratos se muestran en la *Tabla e.1.*

El valor lo obtenemos multiplicando el peso total de cada animal [W_{t_animal}] por el contenido promedio de sólidos volátiles (VS) en kg por cada 1000 kg de peso del animal; que se encuentra expresado en la *Tabla e.1.*, para este cálculo aplicamos la siguiente ecuación:

$$VS_{animal} = W_{t_animal} \cdot \frac{vs[kg]}{1000Kg} \quad \text{Ecuación e.49}$$

Luego sumamos los valores de cada animal obtenido mediante la ecuación:

$$VSt = VS_{animal_1} + VS_{animal_2} + \dots + VS_{animal_n} \quad \text{Ecuación e.50}$$

El valor VSt en Kg por cada 1000Kg de peso obtenido lo multiplicamos por la cantidad total de estiércol por día Tt y obtenemos el contenido total de sólidos volátiles total VS_g , a través de la siguiente ecuación:

$$VS_g = Tt \cdot \frac{VSt}{1000Kg} \quad \text{Ecuación e.51}$$

e.3.5.6. Tiempo de Retención (RT).

El tiempo de retención que va ser implementado para el dimensionamiento del biodigestor es de 30 días; que de acuerdo a referencias bibliográficas es la de mayor

rendimiento de producción de biogás y la de mayor calidad en la obtención de bioabono que se produce en este tiempo de digestión¹⁷. Además se parte de la temperatura de acuerdo a la región y tipo de clima que posee el país determinándose de esta forma el tiempo de retención de acuerdo al clima existente lo que se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla e.4. Tiempo de retención promedio de acuerdo a las características de la región.

Tiempo de Retención.	Características.
30 – 40 días	Clima tropical. Ej. América Latina, Indonesia, América Central.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos Ej: India, Filipinas, Etiopia.
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej: China, Corea, Turquía.

e.3.5.7. Temperatura (TC).

Para cálculos se tomó la temperatura de 35°C que es una temperatura promedio en el interior de digestor debido a que de acuerdo al tiempo de retención el régimen de temperatura es mesofílico de (35°C a 45°C)¹⁸.

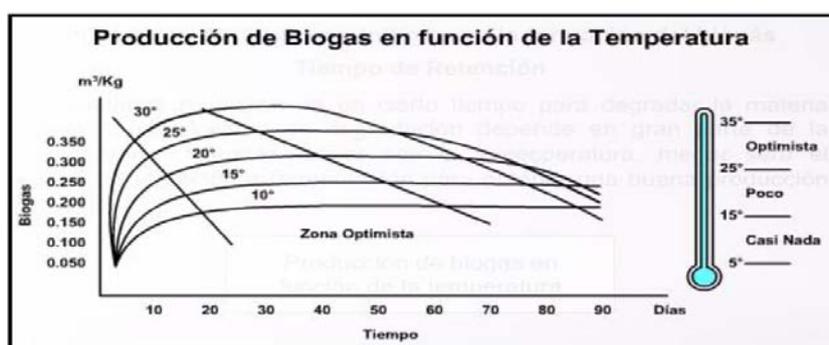


Figura e.4. Producción de biogás en función de la temperatura versus Tiempo de Retención.

¹⁷ Martina P., Corace J., Aeberhard A., Aeberhard R. (2003) Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia. Primeros ensayos. Avances en Energías Renovable. y Medio Ambiente, vol. 7, ISSN 0329-5184.

¹⁸ Botero, B.M. y R.P. Thomas. 1987. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

Mediante la figura e.4. Se puede determinar la cantidad de litros o metros cúbicos de biogás por cada kilogramo de sólidos volátiles (porcentaje de sustancias que pueden convertirse en biogás durante el proceso de digestión anaerobia), lo que se determina en función de la temperatura versus Tiempo de Retención.

e.3.5.8. Potencial de Producción de Metano (BO).

Se realizará un análisis entre dos métodos, mediante los cuales se puede realizar la obtención del volumen de metano producido por la biodegradación de las excretas de los animales existentes en la granja, mezcladas con el factor de disolución de acuerdo al tipo de animal e ingresadas al tanque biodigestor, lo que nos permitirá comparar los valores obtenidos de forma cuantitativa, brindándonos la posibilidad de tener una idea más clara de la producción de biogás de nuestro diseño además de ofrecer la posibilidad de utilizar diferentes tipos de ecuaciones y sobre todo si los resultados se encuentran equilibrados entre estos dos métodos permitirán dar la pauta, de que el desarrollo del proyecto se encuentra enmarcado en los parámetros y lineamientos de diseño de biodigestores con su respectiva producción de metano compuesto principal del biogás.

e.3.5.8.1. Primer Método para la obtención de Metano.

La cantidad de biogás producido depende de la materia orgánica dentro del biodigestor, del tamaño de la población bacteriana se logra una mayor producción cuando se establecen las mezclas de disolución dentro de un 8% de sólidos totales además del Tiempo de Retención, de la temperatura del biodigestor. Establecidos y empleados estos parámetros se logran las mejores condiciones de biodegradación con lo que se obtiene por cada (1Kg) de materia de desechos orgánicos una producción de 300lit de biogás al día¹⁹.

Tabla e.5. Datos de la materia orgánica a tratar.

Tiempo de Retención	30 días
Temperatura de operación	(35-45)°C

¹⁹ Jonathan Álvarez, Ernesto Tostado. Propuesta de Automatización de un Digestor Anaerobio tipo Horizontal. Instituto Politécnico Nacional de México, “Adolfo López Mateos”,

Contenido de sólidos	8% de sólidos totales
PH	Entre 6.6 a 7.6
Contenido de humedad del desecho orgánico	90%
Producción de Biogás	300 litros/Kg

e.3.5.8.2. Segundo Método para la obtención de Metano.

Se realiza el cálculo de producción de metano de acuerdo a los diferentes tipos de animales existentes en la granja y su producción del mismo de acuerdo a la tabla expresada a continuación mediante la producción de sólidos volátiles de cada residuo orgánico.

Volumen de metano producido por masa de sólidos volátiles en **[m³ CH₄/kgVS]día**.

Los valores son los siguientes:

Tabla e.6. Fuente: Proyecto Cali. Difusión de la tecnología de biogás en Colombia. 1987.

Residuo Orgánico	BO[m³CH₄/kgVS]día
Vaca	0.2
Res	0.35
Desecho municipal	0.2
Chanco	0.45
Gallinas	0.39
Aguas negras	0.406
Roedores	0.06
Caprinos	0.1
Pavos	0.41

e.3.5.9. Cantidad de Biogás (C_{BIO}).

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 lodos digeridos desalojados del digestor será menor, así tenemos para el **primer método de obtención de metano** y posteriormente de biogás:

$$C_{BIO} = VS_g * 300 \frac{lit}{Kg} \quad \text{Ecuación e.52}$$

El resultado que dará esta fórmula será en m^3/dia , por lo que hay que multiplicarle por 30 días para que dé el resultado en un mes.

Mientras que para el **segundo método empleado para la obtención de metano** y posteriormente de biogás se tiene las siguientes ecuaciones:

Volumen de metano producido (VCH₄): Es el volumen de metano que se obtiene de un biodigestor alimentado con una masa orgánica para ciertas condiciones de tiempo de retención RT y temperatura TC. Este se obtiene de forma empírica por la aplicación de la fórmula²⁰:

$$VCH_4 = BO * VS * \left(1 - \frac{K}{U * RT - 1 + K}\right) \quad \text{Ecuación e.53}$$

Donde:

BO: Es la producción de metano producido por masa de sólidos volátiles de cada uno de los animales expresados en la tabla e.6., mientras que Vs es la cantidad en kilogramos de sólidos volátiles producidos por las excretas diarias de los animales depositados en el biodigestor.

K: Es la descomposición de los sólidos volátiles en el tiempo y es a dimensional.

U: Es el crecimiento de producción de metano con el cambio de temperatura por día con una temperatura de 30°C.

²⁰ Chen, Y.R., "Kinetic Analysis of Anaerobic Digestion of Pig Manure and its Design Implications" Agricultural Wastes 8 (1983) 65-81, y Thomas, M.V. & R.A. Nordstedt, Trans ASAE 36(2)pp537-544.

VCH₄ es en [m³ de metano/día]

Donde los factores han sido ya explicados y K y U se obtienen de las expresiones:

$$K = 0.6 + 0.0006 * e^{(0.1185*VS)} \quad \text{Ecuación e.54}$$

$$U = 0.013 * TC - 0.129 \quad \text{Ecuación e.55}$$

Ahora se procede a encontrar la cantidad de biogás formado por un 60% de metano y un 40% de dióxido de carbono producidos por día: Cantidad de metano.- Es aproximadamente el 40% del biogás por lo que se tiene: $CH_4 = VCH_4$

Cantidad de CO_2 : El Dióxido de Carbono es aproximadamente el 40% del biogás por lo que se tiene:

$$CO_2 = CH_4 \frac{0.4}{0.6} \quad \text{Ecuación e.56}$$

Cantidad de biogás por día: Es la sumatoria del Metano con el Dióxido de Carbono.

$$BIO = CH_4 + CO_2 \quad \text{Ecuación e.57}$$

e.3.6. DISEÑO DE LA OBRA CIVIL:

Los tanques principales que conforman el biodigestor como son el de pre-mezcla, el tanque biodigestor y el de evacuación serán construidos de hormigón armado, con ladrillos tipo panelón que tiene las siguientes medidas: 28cm de largo; 14cm de ancho y 7cm de alto, en la construcción se los ubicará de tal forma que las paredes sean de 14cm de ancho; el alto de las mismas será la de la sumatoria de hileras de ladrillos con un alto de 7cm cada una; de igual forma serán ubicados a lo largo con 28cm.

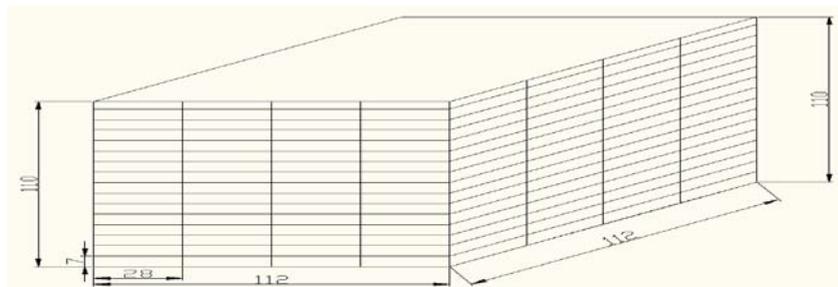


Figura e.5 Forma de los tres tanques principales del biodigestor y posición de los ladrillos para su construcción.

Mientras que los otros tanques que intervienen en el proceso como son el tanque de almacenamiento de biogás será de membrana de polietileno, el tanque de almacenamiento de agua y de almacenamiento de agua más cal serán del tipo plástico con una capacidad de 100 litros cada uno.

e.3.6.1. Diseño del Tanque de Pre-mezcla.

En este tanque será depositado el total de excretas obtenidas por día con su respectivo factor de disolución, para calcular el volumen de agua que debe ser mezclada con la materia prima para dar la proporción deseada es indispensable conocer el porcentaje de sólidos de esta que se encuentra establecido de acuerdo al tipo de animales existentes en la granja (ver tabla e.2.), mediante la cual se obtendrá una mezcla homogénea que contenga alrededor del 8% de sólidos (ver tabla e.3.), que asegure la máxima producción de biogás determinándose de esta forma el total de mezcla diaria que posee una densidad de 1145kg/m^3 , que permitirá obtener el volumen necesario de dicho tanque que deberá abarcar la cantidad de mezcla diaria.

Dicho tanque estará destapado en su parte superior; su forma será rectangular con sus paredes interiores revestidas de cemento además constará de un conducto de carga tipo PVC de 4 pulgadas para desagüe con una inclinación de 60° mediante la cual será depositada la mezcla por acción de la gravedad hacia el tanque digestor, al estar ubicada la cámara de carga por sobre el nivel de líquido en el biodigestor.

Para las medidas del tanque se toma en cuenta factores de diseño como son: la altura tiene que estar bien dimensionada de tal forma que la persona que deposite el sustrato pueda hacerlo sin ninguna dificultad, además de considerar el espacio que va a ocupar y las facilidades en la construcción.

Para el cálculo de la capacidad de llenado vamos a tomar en cuenta la cantidad total de estiércol por día considerando la cantidad de disolución explicada anteriormente con su respectiva densidad; para esto aplicamos la siguiente relación²¹:

²¹ Santiago J. Sánchez Miño . Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones, Quito, Ecuador, WWF - Fundación Natura

Partimos de la ecuación general de densidad la cual nos permitirá obtener el volumen total y así dimensionar las medidas finales del tanque de evacuación.

$$\delta = \frac{m(\text{Cantidad de estiércol [Kg]})}{vol} \quad \text{Ecuación e.58}$$

Como tenemos las variables como son la cantidad de estiércol que se obtiene diariamente además de la densidad de la mezcla procedemos a encontrar el volumen del tanque de pre-mezcla para luego dimensionarlo.

$$vol = \frac{m(\text{Cantidad de estiércol [Kg]})}{\delta} \quad \text{Ecuación e.59}$$

Luego por factores de seguridad aumentamos en un 30% del valor nominal, además de permitir un mayor ingreso de materia en caso de que aumente la cantidad de animales en la granja:

$$F_{seg} = vol * \left(\frac{30}{100}\right) \quad \text{Ecuación e.60}$$

Con lo que el valor del volumen total quedará definido por la siguiente expresión:

$$vol_T = vol + F_{seg} \quad \text{Ecuación e.61}$$

Una vez seleccionadas las medidas del tanque (ancho, largo y alto) procedemos a encontrar la cantidad de ladrillos tomando en cuenta la posición de estos, para la altura consideraremos la siguiente ecuación:

$$H_l = \frac{h}{7cm} \quad \text{Ecuación e.62}$$

Para el largo tomamos la siguiente ecuación:

$$L_l = \frac{l}{28cm} \quad \text{Ecuación e.63}$$

Para el ancho tomamos la siguiente ecuación:

$$A_l = \frac{a}{14cm} \quad \text{Ecuación e.64}$$

Se procede a encontrar el número total de ladrillos que se va a emplear por pared cómo el tanque va a tener forma rectangular las paredes (1-3) son iguales, así también (2-4).

Para el cálculo de las paredes (1-3) consideramos el producto de $[A_l]$ ancho por $[H_l]$ altura y esto a su vez multiplicado por dos debido a que son dos paredes:

$$Tl_{13} = (A_l * H_l) * 2 \quad \text{Ecuación e.65}$$

Del mismo modo para las paredes (2-4) utilizamos:

$$Tl_{24} = (L_l * H_l) * 2 \quad \text{Ecuación e.66}$$

Luego sumamos los valores de Tl_{13} y Tl_{24} para obtener el valor total de ladrillos que se van a utilizar para la construcción del tanque.

$$Tl = Tl_{13} + Tl_{24} \quad \text{Ecuación e.67}$$

e.3.6.2. Diseño del Tanque Digestor.

Aquí se realizará la biodigestión de los residuos, para su diseño será conveniente sobredimensionarlo para que exista la posibilidad de abarcar mayor cantidad de sustrato si en un futuro aumenta la cantidad de animales en la granja y por medidas de seguridad, además para que el proceso de digestión sea continuo se tendrá que dejar un 30% de mezcla digerida la misma que contendrá las bacterias que son responsables de la digestión para que el proceso continúe normalmente, al no ejecutarse esto todo el proceso tendría que iniciarse nuevamente y esperar que las bacterias empiecen a producir el proceso de biodigestión. Las paredes tendrán que ser revestidas con cemento, además serán forradas en su parte interior con lámina de polietileno para permeabilizar y hermetizar al mismo el cual constará con un sistema de agitación.

El depósito tendrá que estar enterrado en el suelo para evitar las temperaturas de la noche, en su parte superior se ubicará una cúpula de polietileno de geomembrana “flexible”, lo suficientemente durable y que no presente fugas; para lograr este propósito se colocan los extremos de la membrana dentro de una canaleta llena de agua (de una profundidad de unos 30 cm a 35 cm), amarrada al fondo de la misma, lo cual permite hacer un sello hidráulico perfecto, para la recolección del biogás producido se colocarán una o más salidas en la parte superior de la geomembrana hacia los tanques de almacenamiento.

Para encontrar el volumen del digestor inicialmente obtenemos el Total de Sustrato [T_{sus}] que será el producto entre el contenido total de sólidos [TSt] de los animales por dos debido a la relación de disolución (materia: agua), expuesto anteriormente; es este se obtiene una media de la disolución de todos los animales, para lo cual utilizamos:

$$T_{sus} = val_{med} * TSt \quad \text{Ecuación e.68}$$

Una vez hallados los valores preliminares procedemos a determinar la cantidad de masa total que serán depositadas en el tanque que se lo obtiene del producto entre la cantidad total de sustrato obtenida al día y el tiempo de retención que en nuestro caso será de RT (30 días):

$$V_{Tm} = T_{susm} * RT \quad \text{Ecuación e.69}$$

Luego de esto utilizamos la ecuación general de densidad la cual nos permitirá obtener el volumen total y así dimensionar las medidas finales del tanque de biodigestión.

$$\delta = \frac{V_{Tm}(\text{Total de sustrato [Kg]})}{vol} \quad \text{Ecuación e.70}$$

Como tenemos las variables como son la cantidad de estiércol que se obtiene diariamente además de la densidad de la mezcla procedemos a encontrar el volumen del tanque de pre-mezcla para luego dimensionarlo.

$$vol = \frac{V_{Tm}(\text{Total de sustrato [Kg]})}{\delta} \quad \text{Ecuación e.71}$$

Luego por factores de seguridad aumentamos en un 30% del valor nominal, además de permitir un mayor ingreso de materia en caso de que aumente la cantidad de animales en la granja:

$$F_{seg} = vol * \left(\frac{30}{100}\right) \quad \text{Ecuación e.72}$$

Con lo que el valor del volumen total del tanque digestor quedará definido por la siguiente expresión:

$$vol_{TD} = vol + F_{seg} \quad \text{Ecuación e.73}$$

Se retoma los cálculos del tanque de pre-mezcla en lo concerniente a los cálculos de la cantidad de ladrillos.

e.3.6.3. Diseño del Tanque de Evacuación.

Posee una forma rectangular, la tubería de ingreso del tanque evacuación tendrá que tener una inclinación de 60° con respecto a la tubería de desalojo del depósito digester que facilita la extracción del material estabilizado que se realizará por gravedad que ha cumplido el tiempo de residencia dentro del biodigestor. Sus paredes internas tendrán que ser revestidas con cemento, en un extremo tendrá una sección de mallado que permitirá extraer el biol a través de una tubería de ½ pulgada colocada en la parte inferior del tanque.

El tanque de evacuación tendrá la capacidad de almacenar el 70% de la mezcla total del tanque de digestión por lo tanto se utilizará la siguiente ecuación:

$$vol_{TE} = vol_{TD} = * \left(\frac{70}{100} \right) \quad \text{Ecuación e.74}$$

A continuación se retoma el mismo procedimiento de los dos casos anteriores hasta encontrar el resultado final.

e.3.6.4. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Biogás (VG).

Será de polietileno en forma de una bolsa tipo salchicha es decir de forma cilíndrica, de tipo estacionaria. La cantidad de biogás que se almacena depende del consumo para el cual estará destinada la producción de biogás. Así se tiene que la aplicación de 1m³ de biogás equivale a (1.25kw/h; 6 horas de luz de un foco de 60watts; mantener encendido un refrigerador de 1m³ por una hora, un motor de 1HP por dos horas; etc.).

La relación entre el volumen del digester y el volumen del tanque de biogás será de 3:1 debido al uso que se le proporcionará, para lo cual utilizamos la siguiente ecuación:

$$VG = \frac{vol_{TD}}{3} \quad \text{Ecuación e.75}$$

e.3.6.5. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Agua.

Este tanque será de plástico PVC con una capacidad de 100 litros con conexión a una tubería de ½ pulgada, el cual servirá para enviar agua al biodigestor cuando la

temperatura interna del mismo se encuentre por encima del límite deseado que es 45 grados centígrados.

e.3.6.6. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Agua + cal.

Este tanque será de plástico PVC con una capacidad de 100 litros con conexión a una tubería de ½ pulgada el cual servirá para enviar agua con una proporción de cal que está en relación 100 a 1 es decir por los 100lit de agua se agregará 1Kg de cal hacia el biodigestor cuando el PH interno de la mezcla se encuentre fuera del rango establecido para las condiciones deseadas.

e.3.7. DISEÑO DEL SISTEMA AGITACIÓN MECÁNICA

e.3.7.1. Descripción del Sistema de Agitación

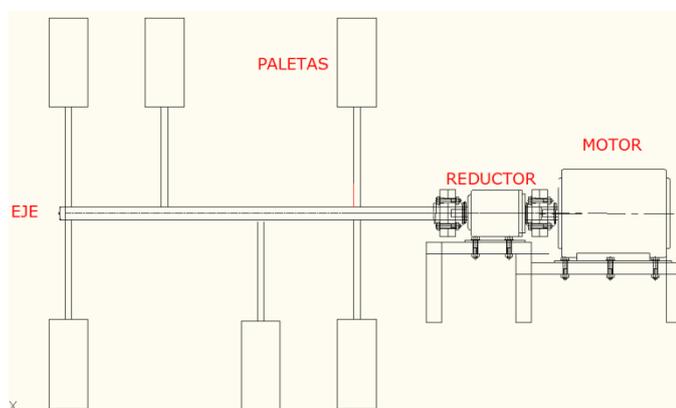


Figura e.6 Sistema de Agitación Mecánica

La generación del biogás depende fundamentalmente del íntimo contacto entre bacterias, la materia prima en degradación y los compuestos intermedios producto de las diferentes etapas del proceso fermentativo. En el caso de instalaciones que trabajan a nivel mesofílico²² como es el caso de nuestro proceso, la agitación debe ser intermitente

²² Martina P., Corace J., Aeberhard A., Aeberhard R. (2003) Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia. Primeros ensayos. Avances en Energías Renovables. y Medio Ambiente, vol. 7, ISSN 0329-5184.

el mezclado es importante debido a que se establece un mejor contacto de las bacterias con el sustrato. Con ello, se logra homogenizar la mezcla de la materia orgánica que será fermentada durante el proceso de digestión anaerobia.

Sin embargo, debe tomarse en consideración los tiempos de mezclado. Los tiempos excesivos pueden llegar a desequilibrar el medio matando a las bacterias metanogénicas que son las responsables de la fermentación de la materia. Un tiempo adecuado se sitúa cada dos horas por un espacio de no más de 20 minutos. Esta operación será realizada mediante un sistema de agitación mecánica con paletas que consiste de un motor A.C. de 1750rpm el mismo que será acoplado a un reductor de relación 1:70, que de acuerdo a referencias literarias no deben sobrepasar las 25rpm para realizar el movimiento de las aspas con su respectiva agitación²³.

Por lo que el tiempo que establecimos para nuestro diseño es de diez minutos por cada hora para lograr el tiempo adecuado de mezclado mediante el cual se puede mantener una temperatura uniforme en todo el biodigestor.

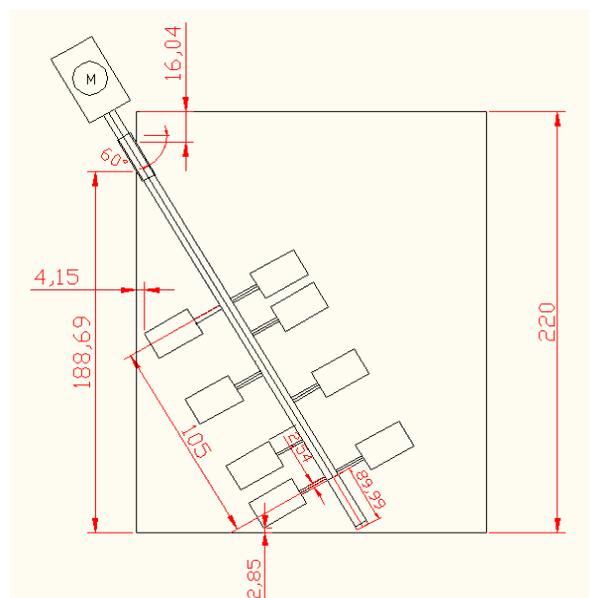


Figura e.7 Dispositivo “caño camisa”

Para este dispositivo se colocará un “caño camisa” de diámetro superior al eje de agitación que se instalará con un inclinación de 60 grados dentro de la cámara de digestión, mediante una unión que no permita pérdidas de líquido hacia el exterior. También debe sobresalir hacia el exterior por sobre el nivel de descarga del líquido.

²³ Diseño y construcción de un biodigestor industrial, Romina Arias, Aqualimpia Beratende Ingenierure.

Dentro de éste se coloca un caño “eje” sobre el cual se ajusta una paleta mezcladora. El impulsor será de placa plana, que se acciona con un movimiento angular que se hace girar sobre su eje. Para el diseño del caño y eje nos hemos basado en revisiones literarias sobre experiencias en la construcción de sistemas de agitación para biodigestores con lo que hemos definido que para la construcción del eje de agitación y el caño camisa se utilizará tubo de acero galvanizado, así también el caño tendrá un espesor de 6.35 mm con un diámetro de 2 ½ pulgadas, con el objeto evitar la corrosión y de asegurar una adecuada vida útil, en cambio el eje tendrá un espesor de 3mm y un diámetro de 2plg con el fin de soportar el esfuerzo de torsión y el desgaste corrosivo.

e.3.7.2. Diseño del Sistema de Agitación.

Para el diseño se determinará el área de arrastre de sustrato que van a generar las paletas las mismas no van a abarcar toda el área del digestor; a más de esto según del grado de inclinación que va a tener el eje del agitador todas las paletas van a ser iguales en longitud. Con lo que de acuerdo a nuestro diseño el área de arrastre de las paletas queda expresada por la sumatoria del área total de cada paleta con el área del brazo de la misma obteniendo un valor del área total por paleta la cual será multiplicada por 8 que es el número total de paletas por tratarse de paletas de dimensiones iguales:

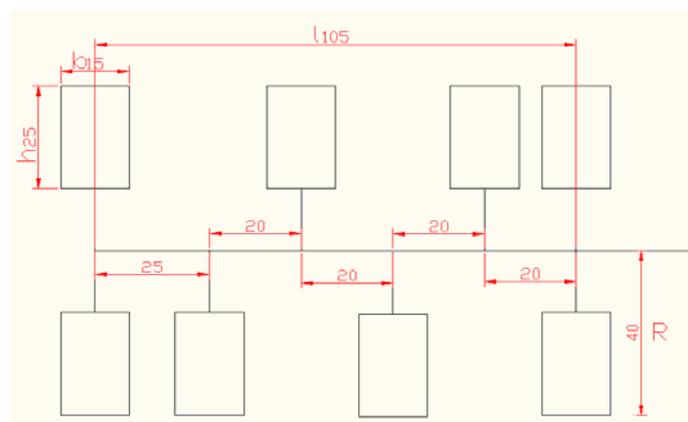


Figura e.8 Medidas del Sistema de Agitación Mecánica

AREA DE LAS ASPAS

b= base

$$A_p = b * h$$

Ecuación e.76

h =altura

AREA DEL BRAZO

$$\varnothing_b = \text{Diámetro del brazo} \quad Ab = \varnothing\pi * h \quad \text{Ecuación e.77}$$

Con lo que el Área Total de cada paleta quedará expresada por:

$$AT = Ap + Ab \quad \text{Ecuación e.78}$$

Donde:

$$Ap = \text{Área de la paleta}$$

$$Ab = \text{Área del brazo}$$

Donde:

$$Ap = \text{Área de la paleta}$$

$$Ab = \text{Área del brazo}$$

Ahora el área de arrastre de todo el sistema será igual al área total AT por # de paletas

$$AT_A = AT * \# \text{ de paletas} \quad \text{Ecuación e.79}$$

A continuación deseamos encontrar la energía con que se va a mover la mezcla para esto aplicamos la ecuación de la energía cinética que es aquella que posee un objeto debido a su movimiento. La energía cinética depende de la masa y la velocidad del objeto y se expresa según la ecuación:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

Y como densidad es igual a $\delta = \frac{m}{Vol}$ despejamos masa $m = \delta * Vol$

Conocemos que velocidad es igual a $v = \omega * R$ pero velocidad angular es igual a:

$$\omega = \frac{\#rpm * 2\pi}{60}, \quad \text{Ecuación e.80}$$

De lo que nos quedaría E expresada como:

$$E = \frac{1}{2} * (\delta * Vol) * \omega^2 * R^2 \quad \text{Ecuación e.81}$$

Ahora la potencia viene dada como la relación de la energía cinética en función del tiempo:

$$Pot = \frac{E}{t} \quad \text{Ecuación e.82}$$

A continuación reemplazando:

$$Pot = \frac{1}{2} \left(\delta \frac{Vol}{t} \right) * (w * R)^2 \quad \text{Ecuación e.83}$$

Pero como caudal es igual a $Q = \frac{Vol}{t}$ reemplazamos en (e.45), entonces nos quedaría:

$$Pot = \frac{1}{2} * \delta * Q * w^2 * R^2 \quad \text{Ecuación e.84}$$

Ahora caudal también se expresa como $Q = v * A$ reemplazando las ecuaciones de velocidad y área tenemos el caudal $Q = (\omega * R) * (2hR)$

Con esto reemplazamos el caudal en (e.46) y la ecuación para hallar la potencia queda definida por:

$$Pot = \delta * \omega^3 * R^4 * h \quad \text{Ecuación e.85}$$

e.3.7.3. CÁLCULO DE LA PRESIÓN EN EL TANQUE DIGESTOR.

Para el cálculo de la presión se hará uso del teorema de la ley de los Gases Ideales²⁴ con el fin de hallar la presión del proceso, partiendo de algunos conceptos básicos de presión. Teniendo en cuenta los datos del proceso se tiene:

$$\delta_{mez} = 1145 \frac{Kg}{m^3}$$

$$g = 9.8 \frac{m}{seg^2}$$

²⁴ La ecuación que representa la ley de los gases ideales o perfectos, al estar basada en las leyes individuales de los gases, resume la relación entre la masa de un gas y las variables P, V y T.

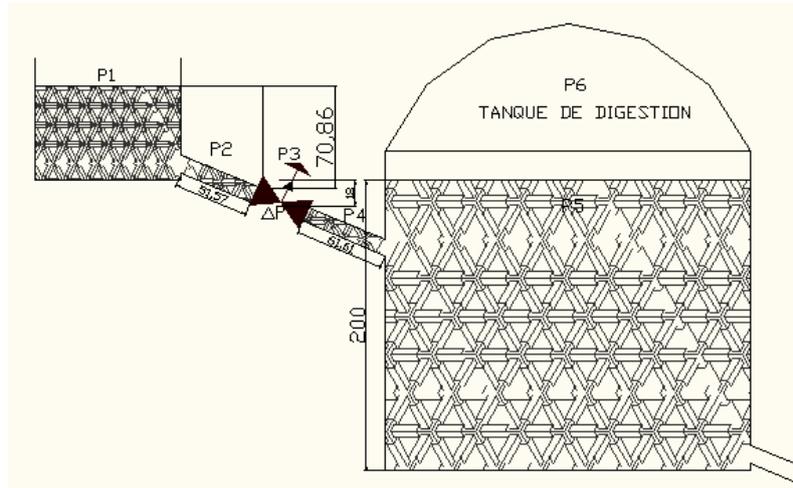


Figura e.9 Para realizar el cálculo de Presión por medio de la ley de gases ideales.

Para encontrar la presión interna en el biodigestor aplicamos el teorema de Bernoulli, aquí la presión atmosférica que interviene en el tanque de pre-mezcla se anulará con la presión atmosférica presente en el tanque del digestor, entonces tenemos:

$$P_1 = \delta_{mez} * g(h_1 - h_2) \quad \text{Ecuación e.86}$$

Donde:

P_1 = Presión del fluido.

δ_{mez} = Densidad del sustrato.

g = Gravedad.

h_1 = Diferencia de altura que existe del nivel máximo del tanque de pre-mezcla hacia la válvula de ingreso.

h_2 = Diferencia de altura que existe del nivel máximo del tanque digestor hacia la válvula de ingreso. Para encontrar la presión del biogás que va a ejercer sobre el fluido y la cúpula de polietileno, partimos de la constante de los gases²⁵:

²⁵ Constante R de la ecuación de los gases ideales o perfectos. Es una constante universal independiente de la especie química en estudio. Su valor numérico es $R = 0,082 \text{ atm}\cdot\text{l}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. No obstante, esta ecuación es una buena aproximación para todos los gases reales a baja presión.

$$R = \frac{P * Vol}{T * \#mol}$$

Ecuación e.87

Donde:

P = Presión ejercida por el biogás en el tanque de digestión

Vol = Volumen de biogás al mes

T = Temperatura de funcionamiento del biodigestor [45°C]

$\#mol$ = Número de mol del biogás al mes

A continuación despejamos la presión P :

$$P = \frac{R * T * \#mol}{Vol}$$

Ecuación e.88

Ahora necesitamos encontrar el número mol del biogás que es la cantidad de cualquier sustancia cuya masa expresada en gramos es numéricamente igual a la masa atómica de dicha sustancia.

Para encontrar el número de moles de biogás, consideramos su volumen de producción al mes que es de $598.5m^3$, por lo que tenderíamos:

$$\#mol = \frac{m}{PM}$$

Ecuación e.89

Donde:

m = Masa del biogás

PM = Peso molecular del biogás [16Kg/Kmol]

Ahora necesitamos encontrar la masa de biogás para lo que utilizamos:

$$m = \delta * Vol$$

Ecuación e.90

Donde:

δ = Densidad del biogás

Vol = Volumen del biogás

A sí obtenemos el número de moles del biogás, luego con este valor reemplazamos el valor de $\#mol$, encontramos la presión ejercida por el biogás en el biodigestor.

e.3.7.4. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO.

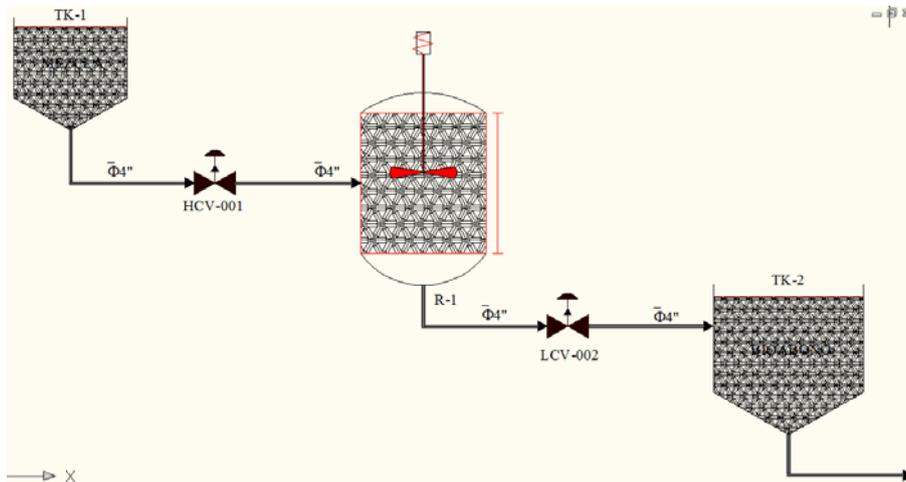


Figura e.10 Para realizar el cálculo de velocidad de desalojo de materia biodigerida hacia el tanque de evacuación.

Aplicando el teorema de Bernoulli²⁶, se calcula la velocidad con la que será alojada la mezcla ya digerida del tanque de digestión luego de cumplir el Tiempo de Retención establecido, hacia el tanque de evacuación, la cual nos permitirá establecer el tiempo en que será desalojado el 70% de la materia tratada en el interior del tanque biodigestor luego de haber cumplido el tiempo de retención establecido se realiza mediante:

$$\frac{P_1}{\gamma} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación e.91}$$

La presión P_1 es la presión del biogás que fue de $2\text{atm}=30\text{PSI}$, la altura h_1 es la altura desde el nivel máximo del tanque digestor hasta el punto de referencia o P_2 , y la altura h_3 es la diferencia entre el nivel máximo del tanque de evacuación hacia el punto de referencia.

²⁶ Teorema de Bernoulli, principio físico que implica la disminución de la presión de un fluido (líquido o gas) en movimiento cuando aumenta su velocidad.

Sustituyendo lo anterior se tiene:

P_1 = Presión del biogás.

h_1 = Altura desde el nivel máximo del tanque digestor hasta el punto de referencia.

h_3 = Altura desde el nivel máximo del tanque de evacuación hasta el punto de referencia.

v_1 = 0 por encontrarse el líquido del tanque de evacuación en reposo.

v_2 = Velocidad del fluido.

Mediante la cual obtenemos:

$$\frac{P_1}{\gamma} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación e.92}$$

Finalmente la ecuación para encontrar v_2 :

$$v_2 = \sqrt{2g \left(\frac{P_1}{\gamma} + h_1 - \frac{P_2}{\gamma} - h_2 \right)} \quad \text{Ecuación e.93}$$

Luego de esto procedemos a encontrar la sección transversal [S] de la tubería que está dada por la fórmula:

$$S = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad \text{Ecuación e.94}$$

Una vez encontrada la sección transversal de la tubería encontramos el caudal que circula por la misma en función del tiempo, mediante:

$$Q = S \cdot v \quad \text{Ecuación e.95}$$

Obteniendo el caudal de sustrato que va a circular por la tubería de evacuación, procedemos a obtener el tiempo en que va a ser desalojado la cantidad de sustrato deseado es decir el 70% del total del sustrato en el interior del digestor luego de los 30 días de retención del mismo. Para lo que utilizamos:

$$Q = \frac{Vol}{t} \quad \text{Ecuación e.96}$$

Para esto despejamos el tiempo, con lo que la ecuación nos queda expresada:

$$t = \frac{Vol}{Q} \quad \text{Ecuación e.97}$$

e.3.8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN

A continuación se describe el proceso propuesto, así como las características requeridas de los equipos que se deben instalar. Cabe señalar que existen normas para la selección de equipo (*ver h VII*) así como para la descripción y simbología de los diagramas de tubería e instrumentación (Norma ISA 7.1).

Los objetivos principales que se tomaron en cuenta para la realización de la misma en el biodigestor son:

- Mejorar la productividad de la planta de generación de bioabono y biogás, reduciendo los costos de producción y mejorando la calidad del mismo.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos necesarios para la producción agrícola de la granja, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

e.3.8.1. Ingeniería Básica

La ingeniería básica comprende la ingeniería conceptual y la ingeniería de proceso. Los principales documentos que deben ser generados en esta fase de la ingeniería son:

e.3.8.1.1. Bases o Criterios de Diseño

Para el desarrollo de la ingeniería se calcularon y se cotizaron instrumentos de tipo industrial, que cumplirán con estándares internacionales de seguridad.

e.3.8.1.2. Tipo de Panel de Control:

Para llevar a cabo la estrategia de control de la Planta Generadora de Biogás se utilizó un Controlador Lógico Programable (PLC Twido TWDLCAA24DRF) y un Control de Supervisión y Adquisición de Datos (Labview versión 8.2), el cual permite monitorear y controlar, las variables del proceso como son, temperatura, PH, presión y nivel.

e.3.8.1.3. Niveles de Señales a Trabajar

El nivel de señal a trabajar es el estándar de 4 – 20 mA; esto debido a sus grandes ventajas con respecto a otros estándares, como lo es la gran inmunidad al ruido.

e.3.8.1.4. Diagrama Entradas Proceso Salidas (EPS)

En la *Figura e.11* se puede observar la distribución de las diferentes variables que interactúan en el proceso.

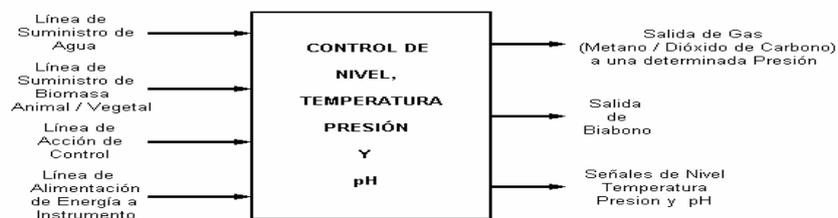


Figura e.11 Diagrama EPS

e.3.8.1.5. Tipo de Instrumentación a Utilizar:

Una vez realizada la propuesta de automatización para el biodigestor anaerobio de desplazamiento horizontal; se procede a describir los diversos equipos que realizarán la medición y control en el sistema propuesto. A continuación se describirá la forma en que se selecciona el equipo, la descripción, modelo y fabricante, teniendo en cuenta en gran medida la calidad y seguridad.

e.3.8.1.6. Controlador Lógico Programable (PLC)

Hemos creído conveniente utilizar el PLC Twido de denominación TWDLCA24DRF el cual posee (14 entradas y 10 salidas) digitales, además de un módulo para entradas y salidas analógicas TM24MM6HT con 4 entradas y 2 salidas que sirve para adaptar el sensor de presión, para la alimentación del mismo se requiere un voltaje de 24VCD.

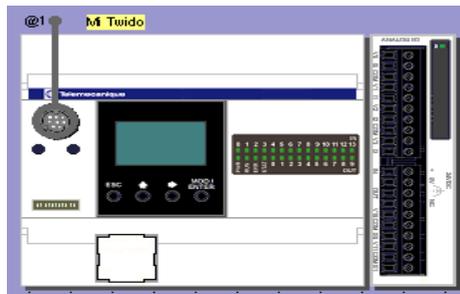


Figura e.12 PLC

e.3.8.1.7. Sensor de Presión + Sello Químico.

Este sensor de presión es de la casa Wika, es del modelo tipo S10, posee un rango de presión en vacío de hasta 60.00 PSI. El rango de señal es de 4 - 20mA, se puede realizar la conexión tipo entrada salida con dos o tres cables. Posee alta resistencia a líneas de presión y vibración. Su estructura es de acero, con diafragmas de alto sensibilidad para una mayor exactitud de medida.



Figura e.13 Sensor para Presión

El Sello Químico ira conectado con el sensor de presión Wika tipo S-10, su función es la de un diafragma que no permite el paso de gases corrosivos, productos contaminantes, temperaturas de químicos elevadas, para así proteger al sensor.



Figura e.14 Sello Químico

e.3.8.1.8. Sensor de temperatura + PH

Para la medición de éstas dos variables se optó por el Analizador Dual Universal Honeywell UDA2182; que consta de un panel frontal en donde se encuentra un menú con teclas que permiten la programación y un display de 66.8 mm x 35.5 mm donde se visualiza digitalmente en tiempo real los valores de temperatura que van desde (-10°C a 110°C) y de PH que son desde (0 a 14); permite realizar la calibración y monitoreo del censado, emite una señal de tipo digital con una alarma tipo relé; además consta de cuatro relés adicionales para usarlos como contactos de control y posee interferencia al ruido.



Figura e.15 Sensor de Temperatura y PH

e.3.8.1.9. Switch de Nivel

De marca W.E Anderson serie F6-MHS, su montaje es fácil y económico, su utilización es solamente en líquidos; soporta límites de temperatura desde -20 a 125°C a una presión de 218 psi, funciona con rangos de voltaje de (20 VA a 17A, 120VAC a 0.08A, 240VAC), para las conexiones eléctricas se tiene que utilizar cable 22 AWG, su peso es de 40 gramos.



Figura e.16 Switch de Nivel

e.3.8.1.10. Válvulas

Para las funciones de maniobra, regulación, control y protección utilizaremos electroválvulas LCV (válvula + actuador eléctrico). El sistema fue diseñado como un sistema sencillo de control, es decir de abrir y cerrar de acuerdo a las características y variables del sistema. Las necesidades de mantenimiento son mínimas y deben ser realizadas cada año.

Todas las válvulas Swing-Out están diseñadas para presiones de operación de hasta 250 psi (17 bares) y cumplen con el estándar NFPA1901 para control de velocidad en la apertura y cierre cuando son operadas con accionador eléctrico.

e.3.8.1.11. Válvulas para Ingreso y Evacuación de la Mezcla

Éstas serán de 4 pulgadas de diámetro, son válvulas de disco convencional o comúnmente denominada válvula mariposa, en ellas la pieza que controla el flujo es un disco en la mayoría de los casos, con el eje pasando por un diámetro, también como las de bolas son válvulas rotativas.

Los pares dinámicos desarrollados en las mismas hacen que tengan limitaciones en algunos rangos de control del área de pasaje.



Figura e.17 Válvula Mariposa.

e.3.8.1.12. Válvulas para Ingreso de Agua e Ingreso de agua + cal.

Serán de ½ pulgada de diámetro, pertenecen a la marca Flow-Tek de las series 7000 & 8000 son válvulas tipo bola, en ellas la pieza que controla el flujo es un disco en la mayoría de los casos, con el eje pasando por un diámetro, son válvulas rotativas. Los pares dinámicos desarrollados en las mismas hacen que tengan limitaciones en algunos rangos de control del área de pasaje.

Su Velocidad de Respuesta: (Speed Response, Stroke Speed) en cuanto a la operación de válvulas de control es la expresión que indica la velocidad con que la válvula realiza su recorrido. Puede darse por ejemplo un tiempo caso en el cual nos estaremos refiriendo al tiempo de recorrido desde cierre hasta apertura total.



Figura e.18 Válvula Tipo Bola.

e.3.8.1.13. Actuadores de las Válvulas de Control

Serán de la marca Bray de la serie 70 que se caracterizan por ser más compactos que poseen dos posiciones es decir de abierto o cerrado normalmente establecido desde la fábricas con lo que permiten la actuación de desplazamiento del sistema de abrir o cerrar de 0° y 90° , además pueden ser accionados manualmente por alguna eventualidad. Su rango de funcionamiento es de 4-20 mA DC, tiene que estar alimentado a una fuente de poder de 85 o 240 VAC o VAD, con una frecuencia de 50/60 Hz,



Figura e.19. Actuator Eléctrico.

e.3.8.2. Esquema General de Proceso de Control.

A continuación se represente el esquema general del proceso de control de automatización de la planta generadora de biogás

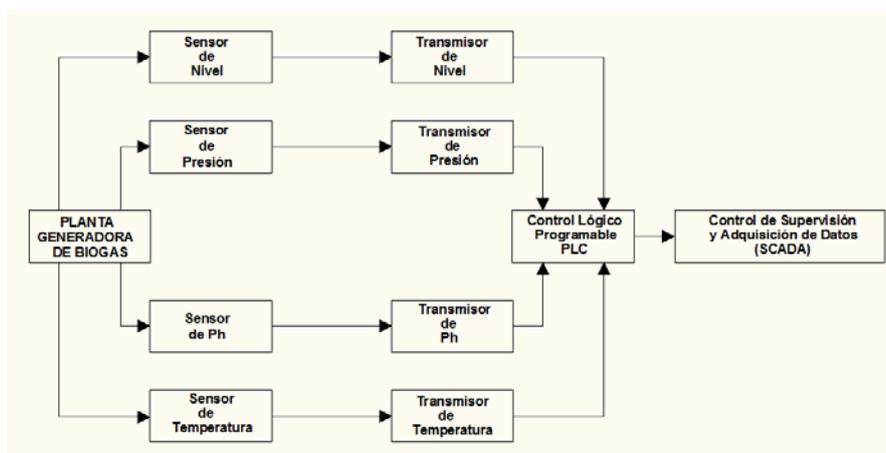


Figura e.20 Esquema del Diseño de la Estrategia de Control.

Mediante este esquema se pueden monitorear cada una de las variables como son la temperatura, presión, nivel y PH; con esta aplicación de automatización se disminuye el uso de personal y se aumenta la eficiencia del sistema.

DIAGRAMA DE FLUJO EN BLOQUE DE PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS Y BIOABONO

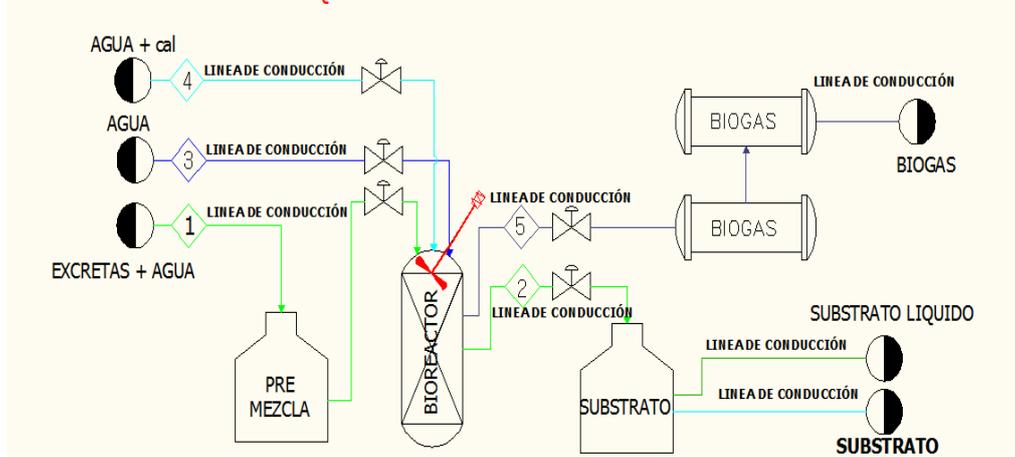


Figura e.21 Diagrama de Flujo en Bloque de Proceso para la Producción de Biogás y Bioabono

Otro control que se realiza es mediante el uso del PLC que es el encargado del control de los diferentes equipos, sensores y actuadores que se emplearan en el proceso de biodigestión. Mediante la manipulación de entradas y salidas digitales-analógicas del PLC se establecerá la delimitación en la narrativa del proceso que se lo realizará a continuación.

e.3.8.3. Narrativa de Proceso

El proceso dentro del Biodigestor consiste en la descomposición o degradación de los residuos orgánicos, por la acción de bacterias en un ambiente carente de oxígeno. El sensor de temperatura actúa de acuerdo a las etapas de fermentación que ocurre dentro del proceso, esta variación se regula utilizando una regulación de aumento o disminución de flujo de suministro de agua mediante el cual se lograra mantener la temperatura adecuada en el proceso, el sensor de PH estará indicando el grado de acidez y alcalinidad para mantener el rango adecuado del mismo estará relacionado con el suministro de agua mas cal para controlar este parámetro. La presión del gas dentro del recipiente será controlado a través del sensor de presión, que a su vez envía información al PLC controlando la válvula de salida de gas, para que dentro del tanque Biodigestor se realice una regulación de gas de acuerdo a la necesidad requerida.

Además dentro de este proceso se podrá controlar el nivel máximo de mezcla en el interior del tanque de digestión luego de que esta mezcla ha sido tratada por un tiempo de retención de 30 días que es en el que se obtiene un mayor rendimiento en la producción de biogás y substrato de alta calidad carente de malos olores con lo que al termino del tiempo de retención esta mezcla ya digerida será desalojada mediante la activación de una electroválvula hasta un determinado tiempo por el mismo lapso de tiempo entra en funcionamiento el sistema de agitación que ayuda en la evacuación de la mezcla que será depositada en el tanque de evacuación.

Con lo que el sistema automático deberá proporcionar control regulatorio de nivel, temperatura, presión y PH en el tanque de digestión en lazos individuales, ofreciendo un nivel de supervisión sobre los diferentes lazos de control. Así se tendría un proceso delimitado con tiempos y rangos finales que actuaran sobre las diferentes electroválvulas.

e.3.8.4. Delimitación del Proceso de Automatización

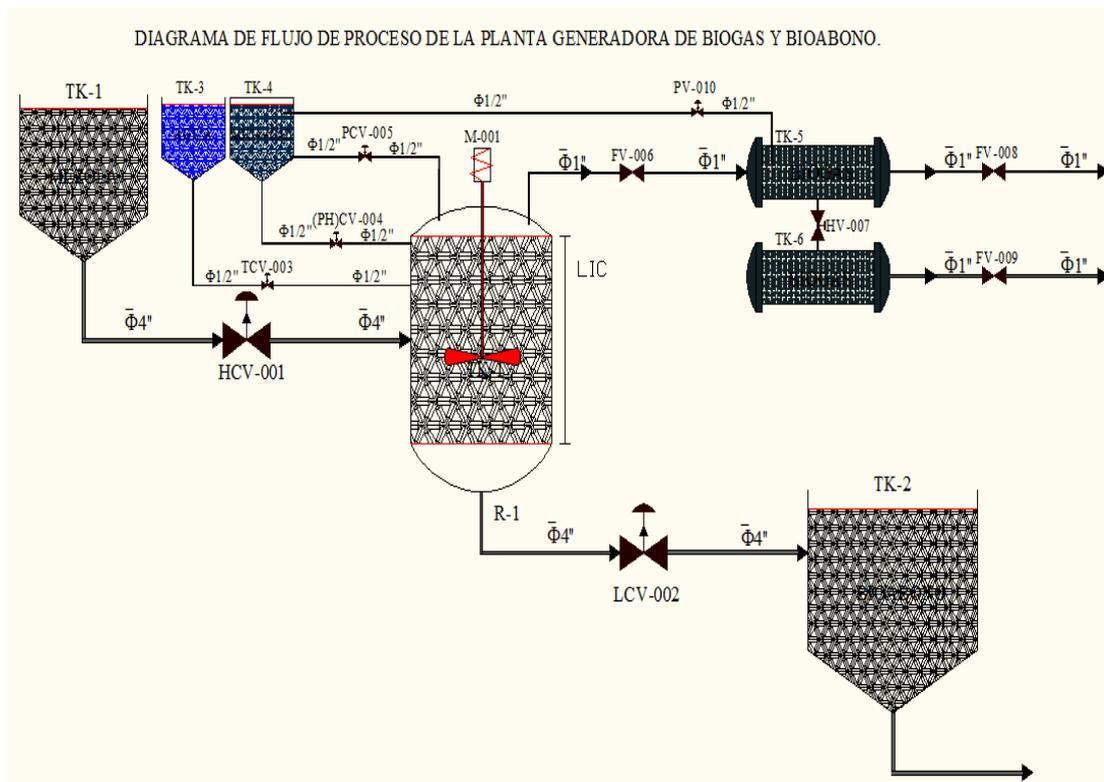


Figura e.22 Diagrama de Flujo de Proceso de la Planta Generadora de Biogás y Bioabono

A continuación se describen todos los pasos a seguirse dentro del proceso propuesto de automatización:

1.-Establecer una entrada (tipo interruptor) de inicio y otra de paro de todo el proceso, el biodigestor será de 11m³ de 2.5m de largo x 2m de ancho y 2.20m de alto,

2.-El biodigestor será alimentado con 644.76kg de materia orgánica mezclada con agua para la **activación automática de la electroválvula HCV-001** se activará un interruptor de apertura y otro de cierre, el biodigestor constará con un mecanismo de agitación

3.-El motor deberá accionarse por unos 10 minutos por cada hora, el tiempo de retención de la materia será de 30 días dando un total de 9210kg en el proceso de evacuación de la materia procesada para la obtención de biogás y bioabono con lo que se necesitará:

4.-Un sensor de nivel para determinar el rango máximo y mínimo que serían de 2m y 0.60m respectivamente, cuando dicho sensor envíe la señal de nivel máximo se **activará la electroválvula 2(LCV-002);**

5.-Al igual que deberá activarse el motor por un trascurso de 60 segundos para la evacuación de la materia **luego de este tiempo transcurrido se cerrará la electroválvula LCV-002,** la mezcla posee una densidad de 1145kg/m³, las **electroválvulas (HCV001-LCV002) de 4 pulgadas** son de carácter mecánico y manual las cuales sirven para el ingreso y evacuación de la mezcla,

6.-Cuando la temperatura en el interior del biodigestor alcance su valor máximo es decir 45°C se activará la electroválvula 3(TCV-003) la misma que dejará introducir cierta cantidad de agua hasta que baje la temperatura hasta unos **35°C,**

7.- Cuando el PH en el interior del biodigestor alcance su valor máximo es decir 7.6 se activará la electroválvula 4[(PH)CV-004] la misma que dejará introducir cierta cantidad de agua con CAL hasta que baje el PH hasta los **6.6.**

8.- La electroválvula 5(PCV-005) se activará y actuará cuando el sensor de presión registre en la cúpula una presión de 2atm (30PSI) y se cerrará cuando baje hasta unos 25PSI, del mismo modo ocurrirá en los tanques del almacenamiento de biogás donde

estará ubicada una válvula de presión PV-010 que estará calibrada a 2atm para que en exceso de presión desfogue hacia el tanque TK-4.

Las válvulas FV(006-008-009) son válvulas anti retorno o denominadas check, las mismas que permitirán que el biogás generado no se devuelva a la cúpula esto se logra mediante la válvula FV-006, mientras que las dos restantes es decir las válvulas FV(008-009) son colocadas a la salida de los tanques de almacenamiento de biogás para la utilización del mismo.

Mientras que la válvula tipo manual designada como HV-007, permite realizar el llenado del segundo tanque de almacenamiento cuando no se esté utilizando el biogás se realizó esto como medida de seguridad es decir se dimensionó un segundo tanque de almacenamiento que permita almacenar biogás al momento de que no exista utilización del mismo de esta forma se tiene una reserva extra y no lo expulsa al medio ambiente.

Las válvula PV-010 es la que permite controlar la presión en el interior del tanque de almacenamiento o también denominada tipo válvula de purga es decir cuando llegue a su presión máxima se abrirá y permitirá que el biogás a sobre presión de la establecida se deposite en el tanque de agua + cal, creando un mezclado en el mismo para que la cal en la parte inferior del tanque antes mencionado no se sedimente.

e.3.8.5. Narrativas de Control

El sistema de control está asociado a las variables de temperatura, presión, PH y nivel; donde se describe cada una de las narrativas de control asociadas a las variables mencionadas anteriormente. A continuación se detalla los elementos actuadores dentro del proceso:

- Válvula de ingreso de sustrato [**HCV-001**]
- Válvula de ingreso agua [**TCV-003**]
- Válvula de ingreso agua + cal [**PHCV-004**]
- Salida del sustrato [**LCV-002**]
- Salida del biogás [**PCV-005**]
- Mezclador: Agitador tipo semivertical / removedor de mezcla

e.3.8.5.1. Narrativa del Lazo de Control de Nivel (H)

La función de los instrumentos asociados al lazo de control de nivel es la regulación del nivel de sustrato en el Tanque de digestión. El lazo de nivel se puede observar en la *figura e.23*, la señal que procede del transmisor TL-001 que se da cuando el switch de nivel se encuentra en la parte superior; se envía al controlador de nivel LC-002 este a su vez se encarga de dar la orden para que se abra la electroválvula LCV-002 y también actúe el motor.

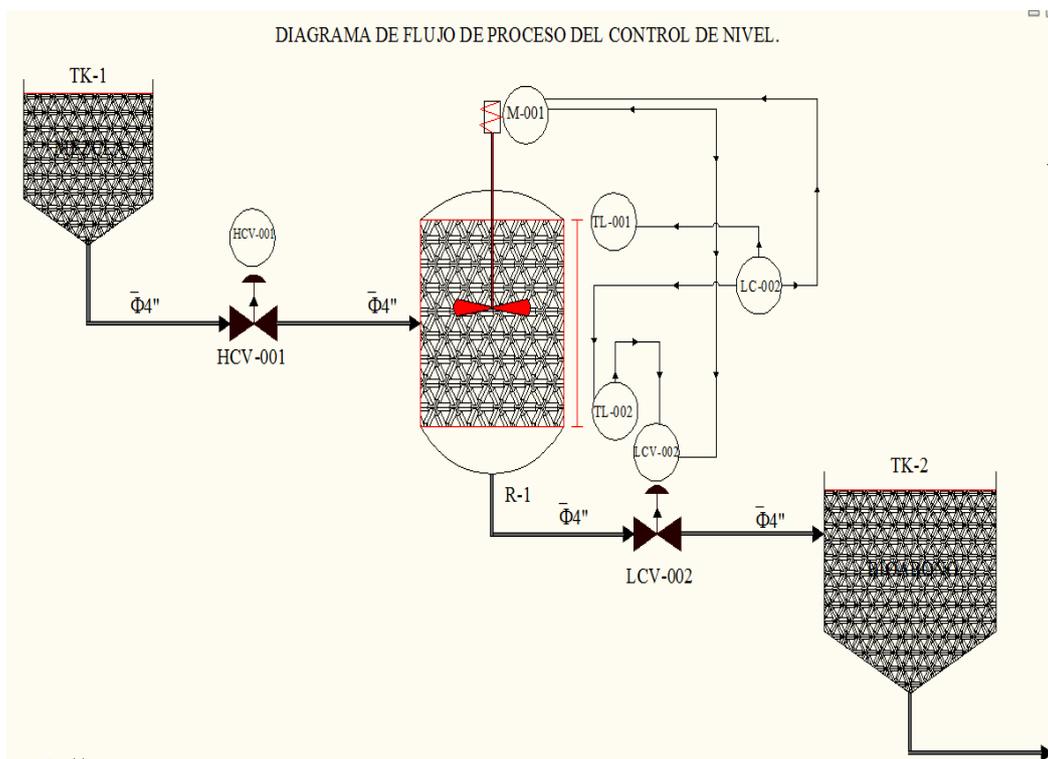


Figura e.23 Diagrama de Flujo de Proceso de Control de Nivel.

Del mismo modo cuando el switch de nivel se encuentra en la parte inferior el transmisor TL-002 envía una señal al controlador de nivel LC-002 mismo que da la orden para que se cierre la electroválvula LCV-002 y se apague el motor.

e.3.8.5.2. Narrativa de Control de Temperatura (T)

El objetivo de este sistema es mantener la temperatura del sustrato en el Tanque de Digestión, en la *Figura e.24*; se puede apreciar el diagrama en bloques de este lazo, donde la señal que procede del transmisor TT-003 se envía al controlador de temperatura TC-003 mismo que da la orden a la válvula TCV-003 para que se abra y permita el ingreso de agua.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DEL CONTROL DE TEMPERATURA

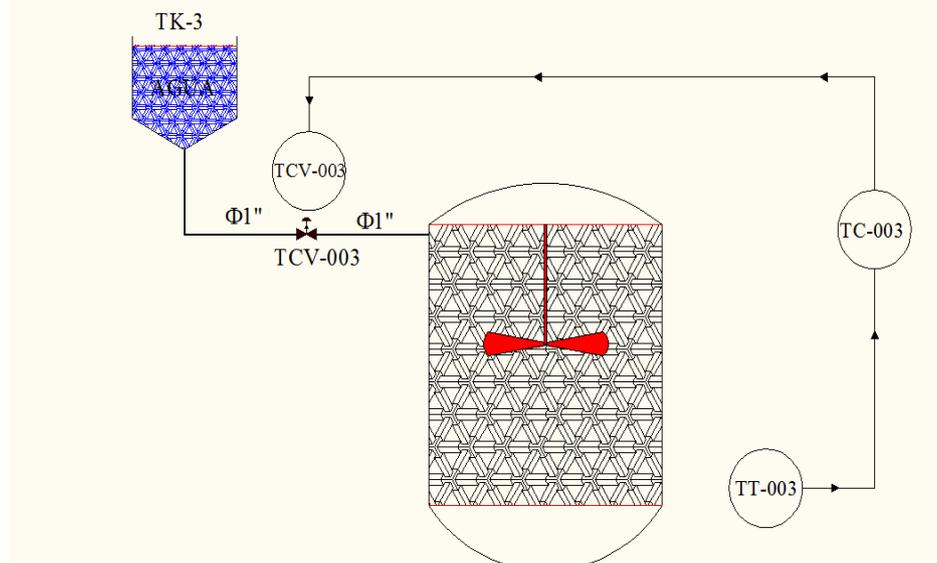


Figura e.24. Diagrama de Flujo de Proceso de Control de Temperatura.

Cuando la temperatura se estabiliza; TT-003 emite la señal TC-003 para que dé la orden de cerrar TCV-003.

e.3.8.5.3. Narrativa de lazo de control de Acidez (PH)

Cuando el nivel de acidez (PH) en el interior del biodigestor alcanza su valor máximo es decir [7.6]; el transmisor PHT-004 envía la señal al controlador PHC-004; luego este da la orden para que se abra la electroválvula PHCV-004 la misma que dejará introducir cierta cantidad de agua con CAL hasta que baje el PH hasta los [6.6]; donde PHT-004 emite la señal a PHC-004 para que mande a cerrar PHCV-004.

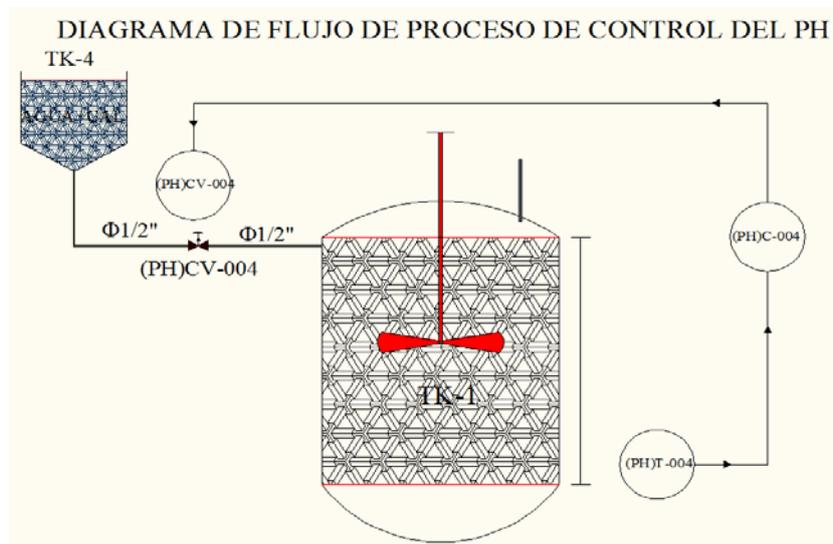


Figura e.25 Diagrama de Flujo de Proceso de Control de Nivel de Acidez (PH).

e.3.8.5.4. Narrativa de lazo de control de Presión (P)

Este sistema se encarga de regular la presión del biogás en la cúpula del Tanque de Digestión. El lazo de control está compuesto por un transmisor de presión PT-005 que envía una señal al controlador PC-005 cuando la presión en el Biodigestor supera las 2 atm; este a su vez da la orden para que se abra la electroválvula PCV-005 con la finalidad de evacuar en el tanque TK-004 el biogás.

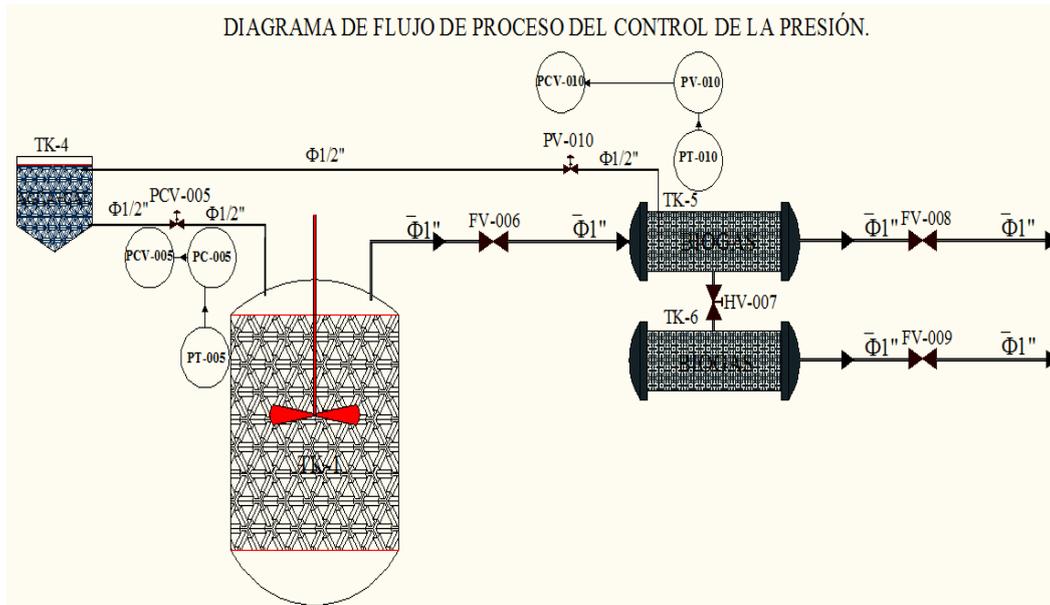


Figura e.26 Diagrama de Flujo de Proceso de Control de Presión.

Cuando la presión en el biodigestor se estabiliza PT-005 emite la señal hacia PC-005 para que mande a cerrar PCV-005.

En la tubería de salida de biogás desde el digestor hacia los tanques de almacenamiento se encuentra una válvula anti retorno FV-006 que tiene por función no permitir que el biogás regrese hacia el digestor, para la seguridad de los tanques (TK-5 y TK-6) de almacenamiento de biogás va colocada una válvula de presión PV-010 misma que estará regulada para que cuando llegue a una presión limite esta permita la salida de biogás hacia TK-4.

f: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

f.1. CÁLCULO DE LA DEMANDA DE BIOGAS DIARIA:

f.1.1 CALCULOS Y CONTROL DE LA INCUBADORA

f.1.1.1. Cálculo Térmico.

Teniendo en cuenta la primera ley de la termodinámica se realiza el balance térmico verificativo de la incubadora.

El calor generado por el quemador, debe ser igual o mayor que el calor que se pierde por diferentes causas en el funcionamiento de la incubadora.

f.1.1.2. Calor necesario para calentar los Huevos.

Para calcular el calor necesario para mantener calientes los huevos, se parte de la suposición de que la cantidad de calor que llega a un cuerpo en un período de tiempo dado, es igual a la cantidad de calor acumulada por el cuerpo.

$$Q_h = G_h * C_h(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación e.1}$$

Dónde:

G_h : Peso de los huevos que se van a calentar;

C_h : Capacidad calórica de los huevos; en nuestro caso:

$$C_h = 1.003 \frac{Kcal}{Kg^{\circ}K}$$

T_1 : Temperatura inicial (a la que se introducen los huevos en la incubadora); $T_1 = 18^{\circ}C$

T_2 : Temperatura final (a la que queremos que estén los huevos); $T_2 = 37.7^{\circ}C$

$$T_2 - T_1 = 19.7^{\circ}C = 292.85^{\circ}K$$

El peso específico (γ) de los huevos es de $0.001078 \frac{Kg}{cm^3}$

Para saber el peso G_h total de los huevos que van a estar dentro de la incubadora, partimos suponiendo que dentro de cada alojamiento para los huevos entrarán 10, y

como son 21 alojamientos entonces tenemos un total de 210 huevos, ahora el peso promedio de cada huevo de gallina está entre los 50 y 100 gramos para que por efectos de cálculo y buen dimensionamiento vamos a tomar el valor de 100 gramos, entonces:

$$G_h = 210 * 100g$$

$$G_h = 21000g = 21Kg$$

De esta manera el calor necesario para calentar los huevos será:

$$Q_h = 21Kg * 1.003 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K} * 292.85^\circ K$$

$$Q_h = 6168.29Kcal$$

Los huevos van a permanecer en los alojamientos de la incubadora por 18 días (432 horas) en este tiempo permanecerán a una temperatura de 37.7°C, luego van a ser pasados a las nacedoras hasta el día 21 que serian 3 días (72 horas) con una temperatura de 35.5°C.

$$Q_{hT} = \frac{Q_h}{t}$$

Ecuación e.2

$$Q_{hT} = \frac{6168.29Kcal}{504h}$$

$$Q_{hT} = 12.24 \frac{Kcal}{h}$$

f.1.1.3. Calor perdido en el alojamiento de los huevos.

Los huevos se introducen en la incubadora en unos alojamientos dispuestos en forma de V con una separación en sus puntas de 1cm, son en total 21 alojamientos y cada uno utiliza 2 láminas que serian en total 41 láminas de acero inoxidable con un espesor de 1/16 pulgadas (0.0015875m), las mismas que absorben parte del calor que se genera para mantener calientes los huevos.

$$Q_a = G_a * C_a(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación e.3}$$

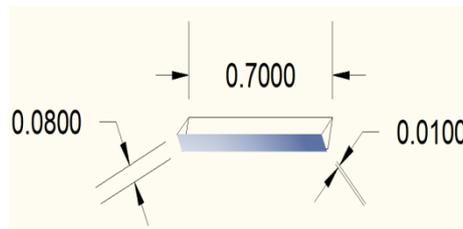
El material de la bandeja se selecciona de acero, para el cual se conoce:

$$\gamma \quad : \quad 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$C_a \quad : \quad 0.12 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ C = 9.7^\circ C = 282.85^\circ K$$

Para el cálculo del volumen de los alojamientos de los huevos se toma en cuenta las dimensiones que se observan en la figura.



El volumen de los alojamientos se calcula tomando en cuenta una sola lámina de la siguiente forma:

$$V_a = b * h * e \quad \text{Ecuación e.4}$$

$$V_a = 0.70m * 0.08m * 0.0015875m$$

$$V_a = 0.0000889m^3 = 88.9cm^3$$

Pero como ya se explico anteriormente existen 41 láminas para lo que nos quedaría el volumen total:

$$V_a * 41 \quad \text{Ecuación e.5}$$

$$V_a = 3685.9cm^3$$

El peso de la bandeja será:

$$G_a = V_a * \gamma \quad \text{Ecuación e.6}$$

$$G_a = 3685.9cm^3 * 0.00785 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$G_a = 28.93Kg$$

El calor perdido en los alojamientos se calcula de la siguiente forma:

$$Q_a = 28.93Kg * 0.12 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K} * 282.85^\circ K$$

$$Q_a = 981.94Kcal$$

Si dividimos para el tiempo de permanencia de los huevos en la incubadora, que es de 504 h nos queda:

$$Q_{aT} = \frac{Q_a}{t} \gamma \quad \text{Ecuación e.7}$$

$$Q_{aT} = \frac{981.94KcalKcal}{504h}$$

$$Q_{aT} = 1.95 \frac{Kcal}{h}$$

f.1.1.4. Calor perdido en las bandejas nacedoras.

Los huevos después de 18 días se pasan desde los alojamientos a las bandejas nacedoras que en este caso son dos, aquí permanecen por un tiempo de 3 días con una temperatura de 35.5°C.

$$Q_b = G_b * C_b(T_2 - T_1) \gamma \quad \text{Ecuación e.8}$$

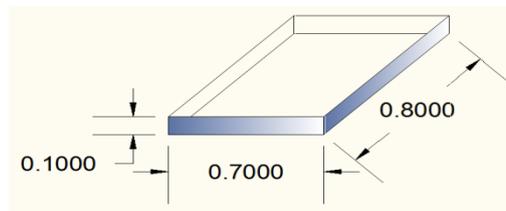
El material para su construcción es el mismo con el que se construirá los alojamientos para el cual se conoce:

$$\gamma \quad : \quad 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$C_b \quad : \quad 0.12 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ C = 9.7^\circ C = 282.85^\circ K$$

Para el cálculo del volumen de las bandejas se toma en cuenta las dimensiones que se observan en la figura:



El volumen de las bandejas se calcula de la siguiente forma:

$$V_b = a * l * h \quad \gamma \quad \text{Ecuación e.9}$$

$$V_b = 0.70m * 0.80m * 0.10m$$

$$V_b = 0.056m^3 = 56000cm^3$$

Pero como son 2 bandejas entonces se tiene:

$$V_b * 2$$

$$V_b = 56000cm^3 * 2$$

$$V_b = 112000cm^3$$

El peso de la bandeja será:

$$G_b = V_b * \gamma \quad \text{Ecuación e.10}$$

$$G_b = 112000cm^3 * 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$G_b = 884.8Kg$$

El calor perdido en las bandejas se calcula de la siguiente forma:

$$Q_b = 884.8Kg * 0.12 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K} * 282.85^\circ K$$

$$Q_b = 30031.88Kcal$$

Si dividimos para el tiempo de permanencia de los huevos en la incubadora, que es de 504 h nos queda:

$$Q_{bT} = \frac{Q_b}{t} \quad \text{Ecuación e.11}$$

$$Q_{bT} = \frac{30031.88Kcal}{t504h}$$

$$Q_{bT} = 59.59 \frac{Kcal}{h}$$

f.1.1.5. Calor perdido en el depósito de agua.

El depósito de agua sirve para controlar el nivel de humedad dentro de la incubadora el material con que será construida es el mismo de las bandejas nacedoras, para lo que se tiene:

$$Q_c = G_c * C_c(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación e.12}$$

$$\gamma \quad : \quad 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$C_c \quad : \quad 0.12 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ C = 9.7^\circ C = 282.85^\circ K$$

Para el cálculo del volumen del depósito de agua se toma en cuenta las mismas dimensiones de la nacedora para lo que tenemos, $V_c = 0.056m^3 = 56000cm^3$

El peso del depósito será:

$$G_c = V_c * \gamma \quad \text{Ecuación e.13}$$

$$G_c = 56000 * 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$G_c = 442.4Kg$$

El calor perdido en las bandejas se calcula de la siguiente forma:

$$Q_c = 442.4Kg * 0.12 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K} * 282.85^\circ K$$

$$Q_c = 15015.94Kcal$$

Si dividimos para el tiempo de permanencia de los huevos en la incubadora, que es de 504 h nos queda:

$$Q_{cT} = \frac{Q_c}{t} \quad \text{Ecuación e.14}$$

$$Q_{cT} = 29.79 \frac{Kcal}{h}$$

Ahora el agua que va a estar alojada en el depósito también interviene en la pérdida de calor de la incubadora para lo que tenemos:

$$Q_{ag} = G_{ag} * C_{ag}(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación e.15}$$

$$\gamma: \quad 0.000993 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$C_{ag}: \quad 0.00363 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ C = 9.7^\circ C = 282.85^\circ K$$

El total de agua que se ingresará en el depósito será de $V_d = 0.028m^3 = 28000cm^3 = 28lit$

El peso del agua será:

$$G_{ag} = V_{ag} * \gamma \quad \text{Ecuación}$$

e.16

$$G_{ag} = 28000cm^3 * 0.000993 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$G_{ag} = 27.8Kg$$

El calor perdido se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{ag} = 27.8Kg * 0.00363 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K} * 282.85^\circ K$$

$$Q_{ag} = 28.55Kcal$$

Si dividimos para el tiempo operación de la incubadora, que es de 504 h nos queda:

$$Q_{agT} = \frac{Q_{ag}}{t} \quad \text{Ecuación e.17}$$

$$Q_{ag} = 0.0566 \frac{Kcal}{h}$$

f.1.1.6. Calor perdido al calentar el aire que puede entrar en la cámara de la Incubadora

El aire que pueda eventualmente penetrar en la cámara de la incubadora, consume parte del calor generado para proporcionar el calor a los huevos; este se calcula por la siguiente expresión:

$$Q_{ai} = 60 \times 10^3 * b * h * \sqrt{h} * \Delta f \quad \text{Ecuación e.18}$$

e.18

Dónde:

$b =$ Ancho de la puerta. De acuerdo al cálculo geométrico, $b = 1.70m$

$h =$ Altura de la puerta. En nuestro caso, $h = 1.30m$

$\Delta f =$ Tiempo de entrada de aire. Se considera $\Delta f = 0.05h$

$$Q_{ai} = 60 \times 10^3 * 0.70m * 1.30m * \sqrt{1.30m} * 0.05h$$

$$Q_{ai} = 3112.68 \frac{Kcal}{h}$$

f.1.1.7. Calor perdido por irradiación a través de la abertura cuando la incubadora se carga y descarga:

Durante el tiempo que la puerta de la incubadora permanece abierta que es en el momento en que se pasan los huevos de los alojamientos hacia las nacedoras, se produce pérdida de calor por irradiación; esta se calcula de la siguiente forma:

$$Q_i = 4.9 \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right] A * \theta * \Delta f \quad \text{Ecuación e.19}$$

Dónde:

T_i = Temperatura interior del horno. En nuestro caso, $T_i = 37.7^\circ\text{C} = 310.52^\circ\text{K}$

A = Área de la puerta abierta. Conocido que las dimensiones de la puerta de carga de la incubadora es de (0.90x1.30) m, entonces el área será:

$$A = 0.90\text{m} * 1.30\text{m} = 1.17\text{m}^2$$

θ = Coeficiente de diafragma. Para ventanas comunes como es el caso: $\theta = 0,9$

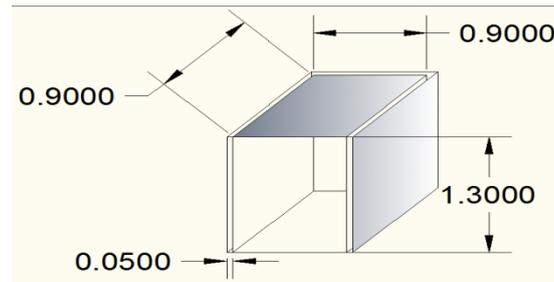
Δf = Tiempo de entrada de aire. En nuestro caso: $\Delta f = 0.5h$

$$Q_i = 4.9 \left[\left(\frac{310.52^\circ\text{K}}{100} \right)^4 \right] 1.17\text{m}^2 * 0.9 * 0.5h$$

$$Q_i = 239.86 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

f.1.1.8. Calor cedido a la plancha metálica de la cámara de la incubadora

La cámara de incubación consta de 6 paredes, 4 de estas tienen por medidas (0.90 x 1.30) metros con un espesor de 1/16 pulgadas (0.0015875m), las otras dos tienen las siguientes medidas (0.90 x 0.95) metros tiene el mismo espesor de las anteriores, serán de acero inoxidable, para lo que tenemos:



$$\gamma \quad : \quad 0.0079 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3}$$

$$C_e \quad : \quad 0.12 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ\text{C} = 9.7^\circ\text{C} = 282.85^\circ\text{K}$$

El calor cedido a la plancha metálica de la cámara de la incubadora, se calcula por la expresión siguiente:

$$Q_e = G_e * C_e (T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación e.20}$$

La plancha metálica se somete a una diferencia de temperatura dada por la temperatura de funcionamiento del horno con respecto a la temperatura ambiente:

$$T_1 - T_2 = 9.7 \text{ } ^\circ\text{C} = 282.85 \text{ } ^\circ\text{K}$$

El volumen total de las planchas de la cámara viene definido por el volumen de las paredes laterales y de las paredes superior e inferior:

Paredes Laterales:

$$V_1 = l * h * e \quad \text{Ecuación e.21}$$

$$V_1 = 3.60\text{m} * 1.30\text{m} * 0.0015875\text{m}$$

$$V_1 = 0.007429\text{m}^3$$

Paredes superior e inferior:

$$V_2 = l * h * e e \quad \text{Ecuación e.22}$$

$$V_2 = 1.80\text{m} * 0.90 * 0.0015875\text{m}$$

$$V_2 = 0.002571m^3$$

El volumen total de las planchas de la cámara será:

$$V_T = V_1 + V_2 \quad \text{Ecuación e.23}$$

$$V_T = 0.007429m^3 + 0.002571m^3$$

$$V_T = 0.010m^3 = 10000cm^3$$

El peso de la plancha metálica que separa ambas cámaras será:

$$G_e = V_T * \gamma_e \quad \text{Ecuación e.24}$$

$$G_e = 10000cm^3 * 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$G_e = 79Kg$$

El calor cedido a la plancha metálica de la cámara del horno será entonces:

$$Q_e = 79Kg * 0.12 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K} (282.85^\circ K)$$

$$Q_e = 2681.42Kcal$$

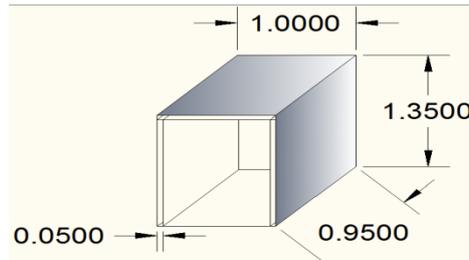
Si dividimos por el tiempo de de trabajo (t = 504 h)

$$Q_{eT} = \frac{Q_e T}{t} \quad \text{Ecuación e.25}$$

$$Q_{eT} = 5.32 \frac{Kcal}{h}$$

f.1.1.9. Calor cedido a la plancha metálica de la cámara de combustión

Realizamos los pasos realizados en la cámara de incubación, consta de 4 paredes, las 2 laterales y la posterior tienen por medidas (2.90 x 1.35) metros con un espesor de 1/16 pulgadas (0.0015875m), la superior con medidas de (1.00 x 0.95) con el mismo espesor, serán de acero inoxidable, para lo que tenemos:



$$\gamma \quad : \quad 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$C_d \quad : \quad 0.12 \frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ K}$$

$$T_2 - T_1 = (37.7 - 28)^\circ C = 9.7^\circ C = 282.85^\circ K$$

El calor cedido a la plancha metálica de la cámara del horno, se calcula por la expresión siguiente:

$$Q_d = G_d * C_d (T_2 - T_1) e \quad \text{Ecuación e.26}$$

La plancha metálica se somete a una diferencia de temperatura dada por la temperatura de funcionamiento del horno con respecto a la temperatura ambiente:

$$T_1 - T_2 = 9.7 \text{ } ^\circ C = 282.85 \text{ } ^\circ K$$

El volumen total de las planchas de la cámara viene definido por el volumen de las paredes laterales y de las paredes superior e inferior:

Paredes Laterales y posterior:

$$V_1 = l * h * e \quad \text{Ecuación e.27}$$

$$V_1 = 2.90m * 1.35m * 0.0015875m$$

$$V_1 = 0.006215m^3$$

Pared Superior:

$$V_2 = l * h * e \quad \text{Ecuación e.28}$$

$$V_2 = 1.00m * 0.95 * 0.0015875m$$

$$V_2 = 0.001508m^3$$

Pared Inferior:

Para este valor le vamos a restar el volumen total de la plancha inferior que tiene por medidas (1.00 x 0.95), de la plancha inferior de la cámara de incubación con medidas (0.90 x 0.90), las dos poseen el mismo espesor que en los casos anteriores, para lo que tenemos:

$$V_{3-1} = l * h * e \quad \text{Ecuación e.29}$$

$$V_{3-1} = 1.00m * 0.95 * 0.0015875m$$

$$V_{3-1} = 0.001508m^3$$

$$V_{3-2} = l * h * e \quad \text{Ecuación e.30}$$

$$V_{3-2} = 0.90m * 0.90 * 0.0015875m$$

$$V_{3-2} = 0.001285m^3$$

Restando las dos tenemos:

$$V_3 = V_{3-1} - V_{3-2} \quad \text{Ecuación e.31}$$

$$V_3 = 0.001508m^3 - 0.001285m^3$$

$$V_3 = 0.0002221m^3$$

El volumen total de las planchas de la cámara será:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \quad \text{Ecuación e.32}$$

$$V_T = 0.006215m^3 + 0.001508m^3 + 0.0002221m^3$$

$$V_T = 0.007945m^3 = 7945cm^3$$

El peso de la plancha metálica que separa ambas cámaras será:

$$G_d = V_T * \gamma \quad \text{Ecuación e.33}$$

$$G_d = 7945cm^3 * 0.0079 \frac{Kg}{cm^3}$$

$$G_d = 62.76Kg$$

El calor cedido a la plancha metálica de la cámara del horno será entonces:

$$Q_d = 62.76Kg * 0.12 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ K} (282.85^\circ K)$$

$$Q_d = 2130.38Kcal$$

Si dividimos por el tiempo de de trabajo (t = 504 h)

$$Q_{dT} = \frac{Q_d}{t}$$

Ecuación e.34

$$Q_{dT} = 4.23 \frac{Kcal}{h}$$

f.1.1.10. Calor cedido a las esquinas de la cámara de combustión y de la cámara de la incubadora

Tanto en la cámara de combustión como en la de incubadora tenemos 8 esquinas para lo que necesitamos un factor de forma:

$$F_e = 0.15e$$

$$e = \text{Espesor}(0.0015875\text{m})$$

Calor cedido en las esquinas de las paredes de la cámara de combustión:

$$Q_{es1} = K * F_e * \Delta T \quad \text{Ecuación e.35}$$

$$Q_{es1} = 43 \frac{W}{m \cdot ^\circ K} * (0.15 * 0.0015875\text{m}) * 282.85^\circ K$$

$$Q_{es1} = 2.89W$$

Transformando tenemos:

$$Q_{es1} = 2.89W * \frac{2.39 \times 10^{-4} \frac{Kcal}{seg}}{1W} * \frac{3600seg}{1h}$$

$$Q_{es1} = 2.49 \frac{Kcal}{h}$$

Calor cedido en las esquinas de las paredes de la cámara de la incubadora:

$$Q_{es2} = K * F_e * \Delta T \quad \text{Ecuación e.36}$$

$$Q_{es2} = 43 \frac{W}{m \cdot ^\circ K} * (0.15 * 0.0015875\text{m}) * 282.85^\circ K$$

$$Q_{es2} = 2.89W$$

Transformando tenemos:

$$Q_{es2} = 2.89W * \frac{2.39 \times 10^{-4} \frac{Kcal}{seg}}{1W} * \frac{3600seg}{1h}$$

$$Q_{es2} = 2.49 \frac{Kcal}{h}$$

Ahora encontramos el calor total cedido en las esquinas de la incubadora

$$Q_{es} = Q_{es1} + Q_{es2} \quad \text{Ecuación e.37}$$

$$Q_{es} = 2.49 \frac{Kcal}{h} + 2.49 \frac{Kcal}{h}$$

$$Q_{es} = 4.98 \frac{Kcal}{h}$$

f.1.1.11. Balance térmico.

El calor total que se pierde durante el funcionamiento de la incubadora será:

$$Q_T = Q_h + Q_a + Q_b + Q_c + Q_{ag} + Q_{ai} + Q_i + Q_e + Q_d + Q_{es} \quad \text{Ecuación e.38}$$

$$Q_T = 12.24 \frac{Kcal}{h} + 1.95 \frac{Kcal}{h} + 59.59 \frac{Kcal}{h} + 29.79 \frac{Kcal}{h} + 0.0566 \frac{Kcal}{h} + 3112.68 \frac{Kcal}{h} + 239.86 \frac{Kcal}{h} + 5.32 \frac{Kcal}{h} + 4.23 \frac{Kcal}{h} + 4.98 \frac{Kcal}{h}$$

$$Q_T = 3470.69 \frac{Kcal}{h}$$

Ahora queremos saber la cantidad de biogás que se va a necesitar en los 21 días del proceso de incubación para lo que partimos del poder calorífico del biogás que es de $25 \text{ MJ}/\text{m}^3$ transformados:

$$25 \frac{MJ}{m^3} = 25 \times 10^6 \frac{J}{m^3} \quad \text{Ecuación e.39}$$

Ahora:

$$Q_T = 3470.69 \frac{Kcal}{h} * \frac{KJ}{0.2388458966Kcal} * \frac{1000J}{KJ} * \frac{24h}{1día}$$

$$Q_T = 348746700.6 \frac{J}{día}$$

Encontrando la relación con el poder calorífico del biogás tenemos el consumo de biogás:

$$C_{biogas} = \frac{Q_T}{25 \times 10^6 \frac{J}{m^3}} \quad \text{Ecuación e.40}$$

$$C_{biogas} = \frac{348746700.6 \frac{J}{día}}{25 \times 10^6 \frac{J}{m^3}}$$

$$C_{biogas} = 13.94 \frac{m^3}{día}$$

f.1.2. Requerimiento de demanda de biogás para la cocina.

Para esta demanda consideramos lo expuesto en el capítulo anterior tomando en cuenta las necesidades de la granja en lo concerniente a la calefacción de 300litros de agua a 60°C, para esto utilizamos la Ecuación e.41 y Ecuación e.42:

$$300lit * \frac{1kcal}{1°C*1lit} * (60 - 15)°C = (800 * 45)kcal = 13500kcal$$

$$CBIO_{cocina} = 13500kcal * \frac{1m^3}{25 \times 10^6 J} * \frac{4.186kJ}{1kcal}$$

$$CBIO_{cocina} = 2.26 \frac{m^3}{día}$$

f.1.3. DEMANDA TOTAL DE CONSUMO DE BIOGAS:

Aquí sumamos las demandas de consumo de la incubadora y de la cocina al día mediante la Ecuación e.43:

$$CBIO_T = CBIO_{incu} + CBIO_{cocina}$$

$$CBIO_T = 13.94 \frac{m^3}{día} + 2.26 \frac{m^3}{día}$$

$$CBIO_T = 16.2 \frac{m^3}{día}$$

La demanda de biogás que necesita la granja al día es de:

$$CBIO_T = 16.2 \frac{m^3}{día}$$

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 lodos digeridos desalojados del digestor será menor, así tenemos:

$$C_{BIO} = VS_g * 300 \frac{lit}{kg}$$

$$VS_g = \frac{CBIO_T}{300 \frac{\text{lit}}{\text{Kg}}}$$

$$VS_g = \frac{16.2 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}}{0.3 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}}$$

$$VS_g = 54 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

Ahora vamos a encontrar los sólidos volátiles totales, partiendo de la producción que posee cada uno de los animales existentes en la granja obtenidos de la tabla (e.1), con la cantidad de los mismos de la tabla (e.2), con lo que el total es la sumatoria de todos los sólidos volátiles de los diferentes animales que existen en la granja para esto tenemos:

$$VSt = VSc + VSca + VSco + VScu + VSv + VSg + VSp$$

$$VSt = 8.5Kg + 9.2Kg + 12Kg + 12Kg + 10Kg + 17Kg + 9.1Kg$$

$$VSt = 77.8Kg$$

El valor VSt en Kg por cada 1000Kg de peso obtenido lo multiplicamos por la cantidad total de estiércol por día Tt y obtenemos el contenido total de sólidos volátiles total VS_g , a través de la siguiente ecuación:

$$VS_g = Tt \cdot \frac{VSt}{1000Kg}$$

$$Tt = \frac{VS_g * 1000Kg}{VSt}$$

$$Tt = \frac{54 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}} * 1000Kg}{77.8Kg}$$

$$Tt = 694.08Kg$$

Obtenido la cantidad total de excretas por día para la obtención de la demanda de biogás, procedemos a encontrar el valor total de excretas de acuerdo a la cantidad y variedad de animales existentes en la granja para luego proceder a comparar con el resultado obtenido anteriormente.

Lo que nos va a permitir realizar la comparación de los mismos, además de las medidas finales del biodigestor:

f.2. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL BIODIGESTOR

f.2.1. Peso Total de Cada Animal.

Aplicando la Ecuación e.44 y utilizando los datos especificados en la Tabla e.1 y e.2 del Capítulo e, obtenemos el peso total de cada animal:

Cerdos:

$$W_c = 70Kg$$

$$W_{ct} = W_c * 15$$

$$W_{ct} = 70Kg * 15$$

$$W_{ct} = 1.5 \times 10^3 Kg$$

Cabras:

$$W_{ca} = 60Kg$$

$$W_{cat} = W_{ca} * 24$$

$$W_{cat} = 60Kg * 24$$

$$W_{cat} = 1.44 \times 10^3 Kg$$

Conejos:

$$W_{co} = 2Kg$$

$$W_{cot} = W_{co} * 5$$

$$W_{cot} = 2Kg * 5$$

$$W_{cot} = 10Kg$$

Cuyes:

$$W_{cu} = 1.8Kg$$

$$W_{cut} = W_{cu} * 200$$

$$W_{cut} = 1.8Kg * 200$$

$$W_{cut} = 360Kg$$

Vacas:

$$W_v = 500Kg$$

$$W_{vt} = W_v * 8$$

$$W_{vt} = 500Kg * 8$$

$$W_{vt} = 4 \times 10^3 Kg$$

Gallinas:

$$W_g = 2.2Kg$$

$$W_{gt} = W_g * 700$$

$$W_{gt} = 2.2Kg * 700$$

$$W_{gt} = 1.54 \times 10^3 Kg$$

Pavos:

$$Wp = 8Kg$$

$$Wpt = 8Kg * 80$$

$$Wpt = 640Kg$$

f.2.2. Cantidad Total de Estiércol por Día (Tt).

Aplicando la Ecuación e.45 y utilizando los datos especificados en la Tabla e.1, obtenemos la cantidad total de estiércol por día de cada animal:

Cerdos:

$$Tc = Wct * \frac{84Kg}{1000Kg}$$

$$Tc = 1.05 \times 10^3 * \frac{84Kg}{1000Kg}$$

$$Tc = 82.8Kg/dia$$

Cabras:

$$Ta = Wcat * \frac{40Kg}{1000Kg}$$

$$Ta = 1.44 \times 10^3 * \frac{40Kg}{1000Kg}$$

$$Ta = 57.6Kg/dia$$

Conejos:

$$Tc = Wct * \frac{64Kg}{1000Kg}$$

$$Tc = 10 * \frac{64Kg}{1000Kg}$$

$$Tc = 0.64Kg/dia$$

Cuyes:

$$Tcu = Wcut * \frac{64Kg}{1000Kg}$$

$$Tcu = 360 * \frac{64Kg}{1000Kg}$$

$$Tcu = 23.04Kg/dia$$

Vacas:

$$Tv = Wvt * \frac{86Kg}{1000Kg}$$

$$Tv = 4 \times 10^3 * \frac{86Kg}{1000Kg}$$

$$Tv = 344Kg/dia$$

Gallinas:

$$Tg = Wgt * \frac{85Kg}{1000Kg}$$

$$Tg = 1.54 \times 10^3 * \frac{85Kg}{1000Kg}$$

$$Tg = 130.9Kg/dia$$

Pavos:

$$Tp = W_{pt} * \frac{47Kg}{1000Kg}$$

$$Tp = 640 * \frac{47Kg}{1000Kg}$$

$$Tc = 30.08Kg/dia$$

Utilizamos la Ecuación e.46 y obtenemos la cantidad total de estiércol por día:

(Tt) Total:

$$Tt = Tc + Tca + Tco + Tcu + Tv + Tg + Tp$$

$$Tt = 82.8Kg + 57.6Kg + 0.64Kg + 23.04Kg + 344Kg + 130.9Kg + 30.08Kg$$

$$Tt = 644.76Kg$$

f.2.3. Contenido Total de Sólidos (TSt)

Aplicando la Ecuación e.47 y utilizando los datos especificados en la Tabla e.1, obtenemos el contenido total de sólidos de cada animal:

Cerdos:

$$TSc = W_{ct} * \frac{11Kg}{1000Kg}$$

$$TSc = 1.05 \times 10^3 * \frac{11Kg}{1000Kg}$$

$$TSc = 11.55Kg$$

Cabras:

$$TSca = W_{cat} * \frac{11Kg}{1000Kg}$$

$$TSca = 1.44 \times 10^3 * \frac{11Kg}{1000Kg}$$

$$TSca = 15.84Kg$$

Conejos:

$$TSco = W_{cot} * \frac{16Kg}{1000Kg}$$

$$TSco = 10 * \frac{16Kg}{1000Kg}$$

$$TSco = 0.16Kg$$

Cuyes:

$$TScu = W_{cut} * \frac{16Kg}{1000Kg}$$

$$TScu = 360 * \frac{16Kg}{1000Kg}$$

$$TSc = 5.76Kg$$

Vacas:

$$TSv = W_{vt} * \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$TSv = 4 \times 10^3 * \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$TSv = 48Kg$$

Gallinas:

$$TSg = W_{gt} * \frac{22Kg}{1000Kg}$$

$$TSg = 1.54 \times 10^3 * \frac{22Kg}{1000Kg}$$

$$TSg = 33.88Kg$$

Pavos:

$$TSp = W_{pt} * \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$TSp = 640 * \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$TSp = 7.68Kg$$

Utilizamos la Ecuación e.48 para obtener el contenido total de sólidos por día:

(TSt) Total:

$$TSt = TSc + TSca + TSco + TScu + TSv + TSg + TSp$$

$$TSt = 11.55Kg + 15.84Kg + 0.16Kg + 5.76Kg + 48Kg + 33.88Kg + 7.68Kg$$

$$TSt = 122.87 Kg/dia$$

f.2.4. Contenido de Sólidos Volátiles (VS)

Aplicando la Ecuación e.49 y utilizando los datos especificados en la Tabla e.1, obtenemos el contenido total de sólidos volátiles de cada animal:

Cerdos:

$$VSc = Wct * \frac{8.5Kg}{1000Kg}$$

$$VSc = 1.05 \times 10^3 * \frac{8.5Kg}{1000Kg}$$

$$VSc = 8.925Kg$$

Cabras:

$$VSca = Wcat * \frac{9.2Kg}{1000Kg}$$

$$VSca = 1.44 \times 10^3 * \frac{9.2Kg}{1000Kg}$$

$$VSca = 13.248Kg$$

Conejos:

$$VSco = Wcot * \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$VSco = 10 * \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$VSco = 0.12Kg$$

Cuyes:

$$VScu = Wcut * \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$VScu = 360 * \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$VSc = 4.32Kg$$

Vacas:

$$VSpv = Wvt * \frac{10Kg}{1000Kg}$$

$$VSpv = 4 \times 10^3 * \frac{10Kg}{1000Kg}$$

$$VSpv = 40Kg$$

Gallinas:

$$VSp = Wgt * \frac{17Kg}{1000Kg}$$

$$VSp = 1.54 \times 10^3 * \frac{17Kg}{1000Kg}$$

$$VSp = 26.18Kg$$

Pavos:

$$VSp = Wpt * \frac{9.1Kg}{1000Kg}$$

$$VSp = 640 * \frac{9.1Kg}{1000Kg}$$

$$VSp = 5.824Kg$$

Utilizamos la Ecuación e.50 y obtenemos:

$$VSt = VSc + TSca + VSco + VScu + VSv + VSg + VSp$$

$$VSt = 8.925Kg + 13.248Kg + 0.12Kg + 4.32g + 40Kg + 26.18Kg + 5.824Kg$$

$$VSt = 98.617 Kg/dia$$

Para encontrar el valor de VS general utilizamos la Ecuación 51:

(VS) Total:

$$VS_g = Tt * \frac{VSt}{1000Kg}$$

$$VS_g = 644.76Kg * \frac{98.617Kg/dia}{1000Kg}$$

$$VS_g = 66.513 \frac{Kg}{dia}$$

f.2.5. Potencial de Producción de Metano (BO).

f.2.5.1. Primer Método para la obtención de Metano.

Bajo buenas condiciones, 1Kg de materia seca de desechos orgánicos debe producir casi 300lit de biogás al día ver tabla e.5.

Luego de obtener la cantidad total de sólidos volátiles de todos los animales de la granja procedemos a encontrar la cantidad total de biogás mediante éste método.

Cantidad de Biogás para el primer método.

Para la obtención de biogás producido aplicamos la Ecuación e.52:

$$C_{BIO} = VS_g * 300 \frac{lit}{Kg}$$

$$C_{BIO} = 66.513 \frac{Kg}{dia} * 300 \frac{lit}{Kg}$$

$$C_{BIO} = 19953.9 \frac{lit}{dia} = 19.95m^3/día$$

$$C_{BIO} = 19.95 \frac{m^3}{dia} * \frac{30 dias}{1mes}$$

$$C_{BIO} = 598.5 \frac{m^3}{mes}$$

Dándonos un valor de $19.95m^3$ de Biogás por día.

f.2.5.2. Segundo Método para la obtención de Metano.

Se realiza el cálculo de producción de metano de acuerdo a los diferentes tipos de animales existentes en la granja y su producción del mismo de acuerdo a la tabla e.6. expresada en el capítulo anterior y con la producción de sólidos volátiles de cada animal que se obtuvo mediante la Ecuación e.53. se procede a determinar la cantidad de metano para cada tipo de animal con su respectivo valor.

Con lo que se obtiene:

Residuo Orgánico	Sólidos Volátiles (Kg)	BO[m ³ CH ₄ /KgVS]día	TOTAL m ³ /KgSV
Vaca	40	0.2	8
Chanco	8.925	0.45	4
Gallinas	26.18	0.39	10.21
Conejo +Cuy	0.12+4.32	0.06	0.26
Caprinos	13.248	0.1	2.32
Pavos	5.824	0.40	1.32
Sumatoria TOTAL			26.126

Mientras que para el **segundo método empleado para la obtención de metano** y posteriormente de biogás se tiene emplean las siguientes ecuaciones:

Ecuación e.53. **Volumen de metano producido (VCH4):**

$$VCH_4 = BO * VS * \left(1 - \frac{K}{U * RT - 1 + K}\right)$$

Donde:

K es la descomposición de los sólidos volátiles en el tiempo y es a dimensional.

U es el crecimiento de producción de metano con el cambio de temperatura por día con una temperatura de 30°C.

Ecuación e.54. $K = 0.6 + 0.0006 * e^{(0.1185 * VS)}$

Ecuación e.55. $U = 0.013 * TC - 0.129$

$$K = 0.6 + 0.0006 * e^{(0.1185 * 66.513)}$$

$$K = 2.18$$

$$U = 0.013 * TC - 0.129$$

$$U = 0.013 * 30 - 0.129$$

$$U = 0.261$$

Volumen de metano producido (VCH4):

$$VCH_4 = BO * VS * \left(1 - \frac{K}{U * RT - 1 + K}\right)$$

$$VCH_4 = \left(26.126 \frac{m^3}{Kg}\right) * \left(1 - \frac{2.18}{0.261 * 30 - 1 + 2.18}\right)$$

$$VCH_4 = \left(26.126 \frac{m^3}{Kg}\right) * (0.53)$$

$$VCH_4 = 13.84m^3$$

Ahora se procede a encontrar la cantidad de biogás formado por un 60% de metano y un 40% de dióxido de carbono producidos por día:

Cantidad de metano:

$$CH_4 = VCH_4$$

$$CH_4 = 13.84m^3$$

Cantidad de CO_2 Ecuación e.56:

$$CO_2 = CH_4 \frac{0.4}{0.6}$$

$$CO_2 = 9.23m^3$$

Cantidad de biogás por día Ecuación e.57:

$$BIO = CH_4 + CO_2$$

$$BIO = 13.84m^3 + 9.23m^3$$

$$BIO = 23.07m^3/día$$

Con lo que mediante el empleo de éste segundo método obtuvimos una cantidad de $23.07m^3/día$ de biogás.

Para nuestro caso tomamos como valor real el obtenido del primer método principalmente por las condiciones que se manejan, porque de la referencia bibliográfica de cual se extrajo es de un biodigestor automatizado y en funcionamiento, mientras que el segundo método no tiene mucha validez debido principalmente que parte con ecuaciones de forma empírica y sin fundamentación técnica teórica.

Lo que nos permite concluir que la producción de biogás del biodigestor por día que fue de $19.95m^3$, suple la necesidad de demanda de biogás para alimentar las aplicaciones complementarias de nuestro proyecto de tesis como son la cocina e incubadora automatizada que fue de $16.2m^3$ lo que permitiría de esta forma suplir varias necesidades existentes en la granja mediante la construcción de los mismos.

Mediante esto podemos concluir que la cantidad de excretas existentes en la granja son más que suficientes para proporcionar la demanda de biogás diaria que existe en la granja.

f.3. CÁLCULO DE LA OBRA CIVIL

f.3.1. Cálculo de la Capacidad del Tanque de Pre-mezcla

Inicialmente se encontrará la cantidad de litros de agua necesarios para realizar una mezcla para conseguir un porcentaje de sólidos de un 8%, que se lo realiza basándonos en la Tabla e.3. tenemos que multiplicar la cantidad de litros de agua que hay que suministrar por cada kilogramo de excretas que se tiene a diario por cada animal que se lo realizó mediante la Ecuación e.2.

Tipo de materia orgánica	Sólidos Totales (%)	Litros de agua por Kilogramo de desecho para la obtención de 8% de sólidos totales (lt/kg)	Cantidad total de excretas/día (kg/día)	Total de (kg)
Estiércol de vaca	20	1.5	344	516
Cerdos	18	1.3	82.81	107.65
Ovejas, cabras	32	3	57.6	172.8
Gallinas, pavos	44	4.5	130.9+30.8	269.5
Conejos, cuyes	30	2.5	0.64+23.04	60.1
			TOTAL	1126.5

Luego de obtener la cantidad de litros necesarios que fue de 1126.5, se procede a sumar la cantidad total de sustrato obtenido diariamente que fue de $Tt = 644.76Kg$ mediante la Ecuación e.3. y obtenemos la cantidad total de mezcla:

$$m = Tt + TOTALkg$$

$$m = 644.76Kg + 1126.5Kg = 1771kg$$

Con lo que el volumen necesario para el tanque de pre-mezcla será de acuerdo a la siguiente Ecuación e.58

$$\delta = \frac{m(\text{Cantidad de estiercol [Kg]})}{vol}$$

Como tenemos las variables como son la cantidad de mezcla que se obtiene diariamente además de la densidad de la mezcla que fue explicada en el capítulo anterior (1145kg/m³), procedemos a encontrar el volumen del tanque de pre-mezcla para luego dimensionarlo por medio de Ecuación e.59.

$$vol = \frac{m(\text{Cantidad de estiercol [Kg]})}{\delta}$$

$$vol = \frac{1771 \text{ [Kg]}}{1145 \text{ kg/m}^3}$$

$$vol = 1.54 \text{ m}^3$$

A continuación utilizamos la Ecuación e.60:

$$F_{seg} = vol * \left(\frac{30}{100}\right)$$

$$F_{seg} = 1.54 \text{ m}^3 * \left(\frac{30}{100}\right)$$

$$F_{seg} = 0.46 \text{ m}^3$$

Aplicando la Ecuación e.61 encontramos la capacidad de llenado o volumen total:

$$vol_T = vol + F_{seg}$$

$$vol_T = 1.54 \text{ m}^3 + 0.46 \text{ m}^3$$

$$vol_T = 2 \text{ m}^3$$

Por cuestiones de diseño consideramos las siguientes dimensiones para el tanque:

Largo [l]: 1.60m Ancho [a]: 1.15m Alto [h]: 1.10m

Aplicando las Ecuaciones (e.62, e.63, e.64) encontramos la cantidad de ladrillos que se empleará por lado:

Alto:

$$H_l = \frac{h}{7cm}$$

$$H_l = \frac{110cm}{7cm}$$

$$H_l = 15.71 \text{ ladrillos}$$

Largo:

$$L_l = \frac{l}{28cm}$$

$$L_l = \frac{160cm}{28cm}$$

$$L_l = 5.71 \text{ ladrillos}$$

Ancho:

$$A_l = \frac{a}{14cm}$$

$$A_l = \frac{115cm}{14cm}$$

$$A_l = 8.2 \text{ ladrillos}$$

Continuando con los cálculos aplicamos las Ecuaciones (e.65, e.66) y encontramos el número total de ladrillos para las paredes:

Paredes 1 y 3:

$$Tl_{13} = (A_l * H_l) * 2$$

$$Tl_{13} = (8.2 * 15.71) * 2$$

$$Tl_{13} = 257.6 \cong 258 \text{ ladrillos}$$

Paredes 2 y 4:

$$Tl_{24} = (L_l * H_l) * 2$$

$$Tl_{24} = (5.71 * 15.71) * 2$$

$$Tl_{24} = 179 \text{ ladrillos}$$

Y el total de ladrillos para todo el tanque se lo encuentra con la Ecuación e.29:

$$Tlm = Tl_{13} + Tl_{24}$$

$$Tlm = 258 + 179$$

$$Tlm = 437 \text{ ladrillos}$$

f.3.2. Cálculo de la Capacidad del Tanque Digestor.

Para hallar el volumen del mismo tenemos que multiplicar la cantidad total de sólidos $TSt = 122.87 \text{ Kg}/\text{dia}$ por la media de disolución de todos los animales de la granja que es de 2.5. y por el tiempo de retención de los mismos.

Para ello aplicamos la Ecuación e.68

$$T_{sus} = val_{med} * TSt$$

$$T_{sus} = 2.5 * 122.87 \text{ kg}$$

$$T_{sus} = 307 \text{ kg}$$

Luego la Ecuación e.69.

$$V_{Tm} = T_{susm} * RT$$

$$V_{Tm} = 307 \text{ kg} * 30$$

$$V_{Tm} = 9210 \text{ kg}$$

Luego de esto utilizamos la Ecuación e.70 de densidad la cual nos permitirá obtener el volumen total y así dimensionar las medidas finales del tanque de biodigestión.

$$\delta = \frac{V_{Tm}(\text{Total de sustrato [Kg]})}{vol}$$

Como tenemos las variables como son la cantidad de estiércol que se obtiene diariamente además de la densidad de la mezcla procedemos a encontrar el volumen del tanque de pre-mezcla para luego dimensionarlo Ecuación e.71.

$$vol = \frac{V_{Tm}(Total\ de\ sustrato\ [Kg])}{\delta}$$

$$vol = \frac{9210\ [Kg]}{1145kg/m^3}$$

$$vol = 8m^3$$

Luego por factores de seguridad aumentamos en un 30% del valor nominal, además de permitir un mayor ingreso de materia en caso de que aumente la cantidad de animales en la granja Ecuación e.72:

$$F_{seg} = vol * \left(\frac{30}{100}\right)$$

$$F_{seg} = 8m^3 * \left(\frac{30}{100}\right)$$

$$F_{seg} = 2.4m^3$$

Con lo que el valor del volumen total del tanque digestor quedará definido por la siguiente expresión Ecuación e.73:

$$vol_{TD} = vol + F_{seg}$$

$$vol_{TD} = 8m^3 + 2.4m^3$$

$$vol_{TD} = 10.4m^3 \cong 11m^3$$

Por cuestiones de diseño consideramos las siguientes dimensiones para el tanque:

Largo [l]: 2.50m Ancho [a]: 2m Alto [h]: 2.20m

Aplicando encontramos la cantidad de ladrillos que se empleará por lado:

Alto:

$$H_l = \frac{h}{7cm}$$

$$H_l = \frac{220cm}{7cm}$$

$$H_l = 31.4 \text{ ladrillos}$$

Largo:

$$L_l = \frac{l}{28cm}$$

$$L_l = \frac{250cm}{28cm}$$

$$L_l = 8.9 \text{ ladrillos}$$

Ancho:

$$A_l = \frac{a}{14cm}$$

$$A_l = \frac{200cm}{14cm}$$

$$A_l = 14.28 \text{ ladrillos}$$

Continuando con los cálculos encontramos el número total de ladrillos para las paredes:

Paredes 1 y 3:

$$Tl_{13} = (A_l * H_l) * 2$$

$$Tl_{13} = (14.28 * 31.4) * 2$$

$$Tl_{13} = 896 \text{ ladrillos}$$

Paredes 2 y 4:

$$Tl_{24} = (L_l * H_l) * 2$$

$$Tl_{24} = (8.9 * 31.4) * 2$$

$$Tl_{24} = 558.9 \cong 559 \text{ ladrillos}$$

Y el total de ladrillos:

$$TlD = Tl_{13} + Tl_{24}$$

$$TlD = 896 + 559$$

$$TlD = 1455 \text{ ladrillos}$$

f.3.2.1. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Biogás

Para este cálculo utilizamos la siguiente relación:

$$VG = \frac{vol_{TD}}{3}$$

$$VG = \frac{11m^3}{3}$$

$$VG = 3.66m^3$$

f.3.3. Cálculo de la Capacidad del Tanque de Evacuación

El tanque de evacuación tendrá la capacidad de almacenar el 70% de la mezcla total del tanque de digestión por lo tanto se utilizará la siguiente Ecuación e.74:

$$vol_{TE} = vol_{TD} * \left(\frac{70}{100}\right)$$

$$vol_{TE} = 11m^3 * 0.7$$

$$vol_{TE} = 7.7m^3 \cong 8m^3$$

Por cuestiones de diseño consideramos las siguientes dimensiones para el tanque:

Largo [l]: 2.40m Ancho [a]: 2.10m Alto [h]: 1.60m

Aplicando las Ecuaciones empleadas en los taques anteriores encontramos la cantidad de ladrillos que serán implementados por lado:

Alto:

$$H_l = \frac{h}{7cm}$$

$$H_l = \frac{160cm}{7cm}$$

$$H_l = 22.85 \text{ ladrillos}$$

Largo:

$$L_l = \frac{l}{28cm}$$

$$L_l = \frac{240cm}{28cm}$$

$$L_l = 8.57 \text{ ladrillos}$$

Ancho:

$$A_l = \frac{a}{14cm}$$

$$A_l = \frac{210cm}{14cm}$$

$$A_l = 15 \text{ ladrillos}$$

Continuando con los cálculos encontramos el número total de ladrillos para las paredes:

Paredes 1 y 3:

$$Tl_{13} = (A_l * H_l) * 2$$

$$Tl_{13} = (15 * 22.85) * 2$$

$$Tl_{13} = 685.5 \cong 686 \text{ ladrillos}$$

Paredes 2 y 4:

$$Tl_{24} = (L_l * H_l) * 2$$

$$Tl_{24} = (8.57 * 21.42) * 2$$

$$Tl_{24} = 367.1 \cong 367 \text{ ladrillos}$$

El total de ladrillos para todo el tanque se lo encuentra con la Ecuación 4.27:

$$Tl = Tl_{13} + Tl_{24}$$

$$Tl = 686 + 367$$

$$Tl = 1053 \text{ ladrillos}$$

Total de ladrillos necesarios para la construcción de los tres tanques principales será:

$$T_T = T_{lm} + T_{LD} + Tl$$

$$T_T = 437 + 1455 + 1053 + T_{lm}$$

$$T_T = 2945 \text{ ladrillos.}$$

f.4. CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AGITACION

Para el cálculo del Área de arrastre de las paletas tomamos la Ecuación e.76:

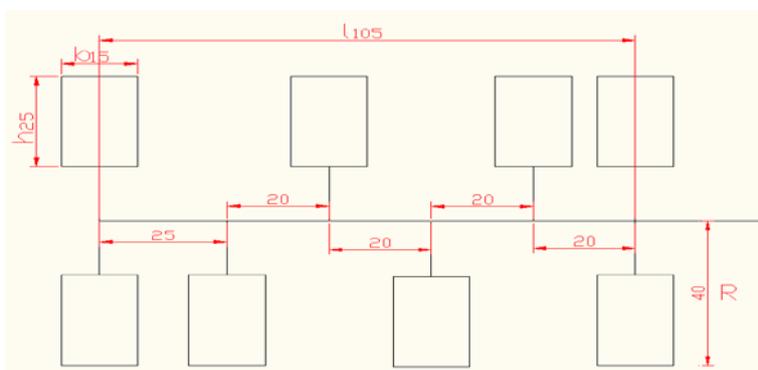


Figura f1. Medidas del Sistema de Agitación Mecánica

Procedemos a encontrar el área total de cada una de las paletas con las expresiones antes mencionadas:

$$b = 15\text{cm} \quad A_p = b * h$$

$$h = 25\text{cm} \quad A_p = 15\text{cm} * 25\text{cm} = 375\text{cm}^2$$

Luego calculamos el área del brazo para cada paleta. Ecuación e.77

$$\emptyset b = \text{Diámetro del brazo} \quad A_b = \emptyset \pi * h$$

$$\emptyset b = 2.54\text{cm} \quad A_b = 2.54\text{cm} * \pi * 15\text{cm} = 119\text{cm}^2$$

Con lo que el Área Total de cada paleta quedará expresada por la Ecuación e.78.

$$AT = A_p + A_b$$

Donde:

$$A_p = \text{Área de la paleta}$$

$$A_b = \text{Área del brazo}$$

Mediante la cual obtenemos el área total para cada una de las paletas:

$$AT = A_p + A_b$$

$$AT = 375\text{cm}^2 + 119\text{cm}^2 = 494\text{cm}^2$$

Ahora el área de arrastre de todo el sistema será igual al área total AT por # de paletas

Ecuación e.79

$$AT_A = AT * \# \text{ de paletas}$$

$$AT_A = 494\text{cm}^2 * 8$$

$$AT_A = 3952\text{cm}^2$$

A continuación deseamos encontrar la energía con que se va a mover la mezcla para esto aplicamos la ecuación de la energía cinética que es aquella que posee un objeto debido a su movimiento. La energía cinética depende de la masa y la velocidad del objeto y se expresa según la ecuación:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

Como densidad es igual a $\delta = \frac{m}{V}$ despejamos masa $m = \delta * V$ reemplazamos.

Del mismo modo sabemos que velocidad es igual a $v = \omega * R$ pero velocidad angular es igual a Ecuación e.80:

$$\omega = \frac{\#rpm * 2\pi}{60},$$

$$\omega = \frac{\#rpm * 2\pi}{60}$$

$$\omega = \frac{25rpm * 2\pi}{60}$$

$$\omega = 2.61rad * seg^{-1}$$

Entonces la velocidad quedará:

$$v = \omega * R$$

Luego encontramos la energía cinética aplicando la Ecuación e.81:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E = \frac{1}{2}(\delta * Vol) * (\omega * R)^2$$

Ahora procedemos a encontrar la potencia requerida para el sistema de agitación utilizando la Ecuación e.81 en (e.82) y nos queda

$$Pot = \frac{E}{t}$$

$$Pot = \frac{\frac{1}{2}(\delta * Vol) * (\omega * R)^2}{t}$$

$$Pot = \frac{1}{2} \left(\delta * \frac{Vol}{t} \right) * (\omega * R)^2$$

Ecuación e.45

Pero como caudal es igual a $Q = \frac{Vol}{t}$ reemplazamos en (e.83), entonces nos quedaría:

$$Pot = \frac{1}{2} * \delta * Q * w^2 * R^2$$

Ecuación e.84

Ahora caudal también se expresa como $Q = v * A$ reemplazando las ecuaciones de velocidad y área tenemos el caudal expresado como $Q = (\omega * R) * (2hR)$

Con esto reemplazamos el caudal en (e.85) y la ecuación para hallar la potencia queda definida por:

$$Pot = \frac{1}{2} * \delta * (\omega * R) * (2hR) * w^2 * R^2$$

$$Pot = \delta * \omega^3 * R^4 * h$$

$$Pot = 1145 \frac{Kg}{m^3} * \left(\frac{2.61rad}{seg}\right)^3 * (0.4m)^4 * 1.05m$$

$$Pot = 547.21 \frac{Kg * m^2}{seg^3}$$

Pero como Newton es $N = \frac{Kg * m}{seg^2}$ tenemos que potencia sería igual a:

$$Pot = 547.21 \frac{N * m}{seg}$$

Ahora Joule es $J = N * m$ entonces la potencia queda expresada por:

$$Pot = 547.21 \frac{J}{seg}$$

Como $\frac{J}{seg}$ es igual Wattio [W] tenemos:

$$Pot = 547.21W$$

Pero deseamos encontrar la potencia en HP, y $1HP = 746W$

$$Pot = 547.21W * \frac{1HP}{746W}$$

$$Pot = 0.74HP \cong 1HP$$

f.5. CALCULO DE LA PRESION EN EL TANQUE DEL DIGESTOR

Para este cálculo tenemos como datos.

$$\delta_{mez} = 1145 \frac{Kg}{m^3}$$

$$g = 9.8 \frac{m}{seg^2}$$

$$h = 0.71m$$

$$h = 0.18m$$

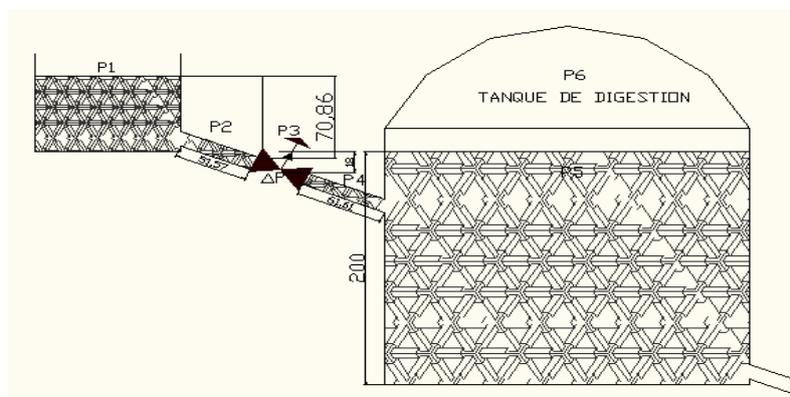


Figura f.2. Para realizar el cálculo de Presión por medio de la ley de gases ideales.

Aplicando la Ecuación e.86 encontramos la presión P_1 que es la presión del fluido:

$$P_1 = \delta * g(h_1 - h_2)$$

$$P_1 = 1145 \frac{Kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{seg^2} * (0.71m - 0.18m)$$

$$P_1 = 5947.13Pa = 0.058atm$$

Para encontrar la presión del biogás que va a ejercer sobre el fluido y la cúpula de polietileno, utilizamos, partiendo de la densidad del biogás que es $\delta = 1.2 Kg/m^3$ y del volumen del biogás obtenido al mes que es de $598.5m^3$, encontramos su masa por medio de :

$$m = \delta * Vol \quad m = \frac{1.2Kg}{m^3} * 598.5m^3 \quad m = 718.2Kg$$

Ahora procedemos a encontrar el número de moles partiendo del peso molecular del biogás que es de $PM = 16 \text{ Kg/Kmol}$, para lo cual utilizamos la Ecuación e.89:

$$\#mol = \frac{m}{PM}$$

$$\#mol = \frac{718.2 \text{Kg}}{\frac{16 \text{Kg}}{\text{Kmol}}}$$

$$\#mol = 44.88 \text{Kmol} = 44.88 \times 10^3 \text{mol}$$

Con este valor de mol procedemos a reemplazar en Ecuación e.90:

$$P = \frac{R*T*\#mol}{Vol}$$

$$P = \frac{0.082 \frac{\text{atm}*\text{lit}}{\text{mol}*K} * 318K * 44.88 \times 10^3 \text{mol}}{598.5 \times 10^3 \text{lit}}$$

$$P = 1.95 \text{atm} = 2 \text{atm} = 30 \text{PSI}$$

f.5.1. CALCULO DE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO.

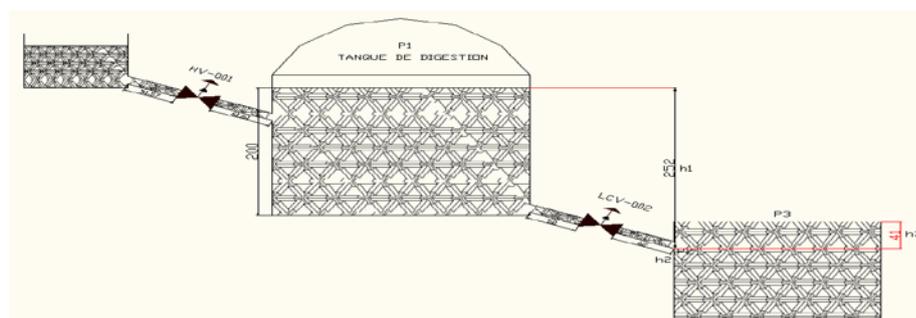


Figura f.3. Para realizar el cálculo de velocidad de desalojo de materia biodigerida hacia el tanque de evacuación

Luego calculamos la velocidad del sustrato con la Ecuación e.91:

$$\frac{P_1}{\gamma} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

La presión P1 es la presión del biogás que fue de 2atm=30PSI, la altura h1 es la altura desde el nivel máximo del tanque digestor hasta el punto de referencia o P2, y la altura h3 es la diferencia entre el nivel máximo del tanque de evacuación hacia el punto de referencia.

Sustituyendo lo anterior se tiene:

P1 = Presión del biogás.

h1 = Altura desde el nivel máximo del tanque digestor hasta el punto de referencia.

h3 = Altura desde el nivel máximo del tanque de evacuación hasta el punto de referencia.

v1 = 0 por encontrarse el liquido del tanque de evacuación en reposo.

v2 = Velocidad del fluido.

Mediante la cual obtenemos:

$$\frac{P_1}{\gamma} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + h_1 + 0 = \frac{P_2}{\gamma} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Finalmente la ecuación para encontrar v2:

$$v_2 = \sqrt{2g \left(\frac{P_1}{\gamma} + h_1 - \frac{P_2}{\gamma} - h_2 \right)}$$

Ecuación e.93

$$\frac{2\text{atm}}{1145 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 2.52\text{m} = \frac{1\text{atm}}{1145 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 0.41\text{m} + \frac{v_2^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$\frac{20664.55 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}{1145 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 2.52\text{m} = \frac{10332.27 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}{1145 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 0.41\text{m} + \frac{v_2^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$18.04\text{m} + 2.52\text{m} = 9.023\text{m} + 0.41\text{m} + \frac{v_2^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$v2^2 = (11.12m) * 19.08 \frac{m}{s^2}$$

$$v2 = \sqrt{220.2 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$v2 = 14.84 \frac{m}{s}$$

La velocidad del fluido en un punto específico fue de $14.84 \frac{m}{s}$

La sección transversal de la tubería que en nuestro caso es de $\phi = 4plg$, está dada por la Ecuación e.94:

$$S = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

$$S = \frac{\pi * (0.127m)^2}{4}$$

$$S = 0.099m^2$$

Luego encontramos el caudal que circula por la tubería aplicando la Ecuación e.95:

$$Q = S * v$$

$$Q = 0.099m^2 * 14.84 \frac{m}{s}$$

$$Q = 1.469 \frac{m^3}{s} * \frac{1000lit}{1m^3}$$

$$Q = 1469 \frac{lit}{s}$$

Para evacuar el 70% del total del sustrato en el interior del digestor luego de los 30 días de retención del mismo utilizamos Ecuación e.96:

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

Para esto despejamos el tiempo, con lo que la ecuación nos queda expresada Ecuación e.97

$$t = \frac{5200lit}{1469\frac{lit}{seg}}$$

$$t = 3.53seg$$

f.6. Dimensiones de la Incubadora

Para el diseño de la incubadora hemos creído conveniente considerar las siguientes materiales y dimensiones, tomando en cuenta que en la granja existes diversas clases de aves y una gran cantidad:

Gabinete: El espesor de sus paredes será de $2mm$ (lámina de acero inoxidable + lámina de acero inoxidable), las dimensiones serán $0.90 m$ de ancho y largo, y $1.20 m$ de alto.

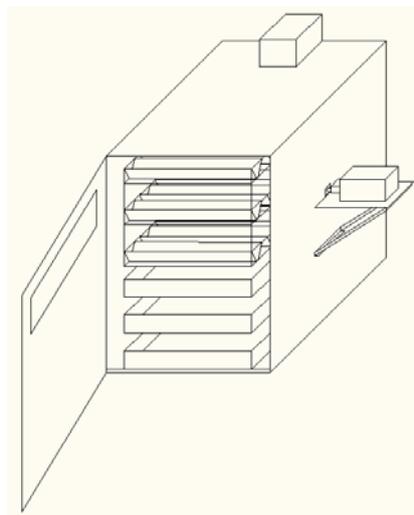


Figura f.1 Incubadora para Huevos

Quemador: Constará de un electrodo que dará el chispazo, del ducto de ingreso del biogás, una electroválvula para controlar el ingreso del carburante, de un filtro para biogás, y de cuatro ductos tipo flauta que distribuirán el calor uniformemente.

Depósito para huevos: Serán construidos de latón, dispuestos de forma tal que formen una V, en su vértice se dejará un espacio de $1 cm$ con la finalidad de que se distribuya el calor.

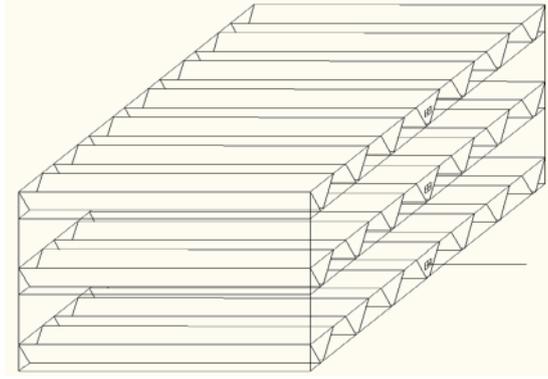


Figura f.2 Canastas para Huevos

Movimiento: Constará de un motor eléctrico, adaptado a un mecanismo biela manivela que permitirá realizar el movimiento de volteo de los depósitos de huevos con un ángulo de 30° .

Nacedoras: Serán dos y sus dimensiones serán de 0.80 m de ancho y largo, y 0.10 m de alto.

Depósito de agua: Tendrá las siguientes dimensiones; 0.90 m de ancho y largo; y 0.10 m de alto, constara de una boya para regular el nivel de agua.

f.7. Proceso de Control de la Incubadora Mediante Logo.

El proceso empieza cuando se presiona el pulsador de inicio I1, mientras que por seguridad se incremento un pulsador de paro denominado I2 el cual sirve para detener el proceso por cualquier falla o eventualidad son de carácter de pulsadores normalmente abiertos conectados a un relé atuenclavador RS (B002), mediante el cual se da inicio al proceso.

f.7.1. Funcionamiento del motor:

Segmentos (1.1, 1.2 y 1.3), volteo de huevos

El sistema de volteo de los huevos lo realizará el motor denominado por su salida o bobina Q1, el mismo que debe funcionar 12 veces al día, por los 18 días que dura la incubación quedando inactivo a partir de este día hasta el día 21 que es el periodo de tiempo que se tendrá que colocar los huevos en la nacedora se lo realiza mediante un temporizador anual que fue configurado para que empiece la incubación del 1 al 18 de cada mes, para lograr las 12 veces de volteo se utilizan los temporizadores diarios

(B003 configurado para actuar a las 2,4,6 horas por el lapso de 1 minuto cada 2 horas, además de estar conectado a un retardo a la conexión que fue programado para que se conecte luego de pasar 40 segundos es decir que dejara que el motor únicamente actué por 20 segundos del minuto que actúan los temporizadores cada hora lo que ocurre de igual forma con todos los demás temporizadores semanales para este segmento), lo que se observa de color rojo es el paso de señal hacia otro dispositivo en este caso el temporizador se encuentra funcionando al igual que el retardo a la conexión lo cual debe transcurrir 40 segundos luego del mismo será emitida la señal al motor para que trabaje los 20 segundos por cada dos horas.

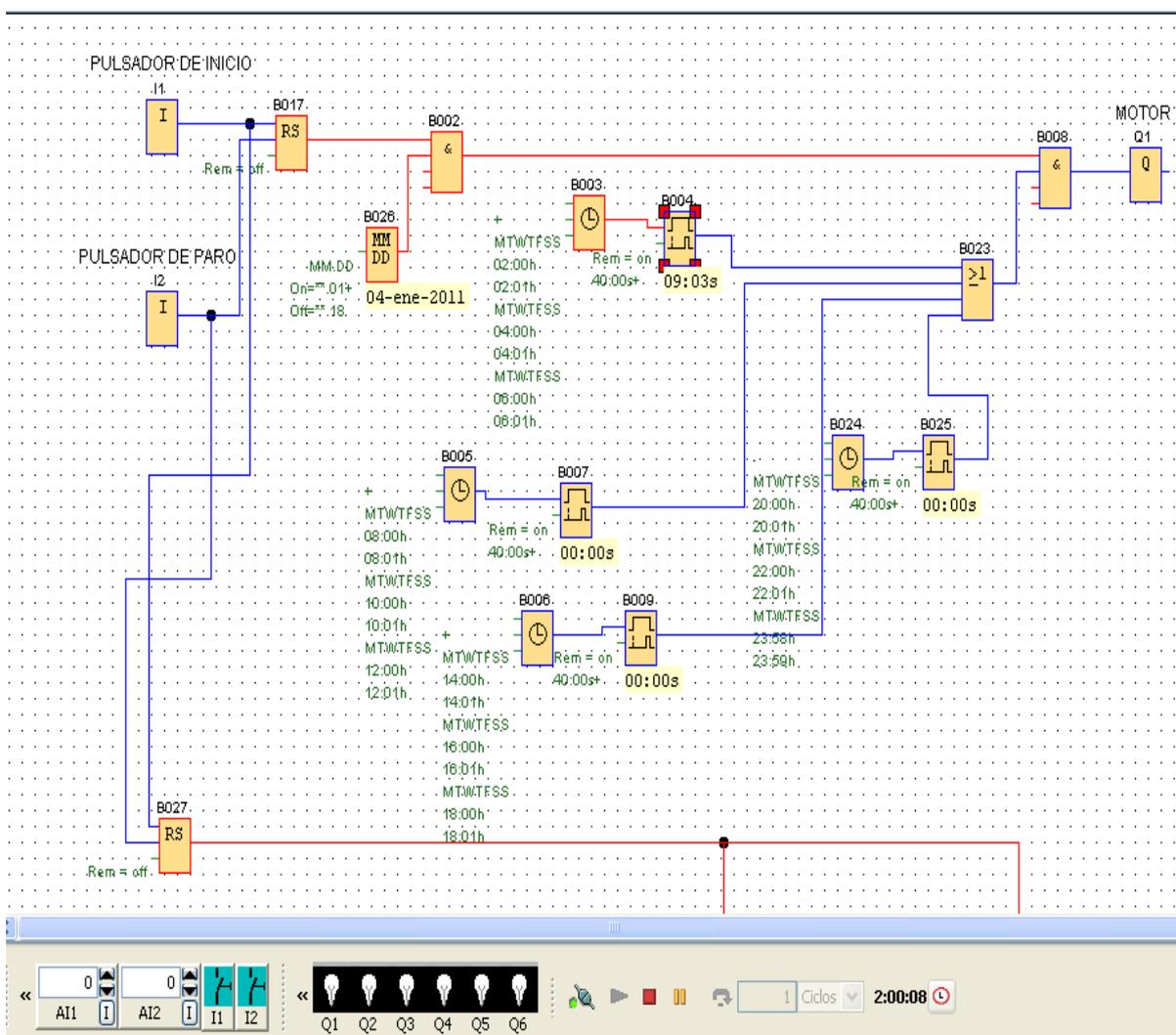


Figura f.3 Simulación, volteo de huevos

Segmento (1. 2)

En este segmento se puede observar que está en funcionamiento el temporizador al igual que el retardo a la conexión que cumplió los 40 segundos que debe esperar para la conexión con lo que dejo paso libre para que funcione el motor por los 20 segundos restantes del minuto asignado para cada temporizador.

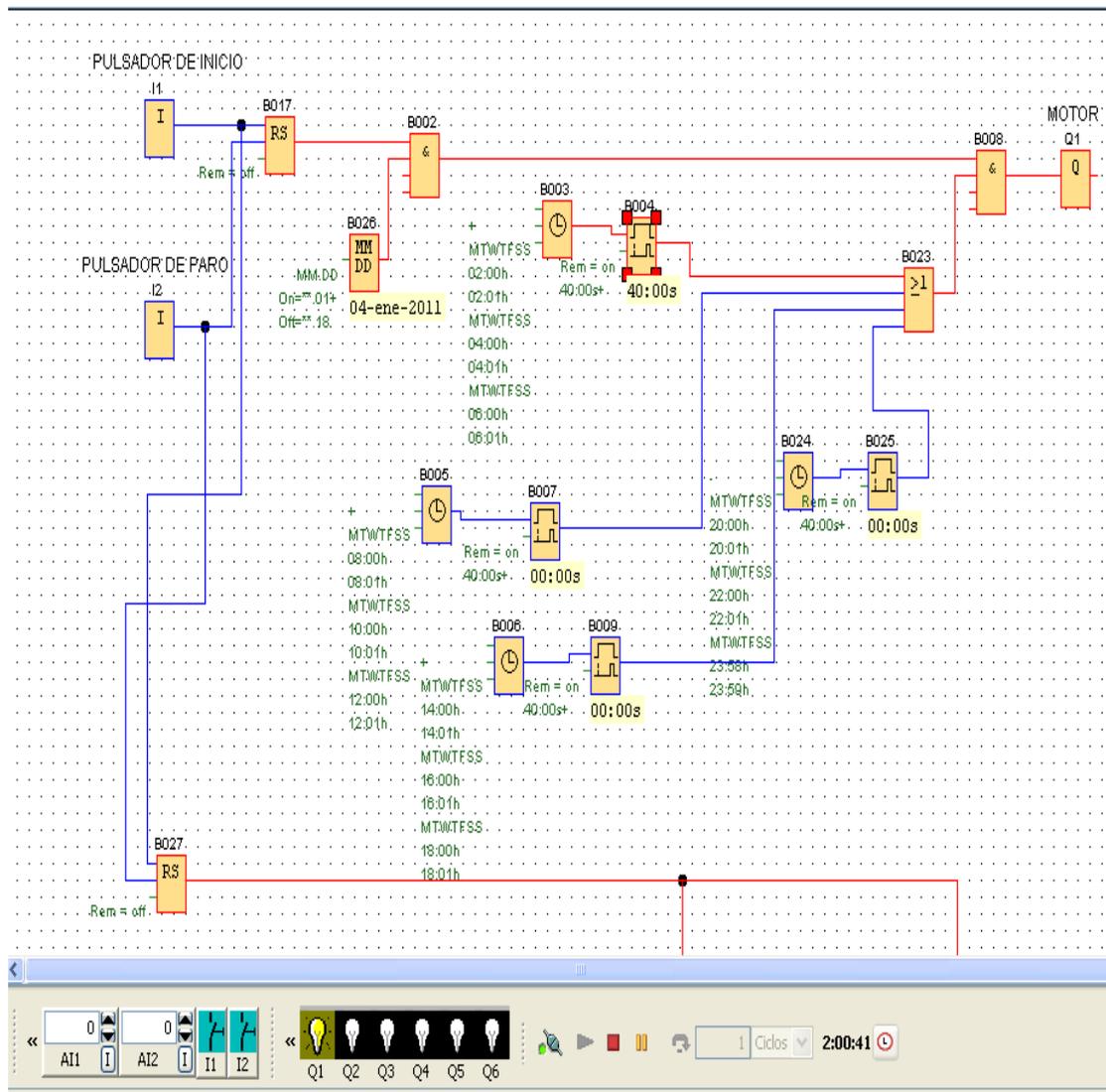


Figura f.4 Simulación, volteo de huevos

Segmento (1.3)

En este se puede observar en la parte inferior de la figura que se completo el tiempo asignado para el temporizador de 1 minuto al igual que los 40 segundos de espera de conexión que da paso al inicio del funcionamiento del motor el cual es de 20 segundos restantes para completar el 1 minuto asignado, es decir paso de las 2h00 a 2h01, lo que ocurrirá cada dos horas por un transcurso de 1 minuto asignado para cada activación de los temporizadores con un tiempo de 20 segundos de actuación del motor.

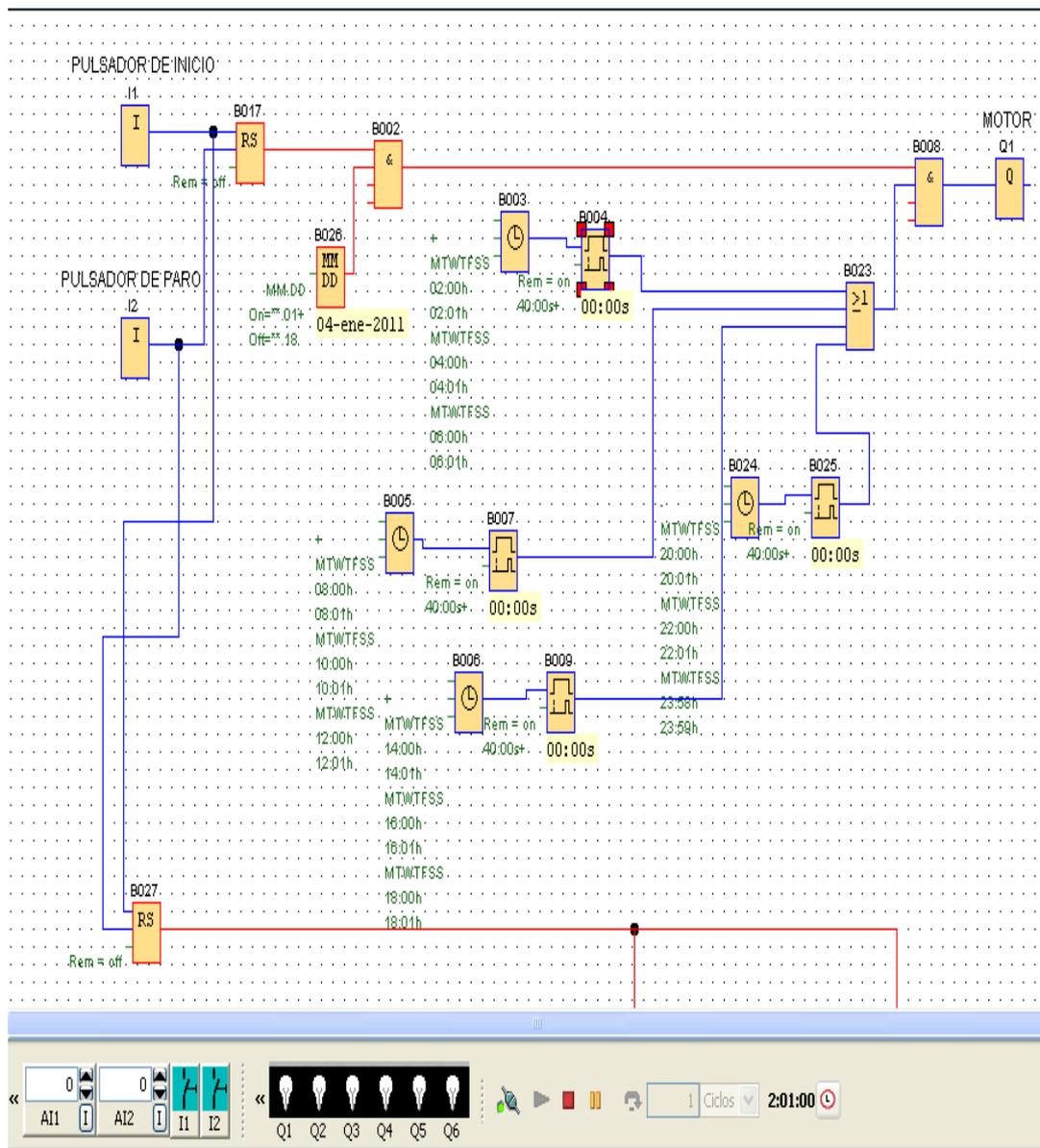


Figura f.5 Simulación, volteo de huevos

f.7.2. Funcionamiento de la electroválvula que suministra el biogás, del ventilador del flujo de aire y del electrodo, mediante un sensor de temperatura.

Segmento (2.1)

Igualmente estará el pulsador de inicio y de paro conectado con un relé autoenclavador que se conecta con el segmento de programación para iniciar o parar todo el proceso.

La programación del sensor de temperatura se encuentra establecido principalmente por una entrada analógica AI1 la cual tiene un rango de (0 a 100)°C, de conmutadores analógicos que sirven para definir el rango que queremos controlar de temporizadores de tipo anual los cuales funcionaran por cada mes que sirven para actuar 18 días del proceso de incubación, luego de esto actuara otro temporizador anual pero entrará en funcionamiento a partir del día 18 hasta el 21 tiempo que han sido depositados los huevos en la nacedora donde debe mantenerse una temperatura más baja que la de la incubación.

En el primer caso cuando la incubación es del a partir del 1 al día 17h59min59seg, la temperatura debe estar a 37.7°C es decir a los 38°C, con lo que se observa en la figura cuando la temperatura baja a 37° se activará el electrodo el cual sirve para dar el chispazo al biogás, además de que se abre la electroválvula produciéndose así el flujo de calor para incrementar la temperatura hasta los 38°C, además de esto se activara la salida a la cual estará conectada un ventilador de 12V denominado de flujo de calor que se activa por la misma cantidad de tiempo con la electroválvula para que circule el aire por toda la incubadora.

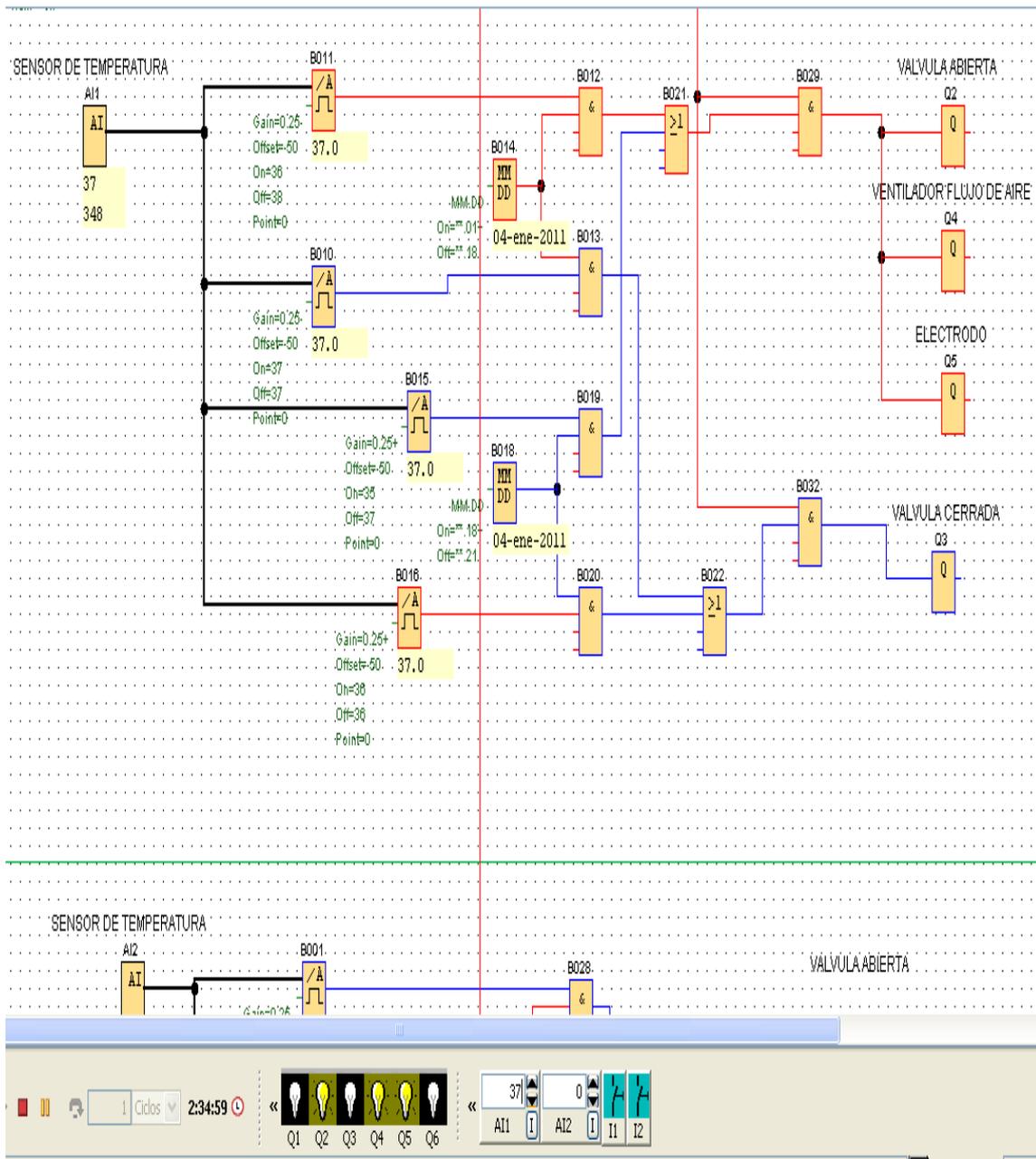


Figura f.6 Simulación, electroválvula de biogás

Mientras tanto cuando la temperatura llega los 38°C que es donde debe mantenerse la temperatura para la incubación enviará la señal para que la electroválvula pase a la posición de cerrada.

Segmento (2.2), cuando ha pasado el tiempo de incubación – nacimiento.

Para esta parte como el pulsador de inicio dio arranque se hace lo mismo que con el otro temporizador anual este empieza su ciclo a partir del día 18 hasta el día 21 para lo cual la temperatura debe mantenerse en los 37°C.

Con lo que a los 36°C la electroválvula se abre para dejar pasar biogás, al igual que se enciende el electrodo para encender al mismo, igualmente que se activará el ventilador para dar un flujo de aire más homogéneo a la incubadora.

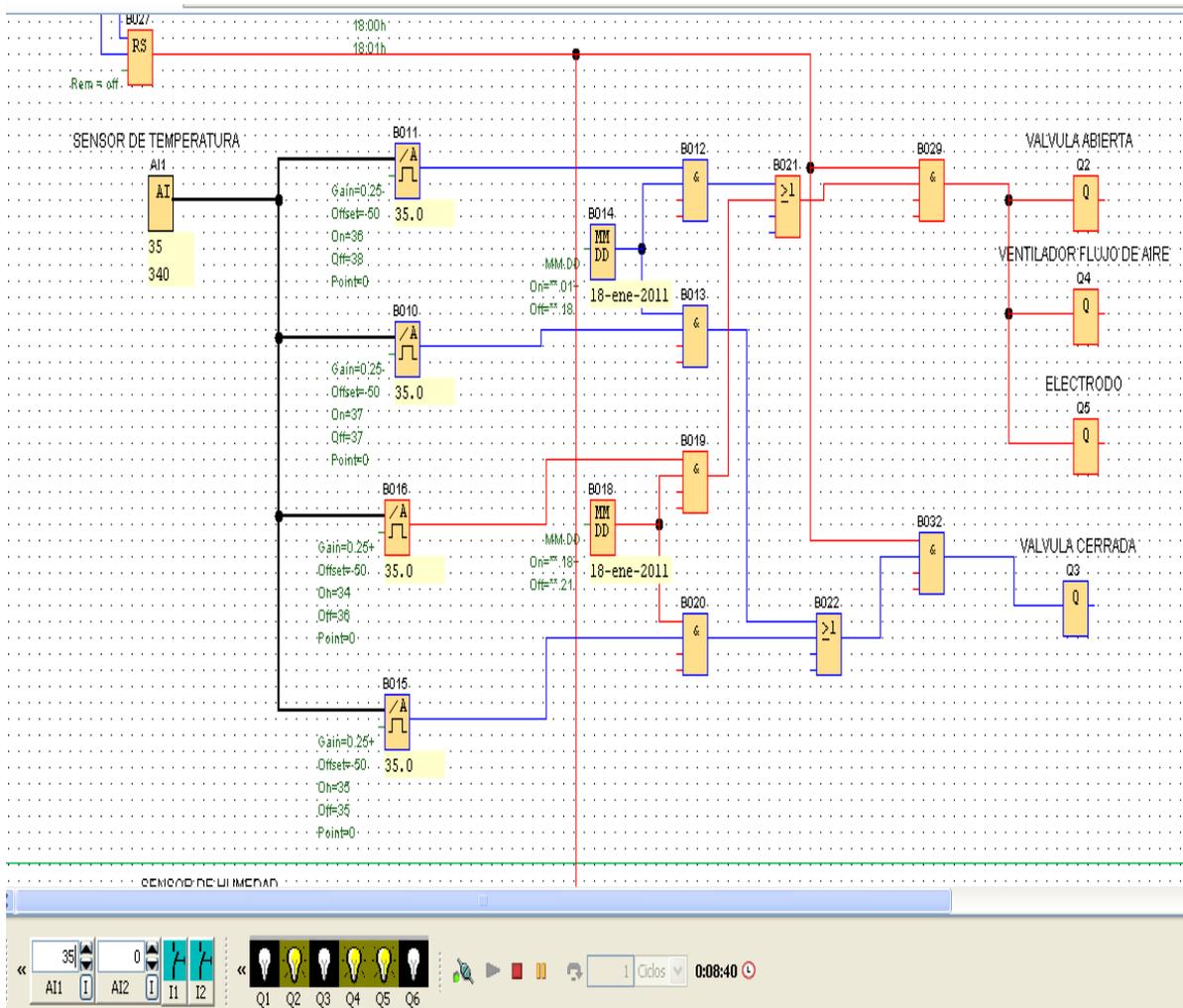


Figura f.7 Simulación, periodo de nacimiento

Segmento (2.3)

Por el flujo calor introducido a la incubadora por la electroválvula, el electrodo y el ventilador de flujo de aire aumenta la temperatura la cual debe aumentar hasta los 36°C que es la temperatura requerida para el proceso con lo que la electroválvula pasa de estado abierto al de cerrado representado esquemáticamente por la bobina Q3 que es el rango deseado, como se observa en la figura de siguiente con lo que del mismo modo pasarán ha estado inactivo el ventilador de aire flujo y del electrodo que volverán a funcionar cuando esta baje.

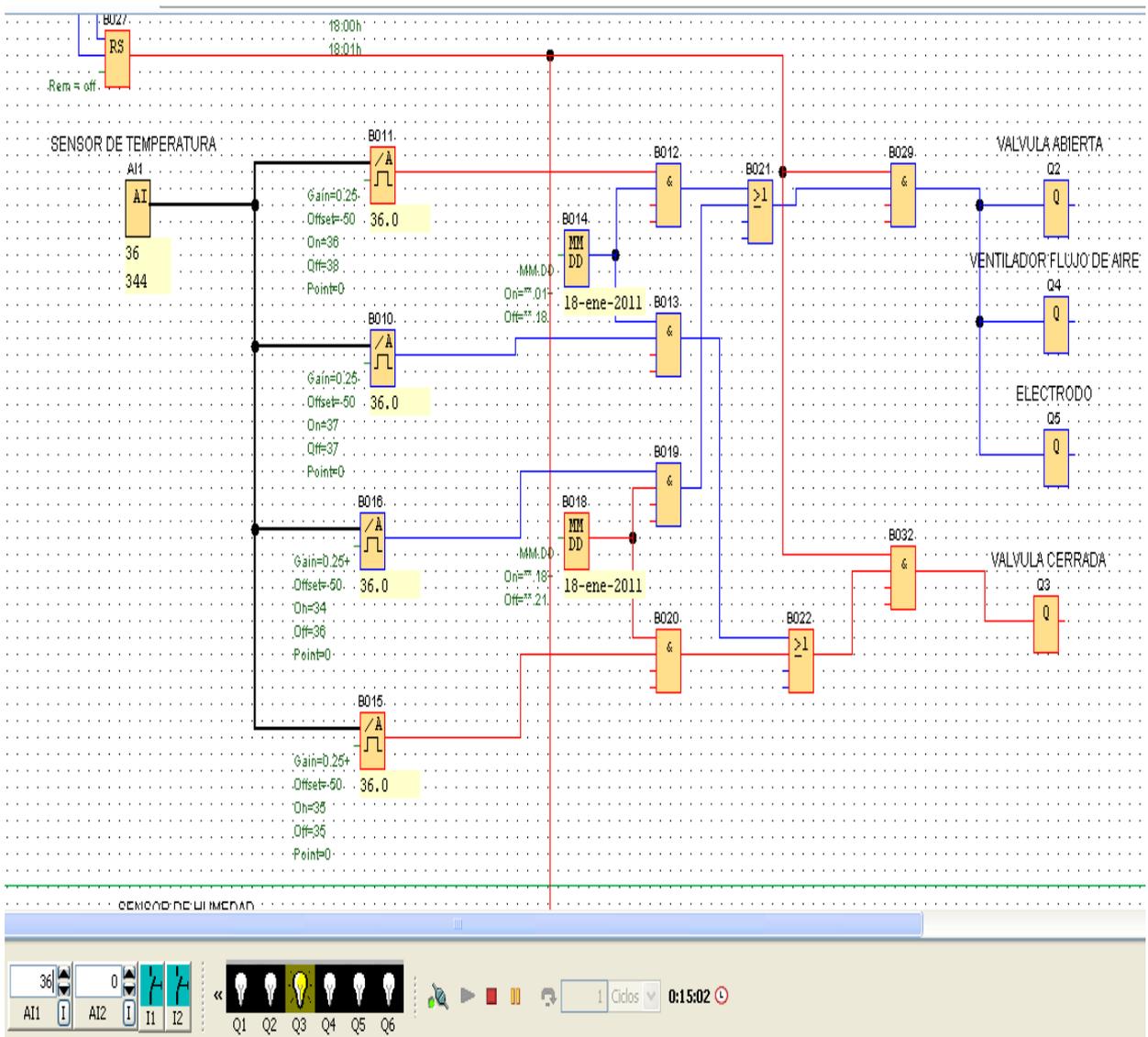


Figura f.7 Simulación, incremento de temperatura

f.7.3. Control de la humedad.

Segmento (3.1)

En el tiempo de incubación que va desde el día 1 hasta el día 17 con 59 minutos y 59 segundos, será regulado por un temporizador anual que está configurado para que la humedad debe estar entre el (60 y el 69) %, con lo que cuando llegue al valor máximo se encenderá la bobina del ventilador de humedad, hasta cuando esta baje hasta el 60%.

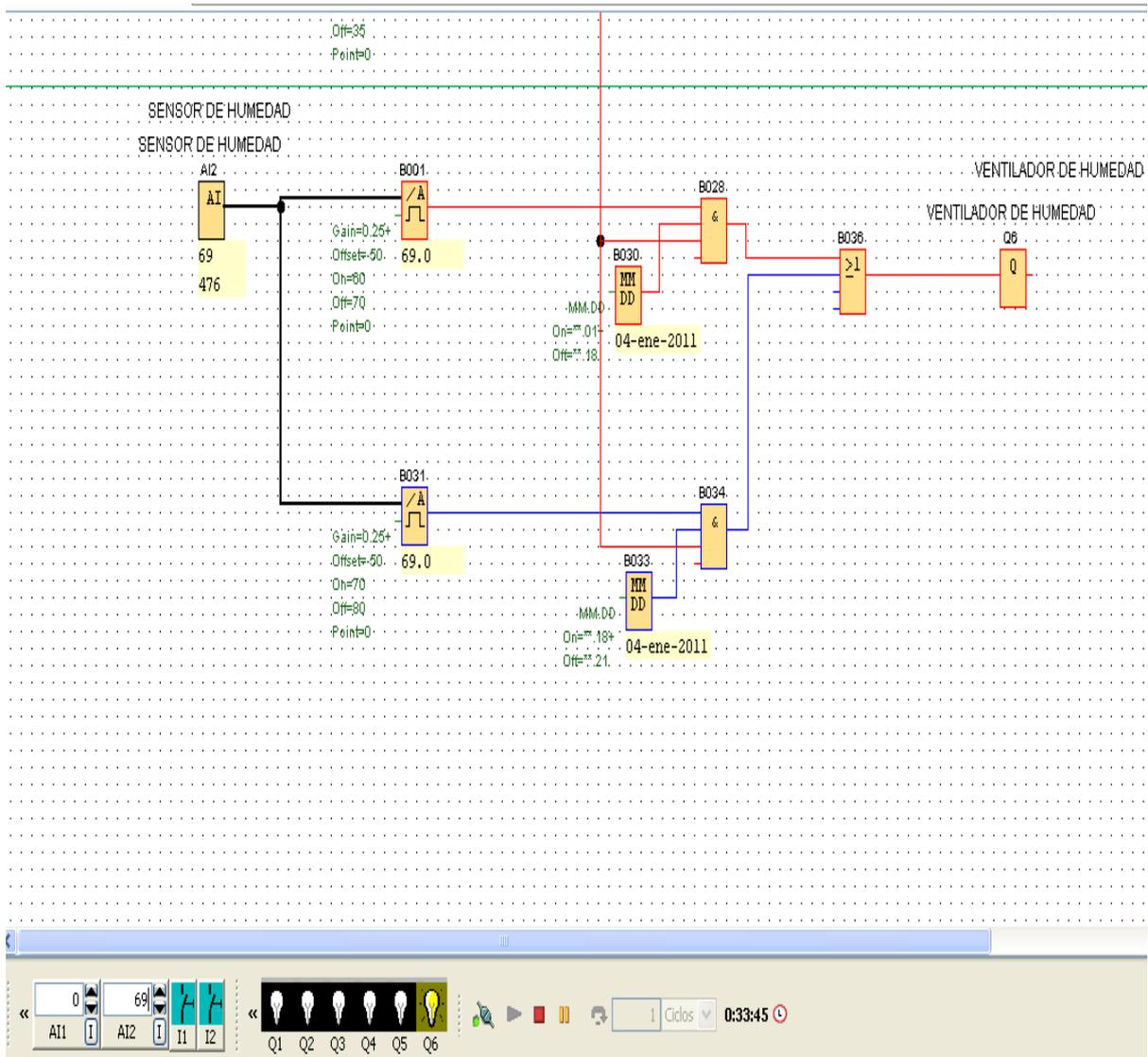


Figura f.8 Simulación, control de humedad

Segmento 3.2.

Mientras que el ventilador permanecerá encendido hasta cuando la humedad baje a 60% luego de esto es decir que baje hasta el 60% el ventilador se apagará, es decir se mantendrá un lazo de control del rango de 10 es decir entre el (60 y 70) % de humedad, como se observa a continuación.

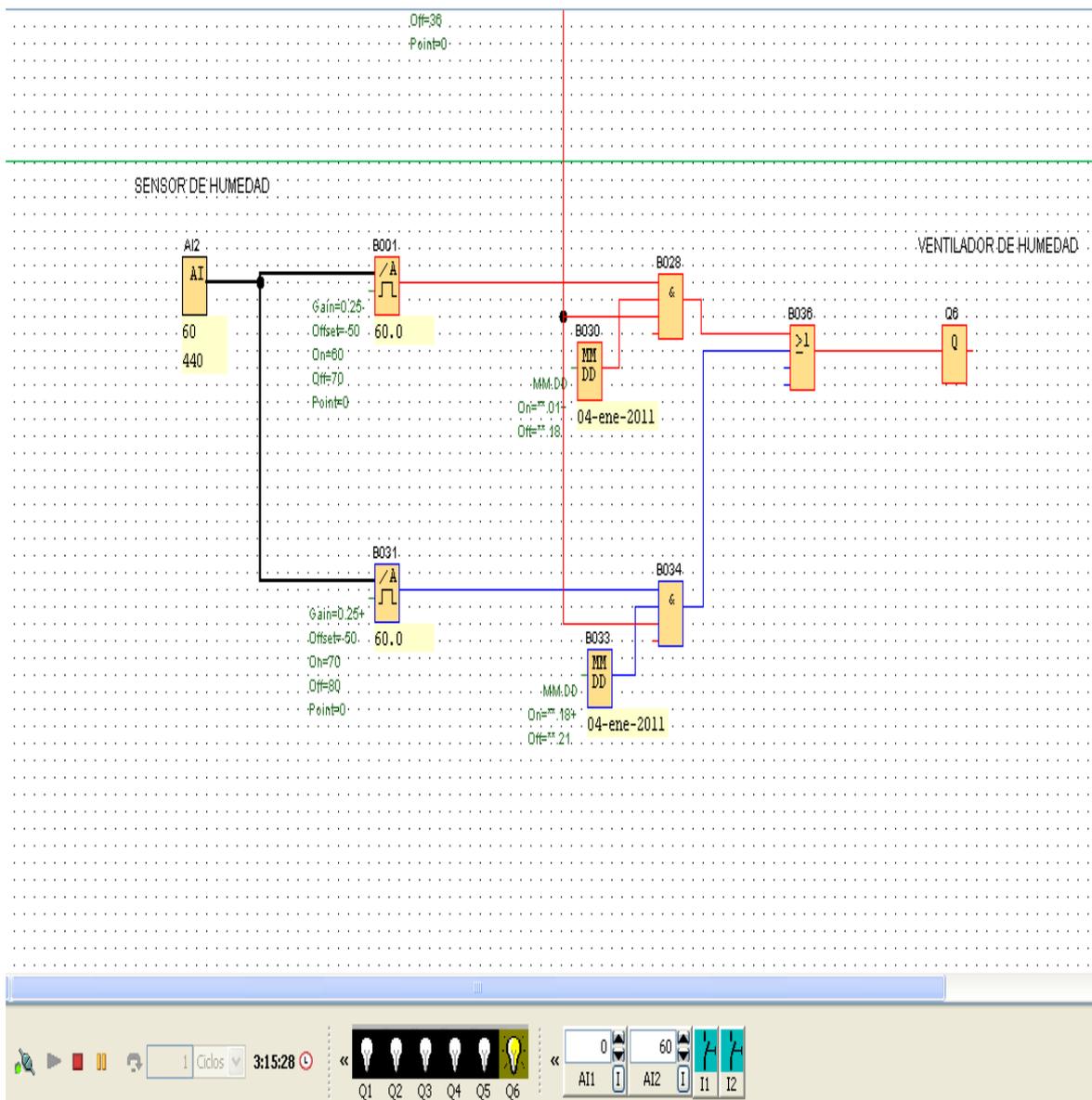


Figura f.9 Simulación, control del ventilador

f.8. PROGRAMACION Y SIMULACION DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION DEL BIODIGESTOR

Programación del PLC Twido TWDLCDA24DFR + modulo de entradas analógicas M24MM6HT y simulación del proceso en el programa Twido-Suite versión 2.0, cable de comunicación multi función TSXPCX1031.

Tabla f.1 entradas programa y PLC.

ENTRADA	ACCIÓN REALIZADA
%I 0.0	Inicio de todo el proceso
%I 0.1	Sistema de agitación
%I 0.2	Válvula de llenado del digestor nivel máximo
%I 0.3	Válvula de llenado del digestor nivel mínimo
%I 0.4	Válvula de ingreso de agua temperatura máxima.
%I 0.5	Válvula de ingreso de agua temperatura mínima.
%I 0.6	Válvula de agua + cal temperatura máxima.
%I 0.7	Válvula de agua + cal temperatura mínima.
%I 0.8	Válvula presión máxima.
%I 0.9	Válvula presión máxima.
%I 0.10	
%I 0.11	
%I 0.12	
%I 0.13	Paro de todo el proceso

Tabla f.2 salidas programa y PLC.

SALIDA	ACCIÓN REALIZADA
%Q 0.0	Sistema de agitación
%Q 0.1	Nivel máximo
%Q 0.2	Nivel mínimo
%Q 0.3	Temperatura máxima
%Q 0.4	Temperatura mínima
%Q0.5	PH máximo
%Q0.6	PH mínimo
%Q0.7	Presión máxima
%Q0.8	Presión mínima
%Q0.9	Libre.

Para la representación de la programación se lo hará mediante segmentos que serán detallados a continuación, se la realizará con tiempos de prueba (no los reales que involucra el proceso de automatización del biodigestor), debido principalmente a que los tiempos reales son altos y se los podrá determinar una vez instalada la planta generadora de biogás, con lo que se realizará la programación y demostración del mismo con tiempos de prueba que permitirá su simulación y para los tiempos reales se tendrán que cambiar únicamente los tiempos de diferentes temporizadores que contiene el programa.

NOTA: Se anexará los dos programas el de tiempo real y tiempo de prueba.

Se trata de una programación en lenguaje de programación Ladder Logic de Twido es decir un programa de contactos que se los utiliza normalmente abiertos o normalmente cerrados dependiendo de lo que se quiera lograr.

Por seguridad de todo el proceso de automatización se realiza el comienzo del programa mediante la entrada %I0.0 que físicamente estará representado por un pulsador en un

tablero de control el cual se lo ha denominado pulsador de inicio y por una entrada %I0.13 que estará conectado a un pulsador denominado de paro de todo el sistema esto se lo realiza como precaución al presentarse cualquier falla en el proceso de automatización o por mantenimiento del mismo con lo que dejará de funcionar completamente el sistema.

Las bobinas auxiliares denominadas por %M no poseen representación física sino interna del PLC las cuales ayudan en la programación del mismo son utilizadas para llamar alguna acción en el PLC Tuido existen alrededor de 9999 bobinas auxiliares.

La retención de entradas es una función especial que se puede asignar a todas o a alguna de las cuatro entradas (%I0.0 a %I0.3). Esta función sirve para memorizar (o retener) cualquier pulso con una duración inferior al tiempo del ciclo del autómeta. Cuando un pulso es más corto que un ciclo y su valor es igual o mayor que 1 ms, el autómeta retiene el pulso, que se actualiza en el ciclo siguiente. Por cuestiones de ruido, una entrada retenida debe persistir más de 1 ms para que sea reconocida como flanco ascendente. Este mecanismo de retención sólo reconoce flancos ascendentes. Los flancos descendentes no se pueden retener.

Los temporizadores utilizados en la programación son el temporizador TOM que se trata de un temporizador con retardo a la conexión, y de temporizadores TP que se trata de temporizadores de generación de pulsos con retardo a la conexión que son los encargados de enviar la señal a los actuadores luego de cierto tiempo definido en la programación los tiempos de prueba se muestran en la siguiente tabla.

Definir los objetos

Asignación: Automático Número de objetos: 0 Asignadas: 11 Mác: 128

Tabla

Todos

Uso	%TM	Símbolo	Tipo	Base	Preselección	Ajustable
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM0		TON	1 min	60	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM1		TP	1 min	10	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM2	INTERVALO	TP	1 s	10	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM3		TP	1 s	10	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM4		TP	1 s	5	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM5		TP	1 s	5	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM6		TP	1 s	170	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM7		TP	1 s	5	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM8		TP	1 s	5	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM9		TP	1 s	5	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	%TM10		TP	1 s	5	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	%TM11		TON	1 s	5	<input checked="" type="checkbox"/>

Tabla f.3 de temporizadores con su respectivo tiempo de funcionamiento

f.8.1. PROGRAMA Y SIMULACIÓN

f.8.1.1. Segmento 0:

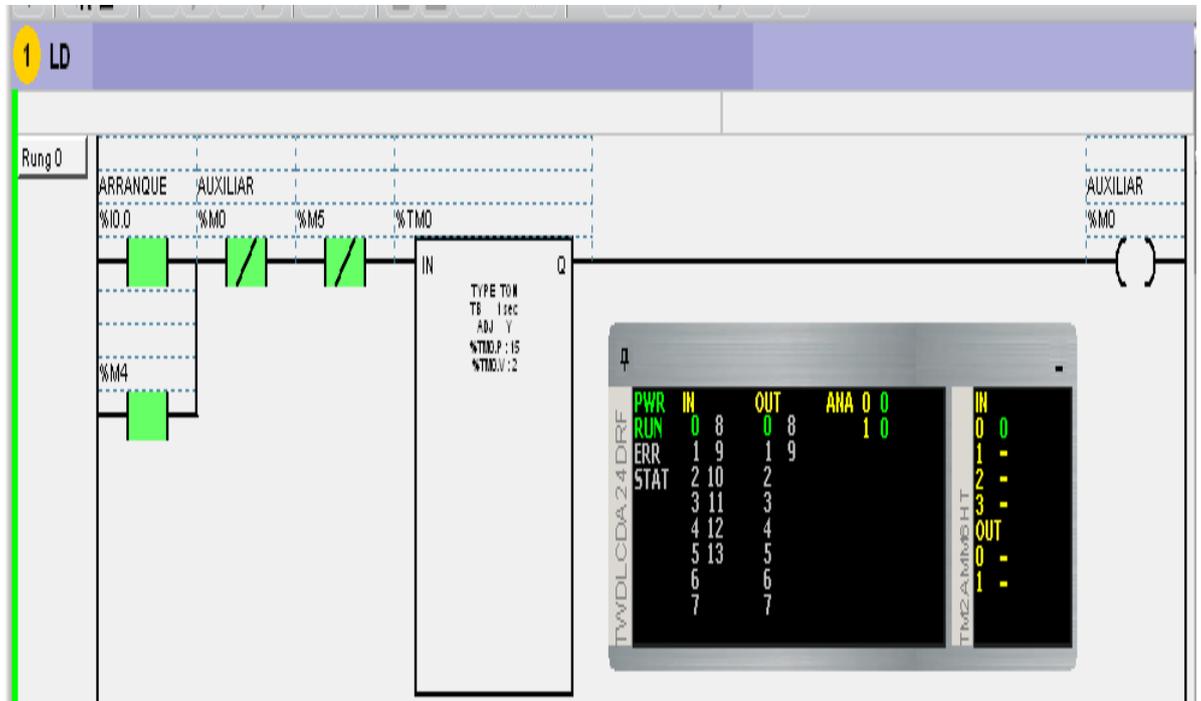


Figura f.10 Programación

En este segmento se activa la entrada %I0.0, como se observa en la parte inferior derecha de la figura, mediante la tabla de entradas físicas del PLC está entrada es la que da el arranque a todo el programa, está tendrá que estar conectada a un pulsador el cual se denominó pulsador de inicio, mediante el cual correrá el sistema interno del PLC, ésta se encuentra conectada en paralelo con un contacto abierto de la bobina auxiliar de %M4, los dos contactos se conectan en serie con el contacto normalmente cerrado de la bobina auxiliar de %M0, estos tres contactos con un temporizador tipo %TMO de tipo TON(temporizador con retardo a la conexión), el mismo que está asignado un tiempo de 60 segundos que interviene en el proceso de mezclado esta función sirve para memorizar (o retener) este tiempo que será retenido por el autómatas y todos estos contactos y temporizador en serie con la bobina auxiliar %M0 que intervendrá más adelante.

f.8.1.2. Segmento 1 y Segmento 2: (Control del agitador):

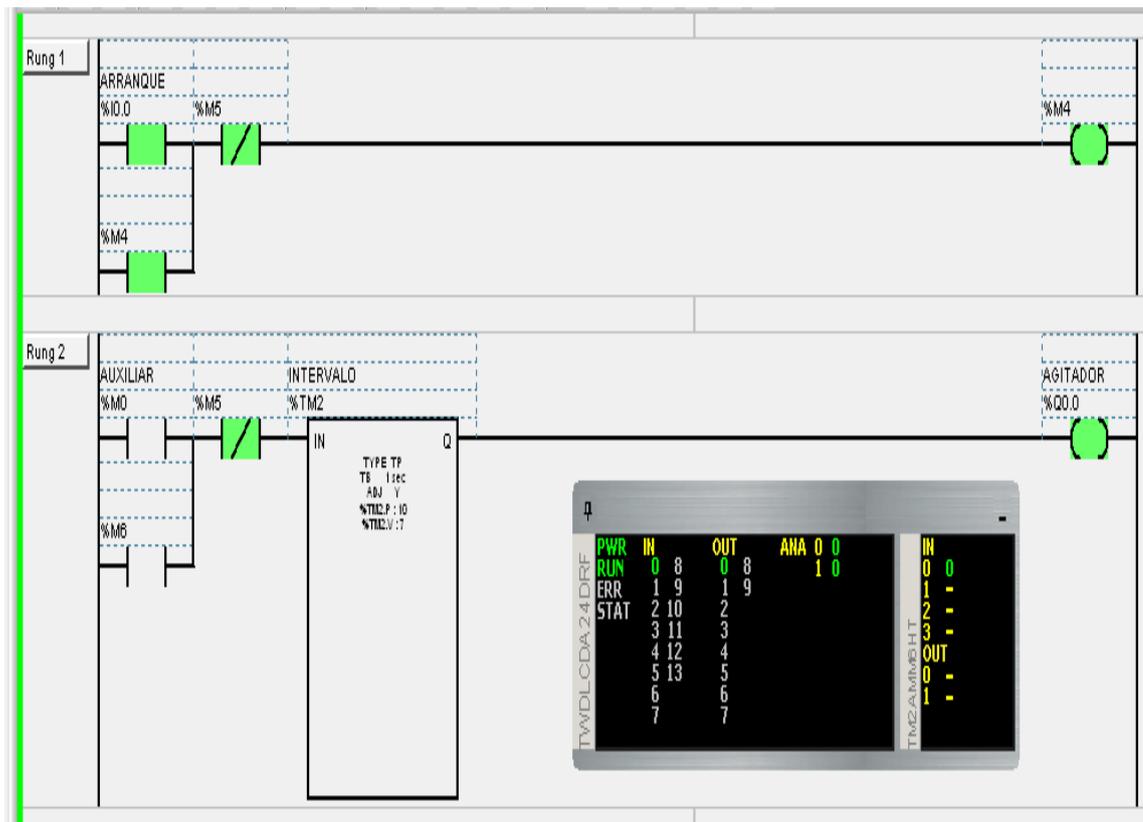


Figura f.11 Programación

En éstos dos segmentos actúan la entrada %I0.0 y la salida Q%0.0, que son de carácter físicos en el PLC es decir al dar el arranque de todo el proceso con la entrada %I0.0 a su vez empieza el tiempo del temporizador %TM0 que es de 60 segundos en el segmento 0, en el segmento 1 actuara la bobina auxiliar de %M4, en el segmento 2 el contacto de la bobina auxiliar %M6 se encuentra en paralelo con %M0, en serie con %M5 todos estos con el temporizador %TM2 de carácter TP(se trata de temporizadores de generación de pulsos con retardo a la conexión) el que actuara por el lapso de 10min el cual lo hará desconectado al temporizador %TM0 por este tiempo, con lo que el sistema de agitación estará conectado a la salida %Q0.0 lo cual se simula en el segmento 2 donde se encuentra activada la salida %Q0.0 que es la que representa al agitador.

f.8.1.3. Segmento 3, Segmento 4 y Segmento 5. (Control de nivel) + Agitador

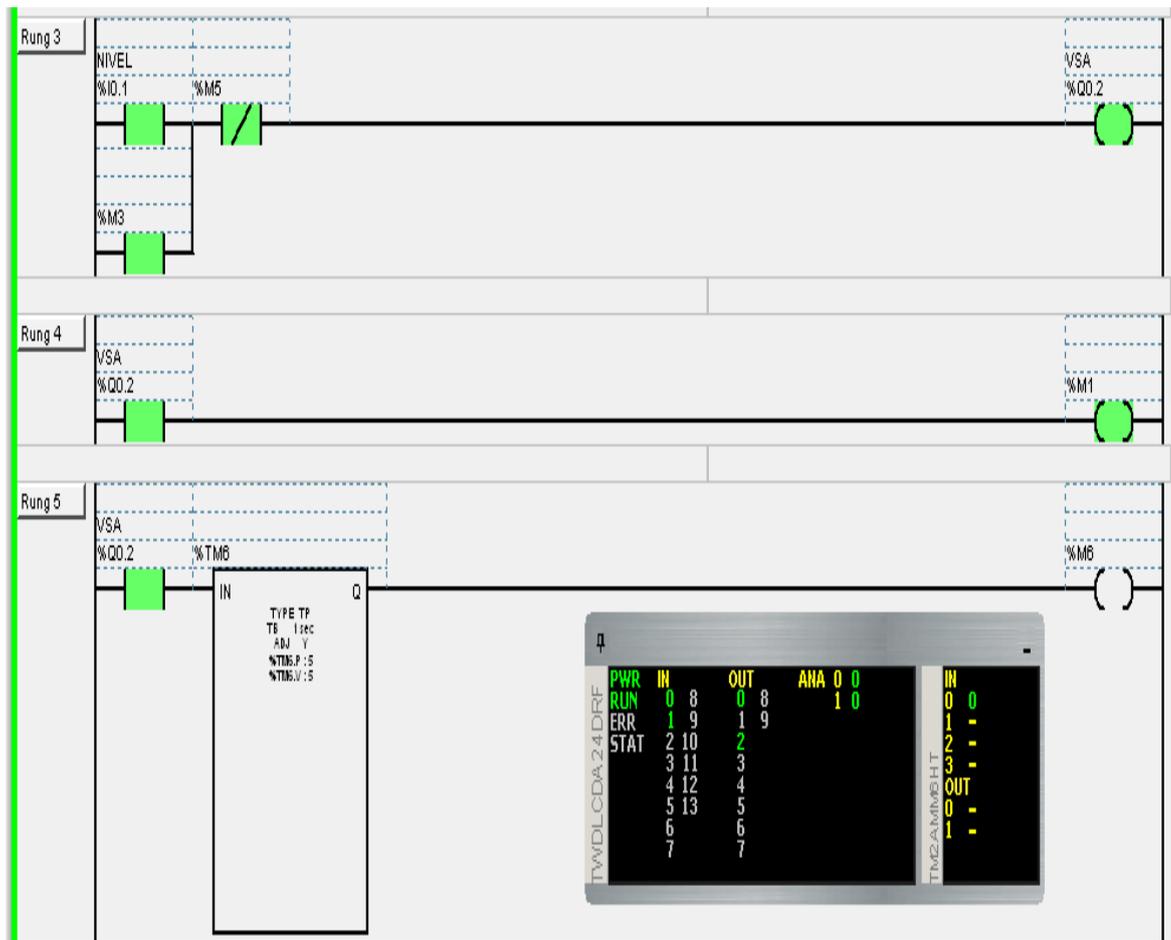


Figura f.12 Programación

En estos segmentos al activarse la entrada I%0.1 que es la señal que enviará el switch de nivel cuando la materia dentro del digestor ha estado 30 días en el interior del mismo con lo que se activan las salidas %Q0.2 y %Q0.0 como se observa en la simulación de la parte derecha e inferior, la entrada %Q0.2 será activada cuando el switch envíe la señal de nivel máximo la cual enviará a abrir la electroválvula LCV-002, igualmente se activará la salida %Q0.0 que es la del agitador por un tiempo de 5 segundos el cual ayudará a realizar la evacuación del material al interior del digestor hacia el tanque de evacuación (se complementa con los segmentos 9).

f.8.1.4. Segmentos 9

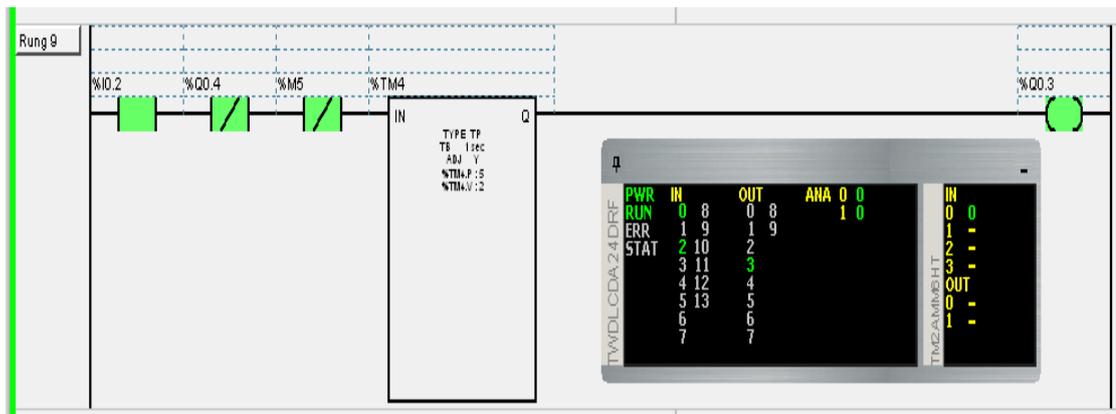


Figura f.13 Programación

Luego de activarse la salida %Q0.2 de posición de abrir la válvula se cierra y deja de funcionar esta entrada al igual que el sistema de agitación para esta acción con lo que pasará a actuar la salida %Q0.3 que es la encargada llevar de posición abierta a cerrada la electroválvula LCV-002.

f.8.1.5. Segmentos 10 y segmento 11. (Control de temperatura)

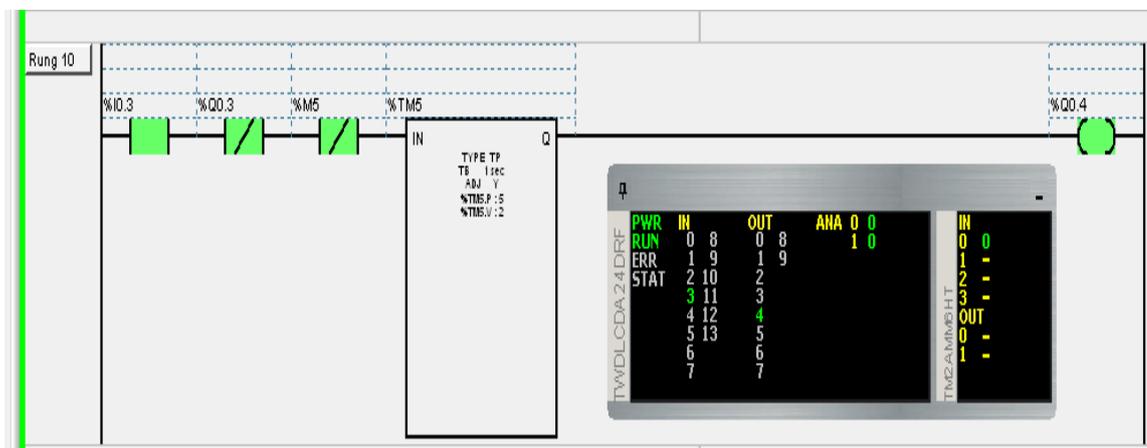


Figura f.14 Programación

En el segmento 10 se activará la entrada %I0.3 la cual es activada cuando la temperatura llegue a su nivel alto en este segmento se encuentra un temporizador %TM5 que permite el paso de la señal luego de 5 segundos para que entre en funcionamiento la electroválvula LCV-003 que pasará de posición cerrada ha abierta.



Figura f.15 Programación

En el segmento 11 se activará la entrada %I0.4 cuando luego de cierta cantidad de agua que ha dejado pasar la electroválvula LCV-003 baje la temperatura hasta un determinado nivel con lo que el sensor de temperatura enviara esta señal a la salida %Q0.5 de que la temperatura ha bajado hasta el nivel deseado con lo que la electroválvula LCV-003 de estado abierta pasará a cerrada con la señal emitida por %Q0.5.

f.8.1.6. Segmentos 12 y segmento 13. (Control de PH)

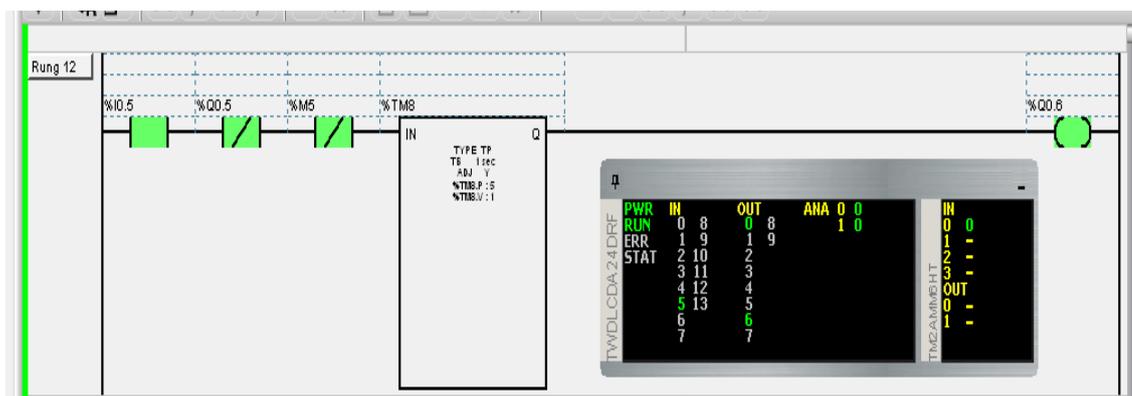


Figura f.16 Programación

En el segmento 12 se activará la entrada %I0.5 la cual es activada cuando el rango de PH llegue a su nivel máximo en este segmento se encuentra un temporizador %TM5 que permite el paso de la señal luego de 5 segundos para que entre en funcionamiento la salida %Q0.6 electroválvula LCV-004 que pasará de posición cerrada ha abierta para el ingreso de agua + cal.



Figura f.17 Programación

En el segmento 13 se activará la entrada %I0.6 cuando luego de cierta cantidad de agua + cal que ha dejado pasar la electroválvula LCV-004 baje la temperatura hasta un determinado nivel con lo que el sensor de temperatura enviara esta señal a la salida %Q0.7 de que la temperatura ha bajado hasta el nivel deseado con lo que la electroválvula LCV-004 de estado abierta pasará a cerrada con la señal emitida por %Q0.7 que es cuando se tenga el nivel mínimo de PH.

f.8.1.7. Segmentos 14 y segmento 15. (Presión)

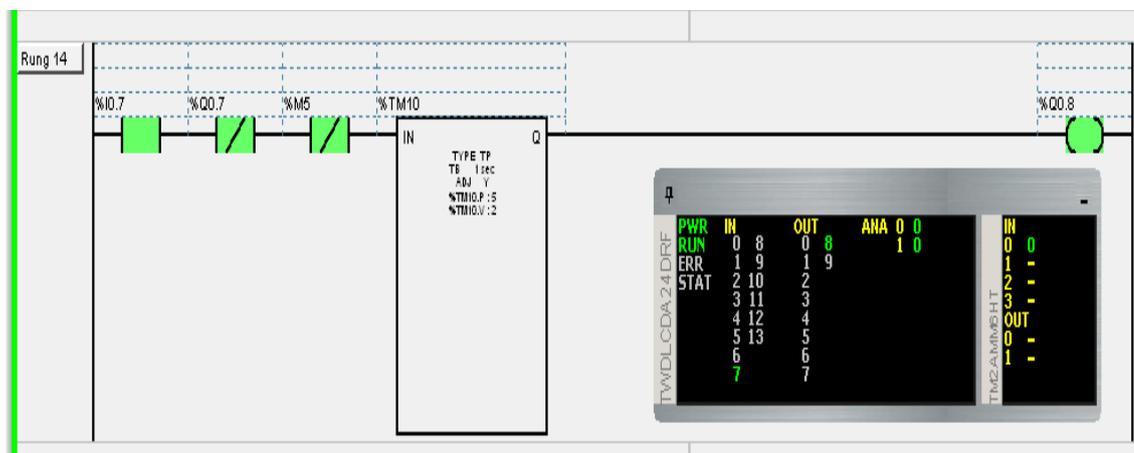


Figura f.18 Programación

En el segmento 14 se activará la entrada %I0.7 la cual es activada cuando el rango de presión llegue a su nivel máximo en este segmento se encuentra un temporizador %TM5 que permite el paso de la señal luego de 5 segundos para que entre en funcionamiento la salida %Q0.8 electroválvula LCV-005 que pasará de posición cerrada ha abierta para la evacuación de la presión.

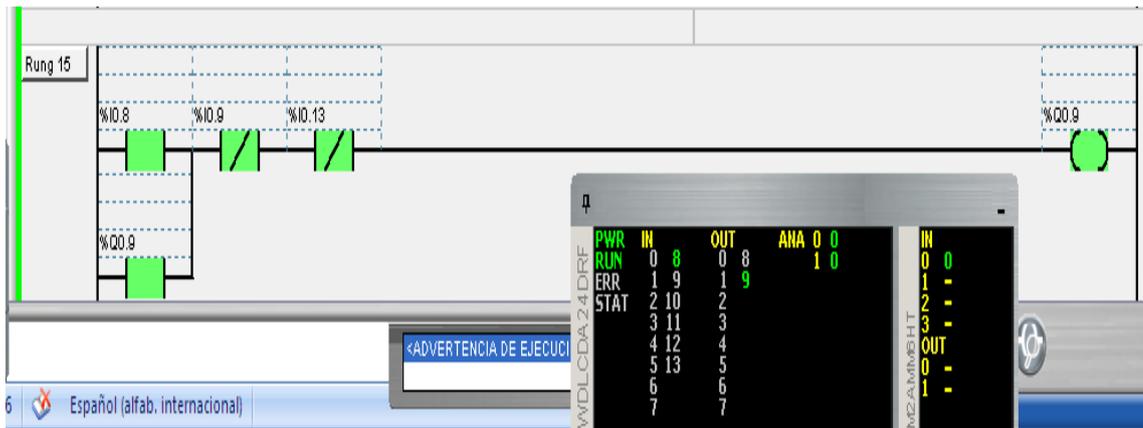


Figura f.19 Programación

En el segmento 15 se activará la entrada %I0.8 la cual es activada cuando el rango de presión llegue a su nivel deseado dentro del digester con lo que entra en funcionamiento la salida %Q0.9 y la electroválvula LCV-005 pasará de posición abierta a cerrada.

f.8.1.8. Segmento 8. Paro de todo el proceso

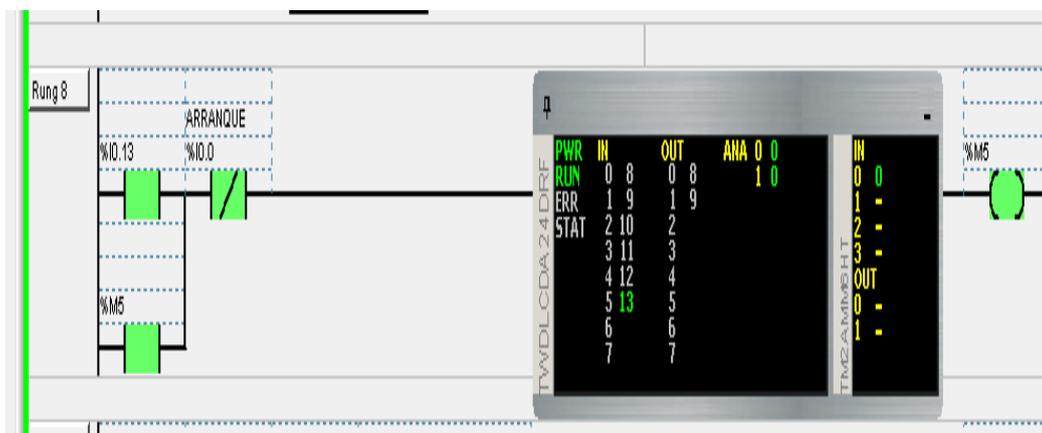


Figura f.20 Programación

En este segmento se activa la entrada %I0.13 que es la de pulsador de paro total o de emergencia el cual estará representado en el PLC por la entrada física %I0.13, por darse algún percance o por mantenimiento de algún mecanismo o equipo.

DISCUSIÓN:

De acuerdo a documentos relacionados a la energía de la biomasa y tipos de biodigestores descritos en el capítulo I; varios países desarrollados y en vía de desarrollo están explotando cada vez más el recurso de la biomasa, otorgando incentivos económicos a sus habitantes para la explotación de este recurso renovable de forma permanente para la generación de energía limpia y favorable con el medio ambiente, enfocándose además en cubrir el déficit de energía eléctrica con el uso de este tipo de energía. Las perspectivas del desarrollo de la biomasa como fuente de energía han llevado a creer en un cambio de la producción energética mediante los hidrocarburos (combustibles fósiles) a los carbohidratos (materia orgánica).

El desarrollo de la energía a partir de la biomasa en el Ecuador es aún incipiente principalmente al tratarse de un país petrolero siendo su principal fuente de energía el uso de combustibles fósiles, la promoción de sistemas energéticos que aprovechen la bioenergía podría reducir significativamente el empleo de hidrocarburos, impulsando la creación de una infraestructura de autoabastecimiento y auto sustentación energética, ampliaría las áreas de cultivo de productos agrícolas, incrementaría el empleo y con ello se mejoraría el nivel de vida de los ecuatorianos.

En la descripción del diseño del biodigestor que se adapta a las condiciones de la granja de acuerdo a las características propias del lugar, al proceso de obtención de bioabono y de la calidad deseada para el mismo, se determinó un tiempo de retención de la materia en el interior del biodigestor mediante la cual las bacterias responsables de la digestión han actuado obteniendo la mayor cantidad de biogás y bioabono tratado hasta el punto de ser de alta calidad, carente de mal olor y complementariamente en forma líquida(biol), fertilizante de alta calidad vitamínica para los suelos.

Mediante a lo investigado determinamos que trabajos relacionados a nuestro proyecto de investigación no existen en nuestra provincia, debido especialmente al no existir conocimiento del empleo de residuos agrícolas para obtener fuentes de energía renovables.

Nuestra investigación se encaminó de acuerdo a las diferentes normas y metodologías de diseños de biodigestores y plantas de generación de biogás, realizando de esta forma la recopilación bibliográfica necesaria para el diseño del mismo, además de cálculos

que fueron utilizados en la selección del modelo y tipo de planta, igualmente para determinar la selección de los diferentes equipos que se utilizarán para realizar el diseño del sistema de control automático de todos los procesos que intervienen en la digestión anaerobia.

El sistema automático se encuentra diseñado con toda la instrumentación tanto de medición, control y regulación que garanticen todas las condiciones de seguridad en su funcionamiento, la cual podrá ser tomada como base para la implementación en el mismo y en otros trabajos afines.

La descripción total de la planta se la puede observar en un SCADA desarrollado en Labview; que permite observar de forma gráfica los procesos que se llevan a cabo en el biodigestor además de alarmas complementarias que sirven de aviso para actuar en caso de alguna avería o fallo de alguno de los procesos enviando automáticamente la señal de paro de todo el proceso.

De acuerdo al diseño y a su estudio de costos que involucra la realización del mismo relacionado con el beneficio de utilización del biogás y abono se determina que el empleo del mismo es viable.

Este diseño permitirá tener un enfoque más claro del proceso de la degradación de la biomasa mediante la digestión anaerobia, además puede ser utilizado para estudios futuros, de carácter didáctico al emplearse un sistema de adquisición de datos o en el laboratorio para la realización de prácticas que involucren los procesos y equipos utilizados en el mismo.

Este tipo de biodigestor automatizado permite un mayor rendimiento con respecto a biodigestores artesanales debido principalmente a que se controlan las variables causantes de baja producción, estableciendo las mismas en valores óptimos que permitan el desarrollo de todo el proceso de manera correcta y eficiente logrando así la obtención de sustrato de alta calidad con respecto a biodigestores artesanales, mayor producción de biogás por el control de las variables y sobre todo del control de la presión en el interior del mismo que es de vital importancia para que no exista una explosión de la cúpula lo que podría ocasionar un incendio.

Al realizar la recopilación de información de biodigestores automatizados obtuvimos una idea más amplia del control de todo el proceso mediante el mismo lo ajustamos a las características propias de la granja, además de mejorar dichos procesos al retroalimentar el biogás cuando exista una sobre presión y no arrojarlo al medio ambiente, lo que nos permitió obtener un mayor rendimiento y producción de subproductos del proceso de biodigestión.

IMPACTO AMBIENTAL

La preservación del medio ambiente representa uno de los mayores desafíos de la humanidad en la actualidad, afectando seriamente las condiciones de vida, junto al acelerado crecimiento de la población, producen una enorme presión sobre nuestro ambiente, que se traduce en niveles cada vez mayores de contaminación.

Los problemas más críticos que enfrenta el mundo es el manejo inadecuado de los residuos producidos, tanto en el sector rural, urbano como industrial. Estos materiales habitualmente se eliminan sin un tratamiento previo, por lo que pueden constituirse en agentes contaminantes de considerable alcance; afectando a los ecosistemas, alterando el equilibrio ecológico y la calidad de vida.

La necesidad de alternativas de producción energética, mediante la implementación de prácticas amigables con el ambiente y el aprovechamiento de los recursos disponibles, crea un clima favorable para la promoción e implementación de la tecnología de biodigestores, obteniendo como beneficio la producción de biogás. Por tanto, aprovechar de manera eficiente este combustible es de importancia para sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, escasas, costosas y de altos índices de contaminación.

La digestión anaerobia tiene un bajo impacto ambiental y su fuente de energía es considerada renovable se propone como una alternativa para convertir la materia orgánica de los desechos animales y vegetales a partir de la fermentación de la materia orgánica en bioabono que posee excelentes propiedades fertilizantes, además de obtención de biogás que es un combustible natural altamente energético que seguramente es de gran importancia en los días actuales, en los que el mundo entero sufre con la escasez de recursos energéticos.

Con la propuesta de este diseño se aporta significativamente en la reducción de la contaminación ambiental al realizar el tratamiento de residuos animales que emiten gases tipo invernadero convirtiéndolos en un combustible que puede suplantar a las fuentes de energías convencionales sin alterar el medio circundante. En cambio en una instalación de una planta de generación de biogás el impacto ambiental que representa, únicamente sería el espacio ocupado por la misma.

EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA

La finalidad de esta valoración económica es de conocer el presupuesto necesario para la construcción del biodigestor automatizado, con los gastos que conllevan la realización del mismo con lo cual se deben implementar fondos en la realización de la obra civil, en adquirir los equipos detallados en la automatización de todos los procesos que conlleva la obtención y producción de biogás y bioabono, el mantenimiento que se deben realizar a los equipos, la mano de obra, etc.

Con lo que se nos proporcionará la inversión total que se debería emplear en la ejecución del proyecto y del tiempo de amortización proporcionado de esta manera la conclusión de que si es o no un diseño aplicable en la vida real.

Los precios y tipos de materiales para la construcción de la obra civil del biodigestor se los recopiló de diferentes distribuidoras de la ciudad y compañías de materiales pétreos. Las distribuidoras principales son las siguientes: Isarriego, Direl de Disensa, entre otras.

En lo referente a los equipos de automatización se realizó la determinación de precios con el distribuidor de la marca Wika en Ecuador como es Disetec de la ciudad de Quito, además de ofrecer todos los equipos utilizados en el proceso automático del biodigestor.

Mientras:

El costo total del Biodigestor Automatizado se halla compuesto de:

- ✓ Costos Directos:
 - Materiales Directos
 - Elementos Normalizados
 - Costos de Montaje

- ✓ Costos indirectos
 - Materiales Indirectos
 - Gastos Indirectos

Análisis de Costos Directos:

Son definidos en las tablas f11.1 y f11.2:

DENOMINACION	CANT	U	PRECIO UNITARIO	TOTAL POR ITEM
Ladrillos	3000	U	0,19	570,0
Cemento portland tipo 1B	15	sacos	7,00	105,0
Listones de 2,5m de largo de 4 x 5 cm	15	U	1,20	18,0
Arena fina	5	m ³	15,00	75,0
Arena Gruesa	2	m ³	12,00	24,0
Piedra	6	m ³	16,00	96,0
Grava	3	m ³	15,00	45,0
Tubo de 4" para desagüe PVC	1	U	9,00	9,0
Tubos PVC de 1"	6	U	7,50	45,0
Tubos PVC de ½"	3	U	6,00	18,0
Varillas corrugada de 10mm x 12 m de long.	5	U	10,50	52,5
Varillas corrugada de 8 mm x 12 m de long.	3	U	7,00	21,0
Varillas corrugada de hierro 1/4" x 12 m	5	U	5,00	25,0
Manguera de polietileno de 1/2" para agua	20	m	0,40	8,0
Plástico transparente calibre 8 para invernadero de 1,5 m de ancho	3	m	2,50	7,5
Polietileno flexible para cúpula de 2 m de ancho	6	m	6,00	36,0
Polietileno flexible para tanque de almacenamiento de 4,71 metros de ancho	12	m	6,00	72,0
Válvula Tipo llave de paso HG de 1"	4	U	6,00	24,0
Válvulas de paso para agua de 1/2"	1	U	3,50	3,5
Válvulas metálicas anti retorno para gas 1"	4	U	5,00	20,0
			TOTAL	1274,5

Tabla f. 11.1. Materiales utilizados en el proceso de automatización del biodigestor.

ÍTEM	Descripción	Cantidad.	VALOR REF. TOTAL (EN DOLARES)
1	Switch de nivel.	1	650
2	Transmisor, Medidor de PH	1	3200
3	Ensamble sello químico +transmisor de presión.	1	1055
4	Válvulas --Diámetro 4".	2	780
5	Actuador eléctrico para válvula de 4".	2	1820
6	Válvulas--Tipo roscado NPT Diámetro 1".	1	468
7	Actuador eléctrico para válvula de 1".	1	325
8	Válvulas. Tipo roscado NPT Diámetro 1/2".	3	506
9	Actuador eléctrico para válvula de 1/2".	3	975
10	Autómata programable (PLC). Twido Especificaciones técnicas: BASE UNIT AC,14 IN DC,10	1	985
		TOTAL	\$10764

Tabla f11.2. Equipos utilizados en la construcción de la obra civil.

Costos de Montaje

Están relacionados con la mano de obra necesaria para el montaje y construcción de la parte física el biodigestor para este valor se considera el trabajo de 1 persona en un tiempo de 20 días a un costo de 20 USD diarios, lo que resulta un costo total de 200 USD.

Costo Directo Total

En la Tabla f11.3 Se considera el Costo directo Total

COMPONENTES	VALOR (USD)
Materiales	1274,50
Equipos	10764
Costo de Construcción	200
Subtotal	12238,50

Tabla f.11.3 Costo Directo Total

ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS

Gastos Indirectos

Los gastos indirectos corresponden al mantenimiento que se debe realizar una vez implementado y puesto en funcionamiento el biodigestor automatizado principalmente en lo referente a los equipos y sistema de agitación, que se ha creído conveniente realizar este mantenimiento una vez por año para que el proceso continúe normalmente y de forma periódica y para darle un mayor tiempo de vida útil a los equipos. Otro aspecto a considerar dentro de este factor es la calibración de los equipos que debe ser realizado por personal calificado, principalmente se debe realizar a los transmisores que son equipos que pierden sus características en la exactitud de medida por lo que se encuentran expuestos a la intemperie dicha calibración se la debe realizar una vez por año.

COSTO TOTAL INDIRECTO

COMPONENTES	VALOR (USD)
Mantenimiento	100
Calibración de Equipos	80
Total	180

Tabla f11.4 Costo Indirecto Total.

COSTO TOTAL DEL BIODIGESTOR AUTOMATIZADO.

Resulta de la adición de Costos Directos y los Costos Indirectos, esto se indica en la tabla N° 6.5.

COMPONENTES	VALOR (USD)
Costo Directo	12238,50
Costo Indirecto	180
TOTAL	12418,50

Tabla f11.5 Costo Total.

Tiempo de Amortización de Costos:

El costo total de la construcción, automatización y mantenimiento del biodigestor es relativamente alto dando un total de **\$12418,50 dólares americanos** que se tendrían que ser desglosados para los mismos como se observa en la tabla 6.5.

La amortización se la realizará de los subproductos obtenidos a partir del proceso de digestión y control de variables del proceso como son:

Bioabono un total de 5094 kg luego de 30 días de retención de la materia orgánica tratada en el interior del digestor y 19.95 m³/día de gas metano.

Producción de composta (bioabono).- La composta que se genera por mes luego del proceso de digestión es de 5094kg debido que quedará un 30% de materia tratada en el interior del tanque de digestión. La amortización de costos directos se los va a realizar con la venta de este subproducto. El precio de la composta en el mercado ecuatoriano es de:

El saco de 45Kg=5 dólares americanos

Dando un total de 5094kg/45Kg=113.2 sacos con lo que dieran 113.2 sacos * \$5 de cada saco un total de \$566 al mes:

$$\frac{\text{Costo total de los equipos } \$12418,50}{\$566/mes} = 21.94\text{meses}$$

$$\frac{22\text{meses}}{12\text{meses/año}} = 1.83\text{años} = 2\text{años}$$

Con el ingreso económico que proporciona la venta de bioabono se podrá cubrir los gastos directos que se deberían emplear en la adquisición de materiales para la construcción del biodigestor, de equipos empleados para la automatización del mismo.

Producción de biogás.- Se trata de un agregado, por la implementación del sistema de digestión anaerobia, en la granja.

El dinero obtenido de la producción del biogás se lo emplearía en la amortización de gastos indirectos.

Tomando en cuenta que un m^3 de biogás equivale a $0.89 m^3$ de gas LP, y a su vez que $1m^3$ de gas LP=1.25kg se tiene:

$$\text{Equivalencia en gas LP} = \frac{19m^3(0.89m^3)}{1m^3} = 16.91m^3 \text{ de gas LP}$$

$$\text{Peso del gas} = \frac{16.91m^3(1.25kg)}{1m^3} = 21.1375kg$$

El precio del gas en el mercado ecuatoriano es de:

Kilo=0.12 dólares americanos.

Esto sucede si se lo adquiere directamente en el depósito y como la granja se encuentra alejada del cantón el consumo de combustible del carro en el que realizan la compra gasta aproximadamente %5 dólares americanos en realizar la compra semanal de los cilindros para el comedor del centro de estudio.

$$21.1375kg(\$0.12) = \$2.5365 \text{ Al día.}$$

Con lo que con este rubro del biogás en la amortiguación del valor de inversión necesaria para cubrir el rubro de gastos indirectos que se trata del mantenimiento y calibración de equipos que se lo debe realizar anualmente es de \$180 USD, mientras que el valor de la obtención de biogás sería de:

$$\text{Capital extra de biogás} \left(\frac{\$2.5365}{\text{día}} \right) * \frac{365\text{días}}{1\text{año}} = \$925 \text{ en 1 año}$$

Con lo que el rubro de capital que se debería invertir en costos indirectos sería amortizado además existiría un excedente de:

$$\text{Capital de biogás} = (\$925 - \$180) = \$745/\text{año}$$

Con lo que se contaría con un capital extra de \$745 USD los cuales podrán ser invertidos en la adquisición de nuevos equipos o materiales que permitan mejorar el proceso y rendimiento de la planta de biogás.

MANUAL DEL USUARIO

El siguiente manual de usuario trata de dar a conocer las maneras correctas para que se desarrolle la implementación de todos los equipos en la planta productora de biogás, así mismo el mantenimiento y cuidado que se debe tener presente para la manipulación de todos los componentes inmersos en la planta.

BIODIGESTOR:

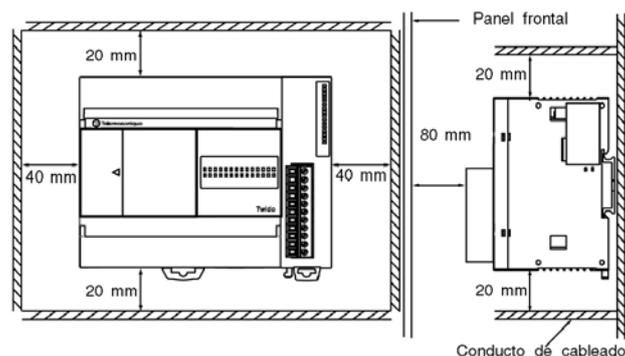
- ✓ Tener cuidado con el sustrato que ingresa al biodigestor, pueda que estén presentes objetos extraños que puedan dañar los mecanismos que intervienen en la planta de biodigestión.
- ✓ El sustrato debe tener una disolución de acuerdo a lo establecido en la Tabla e.3. es decir por cada kilogramo de excretas se le debe añadir cierta cantidad de litros de agua.
- ✓ Revisar que no existan fugas en los tanques, geomembrana y tuberías que intervienen en el proceso.
- ✓ Tener cuidado con todos los equipos que intervendrán dentro de la planta de biogás debido a que son dispositivos frágiles y costos.
- ✓ Realizar mantenimiento y limpieza del biodigestor cada año.
- ✓ Para el mantenimiento y limpieza del biodigestor tener presente que todo el proceso debe estar inactivo.
- ✓ Colocar válvulas anti retorno en la línea de salida de biogás del digestor y las líneas de distribución de biogás.
- ✓ Colocar filtros de biogás uno en cada línea de distribución y otro al ingreso de la tubería de alimentación de la incubadora.
- ✓ Colocar una purga de gas en cada uno de los tanques de almacenamiento del biogás.

EQUIPOS:

En este punto tenemos que tener sumo cuidado debido a que se trata de componentes electrónicos con partes delicadas, para esto debemos considerar aspectos importantes como son en el transporte de los mismos, conexión, manipulación, etc. A continuación se describe el componente y su cuidado respectivo:

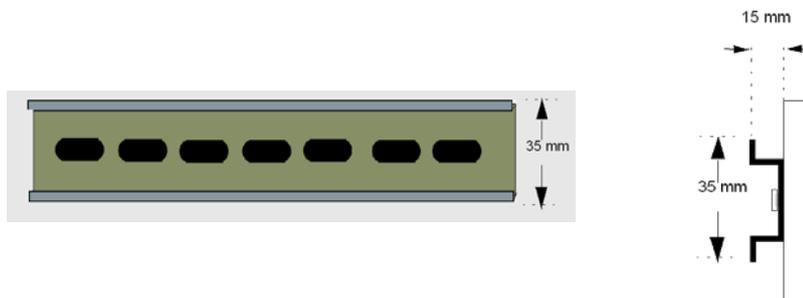
PLC Twido TWDLCAA24DRF:

- ✓ Se recomienda tener cuidado con su manipulación y en el montaje del mismo.
- ✓ Se debe montar en forma horizontal en un plano vertical sobre los rieles DIN específicos para el PLC.
- ✓ La conexión del PLC va a una toma de 110 V_{CA}, el cable que se utiliza es de calibre AWG #16.
- ✓ El cable que se va a utilizar para conectar los sensores a las entradas del PLC es de un calibre AWG#16.
- ✓ Todas las electroválvulas van conectadas a las salidas digitales del PLC, se debe utilizar cable de calibre AWG #16.
- ✓ Los sensores de nivel de acidez (PH), temperatura (T) y nivel (H) van conectados directamente a las entradas digitales del PLC.
- ✓ Este equipo debe tener conexión a tierra, se tiene que utilizar cable de calibre AWG#14.
- ✓ Para poder mantener una circulación natural de aire alrededor de la base compacta y del PLC y de los módulos de ampliación de E/S en un panel de control, tenga en cuenta las distancias mínimas indicadas en la siguiente figura.



Modulo de Ampliación Twido TM24MM6HT:

- ✓ Para la conexión del sensor de presión (P) al PLC se necesita de un módulo de expansión de entradas y salidas analógicas TM24MM6HT.
- ✓ Es necesario instalar una alimentación externa de 24 V_{CC} para cada módulo analógico.
- ✓ Se debe montar en forma horizontal en un plano vertical sobre los rieles DIN.
- ✓ Debe tener conexión a tierra con un calibre de cable AWG#14.
- ✓ **Segmento DIN:**
- ✓ Un segmento DIN se puede adjuntar a una superficie de montaje lisa o suspender de un bastidor EIA o en un armario NEMA.
- ✓ El segmento DIN mide 35 mm de alto y 15 mm de fondo, tal y como se muestra a continuación.



Sensor de Presión + Sello Químico:

- ✓ Es necesario que controle de forma visual el instrumento antes de la puesta en servicio del transmisor de presión, porque la membrana es un componente relevante de seguridad.
- ✓ Asegúrese de que no se escape líquido siendo eso un indicio de un defecto de la membrana
- ✓ Utilice el transmisor de presión sólo si la membrana está indemne.

- ✓ Asegúrese, en el montaje, de que las superficies de estanqueidad del instrumento y los puntos de medición queden limpios e intactos.
- ✓ Atornille o destornille el instrumento sólo a través de las superficies de llave utilizando una herramienta apropiada y el momento de torsión prescrito (max. 50 Nm).
- ✓ Todas las reparaciones solamente las debe efectuar el fabricante.
- ✓ Antes de limpiar hay que separar debidamente el instrumento de cualquier fuente de presión, apagarlo y desconectarlo de la red.
- ✓ Limpiar el instrumento con un trapo húmedo.
- ✓ Asegurarse de que las conexiones eléctricas no se humedecen.
- ✓ Tener cuidado con la manipulación del equipo, en la parte inferior del sello químico posee un diafragma que es muy delicado, por lo que se recomienda no ingresar objetos que puedan afectar el estado del material.

Sensor de Temperatura + PH:

- ✓ En la colocación y manipulación del electrodo se debe tener mucho cuidado debido a que es un dispositivo muy delicado.
- ✓ El sensor debe ir colocado de forma horizontal dentro del digestor, debido a que lo establecen sus especificaciones técnicas.
- ✓ En la instalación del electrodo dentro del digestor no se debe retirar su recubrimiento ya que este sirve de protección.
- ✓ La programación del controlador la debe realizar una persona que esté capacitada.
- ✓ Este dispositivo debe tener su conexión a tierra.

Válvulas:

- ✓ Todas las válvulas deben ir ancladas y apoyadas sobre un soporte de cemento.

- ✓ Tener presente de que no ingresen al proceso objetos extraños ya que se pueden ver seriamente dañadas las los mecanismos de apertura y cierre.
- ✓ Las válvulas deben recibir un mantenimiento cada año.
- ✓ El mantenimiento lo debe realizar personal capacitado.

Actuadores Eléctricos:

- ✓ Tener cuidado cuando con su manipulación debido a que son dispositivos sensibles.
- ✓ En el caso de que se mande a parar todo el proceso los actuadores tienen la opción manual, es decir el operario puede controlar la apertura y cierre de la válvula.
- ✓ Todos los actuadores deben tener protecciones de cortocircuitos.
- ✓ Tienen que tener conexión a tierra.
- ✓ En caso de averías las deben revisar personas capacitadas.

PROTECCIONES ELECTRICAS:

SEGURIDAD:

- ✓ Tener cuidado con los dispositivos eléctricos y electrónicos; una mala manipulación se puede producir en una descarga eléctrica que sería fatal para la persona que la recibe.
- ✓ Si se va hacer algún tipo de mantenimiento en la plata de biogás, mandar a detener totalmente todo el proceso y cerciorarse de que en verdad este inactivo.
- ✓ Cuando se vierta la cal al agua, el operario deberá utilizar guantes de látex, y gafas para proteger los ojos.

CONCLUSIONES.

Una vez acabado el proyecto se puede concluir que los objetivos planteados en un inicio se han alcanzado con éxito:

- Con la búsqueda y recopilación bibliográfica se estableció el diseño del biodigestor anaerobio con tanque tradicional y cúpula de polietileno, de régimen semicontinuo el mismo que es de desplazamiento horizontal, considerando por su facilidad de construcción el cual permite realizar la automatización de los procesos que ocurren en el biodigestor, obteniendo una planta de generación de biogás y bioabono en espacios pequeños con un mayor rendimiento con respecto a los demás, permitiendo aprovechar el uso integral de los desechos orgánicos producidos en la Granja Zapotepamba.
- Mediante la obtención de los cálculos, se determinó las dimensiones finales de las partes constitutivas del biodigestor.
- La propuesta de automatización se realizó tomando en cuenta las características de los procesos que ocurren en un biodigestor anaerobio, se concretó que es posible implementar un sistema de control automático que de manera inteligente mantenga las condiciones adecuadas de nivel, temperatura, presión y tiempo de mezclado con el fin de acondicionar el medio anaerobio en que las bacterias llevan a cabo la producción de biogás.
- La implementación de un sistema automático de control se lo realiza mediante un PLC Twido, además de una interfaz gráfica SCADA que permitirá observar el proceso de digestión.
- Se logró diseñar un Biodigestor Automatizado capaz de producir 19.95m³ de biogás por día, siendo una alternativa de generación que pueda solucionar la carencia de abastecimiento de gas LP en zonas aisladas del país.
- El diseño de la planta generadora de biogás y bioabono, garantiza su eficiente funcionamiento, asegurando la completa biodigestión de desechos orgánicos producidos en la granja.

- Al realizar un estudio de costos del proyecto y relacionándolo con el beneficio de utilización del biogás y venta del abono se deduce que es un proyecto viable al realizar la amortiguación de costos beneficio.
- El presente trabajo se realizó con la aspiración de contribuir con el medio ambiente, con la ayuda de la ingeniería y de los procesos automáticos con la firme convicción de contribuir en la conservación del medio ambiente con el uso de energías alternativas.

RECOMENDACIONES.

- Realizar las conexiones eléctricas correspondientes entre el dispositivo PLC y elementos actuadores con el número y tipo de conductor adecuado, al igual que se debe efectuar la protección de los mismos principalmente por las caídas de tensión debido a que son equipos muy frágiles y sensibles.
- Añadir un control de carácter manual independiente del control automático como paros de emergencia por cualquier falla o eventualidad en el proceso automático.
- Implementar el modelo propuesto con el objetivo de analizar el comportamiento real del biodigestor.
- Continuar trabajando en la informatización del proceso de producción del biogás con el fin de obtener un modelo del sistema lo más representativo posible del comportamiento real de la planta.
- Recomendar el presente trabajo de tesis para la sustitución de energías contemporáneas y contaminantes por un sistema de control y mejoramiento del tratado de residuos agrícolas.
- Con la implementación del sistema de automatización, para una mejor comprensión de la simbología y referencias en los planos que constan en anexos, es necesario familiarizarse con la norma ISA que es la utilizada en este trabajo.
- Esquematizar y realizar los principios de funcionamiento de los procesos en el biodigestor mediante la aplicación de prácticas de laboratorio integrando el PLC.
- Continuar con el desarrollo del proyecto, referente con la alimentación de energía eléctrica del PLC y controladores sustituyéndola mediante el uso de paneles solares, para lograr que todo el proceso sea autónomo y no dependa de ninguna fuente de energía convencional no renovable.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- [1] FERNÁNDEZ, Pedro. 2006. Energía Biomásica. Cantabria, 110 p.
- [2] HILBERT, Jorge, 2003. Manual para la Producción de Biogás, Instituto de Ingeniería Rural, Argentina, 78 p.
- [3] INCROPERA, Frank.1999. Fundamentos de Transferencia de Calor, Prentice Hall, México, 56 p.
- [4] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, Código de dibujo Técnico-Mecánico, Quito – Ecuador, 1989. p366.
- [5] INSTITUTO NACIONAL DE ENERGÍA, Difusión de la tecnología de biogás en Colombia, Documentación del proyecto, Santiago de Cali-Colombia, Octubre, 1987.
- [6] OLADE, Santiago J. Sánchez Miño 2003. Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones, Quito, Ecuador, WWF - Fundación Natura. 153 p.
- [7] SAENZ, Jorge, Octubre 2001. Biodigestores: aportes a las condiciones ambientales y calidad de vida de la población campesina, Costa Rica, 223 p.
- [8] SIMPOSIO CENTROAMERICANO SOBRE APLICACIONES DE ENERGÍA BIOMÁSICA, Diseño y Construcción de biodigestores, Editorial Tecnológica, Costa Rica, 1985. 123p.
- [9] SMITH, Carlos A. 2002. AUTOMATED CONTINUOUS PROCESS CONTROL. 5a. ed. New York. John Wiley & Sons, Inc. 227 p.

Tesis:

- [1] AGUDELO BOTERO, Marcela. CARMONA VALENCIA, Sara Catalina. SERRA OSPINA, María Fernanda. Lineamientos Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGIRSMunicipio de Itagüí, 2004. Medellín. (Tesis de grado). Universidad de Antioquia. Facultad Nacional de Salud Pública. 204 p.

- [2] ÁLVAREZ BARAJAS, Jonathan. ÁLVAREZ TOSTADO, Ernesto. 2009. Propuesta de Automatización de un Digestor Anaerobio tipo Horizontal. (Tesis para obtener el título de Ingeniero en Control y Automatización), México, Instituto Politécnico Nacional, Escuela de ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, 137 p.
- [3] ARTEAGA C. Y.; CARBALLO A. L.; MÁRQUEZ M, F.; URBÁEZ M, C. Biomasa: Alternativa sustentable para la producción de Biogás. Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”. Facultad de Forestal y Agronomía. Departamento de Química. Cuba, 111 p.
- [4] DELGADO, Ismael. 2004. El aprovechamiento Energético de la Biomasa. (Tesis de la Unidad de Química Industrial), Barcelona, España, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. 129 p.
- [5] IZAGIRRE CASTELLANOS, Eduardo. 2008. Sistemas de Automatización. (Tesis Magister en Automática y Sistemas Computacionales). Santa Clara, Cuba, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica Departamento de Automática y Sistemas Computacionales. 136 p.
- [6] PhD. RAMON, Jacipt, Ing. CARRILLO, Erika Yesenia, PhD. ROMERO Luis Fernando. 2009. Desarrollo de la ingeniería de detalle de un sistema de Biodigestión en fases Separadas de (Acidogénesis y Metanogénesis) Santander, Colombia. Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS). 55 p.

Páginas web:

<http://www.biomass.org> Asociación Americana de Bioenergía, EEUU. 2010.

<http://www.ciemat.es> Ceder-Ciemat: Centro de Desarrollo de Energías Renovables.

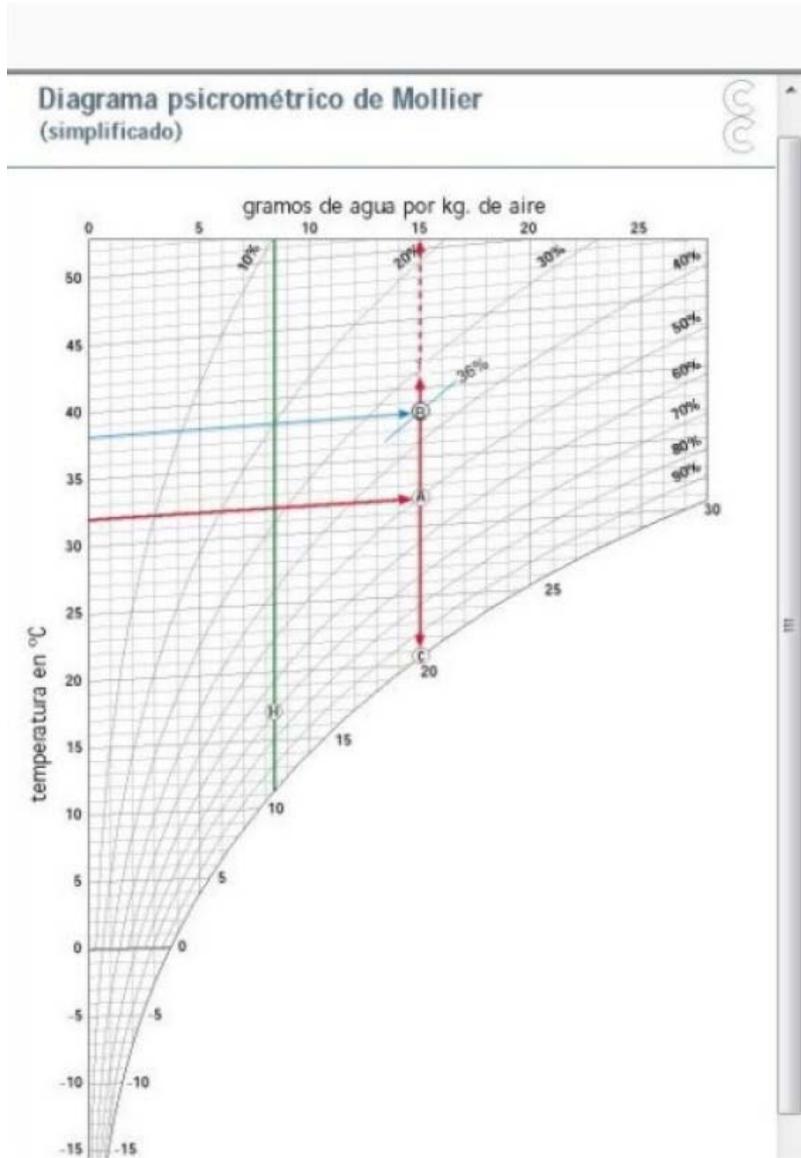
<http://www.econosur.com/notas/biodiesel2.htm> Biocombustibles. 2010.

<http://www.idae.es> IDAE: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.

<http://www.tecnologia.mendoza.edu.ar/biogas/conceptos.htm>

ANEXOS

ANEXO i I: TABLA PARA ENCONTRAR LA HUMEDAD RELATIVA DE LA INCUBADORA



**ANEXO i II: COSTOS QUE SE DEBERÍAN DESGLOSAR EN LA
CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LA INCUBADORA DE
HUEVOS.**

ÍTEM	DENOMINACIÓN	CANT	U	Costo \$	TOTAL
1	Plancha de hierro galvanizado (HG) (1/16 o 1.6mm espesor), medidas de la plancha(2.40x1.20)	5	U	50	250
2	Tubos cuadrados galvanizados de (1 1/4) x 2mm, (6m de largo)	7	U	25	175
3	Ángulo de acero 1" (6m largo)	1	U	7	7
4	Plancha HG (1/32 o 1.3mm espesor), (2.40 x 1.20)	3	U	30	90
6	Vidrio de 60cm * 30cm de 4mm	1	U	8	8
7	Electrodo para encendido de horno	1	U	15	15
8	Electrodos E-6011 Ø1/8"	2	Kg	5	10
9	Remaches de aluminio de 1/8 x 1/4"	1	Caja	9	9
10	Cable eléctrico AWG 16	4	m	1,5	6
11	Motor de 1/4 HP	1	U	55	55
12	LOGO de 110V Siemens	1	U	145,60	145,60
13	Módulo de expansión de entradas analógicas	1	U	77,28	77,28
14	Cable de comunicación de logo	1	U	95,00	95,00
15	Termocupla PT100	1	U	25	25
16	Sensor de humedad	1	U	268,80	268,80
17	Ventiladores de computadora.	2	U	8	16
19	Válvula metálica anti retorno para gas 1	1	U	5	5
20	Silicon Transparente para uso Industrial	2	U	3,5	7
21	Bisagras de presión de 2 "	3	U	0,50	1,50
TOTAL \$ Incluye IVA					1266,17

**ANEXO i III: COSTOS QUE SE DEBERÍAN DESGLOSAR EN LA
CONSTRUCCIÓN DE LA COCINA.**

ÍTEM	DENOMINACIÓN	CANT	U	Costo \$	TOTAL
1	Ángulo de acero estructural ASTM-A-36 de 1" x 1/8" (25,4 x 3,2)mm y 6,10m	1	U	45	45
2	Platina de aluminio natural de 3" x 6,40 m	1	U	24	24
3	Perfil T de aluminio natural de 1" x 6,40 m	1	U	4,5	4,5
4	Tubo galvanizado de 1" x 3m	1	U	8	8
4	Válvula metálica Tipo bola de paso HG de 1"	3	U	6	18
5	Pernos de 3/16 " x 1/2 " con arandela plana y tuerca	4	U	0,4	1,6
6	Electrodos E-6011 Ø1/8"	1	Kg	5	5
7	Pintura anticorrosiva negra para metal	1	Gal	10	10
8	Válvula metálica anti retorno para gas 1	1	U	5	5
TOTAL \$					121,10

**ANEXO i IV: COSTOS QUE SE DEBERÍAN DESGLOSAR EN LA
CONSTRUCIÓN DE 4 FILTROS PARA ÁCIDO SULFÚRICO.**

ÍTEM	DENOMINACIÓN	CANT	U	Costo \$	TOTAL
1	Tubo galvanizado de 1" x 3m	1	U	8,00	8,00
2	Bridas de 6" cedula 40	2	U	18,00	36,00
3	Perfil T de aluminio natural de 1" x 6,40 m	1	U	4,50	4,5
4	Válvula metálica Tipo bola de paso HG de 1"	3	U	6,00	18
5	Pernos de 3/16 " x 1/2 " con arandela plana y tuerca	4	U	0,40	1,6
6	Electrodos E-6011 Ø1/8"	1	Kg	5,00	5
7	Pintura anticorrosiva negra para metal	1	Gal	10	10
TOTAL \$					108,10



ANEXO i V: SELECCIÓN DE QUEMADORES PARA LA COCINA

QUEMADORES	POTENCIA CALORÍFICA Kcla/h	CONSUMO DE BIOGÁS CON (5500Kcal/m ³), EN m ³ /h FUNCIONAMIENTO
Chico	1000-1250	0.18-0.23
Mediano	1500-1750	0.27-0.32
Grande	Min 2000	>0.36

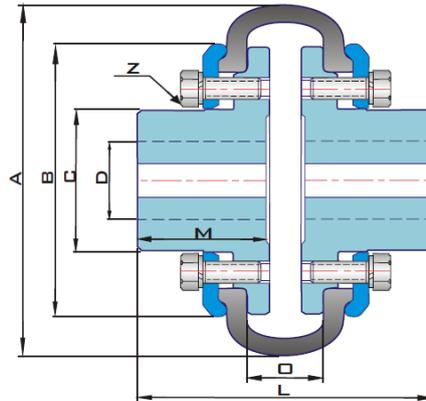
Tabla para conocer tipos de quemadores para biogás²⁷.

Para la cocina se ha creído conveniente la selección de dos quemadores tipo grande que son más que suficientes para la cocción de alimentos.

Mientras que para la incubadora de acuerdo a cálculos obtenidos se tiene un consumo de alrededor de 3470.69Kcal/h ver Ecuación e.98 capítulo de resultados y discusión, mediante el cual se realiza la selección del quemador grande.

²⁷ libro-biodigestion-1.pdf,

ANEXO i VI: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUJECCIÓN, MEDIANTE ACOPLES DE BRIDAS TIPO ELÁSTICOS.



Cálculo y Selección.- Para esto se deben realizar los siguientes pasos:

1.- Se debe multiplicar la potencia necesaria en H.P, Por el Factor de Servicio correspondiente que estará en servicio el motor (Ver Tabla 2).

En nuestro caso va ser un factor de servicio será de 1.0 por ser un sistema de agitación a densidad constante, el cuan estará en funcionamiento cuatro horas 4h, por lo que el sistema de agitación trabaja 10min/h por cada hora.

TABLA 2

TIPO DE CARGA	TIPO DE MÁQUINA ACCIONADA	MOTOR ELÉCTRICO	MOTOR DE COMBUSTIÓN	
			+ 4 CILIN.	1 A 3 CILIN.
REGULAR	AGITADORES DE DENSIDAD CONSTANTE - BOMBAS CENTRÍFUGAS VENTILADORES CENTRÍFUGOS Y AXIALES - TRANSPORTADORES A BANDA, TORNILLO O CADENA - SLITTERS - GENERADORES DE CARGA UNIFORME	1.0	1.5	2.0
IRREGULAR	AGITADORES DE DENSIDAD VARIABLE - BOMBAS CENTRÍFUGAS CARGA VARIABLE - BOMBAS A ENGRANAJES, LÓBULOS PALETAS O PISTONES AXIALES - SOPLADORES TIPO ROOTS - COMPRESORES A TORNILLO ELEVADORES A CANGILONES - TRANSPORTADORES A RODILLOS HIDROPULPERS - JORDANS - BOBINADORES - MÁQUINAS TEXTILES MÁQUINAS PARA MADERAS - MOLEDORAS A CUCHILLAS - EXTRUSORAS	1.5	2.0	2.5
PULSANTE	EQUIPOS DE IZAJE - MOTO SOLDADORAS - MÁQUINAS HERRAMIENTAS CILINDRADORAS DE ACERO - TRAFILADORAS - BOBINADORAS INDUSTRIA DEL ACERO - PRENSAS DE PAPEL - ZARANDAS ROTATIVAS MOLINOS A CUCHILLAS Y A RODILLOS - TRITURADORAS A CONOS Y A MARTILLOS - HORNOS, LAVADORES Y SECADORES ROTATIVOS VENTILADORES DE TORRES DE ENFRIAMIENTO - VENTILADORES DE TIRO INDUCIDO.	2.0	2.5	3.0
ALTAMENTE PULSANTE ALTERNATIVA INVERSIÓN DE MARCHA	TRANSPORTADORES RECÍPROCOS - CHIPERAS PARA MADERA MOTOCOMPRESORES - COMPRESORES RECÍPROCOS A PISTONES DE SIMPLE O DOBLE ADICIÓN - MEZCLADORAS Y GALANDRAS DE GAUDDO BAMBURY - ZARANDAS VIBRATORIAS - MOLINOS A BOLAS Y A MANDÍBULAS - BOMBAS DE POZO A PISTÓN - TRANSPORTADORES A RODILLOS PARA INDUSTRIA DEL ACERO	2.5	3.0	3.5

Que en nuestro caso para el sistema de agitación nos dio una potencia de 2HP*factor de servicio de 1 = 2.

2) Con los H.P. obtenidos en el primer paso ingresar en la Tabla 3 por la fila de r.p.m. de servicio y trasladarse hacia la derecha, hasta encontrar un valor en H.P. Admisibles igual o mayor al buscado.

BANDA NORMAL	MODELO	01-1	03-1	06-1	10-1	14-1	18-1	22-1	25-1	26-1	28-1	30-1	32-1
	R.P.M												
	50	0.04	0.07	0.21	0.50	1.06	2.12	4.25	8.50	17.0	28.3	49.6	71.0
	100	0.07	0.14	0.42	0.99	2.12	4.25	8.50	17.0	34.0	57.0	99.0	142
	500	0.35	0.71	2.12	4.96	10.6	21.2	42.5	85.0	170	283	496	708
	750	0.53	1.06	3.19	7.43	15.9	31.9	64.0	127	255	425	743	1062
	1000	0.71	1.42	4.25	9.91	21.2	42.5	85.0	170	340	566	992	
	1500	1.06	2.12	6.37	14.9	31.9	63.7	127	255	510			
	1800	1.27	2.55	7.70	17.8	38.2	76.0	153					
	2500	1.77	3.54	10.6	24.8	53.0			H.P. ADMISIBLES CON F _s = 1				
2800	1.98	3.97	11.9	27.8	59.0								
MOMENTO TORSOR (KGM)	0.5	1	3	7	15	30	60	120	240	400	700	1000	

BANDA REFORZADA		06-1	10-1	14-1	18-1	22-1	25-1	26-1	28-1	30-1	32-1
	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
MOMENTO TORSOR (KGM)		6	14	30	60	120	240	360	660	1050	1400

Con lo que el motor es de 1750 rpm y la potencia de acuerdo al paso 2 será de 2.55 luego se sube por esa columna y se encuentra el modelo de acople que se debe instalar que en este caso es el 03-01.

Determinado esto realizamos el paso 3:

Mediante el modelo a instalarse nos dirigimos a la tabla 1 que de acuerdo al número del modelo que en nuestro caso es 03-01 obtenemos las medidas de las partes que constituyen la misma.

TABLA 1		01-1	03-1	06-1	10-1	14-1	18-1	22-1	25-1	26-1	28-1	30-1	32-1
MODELO													
A (MM)		86	104	136	178	210	263	310	370	402	450	550	700
B (MM)		67	81	104	133	163	209	257	317	347	370	415	510
C (MM)		30	34	47	64	84	105	140	160	170	210	220	270
D MÍN / MÁX. (MM)		10 / 18	12 / 22	15 / 32	20 / 42	25 / 50	30 / 70	38 / 90	38 / 100	38 / 110	55 / 130	55 / 140	70 / 180
L (MM)		50	64	88	125	150	174	200	215	244	280	360	450
M (MM)		20	28	42	55	65	74	84	85	98	110	130	160
O (MM)		16	16	18	35	38	44	42	46	50	70	120	150
Z (CANT. X LADO)		4	4	6	6	6	8	8	8	12	12	12	12
KA DESPLAZAMIENTO AXIAL MÁXIMO (MM)		1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.5	5.0	5.5	6.0	8.0
KR DESALINEACIÓN RADIAL MÁXIMA (MM)		0.7	0.8	1.0	1.3	1.6	2.1	2.5	3.0	3.5	3.7	4.2	5.2
KW DESALINEACIÓN ANGULAR MÁXIMA (°)		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ÁNGULO DE TORSIÓN		5	6	6	5	8.5	6.5	6.3	5.2	5.5	9	10.8	11.8
PESO (KG)		0.7	1.1	2.7	6.1	11	21	36	60	75	114	161	354
R.P.M. MÁXIMAS (1/MIN)		3600	3400	3200	3000	2800	2200	2000	1600	1600	1250	1000	800

Con lo que las medidas finales de la brida serán de:

A 104mm; B 67mm; C 30mm; L 50mm M 20mm; O 16mm; Z=4 que es la cantidad de pernos que se den utilizar para la sujeción y calibración de la banda elástica.

**ANEXO i VII: TABLA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS DE
AUTOMATIZACIÓN SEGÚN LA ISA.**

Significado de letras de Identificación h	
Primera Letra	Segunda o Tercera letra
A Análisis	Alarma
B Llama de quemador	
C Conductividad	Controlador
D Densidad o gravedad específica	
E Voltaje	Elemento
F Flujo	
H Mano (Iniciado manualmente)	Alto
I Actual	Indicar
J Potencia	
K Tiempo o tiempo de calendario	Estación de control
L Nivel	Luz o bajo
M Humedad	Medio o intermedio
O	Orificio
P Presión o vacío	Punto
Q Cantidad o suceso	
R Radioactivad o proporción	Gragación o impresión
S Velocidad o frecuencia	Switch
T Temperatura	Trasmisor
V Viscocidad	Válvula o regulador
W Peso	Bien
Y	Trasnmistir o computar
Z Posición	Manejo

**ANEXO i VIII: MATERIALES Y COSTOS UTILIZADOS EN LA
CONSTRUCCIÓN FÍSICA Y CIVIL DEL BIODIGESTOR.**

DENOMINACION	CANT	U	PRECIO UNITARIO	TOTAL POR ITEM
Ladrillos	3000	U	0,19	570,0
Cemento portland tipo 1B	15	sacos	7,00	105,0
Listones de 2,5m de largo de 4 x 5 cm	15	U	1,20	18,0
Arena fina	5	m ³	15,00	75,0
Arena Gruesa	2	m ³	12,00	24,0
Piedra	6	m ³	16,00	96,0
Grava	3	m ³	15,00	45,0
Tubo de 4" para desagüe PVC	1	U	9,00	9,0
Tubos PVC de 1"	6	U	7,50	45,0
Tubos PVC de ½"	3	U	6,00	18,0
Varillas corrugada de 10mm x 12 m de long.	5	U	10,50	52,5
Varillas corrugada de 8 mm x 12 m de long.	3	U	7,00	21,0
Varillas corrugada de hierro 1/4" x 12 m	5	U	5,00	25,0
Manguera de polietileno de 1/2" para agua	20	m	0,40	8,0
Plástico transparente calibre 8 para invernadero de 1,5 m de ancho	3	m	2,50	7,5
Polietileno flexible para cúpula de 2 m de ancho	6	m	6,00	36,0
Polietileno flexible para tanque de almacenamiento de 4,71 metros de ancho	12	m	6,00	72,0
Válvula Tipo llave de paso HG de 1"	4	U	6,00	24,0
Válvulas de paso para agua de 1/2"	1	U	3,50	3,5
Válvulas metálicas anti retorno para gas 1"	4	U	5,00	20,0
			TOTAL	1274,5

**ANEXO i IX: EQUIPOS UTILIZADOS EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL
BIODIGESTOR.**

ÍTEM	Descripción	Cantidad.	VALOR REF. TOTAL (EN DOLARES)
1	Switch de nivel.	1	650
2	Transmisor, Medidor de PH	1	3200
3	Ensamble sello químico +transmisor de presión.	1	1055
4	Válvulas --Diámetro 4".	2	780
5	Actuador eléctrico para válvula de 4".	2	1820
6	Válvulas--Tipo roscado NPT Diámetro 1".	1	468
7	Actuador eléctrico para válvula de 1".	1	325
8	Válvulas. Tipo roscado NPT Diámetro 1/2".	3	506
9	Actuador eléctrico para válvula de 1/2".	3	975
10	Autómata programable (PLC). Twido Especificaciones técnicas: BASE UNIT AC,14 IN DC,10	1	985
		TOTAL	\$10764

ANEXO i X:

DIAGRAMAS AUTOCAD.

ANEXO i XI:

ANTE-PROYECTO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES**

TEMA:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMANTACIÓN DE UN
BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA LA GRANJA
ZAPOTEPAMBA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”.**

AUTORES:

Darío Alexander Díaz Castillo.

Hermes Estuardo Rodríguez Castillo.

LOJA ECUADOR.



1. TÍTULO:

“Diseño, Construcción e Implementación de un Biodigestor Automatizado para la Granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja”

2. PROBLEMÁTICA:

2.1. Antecedentes:

El continuo y creciente deterioro del ecosistema mundial y el agotamiento a mediano plazo de las reservas de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas; son las principales consecuencias del actual sistema energético mundial.

Son los combustibles fósiles la mayor fuente generadora de energía, con una producción mundial en torno al 85%: carbón (24%), petróleo (39%) y gas natural (22%).

Aunque cualquier opción para la generación de energía tiene repercusiones sobre el medio ambiente, son los combustibles fósiles los que producen mayor cantidad de emisiones, minerales, inquemados y elementos traza.

Este hecho produce una total aceptación de responsabilidad para con el medio ambiente, hasta ahora descuidado y transformado.

Los gases están formados principalmente por gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), dióxido de nitrógeno (NO₂), y compuestos halogenados. Gases precursores de la lluvia ácida: dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x);

Se conoce que casi tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía la leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, lo que provoca, junto a otros

efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas.

En respuesta a esta situación surgen varias alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, que tienen bajo impacto ambiental y su fuente de energía es considerada renovable, una de ellas resulta la producción de biogás a partir de la fermentación de la materia orgánica.

Según estimaciones, la población del mundo crecerá de 6 a 8 millones para el año 2030.

La real dimensión del problema ambiental por efecto de la intensificación ganadera, y sus posibles soluciones, solo se logran cuando el animal se inserta como un componente más dentro de un sistema mayor, que posee en materia de nutrientes, sus propios flujos y balances (Viglizzo, 1999).

Por otro lado los problemas más críticos que enfrenta el mundo es el manejo inadecuado de los residuos producidos, tanto en el sector rural, urbano como industrial. Estos materiales habitualmente se eliminan sin un tratamiento previo, por lo que pueden constituirse en agentes contaminantes de considerable alcance; afectando a los ecosistemas, alterando el equilibrio ecológico y la calidad de vida.

La necesidad de alternativas de producción energética, mediante la implementación de prácticas amigables con el ambiente y el aprovechamiento de los recursos disponibles, crea un clima favorable para la promoción e implementación de la tecnología de biodigestores, obteniendo como beneficio la producción de biogás. Por tanto, aprovechar de manera eficiente este combustible es de importancia para sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, escasas y costosas, convirtiendo la explotación agropecuaria en una actividad económica más rentable y menos contaminante.

La grasa vegetal posee un alto potencial energético debido a su composición química y alto contenido de lípidos degradables por bacterias anaeróbicas. Utilizadas en biodigestores para la producción de biogás, las grasas vegetales pueden elevar en hasta 2400 % la productividad de biogás de biodigestores operados con excretas animales.

El presente trabajo busca un medio alternativo para el tratamiento eficiente y barato de las grasas residuales, con el uso de una técnica sencilla que es la fermentación de grasas vegetales residuales a través de biodigestor automatizado y de flujo continuo

Con esta investigación se pretende conseguir, al mismo tiempo, la posible solución de un problema de contaminación y la oportunidad de generar un combustible altamente energético que seguramente es de gran importancia en los días actuales, en los que el mundo entero sufre con la escasez de recursos energéticos

2.1. Planteamiento de la Problemática:

La tecnología disponible en nuestra región no permite aprovechar la energía de la biomasa y por otro lado existe alta contaminación ambiental, en la granja "Zapotepamba" de la Universidad Nacional de Loja existe una gran demanda de gas licuado de petróleo GLP, el mismo que es utilizado para la cocción de alimentos y para el proceso de producción en la planta de procesamiento, así mismo no existe un proceso adecuado para la producción del abono obtenido mediante las excretas de los animales. Estos dos factores son determinantes en la contaminación del medio ambiente y mal aprovechamiento de los recursos agropecuarios.

Según la observación de campo que realizamos en la granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja, constatamos que existe una gran demanda de consumo de gas licuado de petróleo para la cocción de alimentos en el centro de educación superior y su planta de procesamiento de alimentos.

Nos percatamos que el proceso de producción y obtención de abonos es demasiado lenta por ser elaborada en forma artesanal el cual se lo realiza al aire libre siendo un ambiente contaminante y no favorable para la salud.

2.2. Problema de la Investigación general:

Inadecuada utilización de residuos agrícolas y excretas animales, como proceso de obtención de bioabono y biogás, con el correspondiente efecto negativo al medio ambiente por la emisión de gas metano.

3. JUSTIFICACIÓN:

Con la construcción e implementación de un biodigestor en la granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja se logrará un adecuado aprovechamiento de las excretas de los animales, lo cual permitirá obtener la producción de biogás y bioabono con el fin de contribuir con la conservación del medio ambiente y de brindar nuevas alternativas de aprovechamiento de energía.

La elaboración de la presente investigación es factible, en primera instancia gracias a los conocimientos adquiridos en el transcurso de nuestra carrera, nos permite dar a conocer que como estudiantes nos encontramos en capacidad de cuestionar y dar alternativas válidas al tema a realizar. Se cuenta con la información, conocimientos técnicos científicos y medios que ayuden a dar ideas al mejoramiento de problemas planteados aportando al refuerzo de conocimientos.

Para la realización del proyecto nos basaremos en documentos, libros, folletos, relacionados con nuestro medio y de esta manera sustentar el tema a desarrollarse, por lo cual se recolectará datos con los cuales se ayudará a la definición de conceptos y variables.

Además se realizarán los cálculos pertinentes los cuales servirán como apoyo a estudiantes, profesores y personas particulares, en el desarrollo de nuevas tecnologías para que de esta manera tengan un enfoque claro sobre el diseño y dimensionamiento de un biodigestor.

4 Objetivos:

4.1. Objetivo General:

Diseñar y construir un biodigestor que permita aprovechar el uso integral de los desechos orgánicos producidos en a la Granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja

4.1.1. Objetivos Específicos:

Entre los objetivos específicos del proyecto se puede mencionar los siguientes:

- Buscar la información bibliográfica para seleccionar el tipo de biodigestor que se ajuste a las condiciones y necesidades de la granja.
- Realizar los cálculos pertinentes, para el dimensionamiento y partes constitutivas del biodigestor.
- Construir el biodigestor.
- Automatizar los procesos del biodigestor, mediante un sistema SCADA.

5 MARCO TEÓRICO.

5.1 BIOMASA.

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, etc.), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros) es decir, al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.

Atendiendo al origen es posible diferenciar, desde un punto de vista ecológico, biomásas de distintos órdenes:

- Biomasa primaria: es la materia orgánica formada directamente por los seres fotosintéticos (algas, plantas verdes y demás seres autótrofos). Este grupo comprende toda la biomasa vegetal, incluidos los residuos agrícolas (paja o restos de podas) y forestales (leñas).
- Biomasa secundaria: es la producida por los seres heterótrofos que utilizan en su nutrición la biomasa primaria. Este tipo de biomasa implica una transformación biológica de la biomasa primaria para formar un nuevo tipo de biomasa de naturaleza distinta a la inicial. Un ejemplo sería la carne o las deyecciones debidas a los animales herbívoros.
- Biomasa terciaria: es la producida por los seres que se alimentan de biomasa secundaria, como sería el caso de la carne de los animales carnívoros, que se alimentan de los herbívoros.

El tipo de biomasa a ser usada en el biodigestor para la producción de biogás y bioabono es de orden secundario (excretas animales), las mismas que expuestas al aire libre originan un impacto de gran consideración ambiental debido a la emisión de gas metano el mismo que es un causante del calentamiento global y de un sin número de enfermedades

5.1.1 TIPOS DE BIOMASA.

Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular. Por ejemplo, los desechos forestales indican el uso de los procesos de combustión directa o procesos termoquímicos, los residuos animales indican el uso de procesos anaeróbicos (bioquímicos), etc.

5.1.2 *Composición química y física*

Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar, por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera pueden producir el denominado "gas pobre", que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.

El método básico de operación consiste en alimentar al biodigestor con materiales orgánicos y agua, dejándolos un periodo de semanas o meses, a lo largo de los cuales, en condiciones físicas y químicas favorables, el proceso bioquímico y la acción bacteriana se encargan de la descomposición de la materia orgánica hasta producir biogás.

5.1.3 *Contenido de humedad relativa (H.R)*

El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.

Según la recopilación bibliográfica hemos determinado que la carga en el biodigestor será hasta obtener un 75% de volumen con una relación estiércol: agua de 1:4.

5.1.4 Poder calórico

El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

5.1.5 Densidad aparente

Esta se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte y, algunas veces, presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión, y eleva los costos del proceso.

5.1.6 Recolección, transporte y manejo

Las condiciones para la recolección, el transporte y el manejo en planta de la biomasa son factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética. La ubicación del material respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional.

La recolección del estiércol en la granja lo realizan los estudiantes los mismos que son encargados de llevarlo hasta el sitio donde lo procesan por lo tanto no existiría dificultades para el traslado de las excretas hasta el biodigestor.

5.1.7 Descomposición Anaerobia

El proceso anaerobio es aquel en que se efectúa la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular como aceptor de electrones. Tal es el caso, por ejemplo, de los procesos de producción de alcohol, los procesos de desnitrificación y de digestión anaerobia, Estos dos últimos empleados en el tratamiento de aguas residuales.

Los procesos de digestión anaerobia ocurren normalmente en la naturaleza, siendo los nichos de estos procesos el fondo de los ríos, los lagos y el mar, las ciénagas y el tracto intestinal de, prácticamente, todos los animales.

El proceso de digestión anaerobia se emplea en el tratamiento de residuales sólidos o líquidos cuando la concentración de materia orgánica es tan elevada que no resulta económico el tratamiento aerobio.

Esta situación se presenta generalmente cuando la concentración de la demanda química de oxígeno (DQO) es relativamente elevada. Sin embargo, en los últimos años se ha venido aplicando este proceso, con éxitos, a aguas residuales con bajo contenido de materia orgánica.

La ventaja principal de los procesos anaerobios con relación a los aerobios se fundamenta en la transformación de la materia orgánica a través de una tecnología de bajo consumo energético, obteniéndose, un balance comparativo de energía y de masa entre ambos procesos, los resultados se muestran en la tabla:

Balance energético de los procesos aerobios y anaerobios

Proceso aerobio	Proceso anaerobio
Durante los procesos aerobios cerca del 60% de la energía se consume durante la síntesis de nueva biomasa (células de microorganismos) y el 40% de la energía se pierde en la forma de calor de reacción.	Durante los procesos anaerobios casi 90% de la energía que existe originalmente en el sustrato (residual) se retiene en el biogás que se produce durante estos procesos perdiendo solamente en 7% de la energía inicial como calor de reacción.
Durante los procesos aerobios cerca del 50% del carbono contenido en el sustrato se convierte en biomasa y otros 50% pasa a bióxido de carbono.	Durante los procesos anaerobios cerca del 95% pasa a biogás (metano (CH ₄ , CO ₂) y sólo el 5% es convertido en biomasa.

Lo anterior trae como consecuencia los aspectos prácticos siguientes:

- En los procesos anaerobios se consume mucho menos energía externa, fundamentalmente eléctrica, que en los procesos aerobios, no necesitándose, además, equipos mecánicos para el desarrollo de estos (por ejemplo compresores o agitadores mecánicos), además, se obtiene energía, en forma de gas combustible, útil para cualquier fin energético.
- En los procesos anaerobios sólo se generan del 10 al 30% de los lodos (biomasa) que se producen en los aerobios, lo que disminuye considerablemente los costos de disposición final de estos; además, los lodos anaerobios están mucho más estabilizados que los aerobios.
- En los procesos anaerobios no se producen aerosoles potencialmente peligrosos para el ambiente circundante de la planta de tratamiento.

5.1.8 BIOGÁS.

El biogás es un gas producto del resultado de la degradación anaerobia de materia orgánica, dicho gas está compuesto por cerca de 60% de metano y 40% de dióxido de carbono.

Contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos 1% de ácido sulfhídrico. Es un poco más liviano que el aire, posee una temperatura inflamación de 700° C y su llama alcanza una temperatura de 870° C .

VALORES DE GENERACIÓN DE BIOGÁS SEGÚN DIFERENTES SUSTRATOS

SUSTRATO	GENERACION DE GAS (L/Kg. Biomasa seca)	PROMEDIO (L/Kg. Biomasa seca)
Excreta de Porcino	340 - 550	450
Excreta de vacuno	150 - 350	250
Excreta de Aves	310 - 620	460
Guano de caballo	200 - 350	250
Guano de oveja	100 - 310	200
Guano de establo	175 - 320	225
Paja de cereales	180 - 320	250
Paja de maíz	350 - 480	410
Paja de arroz	170 - 280	220
Gras fresco	280 - 550	410
Gras de elefante	330 - 560	415
Bagazo	140 - 190	160
Desperdicios de verduras	300 - 400	350
Jacintos	300 - 350	325



Algas	380 - 550	460
Lodos de aguas servidas	310 - 640	450

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible, tanto para la cohesión de alimentos, en sustitución de la leña, el queroseno, el gas licuado, etc., como para el alumbrado, mediante lámparas adaptadas. Mezclas de biogás con aire, con una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también sea empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados.

Es importante aclarar que este gas puede usarse como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 %.

Los sustratos empleados para la carga del biodigestor corresponderán a los animales existentes en la granja (cerdos, vacas, cabras, gallinas, cuyes).

5.1.9 Factores que influyen en el proceso de digestión anaeróbica.

Durante mucho tiempo se consideró a la digestión anaerobia como un sistema bifásico, compuesto por la fase no metanogénica en que las bacterias anaerobias transformaban los sustratos en productos solubles y gaseosos incluyendo acetatos, CO₂, H₂; y otra, la metanogénica donde las bacterias formadoras de metano (CH₄) utilizaban el acetato, mezclas de H₂ y CO₂ entre otros sustratos para su metabolismo. Los términos con que se han identificado estas fases (acidificación y gasificación) no fueron del todo correctos; por cuanto, en la primera etapa no todos los productos que se forman son ácidos; así como no todos los productos gaseosos son derivados de la llamada etapa de gasificación

Más tarde, se admitió que en la fermentación bacteriana intervienen poblaciones microbianas diversas, en la que se distinguen cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

- Hidrólisis o licuefacción: en esta etapa los compuestos orgánicos son solubilizados por enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que actúan el

exterior celular por lo que se consideran exoenzimas. La hidrólisis es por tanto, la conversión de polímeros en sus respectivos monómeros.

- Acidogénesis: en esta etapa los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis son convertidos en ácidos orgánicos tales como acético, propiónico y butírico, fundamentalmente.
- Acetogénesis: se le conoce también como acidogénesis intermediaria en la cual los productos correspondientes son convertidos en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.
- Metanogénesis: en esta etapa metabólica el CH₄ es producido a partir del ácido acético o de mezclas de H₂ y CO₂, pudiendo formarse también a partir de otros sustratos tales como ácido fórmico y metanol.

5.1.10 PH

El rango de pH óptimo es de 6.6 a 7.6. Los ácidos grasos volátiles (AGV) y el acetato tienden a disminuir el pH del sustrato. Si las bacterias metanogénicas no alcanzan a convertir rápidamente los AGV a medida que lo producen las bacterias acetogénicas, estos se acumulan y disminuyen el pH en el biodigestor.

Rango de valores de pH en la generación de BIOGAS

Valor pH	Característica
7 – 7.2	OPTIMO
Menor de 6.2	Retardo por acidos
Mayor a 7.6	Retardo por amonios

Sin embargo, el equilibrio CO₂-bicarbonato opone resistencia al cambio de pH.

Existen dos métodos prácticos para corregir los bajos niveles de pH en el biodigestor. El primero es parar la alimentación del biodigestor y dejar que las bacterias metanogénicas asimilen los AGV; de esta forma aumentará el pH hasta un nivel aceptable. Deteniendo la alimentación disminuye la actividad de las bacterias fermentativas y se reduce la producción de los AGV. Una vez que se haya restablecido el pH se puede continuar la alimentación del biodigestor pero en pocas cantidades, después se puede ir aumentando gradualmente para evitar nuevos descensos.

El segundo método consiste en adicionar sustancias buffer para aumentar el pH, como el agua con cal. Las cenizas de soda (carbonato de sodio) constituyen una variante más costosa, pero previenen la precipitación del carbonato de calcio.

Los requerimientos de buffer varían según el residual, los sistemas de operación y tipos de operación. Las normas para calcular estos requerimientos han sido desarrolladas por Pohland y Suidon (1978).

La medición del PH lo realizaremos mediante un indicador de acidez que va ha estar incluido en el proceso de control en la descomposición anaeróbica.

5.2 CRITERIOS PARA CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR

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

Factores humanos

- Idiosincrasia
- Necesidad, la cual puede ser sanitaria, energía y de fertilizantes.
- Recursos disponibles de tipo económicos, materiales de construcción, mano de obra, utilización del producto, área disponible.

- Disponibilidad de materia prima, si se cuentan con desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales.

Factores biológicos

- Enfermedades y plagas tanto humanas como pecuarias y agrícolas

Factores físicos

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

Factores de construcción

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

Factores utilitarios

- Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.

- Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.
- Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala domestica, para grupo familiar, comunitario o empresas.
- Capacidad, si es pequeño de 3 a 12 m³ / digestor; si es mediano de 12 a 45 m³ digestor y si es grande de 45 a 100 m³ / digestor.
- Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento de el pretratamiento, la mezcla, la carga, y controles de PH, obstrucciones de líquidos, sólidos y gases: las descargas de efluentes tanto liquidas como gaseosas y de lodos; el almacenamiento de los líquidos, sólidos y gases; la aplicación de líquidos por bombeo, por tanques regadores o arrastre por riego; los sólidos que están disueltos en el agua y los sólidos en masa y por ultimo los gases utilizados para la cocción, iluminación e indirectamente en los motores.

Con el objetivo de disminuir el tamaño de los digestores se han utilizado los productos orgánicos que brindan mayor cantidad de biogás por unidad de volumen; algunos de ellos son: la excreta animal, la cachaza de la caña de azúcar, los residuales de mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara del café, así como la materia seca vegetal.

5.2.1 TIPOS DE BIODIGESTORES

Hay muchos tipos de plantas del biogás pero los más comunes son el dosel flotante (indio) y el domo fijo (chino) . La aceptabilidad pobre de muchos de estos biodigestores ha sido principalmente debida a los costos altos, la dificultad de instalación y problemas en la consecución de las partes y repuestos.

5.2.1.1 Pozos sépticos

Es el más antiguo y sencillo digestor anaeróbico que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas. Se cree que de allí deriva el uso

potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico.

Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable aislar las aguas servidas que caen en él, de las que contienen jabón o detergentes. El efecto de los jabones y en especial los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias, razón por la que los pozos se colmatan con rapidez y dejan de operar, haciendo necesario destaparlos frecuentemente para recomenzar la operación.

Cuando no es posible separar las aguas negras de las jabonosas, como en el alcantarillado urbano, es necesario hacer un tratamiento químico con Polímeros a esta agua a fin de solucionar el problema antes de iniciar la fermentación anaeróbica.

5.2.1.2 Biodigestor del domo flotante (Indio):

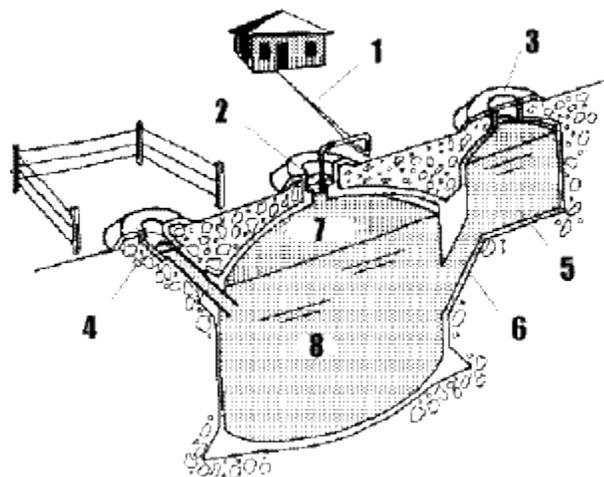


Fig. 1. Ejemplos de digestores hindúes.

Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas disponible depende del peso del poseedor de gas por el área de la unidad y normalmente varía entre 4 a 8 cm de presión de agua. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada.

5.2.1.3 *-Biodigestor de domo fijo (Chino)*

Este reactor consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y " fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de la inspección a la cima del digestor que facilita el limpiado. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, con presiones en el domo entre 1 y 1.5 m de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la cima hemisférica y el fondo. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor. Más de cinco millones de biodigestores se ha construido en China y ha estado funcionando correctamente (FAO, 1992) pero, desgraciadamente, la tecnología no ha sido tan popular fuera de China. Esta instalación tienen como ventaja su elevada vida útil (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.



Esquema del digestor chino: 1. tubería de salida del gas; 2. Sello removible;
3. Tapa móvil; 4. Entrada; 5. Tanque de desplazamiento; 6. Tubería de salida; 7.
Almacenamiento de gas; 8. Materia orgánica.

5.2.1.4 *Biodigestor de estructura flexible*

La inversión alta que exigía construir el biodigestor de estructura fija resultaba una limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivó a ingenieros en la Provincia de Taiwán en los años sesenta (FAO, 1992) a hacer biodigestores de

materiales flexibles más baratos. Inicialmente se usaron nylon y neopreno pero ellos demostraron ser relativamente costoso. Un desarrollo mayor en los años setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio producto llamado "el barro rojo PVC."

Esto fue reemplazado después por polietileno menos costoso que es ahora el material más comúnmente usado en América Latina, Asia y África. Desde 1986, el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha estado recomendando biodigestores de plástico económico como la tecnología apropiada por hacer mejor uso de excrementos del ganado, reduciendo la presión así en otros recursos naturales.

En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.



5.2.1.5 Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.

Otro tipo de planta de producción de biogás que ha logrado disminuir los costos hasta 30 % con respecto a los prototipos tradicionales, es la que se caracteriza por tener una estructura semiesférica de polietileno de película delgada en sustitución de la campana móvil y la cúpula fija, y un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillo

como los empleados en los prototipos tradicionales, y la estructura de polietileno flexible puede llegar a alcanzar hasta diez años de vida útil.



Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.

Mediante la obtención de información bibliográfica y de acuerdo a las características propias de la granja establecimos que el diseño y construcción más adecuado para estas condiciones es el **biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno**, el cuál será de flujo continuo, además nos permitirá realizar la automatización a todos los procesos que conlleva la obtención y producción del bioabono y biogás.

5.2.1.6 Instalaciones Industriales

Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado.

Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento contruidos de ladrillo u hormigón.

Con el objetivo de lograr su mejor funcionamiento se usan sistemas de bombeo para mover el material orgánico de los estanques de recolección hacia los biodigestores, y el biofertilizante de los digestores hacia los tanques de almacenamiento. También se

utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás con vistas a lograr que éste llegue hasta el último consumidor.

Para evitar los malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad y tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación.

La tendencia mundial en el desarrollo de los biodigestores es lograr disminuir los costos y aumentar la vida útil de estas instalaciones, con el objetivo de llegar a la mayor cantidad de usuarios de esta tecnología.



Biodigestores industriales

5.3 Funcionamiento de Digestor:

Es posible usar cualquier tipo de excreta, pero la producción de gas es más alta con estiércol de cerdo y mezclas de excrementos de pollos y ganado. La cantidad requerida depende de la longitud del digestor, pero generalmente es aproximadamente 5 kg de estiércol fresco (1 kg la materia sólida) para cada 1m. A esto deben agregarse 15 litros de agua para que el volumen de los sólidos represente 5 por ciento aproximadamente. No es aconsejable usar menos agua, esto puede llevar a la formación de escoria sólida en la superficie del material. Cuatro a cinco cerdos (peso vivo supuesto de 70 kg) proporcionará bastante estiércol para

producir el gas requerido para una familia de cuatro a cinco personas. Se ha experimentado este biodigestor con excrementos humanos siendo una manera eficaz de reducir transmisión de enfermedades y dar otro uso a las letrinas.

5.4 Mantenimiento:

- Los digestores deben cercarse para evitar averías en el sistema.
- Debe proporcionarse un tejado para prevenir el daño al plástico por la radiación ultravioleta. Cualquier tipo de cobertura en material tradicionalmente usado en la granja es conveniente.
- Para aumentar la presión de gas al cocinar, se puede atar un objeto pesado (ladrillo o piedra) al fondo del depósito o apretar un cordón alrededor del medio.
- La lluvia no debe entrar en el digestor, porque puede causar dilución excesiva.
- El nivel de agua en la válvula de seguridad debe verificarse semanalmente.
- Se debe cubrir el digestor diariamente y asegurarse que el tubo de la salida no este bloqueado.

5.5 Temperatura

Los niveles de reacción química y biológica normalmente aumentan con el incremento de la temperatura. Para los biodigestores de biogás esto es cierto dentro de un rango de temperatura tolerable para diferentes microorganismos.

Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica

FERMENTACION	MINIMO	OPTIMO	MAXIMO	TIEMPO DE FERMENTACION
Psycrophilica	4-10 °C	15-18°C	25-30°C	Arriba de 100 días
Mesophilica	15-20 °C	28-33°C	35-45°C	30-60 días

Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días
---------------	---------	---------	---------	------------

Las altas temperaturas causan una declinación del metabolismo, debido a la degradación de las enzimas; y esto es crítico para la vida de las células. Los microorganismos tienen un nivel óptimo de crecimiento y metabolismo dentro de un rango de temperatura bien definido, particularmente en los niveles superiores, los cuales dependen de la termoestabilidad de la síntesis de proteínas para cada tipo particular de microorganismo.

Las bacterias metanogénicas son más sensibles a los cambios de temperatura que otros organismos en el biodigestor. Esto se debe a que los demás grupos crecen más rápido, como las acetogénicas, las cuales pueden alcanzar un catabolismo sustancial, incluso a bajas temperaturas.

Existen tres rangos de temperatura para la digestión de residuales, el primero es el mesofílico (de 20 a 45 OC), el segundo es el termofílico (por encima de 45 OC).

El óptimo puede ser de 35 OC a 55 OC. La ventaja de la digestión termofílica es que la producción de biogás es aproximadamente el doble que la mesofílica, así que los biobiodigestores termofílicos pueden ser la mitad en volumen que los mesofílicos, manteniendo su eficiencia general.

Se han realizado numerosos trabajos sobre la digestión termofílica en países templados. Sin embargo, se requieren considerables cantidades de energía para calentar los residuales hasta 55 OC. El tercer rango (psicrofílico) ocurre entre los 10 y 25 OC. Existen algunas restricciones para el uso de esta temperatura en la digestión anaerobia, como son la necesidad de utilización de: reactores anaerobios de cama fija (UASB), inóculos mesofílicos, un tiempo de retención alto y mantener una acidificación baja.

5.6 Nivel de Carga

Este parámetro es calculado como la materia seca total (MS) o materia orgánica (MO) que es cargada o vertida diariamente por metro cúbico de volumen de biodigestor. La MO o sólidos volátiles (SV) se refiere a la parte de la MS o sólidos totales (TS), que se volatilizan

durante la incineración a temperaturas superiores a 500 0C. Los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano. Los residuales de animales pueden tener un contenido de MS mayor del 10 % de la mezcla agua estiércol. Según los requerimientos operacionales para un reactor anaerobio, el contenido de MS no debe exceder el 10 % de la mezcla agua estiércol en la mayoría de los casos. Por eso, los residuales de granjas se deben diluir antes de ser tratados.

La eficiencia de la producción de biogás se determina generalmente expresando el volumen de biogás producido por unidad de peso de MS o SV. La fermentación de biogás requiere un cierto rango de concentración de MS que es muy amplio, usualmente desde 1% al 30%. La concentración óptima depende de la temperatura. En China, la concentración óptima es del 6% en el verano a temperaturas entre 25-27 0C y entre 10 y 12 % en la primavera a temperaturas de 18-23 0C. 6.

5.7 Tiempo de retención

Existen dos parámetros para identificar el tiempo de retención de las sustancias en el biodigestor:

1. El tiempo de retención de los sólidos biológicos (TRSB) que se determinan dividiendo la cantidad de MO o SV que entra al biodigestor entre la cantidad de MO que sale del sistema cada día. El TRSB es asumido para representar la media del tiempo de retención de los microorganismos en el biodigestor.
2. El tiempo de retención hidráulico (TRH) es la relación entre el volumen del biodigestor (VD) y la media de la carga diaria.

Estos parámetros son importantes para los biodigestores avanzados de alto nivel, los cuales han alcanzado un control independiente del TRSB y del TRH a través de la retención de la biomasa. La medición del TRH es más fácil y más práctico que el TRSB al nivel de las granjas.

6 METODOLOGÍA

6.1 Diseño de la Investigación.

Nuestra investigación surgió con la finalidad de dar solución a la problemática existente en la granja para la cual nos valimos de la recopilación de información de nuevas alternativas de energía para la aplicación en el proceso de tratamiento de excretas animales éste se lo podrá realizar en un biodigestor que da como resultado la obtención de biogás y bioabono ayudando a la conservación del medio ambiente.

Para la realización del proyecto nos basaremos en documentos, libros, folletos, afines al desarrollo de nuestro tema, se recolectará datos con los cuales se ayudará a la definición de conceptos y variables.

Posteriormente se realizaran los cálculos pertinentes los cuales servirán como base para la realización del diseño, dimensionamiento, selección de los materiales, equipos para el montaje, construcción del biodigestor y su posterior automatización.

6.2 Diseño Metodológico

6.2.1 Tipo de Estudio

Como tipo de estudio, se usará el método exploratorio, debido a que este nos permitirá familiarizarnos con los problemas que implica la elaboración de abono en la granja, además se podrá identificar conceptos o variables relevantes que estén relacionadas con los problemas a investigar. También se utilizará el método cualitativo y cuantitativo, el

cualitativo se lo usará por ejemplo en las observaciones que se realizará de los elementos de observación y al cuantitativo se utilizará en las tabulaciones respectivas y en procesos donde se trabaje con cantidades, cifras, etc.

Además se usará el método descriptivo, puesto que nos permitirá realizar la interpretación, análisis y tabulación de datos recolectados sobre los procesos que se llevan a cabo en la granja, pero que estén relacionados con los elementos de observación descritos en la etapa anterior.

Para la recolección de la información relacionada a las actividades, problemas, causas y posibles alternativas de solución referentes a los de elementos de observación nos ayudaremos del método deductivo, junto con la observación fortalecerá los datos obtenidos.

Cabe mencionar que utilizaremos la técnica de la entrevista y el cuestionario guiado que serán de apoyo al método inductivo el mismo que nos permitirá obtener todos los requerimientos necesarios para poder iniciar el diseño del biodigestor y avalúo comercial.

6.3 Población y unidades de observación

Población:

La población de la investigación la constituyen los Ingenieros, estudiantes, personal de la granja Zapotepamba de la Universidad nacional de Loja, los cuales están inmersos en el proceso de producción, mantenimiento de la granja.

Las unidades de observación consideradas para nuestra investigación son:

- ❖ Cantidad de animales existentes en la granja.
- ❖ Cantidad de excretas producidas por día.
- ❖ Tiempo de retención de la carga en el biodigestor.
- ❖ Temperatura, presión, pH,
- ❖ Cálculos, diseño.

6.4 Métodos e Instrumentos

Para la presente investigación los instrumentos que se utilizarán son las entrevistas y observación.

Las entrevistas estarán dirigidas a los Ingenieros, docentes, personal y estudiantes pertenecientes a la granja.

La organización de las preguntas de la entrevista para los estudiantes y personal, se organizará de la siguiente manera: Actividades, datos, proceso, control y volumen de abono que se obtiene en la actualidad. Correspondiente a la entrevista para los Ingenieros y Docentes, se la llevará de la siguiente manera: sugerencias en cuanto al funcionamiento del sistema, implantación de un sistema computacional SCADA sugerencias en cuanto al proceso de elaboración de abono

La técnica de la observación, se la llevará específicamente en la granja, de acuerdo a los elementos de observación determinados anteriormente, se debería obtener una observación en cuanto al proceso de producción de abono.

6.5 Elaboración del informe y alternativas de solución

El informe estará estructurado de tal manera que permita comprender como se desarrollan los procesos en la actualidad, los problemas que se presentan al realizar los procesos en la granja, luego del análisis plantear alguna alternativas de solución, así como algunas conclusiones y recomendaciones.

6.6 Organización y gestión de la Investigación

6.6.1 Recursos

Todos los recursos (humanos, económicos, técnicos, materiales) necesarios para desarrollar a cabalidad nuestro biodigestor automatizado se detallan a continuación:

6.6.2 Humanos

Para el análisis, diseño e implementación del biodigestor automatizado, hemos creído conveniente tomar en cuenta utilizar los servicios de las siguientes personas:

- Coordinador de la granja
- Docentes
- Ingenieros
- Trabajadores

6.6.3 Económicos

Para el desarrollo total del proyecto propuesto, se debe indicar que los recursos económicos a usar en la compra de materiales, construcción, automatización, para las diferentes etapas de análisis, diseño e implementación provendrán de nuestro propio capital.

6.6.4 Materiales

Dentro de los diferentes procesos que conllevarán la realización de este proyecto creemos que se harán uso de los siguientes materiales:

- Carpetas.
- Fotocopias
- Esferos
- Papel de impresión.
- Cartuchos de tinta.
- Discos compactos CD

6.6.5 Técnicos o Tecnológicos

Los recursos tecnológicos que serán utilizados para la construcción del biodigestor son:

- Computadoras
- Flash Memory.
- Impresora.
- Software SCADA.
- Software Office XP.
- Internet.
- Software Autocad

8 BIBLIOGRAFÍA.

Libros:

- Biomasa. Volumen, DOI
- García, M.,(2002) “Energías renovables y eficacia energética”, Energía, **Vol 162**,125-128
- Gil, S. R. (2001) Información climatológica para la aplicación de energía de la
- LOPEZ CAÑAS, Marcela Milena. Experimentación con Biodigestores a Escala de Laboratorio para Generación de Biogás a partir de Desechos Vegetales. Junio de 2003.
- Yescas, J. F. (2004) Generación de biogás a partir de desechos porcinos: balance energético de una granja”. Tema de Sustentación para obtener el título de Ing. Químico. Instituto Tecnológico de Sonora.

Páginas Web:

- www.altavista.com
- www.bpsolar.com
- www.elprisma.com
- www.enalmex.com
- www.google.com
- www.medioambienteonline.com/site/root/resources/case_study/2077.html).
- www.yahoo.com.

Loja, 13 de Octubre de 2008.

Señor Ingeniero.
Norman Jiménez.
COORDINADOR DE LA CARRERA
DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.
Ciudad.

De nuestra consideración:

De conformidad a lo preceptuado en el REGLAMENTO DE RÉGIMEN ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, con el objeto de optar el grado de Ingenieros en Electromecánica de la Carrea de Ingeniería Electromecánica del área de Energía, Industrias y Recursos Naturales No Renovables, adjuntamos un ejemplar de tesis, cuyo tema versa sobre “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA LA GRANJA ZAPOTEPAMBA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”, a efecto de que el docente que usted designe, emita un informe sobre la pertinencia del proyecto, para su aprobación respectiva.

Esperando se sirva disponer el preferente y oportuno trámite legal y reglamentario a la presente petición, nos anticipamos en presentarle nuestros cumplidos agradecimientos.

Atentamente,

Egdo. Darío A. Díaz C.

PETICIARIO

Egdo. Hermes E. Rodríguez C.

PETICIARIO

Loja, Viernes 31 de Octubre de 2008.

Sr. Ing. Norman Jiménez León.

COORDINADOR DE LA CIEM DE LA UNL.

Ciudad

De mi consideración:

Mediante el presente remito a usted la información solicitada a través del Of. Circ. No. 282 CCIEM-AEIRNNR-UNL, de fecha 23 del corriente.

Luego de revisar y analizar el contenido del proyecto de Tesis: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPELMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA LA GRANJA ZAPOTEPAMBA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”**, presentada por los señores egresados: Darío Alexander Díaz Castillo y Hermes Estuardo Rodríguez Castillo, aspirantes a optar por el grado de Ingeniero en la CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA, me permito emitir los siguientes criterios:

1. La **estructura** del Proyecto de Tesis presentado, corresponde con lo establecido en el Reglamento de Régimen Académico, Capítulo II “Del Proyecto de Tesis” Artículo 129.
2. Existe coherencia entre **título, problema, objetivos, metodología** y los principales elementos del diseño metodológico de la investigación como son las **matrices** especificando en éstas las **hipótesis**, lo cual permite evidenciar la adecuada relación entre los principales elementos del protocolo de la investigación.

En concordancia con todo lo anteriormente expresado, me permito sugerir la aprobación del referido Proyecto de Tesis.

Todo lo cual certifico a los fines correspondientes:

Atentamente.

Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, Ph.D.

Docente CIEM.

Loja, 07 de Noviembre de 2008.

Señor Ingeniero.

Norman Jiménez León.

COORDINADOR DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA,
DEL ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y
LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

Ciudad.

De mi consideración:

De conformidad a lo estipulado en el REGLAMENTO DE RÉGIMEN ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, en actual vigencia, solicito a vuestra autoridad, se designe aprobar el proyecto y autorizar su ejecución, asimismo se designe el Director de la tesis previo a optar el título de ingenieros en la Carrera de Electromecánica, cuyo tema versa sobre **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPELMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA LA GRANJA ZAPOTEPAMBA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”**, en virtud del dictamen favorable de **estructura y coherencia** emitido por el profesor designado para el análisis de la pertinencia del proyecto del trabajo de investigación.

Por la favorable atención le anticipamos nuestros debidos agradecimientos.

Atentamente.

Egdo. Darío A. Díaz C.

Egdo. Hermes E. Rodríguez C.

7.-CRONOGRAMA.

AÑO 2008																				
ACTIVIDADES	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
Pedir la autorización respectiva a los encargados del manejo de la granja para realizar la investigación.		X																		
Recopilación de información bibliográfica y de internet para conocer que tipos de biodigestores existen.	X	X	X	X	X	X	X													
Análisis minucioso del material bibliográfico recopilado para determinar con exactitud que tipo de biodigestor se construirá.					X	X	X	X												
Diseño en 3D de las diferentes partes y mecanismos constitutivos del biodigestor							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

AÑO 2009

ACTIVIDADES	AÑO 2009																																														
	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE		
Diseño en 3D de las diferentes partes y mecanismos constitutivos del biodigestor	x	x	x	x																																											
Mediante el diseño y cálculos obtenidos determinar las medidas finales para el biodigestor.					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																							
Construcción del biodigestor.																									x	x	x	x	x	x																	
Automatización del biodigestor																													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			

LINEAMIENTOS DE EVALUACIÓN

AÑO 2009-2010																				
ACTIVIDADES	OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO			
	Determinación, selección de materiales e instrumentos para la construcción y automatización del biodigestor.	X	X	X	X	X														
Construcción del biodigestor e implementación de la instrumentación automatizada						X	X	X	X											
Puesta a punto de rango y precisión en sensores.									X	X										
Monitoreo del proceso de obtención de biogás y bioabono										X	X	X	X	X	X	X				
Discusión de resultados																		X	X	X

Cronograma de Trabajo

MESES	Nov. 2009				Dic. 2009				Enero 2010				Febrero 2010				Marzo 2010				Abril 2010				Mayo 2010																			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4												
ACTIVIDADES	SEMANAS																																											
Adquisición de equipos para realizar monitoreo	x	x	x	x	x	x	x	x																																				
Recopilación bibliográfica y análisis de la información	x	x	x	x	x	x	x	x																																				
Construcción del biodigestor			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																																
Monitoreo													x	x	x	x	x	x	x	x																								
Discusión de los resultados obtenidos en el monitoreo																					x	x	x	x																				
Presentar los resultados obtenidos del monitoreo durante el funcionamiento del biodigestor.																																	x	x										
Socializar los resultados																																									x	x		

Resultado: Biodigestor automatizado con tanque de almacenamiento y cúpula de polietileno para excretas mixtas

MATRICES PARA EL DISEÑO DEL PROYECTO

MATRIZ DE CONSISTENCIA GENERAL

PROBLEMÁTICA (ENUNCIADO): ELEVADA DEMANDA DE GAS LICUADO PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS, PLANTA DE PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y DEFICIENTE OBTENCIÓN DE BIOABONO				
TÍTULO	PROBLEMA	OBJETO DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN
<p>“Diseño, Construcción e Implementación de un Biodigestor Automatizado para la Granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja”</p> <p>.</p> <p>.</p>	<p>Inadecuada utilización de residuos agrícolas y excretas animales, como proceso de obtención de abono y biogás.</p>	<p>Biodigestor</p>	<p>- Diseñar y construir un biodigestor que permita aprovechar el uso integral de los desechos orgánicos producidos en a la Granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja</p>	<p>Mediante la construcción e implementación de un biodigestor en la granja Zapotepamba, se logrará un mejor aprovechamiento de los desechos orgánicos y excretas animales obteniendo biogás y bioabono de calidad como proceso de la descomposición anaeróbica en el biodigestor.</p>

MATRIZ DE CONSISTENCIA ESPECÍFICA

<p>OBJETIVO ESPECÍFICO.- Realizar los cálculos pertinentes, para el dimensionamiento y partes constitutivas del biodigestor.</p>			
PROBLEMA	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS	SISTEMA CATEGORIAL
<p>Fórmulas concernientes a estructuras moleculares y cantidades de Hidrógeno en excretas animales.</p>	<p>Cálculos para el diseño de todas las partes constitutivas del biodigestor.</p>	<p>Mediante los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera e investigación podremos conocer con exactitud cuales son los cálculos a llevarse a cabo para el diseño y dimensionamiento de las partes del biodigestor.</p>	<p>Fórmulas empleadas para el diseño del biodigestor.</p> <p>Partes que componen un biodigestor.</p> <p>Funcionamiento de los principales componentes de un biodigestor.</p> <p>Criterios para el diseño de un biodigestor.</p>

MATRIZ DE CONSISTENCIA ESPECÍFICA

OBJETIVO ESPECÍFICO.- Construir el biodigestor.			
PROBLEMA	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS	SISTEMA CATEGORIAL
Que el mercado local no cuenta con todos los materiales necesarios para la construcción y automatización del biodigestor además del traslado de materiales hacia el cantón Catacocha donde se encuentra ubicada la granja.	Diseño y construcción de todas las partes constitutivas del biodigestor.	Mediante los cálculos realizados para determinar dimensiones y formas de las diferentes partes del biodigestor se logrará acoplar todas las piezas de forma tal que no surja ningún inconveniente de tipo mecánico-eléctrico.	Partes que componen un biodigestor. Materiales empleados en la construcción de un biodigestor. Funcionamiento de los principales componentes de un biodigestor. Criterios para el diseño de un biodigestor. Clasificación de las diferentes tipos de Biodigestores.

MATRIZ DE CONSISTENCIA ESPECÍFICA

OBJETIVO ESPECÍFICO.- Automatizar los procesos del biodigestor, mediante un sistema SCADA			
PROBLEMA	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS	SISTEMA CATEGORIAL
<p>No se cuenta con este tipo de programa y personas que nos instruyan acerca de los comandos del mismo en la ciudad de Loja.</p>	<p>Automatización de los diferentes procesos y mecanismos del biodigestor</p>	<p>Mediante el sistema SCADA se lograra automatizar los procesos y mecanismos del biodigestor</p>	<p>Partes que componen un biodigestor.</p> <p>Materiales empleados en la construcción de un biodigestor.</p> <p>Funcionamiento de los principales componentes de un biodigestor.</p> <p>Criterios para el diseño de un biodigestor.</p> <p>Sensores de temperatura, relés, motores eléctricos, PLC, etc.</p>

MATRIZ DE CONSISTENCIA ESPECÍFICA

<p>OBJETIVO ESPECÍFICO.- Buscar la información bibliográfica para seleccionar el tipo de biodigestor que se ajuste a las condiciones y necesidades de la granja.</p>			
PROBLEMA	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS	SISTEMA CATEGORIAL
<p>No poseer información referente a procesos de biodigestión que se hayan realizado en la región sur para tener alguna noción de eficiencia que tendría un biodigestor con las condiciones climáticas de la zona.</p>	<p>Cantidad de excretas animales y desechos orgánicos producidos a diario en la granja y lugar de ubicación del biodigestor.</p>	<p>Mediante la recopilación bibliográfica y de observación se podrá determinar que tipo de biodigestor es el que mejor se adapta a las necesidades de la granja.</p>	<p>Reseña histórica</p> <p>Biomasa</p> <p>Tipos de bioamasa.</p> <p>Rango de temperatura para el proceso de biodigestión anaeróbica</p> <p>Funcionamiento básico de un biodigestor.</p> <p>Criterios para el diseño de un biodigestor.</p> <p>Clasificación de las diferentes tipos de Biodigestores.</p>

MATRIZ DE OPERATIVIDAD DE OBJETIVOS

OBJETIVO ESPECÍFICO: Obtener información bibliográfica para seleccionar el tipo de biodigestor, cálculos, construcción y automatización del mismo.						
ACTIVIDAD O TAREA	METODOLOGÍA	FECHA		RESPONSABLES	PRESUPUESTO	RESULTADOS ESPERADOS
		INICIO	FINAL			
Pedir la autorización respectiva a los encargados del manejo de la granja para realizar la investigación.	Se tendrá que acudir al lugar donde se encuentre el objeto de estudio con el fin de pedir la autorización pertinente y verificar la factibilidad de ejecución del proyecto	20-06-08	21-06-08	Darío Díaz. Hermes Rodríguez	\$35	Aceptación por parte de los directivos de la granja con el fin de llegar a un mutuo acuerdo de cooperación permitiéndonos de esta manera desarrollar el proyecto de investigación de la mejor manera
Recopilación de información bibliográfica y de internet para conocer que tipos de biodigestores existen.	Recopilación bibliográfica	28-06-08	29-07-08	Darío Díaz. Hermes Rodríguez	\$50	Conocer cuales son los tipos de biodigestores que existen y determinar que clase de biodigestor es el que mejor se adapta a las necesidades y condiciones climáticas de la granja.

MATRIZ DE OPERATIVIDAD DE OBJETIVOS

OBJETIVO ESPECÍFICO: Obtener información bibliográfica para seleccionar el tipo de biodigestor, cálculos, construcción y automatización del mismo.						
ACTIVIDAD O TAREA	METODOLOGÍA	FECHA		RESPONSABLES	PRESUPUESTO	RESULTADOS ESPERADOS
		INICIO	FINAL			
Análisis minucioso del material bibliográfico recopilado para determinar con exactitud que tipo de biodigestor se construirá.	Comparación del material bibliográfico obtenido	02-08-08	10-02-08	Darío Díaz. Hermes Rodriguez	\$20	Tener una idea clara y concisa del biodigestor a construir.
Diseño en 3D de las diferentes partes y mecanismos constitutivos del biodigestor	Autocad.	16-08-08	22-01-09	Darío Díaz. Hermes Rodriguez	\$50	Obtener un modelo virtual de las diferentes partes del biodigestor con las medidas finales

MATRIZ DE OPERATIVIDAD DE OBJETIVOS

OBJETIVO ESPECÍFICO: Obtener información bibliográfica para seleccionar el tipo de biodigestor, cálculos, construcción y automatización del mismo.						
ACTIVIDAD O TAREA	METODOLOGÍA	FECHA		RESPONSABLES	PRESUPUESTO	RESULTADOS ESPERADOS
		INICIO	FINAL			
Establecer con precisión cuales son las formas y técnicas de construcción del tipo de biodigestor que se construirá.	Indagar sobre los tipos de biodigestores y técnicas de construcción de estos para el análisis respectivo de acuerdo a las indagaciones y cálculos realizados	28-10-08	19-02-08	Darío Díaz. Hermes Rodríguez	\$10	Tener una idea lo mas puntual posible de la construcción del biodigestor así como también las actividades previas a realizarse del proceso antes mencionado.
Mediante el diseño y cálculos obtenidos determinar las medidas finales para el biodigestor.	Esta actividad será llevada a cabo mediante la técnica de la observación	20-02-09	24-06-09	Darío Díaz. Hermes Rodríguez	\$30	Poseer una visión clara sobre el diseño y construcción de biodigestores de forma más tecnificada.

MATRIZ DE OPERATIVIDAD DE OBJETIVOS

OBJETIVO ESPECÍFICO: Obtener información bibliográfica para seleccionar el tipo de biodigestor, cálculos, construcción y automatización del mismo.						
ACTIVIDAD O TAREA	METODOLOGÍA	FECHA		RESPONSABLES	PRESUPUESTO	RESULTADOS ESPERADOS
		INICIO	FINAL			
Construcción del biodigestor.	Ensamblamiento de las partes constitutivas del biodigestor	20-07-09	21-08-09	Darío Díaz. Hermes Rodríguez	\$3,500	Biodigestor construido
Constatación de posibles fallas en el biodigestor construido.	Observación y puesta en funcionamiento del biodigestor.	22-08-09	29-10-09	Darío Díaz. Hermes Rodríguez	\$5,00	Localizar de fallas en el biodigestor y darles el proceso adecuado para su reparación y adecuado funcionamiento del biodigestor.
Implementación de elementos automatizados al biodigestor en el proceso de biodigestión	Automatizar los diferentes procesos del biodigestor mediante el sistema SCADA.	30-09-09	26-11-09	Darío Díaz. Hermes Rodríguez	\$1,000	Alcanzar un mecanismo independiente que trabaje sin la necesidad de operadores o trabajadores, además que sea controlado por un computador,

VISITA TÉCNICA (GRANJA ZAPOTEPAMBA)

Tutor: Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, Ph.D.

Responsables: Egdo. Darío A. Díaz C.

Egdo. Hermes E. Rodríguez C.

Tema de Tesis: “Diseño, Construcción e Implementación de un Biodigestor Automatizado para la Granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja”

1.- Objetivos de la visita.

1.1.- Pedir la autorización respectiva a las autoridades del área Agropecuaria y encargados del manejo de la granja para realizar la visita técnica el día viernes 23 de Enero del 2009.

1.2.- Tratar alternativas de cooperación y financiamiento con las autoridades de las Áreas de Energía y Agropecuaria referentes al tema de tesis a realizarse en la granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

1.3.- Dialogar con la persona responsable de la granja y buscar acuerdos de cooperación concernientes con la construcción del biodigestor en la granja.

1.4.- Constatar la cantidad y variedad de animales existentes en la granja.

1.5.- Determinar con exactitud el lugar donde se construirá el biodigestor.

2.- Procedimiento.

Se acudirá a la Dirección del área Agropecuaria el día 14 de Enero del año en curso con la finalidad de entablar una conversación con las autoridades de dicha área para solicitar se autorice el permiso correspondiente para realizar una visita a la granja Zapotepamba el día viernes 23 de Enero, además de buscar alternativas de cooperación y posible financiamiento para el desarrollo del tema de tesis propuesto.

El día 23 de Enero se tiene previsto llegar a las 10 de la mañana a la granja a continuación se dialogará con la persona encargada de la granja con la finalidad de darle a conocer el itinerario de la visita además de buscar acuerdos de cooperación concernientes con alojamiento, alimentación por el tiempo que lleve a cabo la construcción del biodigestor, además de tratar la posibilidad de financiamiento con recursos económicos que sustenta la granja en cuanto al desarrollo de proyectos.

Se hará un recorrido por las instalaciones de la granja con el fin de conocer con exactitud la variedad y cantidad de animales que se posee en la granja, además de los sitios provistos para cada una de las especies.

Luego de determinar con exactitud la cantidad y variedad de animales existentes en la granja procedemos a determinar que sitio será el más adecuado para la construcción del biodigestor para esto tomaremos a consideración los siguientes factores los cuales luego de determinar el sitio serán determinantes en cuanto al diseño, planificación y construcción del biodigestor:

Factores humanos:

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

Factores físicos:

- Localización, la ubicación si es en zona urbana, rural o semi-urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud.
- Climáticos dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección.
- Vías de acceso.

- Topografía, teniendo en cuenta el declive del suelo: si es plano, ondulado, o quebrado.
- Suelos con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica.

Factores de construcción:

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

Factores utilitarios

- Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.
- Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.
- Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala domestica, para grupo familiar, comunitario o empresas.
- Capacidad, si es pequeño de 3 a 12 m³ / digestor; si es mediano de 12 a 45 m³ digestor y si es grande de 45 a 100 m³ / digestor.
- Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento de el pretratamiento, la mezcla, la carga, y controles de PH, obstrucciones de líquidos, sólidos y gases: las descargas de efluentes tanto liquidas como gaseosas y de lodos; el almacenamiento de los líquidos, sólidos y gases; la aplicación de líquidos por bombeo, por tanques regadores o arrastre por riego; los sólidos que están disueltos en el agua y los sólidos en masa y por ultimo los gases utilizados para la cocción, iluminación e indirectamente en los motores.

ITINERARIO

<u>HORA</u>	<u>ACTIVIDAD</u>
(10:00—10:30)am	Dialogar con la persona encargada de la granja
(10:30—11:30)am	Recorrido por las instalaciones de la granja

	Conocer con exactitud la variedad y cantidad de animales que se posee en la granja, además de los sitios provistos para cada una de las especies.
(11:30—12:30)am	Determinar que sitio será el más adecuado para la construcción del biodigestor
(12:30—13:00)pm	Almuerzo
(13:30—14:30)pm	Dar a conocer al director de la granja las impresiones del recorrido por las instalaciones, además de acuerdos de cooperación concernientes con alojamiento, alimentación por el tiempo que lleve a cabo la construcción del biodigestor y tratar la posibilidad de financiamiento con recursos económicos que sustenta la granja en cuanto al desarrollo de proyectos.
(14:30)pm	Fin de la visita

SOLICITUD

Loja 27-10-2009.

Sr. Ing. Robert Guerrero R.

DIRECTOR DEL CENTRO BINACIONAL DE FORMACIÓN TÉCNICA
ZAPOTEPAMABA.

A usted muy comedidamente expresamos y solicitamos lo siguiente:

Luego de realizar varias visitas de carácter técnico a las instalaciones del centro binacional con el objetivo de dar a conocer nuestra disposición en aportar en el desarrollo de nuevas tecnologías amigas del medio ambiente nos propusimos la elaboración de un tema de tesis que consiste en el “DISEÑO COSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA LA GRANJA ZAPOTEPAMBA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA” la cual dirige satisfactoriamente.

Se digne conceder la autorización para la realización de la construcción del biodigestor a partir del día martes 27 de Octubre del año en curso luego de determinar la ubicación geográfica más acorde a las necesidades de la granja y del futuro uso integral de bioaono y biogás como resultado del proceso de fermentación de dicho biodigestor.

Además de solicitarle se nos preste toda la ayuda técnica posible por parte de los docentes y estudiantes del centro con el objetivo de realizar un trabajo encaminado a la parte biológica del proceso de digestión, permitiéndose así la integración entre dos áreas de nuestra prestigiosa Universidad como son la Área de la Energía que muy orgullosamente representamos y el Área de Agropecuaria al que pertenece el centro binacional.

Se brinden todas las facilidades en lo que tiene que ver con la recolección y acarreo de excretas de los diferentes tipos de animales existentes en la granja y la disposición del personal y materiales que se usan para efectuar esta actividad con el fin de utilizar dichas excretas para la alimentación del biodigestor.

Ver si existe la posibilidad de ayuda y contribución por parte del centro binacional de materiales que se usaran para la construcción del biodigestor se anexara una lista con los materiales más relevantes y afines al centro.

Por la atención a la presente comunicación desde ya le anticipamos nuestros agradecimientos:

Atentamente.

Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, Ph.D.

Docente CIEM.

Egdo. Darío A. Díaz C.

Egdo. Hermes E. Rodríguez C.