

CERTIFICACIÓN

Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego.

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 Leover Juaquín Jaramillo Ludeña y Ramiro Eduardo Romero Romero, cuyo tema versa: **IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA EL 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, Abril de 2012

Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Los criterios expuestos en el presente trabajo de tesis titulado “**IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA EL 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 misma.

Leover Joaquín Jaramillo Ludeña

Ramiro Eduardo Romero Romero

Autores

AGRADECIMIENTO

Los agradecimientos están dirigidos a nuestros familiares y al Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba, que hicieron posible la realización exitosa de esta investigación, por el apoyo entregado.

También nuestro agradecimiento sincero a la **Universidad Nacional de Loja, al Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables**, por brindarnos la oportunidad de culminar nuestra carrera universitaria, agradecimiento que lo hacemos a cada uno de nuestros docentes de la carrera, por sus conocimientos impartidos, y compañeros que fueron parte del aprendizaje, además de todas las personas que intervinieron de alguna u otra manera con ayuda teórica-técnica mediante la cual logramos cumplir los objetivos planteados.

Y de manera muy especial al **Ing. Juan Pablo Cabrera**, quien con su dirección y asesoramiento inquebrantable alcanzamos la culminación de nuestro trabajo de manera satisfactoria.

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicada de manera muy especial a mis padres, pilares fundamentales en mi vida. Por su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, de igual manera dedico este proyecto a mis hermanos, familiares y amigos compañeros y testigos fieles de cada jornada. A ellos este proyecto, por su apoyo y confianza incondicional.

LEOVER.

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final.

RAMIRO

1. TÍTULO

**IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA EL
GRANJA ZAPOTEPAMBA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

INDICE

1. TÍTULO.....	5
2. RESUMEN	11
3. INTRODUCCION	13
4. REVICIÓN LITERARIA.....	21
4.1. BIOENERGÍA	21
4.1.1. Bioenergía En Ecuador.....	21
4.2. BIOMASA	22
4.2.1. Tipos De Biomasa	24
4.2.2. Composición Química.....	25
4.2.3. Valor Calorífico	26
4.2.4. Contenido de Humedad	26
4.2.5. Descomposición Anaeróbica	27
4.3. BIOGÁS	28
4.4 BIODIGESTORES.....	29
4.4.1. Tipos de Biodigestores.....	29
4.4.1.1. Pozos sépticos	29
4.4.1.2. Biodigestor del domo flotante (Indio):	30
4.4.1.3 .-Biodigestor de domo fijo (Chino).....	30
4.4.1.4. Biodigestor de estructura flexible.....	31
4.4.1.5. Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.....	32
4.4.1.6 Instalaciones Industriales	33
4.4.2. Temperatura.....	34
4.4.3. Nivel de Carga.....	35
4.4.4. Tiempo de retención	36
4.4.5. PH	37
4.5. MANTENIMIENTO Y FUNCIONAMIENTO:	38
4.5.1. Funcionamiento de Digestor:	38
4.5.2. Recolección, transporte y manejo	40
4.5.3. Sistema de Agitación:	40

4.5.3.1. Motor:	41
4.5.3.2. Motor Eléctrico:.....	41
4.5.3.3. Agitador Vertical:.....	41
4.5.3.4. Motor reductor:.....	42
4.6 BIODIGESTORES AUTOMATIZADOS	42
4.6.1 Referencia bibliográfica de una planta de biogás automatizada para el Jardín Botánico de Quito	43
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
5.1. INTRODUCCIÓN:.....	46
5.2 UBICACIÓN DE LA PLANTA GENERADORA DE BIOGÁS.....	47
5.2.1 Antecedentes Del Centro Binacional Zapotepamba	47
5.3. TIPO DE BIODIGESTOR A SER EMPLEADO EN EL PROYECTO	48
5.4 PARÁMETROS DE DISEÑO:.....	50
5.4.1. Biogás Generado.	50
5.4.2. Requerimiento de demanda de biogás por día:.....	51
5.4.2.1. Parámetros para el diseño de la criadora de pollos.....	51
5.4.2.2 Cálculo Térmico.	53
5.4.2.3. Calor necesario para calentar los Pollos.	53
5.4.2.4. Análisis de la parte exterior por convección.....	57
5.4.2.4.1 Determinación del número de Nusselt promedio.	58
5.4.2.5 Determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección externa (<i>h_e</i>).	60
5.4.2.5.1 Análisis de la parte interna por convección	61
5.4.2.6 Ventilación.....	62
5.4.2.7 Determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección interna (<i>h_i</i>).	64
5.4.2.7.1. Análisis de transferencia de calor por conducción en la madera.....	65
5.4.2.7.2. Análisis de transferencia de calor por conducción en el piso (tamo de arroz).....	68
5.4.2.8 Análisis De Temperaturas En La Criadora y Flujo De Calor	69
5.4.2.8.1. Energía necesaria para calentar el aire en el galpón.	70
5.4.2.8.2. Determinación de las pérdidas de calor en las paredes del local	72

5.4.2.9. Cálculo de ganancia de la energía interna producida por los pollos.....	74
5.4.2.9.1 Análisis de la primera semana del pollo:	74
5.4.2.9.2. Análisis de la segunda semana del pollo:.....	77
5.4.2.10. Determinación del calor total necesario en la criadora por ciclo.	78
5.4.2.10.1. Análisis del calor necesario al día (primera semana)	78
5.4.2.11. Análisis y Diseño Del Quemador Para La Criadora.....	81
5.4.2.11.1. Análisis de la masa de biogás a ser quemada:	83
5.4.2.11.2. Análisis de dimensionamiento del quemador.	85
5.4.3. Cocina para Biogás.	88
5.4.3.1 Dimensionamiento de la cocina de biogás.	89
5.4.3.2 Dimensiones de las Cañerías	89
<i>Fuente: OEKOTOP</i>	90
5.4.4 Tipos de Cañerías.....	90
5.4.5. Diseño y Capacidad del Biodigestor.....	93
5.4.5.1. Fuente de la Materia Orgánica.	94
5.4.5.2. Peso Promedio de Animal en Kilogramos (W).	95
5.4.5.3. Cantidad Total de Estiércol por Día (Tt).	97
5.4.5.4. Contenido Total de Sólidos (TSt).....	99
5.4.5.5. Contenido de Sólidos Volátiles (VS).	103
5.4.5.6. Tiempo de Retención (RT).	106
5.4.5.7. Temperatura (TC).	107
5.4.5.8. Potencial de Producción de Metano (BO).....	107
5.4.5.8.1. Método para la obtención de Metano.	108
5.4.5.9. Cantidad de Biogás (CBIO).	108
5.4.6. Diseño de la obra civil:.....	109
5.4.6.1. Diseño del Tanque de Pre-mezcla.....	110
5.4.6.2. Diseño del Tanque Digestor.....	114
5.3.6.3. Diseño del Tanque de Evacuación.	116
5.4.6.4. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Biogás (VG).	117
5.4.6.5. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Agua.....	117

5.4.6.6. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Agua + cal.....	118
5.4.7. Diseño Del Sistema Agitación Mecánica	118
5.4.7.1. Descripción del Sistema de Agitación	118
5.4.7.2. Diseño del Sistema de Agitación.....	120
5.4.7.3. Cálculo de la presión en el tanque digestor.....	124
5.4.7.4. Cálculo de la velocidad del fluido.	127
5.5 ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA PROTECCIÓN DEL MOTOR.....	130
5.5.1 Cálculo De Fusibles Y Protecciones.....	130
5.5.1.1 Cálculo de la corriente de protección con fusibles:	130
5.5.1.2 Cálculo de la corriente de protección:.....	131
5.6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN.....	131
5.6.1. Ingeniería Básica.....	132
5.6.2. Bases o Criterios de Diseño	132
5.6.3. Tipo de Panel de Control:	132
5.6.4. Niveles de Señales a Trabajar	132
5.6.5. Diagrama Entradas Proceso Salidas (EPS).....	132
5.6.6. Tipo de Instrumentación a Utilizar:	133
5.6.7. Controlador Lógico Programable (PLC).....	133
5.6.8. Válvula de alivio de presión.....	133
5.6.9. Sensor de temperatura + PH	134
5.6.10. Switch de Nivel	135
5.6.11. Electroválvulas.....	135
5.6.12. Válvulas para Ingreso y Evacuación de la Mezcla	136
5.6.13. Válvulas para Ingreso de Agua e Ingreso de agua + cal.	136
5.6.14. Actuadores de las Válvulas de Control	137
5.7.1. Esquema General de Proceso de Control.	138
5.7.2. Narrativa de Proceso	139
5.7.3. Delimitación del Proceso de Automatización	140
5.7.4. Narrativas de Control	141
5.7.5. Narrativa del Lazo de Control de Nivel (H)	142

5.7.6. Narrativa de Control de Temperatura (T)	143
5.7.7. Narrativa de lazo de control de Acidez (PH)	143
5.6. PROGRAMACION Y SIMULACION DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION DEL BIODIGESTOR.	144
5.6.1. PROGRAMA Y SIMULACIÓN	147
5.6.1.1. Segmento 0:.....	147
5.6.1.2. Segmento 1 y Segmento 2: (Control del agitador):.....	148
5.6.1.3. Segmento 3, Segmento 4 y Segmento 5. (Control de nivel) + Agitador	149
5.6.1.4. Segmentos 9	150
5.6.1.5. Segmentos 10 y segmento 11. (Control de temperatura).....	150
5.6.1.6. Segmentos 12 y segmento 13. (Control de PH)	151
5.6.1.8. Segmento 8. Paro de todo el proceso.....	152
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	154
6.1 MANUAL DE OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA EL CBFT-Z.	160
6.2 DISCUSIÓN	175
6.3 IMPACTO AMBIENTAL	178
6.3.1 Impacto social.....	179
6.3.2 Recursos que se liberan	179
6.4 EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA	181
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	189
7.1 Conclusiones:	189
7.2 Recomendaciones	191
8. BIBLIOGRAFÍA	194
9. ANEXOS	197

2. RESUMEN

El presente proyecto de tesis se motiva en la necesidad de corregir el tratamiento ambiguo de los desechos orgánicos y el afán de aprovechar el estiércol de los diferentes tipos de ganado que se tiene en el Centro Binacional de Formación Técnica “Zapotepamba” CBFT-Z de la Universidad Nacional de Loja, mediante la construcción de un biodigestor automatizado y de esta manera abaratar los costos para el mantenimiento de la granja. Es decir, que el biodigestor producirá biogás, para la cocción de alimentos y climatización del ambiente de los pollos; Además de dar una mejor alternativa en el tratamiento de los estiércoles, obteniendo un abono orgánico (Biol), de alta calidad.

Dicho trabajo consiste en la implementación de un biodigestor automatizado con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula flexible de polietileno de desplazamiento horizontal y flujo semicontinuo; características que facilitarán la automatización y control de variables como son: temperatura, PH y nivel de todo el proceso que conlleva la descomposición anaeróbica de la materia orgánica, para una mayor producción de biogás y la obtención de bioabono de alta calidad.

Dicha automatización, además de controlar las variables más importantes en el proceso de descomposición del sustrato, controla el sistema de agitación que de igual forma contribuye al mejor rendimiento del biodigestor.

Se efectuó una sistematización detallada de cada uno de los contenidos necesarios para el desarrollo de esta investigación, al punto se acondicionó el diseño a las condiciones y número de animales existentes actualmente en la granja del CBFT-Z donde se implementó esta tecnología, sin dejar de lado nuestro aporte con el medio ambiente, con la ayuda de la ingeniería y de los procesos automáticos y con la firme convicción de contribuir en la conservación de nuestro entorno natural con el uso de energías alternativas.

En este trabajo se definen los parámetros de diseño y operación de un Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula flexible de desplazamiento horizontal y flujo semicontinuo, y la certificación de su normal funcionamiento.

ABSTRACT

The present thesis project is motivated in the necessity of correcting the ambiguous treatment of the organic waste and the desire of the manure of the different livestock types that one has in the Center Binacional of Technical Formation taking advantage "Zapotepamba" CBFT-Z of the National University of Loja, by means of the construction of an automated biodigestor and this way to reduce the costs for the maintenance of the farm. That is to say that the biodigestor will produce biogás, for the cooking of foods and air conditioning of the atmosphere of the chickens; Besides giving a better alternative in the treatment of the manures, obtaining an organic payment (Biol), of high quality.

This work consists on the implementation of an automated biodigestor with tank of traditional storage and flexible dome of polyethylene of horizontal displacement and flow semicontinuo; characteristic that will facilitate the automation and control of variables as they are: temperature, PH and level of the whole process that it bears the decomposition anaeróbica of the organic matter, for a bigger biogás production and the obtaining of bioabono of high quality.

A detailed systematizing was made of each one of the necessary contents for the development of this investigation, to the point the design was conditioned at the moment to the conditions and number of existent animals in the farm of the CBFT-Z where this technology was implemented, without leaving aside with the environment, with the help of the engineering and of the automatic processes and with the firm conviction of contributing in the conservation of our natural environment with the use of alternative energy.

In this work they are defined the design parameters and operation of a Biodigestor with tank of traditional storage and flexible dome of horizontal displacement and flow semicontinuo, and the certification of their normal operation.

3. INTRODUCCION

Nuestro Ecuador es un país en vías de desarrollo donde el petróleo es uno de los principales recursos naturales y una importante fuente de ingresos, pero los desechos industriales, especialmente los derivados de su producción, han provocado una importante contaminación del agua, todo esto junto con el acelerado avance tecnológico han repercutido directamente en la contaminación de nuestro entorno natural llegando cada vez a niveles más preocupantes. Frente a esta situación se puede utilizar el aporte de la tecnología en favor de la preservación ambiental acompañada de propuestas educacionales, jurídicas y sociales que nos comprometan a todos los ecuatorianos.

La Universidad Nacional de Loja siendo una institución de educación superior preocupada por el desarrollo del entorno social y su vinculación directa con la colectividad, a través del Área de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, está promoviendo una variedad de investigaciones sobre Energías alternativas y de esta manera contribuir con tecnologías de bajo costo que mejoraran la productividad de las diferentes zonas de la provincia de Loja y la región sur del país.

De manera particular la carrera de ingeniería electromecánica conjuntamente con el apoyo del ministerio de industrias y productividad MIPRO, está desarrollando investigaciones con proyectos de tesis sobre energía solar, energía eólica, bioenergía, entre otras.

El ministerio de industrias y productividad MIPRO tiene como misión impulsar el desarrollo del sector productivo industrial y artesanal, a través de la formulación y ejecución de políticas públicas, planes, programas y proyectos especializados, que incentiven la inversión e innovación tecnológica para promover la producción de bienes y servicios con alto valor agregado y de calidad, en armonía con el medio ambiente, que genere empleo digno y permita su inserción en el mercado interno y externo.

El aprovechamiento del potencial energético de la biomasa a través de los biodigestores es una alternativa para satisfacer las necesidades de una energía limpia respetuosa del

ambiente, además de la obtención de abonos orgánicos para el tratamiento de los suelos y mejorar la producción en las diferentes zonas agrícolas del país.

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica se degrada para producir metano, mediante un conjunto de interacciones complejas entre distintos grupos de bacterias en un ambiente carente de oxígeno, donde existen diversos factores ambientales que influyen en la digestión anaeróbica, como la temperatura, pH, presión, tiempo de retención entre otros. Es por esta razón que se implementó un biodigestor, donde se controlaran dichos factores mediante la automatización del proceso, para que se encuentren en un rango de funcionamiento de manera que se obtenga el máximo rendimiento en la producción de biogás y bioabono.

El modelo de biodigestor implementado en el CBFT-Z se ajusta a las condiciones ambientales, geográficas y de materia prima que existe en el lugar.

El CBFT-Z 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. La distancia de la ciudad de Loja, al CBFT-Z es de 132 Km a 1270 msnm, con una temperatura aproximada de (25 a 30)°C. Cuenta con 60 estudiantes, una de las principales actividades económicas es la obtención de abono.

En el CBFT-Z 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.

Es por estos motivos que a través de este trabajo se pretende interrelacionar el proceso educativo con el entorno social y natural y poder dar solución a la problemática del lugar.

(El biodigestor automatizado implementado en el CBFT-Z se desarrolla con el aporte de recursos principalmente por parte del MIPRO a través de la Universidad nacional de Loja,

recursos aportados por los tesistas y finalmente la contribución del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.)

ENUNCIADO DE LA PROBLEMÁTICA

El aprovechamiento de la biomasa 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. Una de las maneras de contrarrestar el calentamiento global y transformar este residuo contaminante en un recurso valioso, es su aprovechamiento controlado en biodigestores para la producción y captación de biogás, su aprovechamiento energético y la producción de fertilizante orgánico. Puede ser además, un modo de equilibrar determinados excedentes agrícolas.

Según la información obtenida y la observación de campo que se realizó en la granja del CBFT-Z de la Universidad Nacional de Loja, se pudo constatar que existe una gran demanda de consumo de gas licuado de petróleo, para la cocción de alimentos y para la calefacción de los galpones de pollos, y la forma de obtener el abono es ineficiente en cuanto al tiempo de obtención, además se realiza al aire libre propiciando un ambiente contaminante y poco favorable para la salud.

Este proyecto surge como respuesta al método ambiguo de tratamiento de los desechos orgánicos y a la necesidad de aprovechar el estiércol de los diferentes tipos de ganado que se tiene en la granja experimental del CBFT-Z de la Universidad Nacional de Loja, mediante la construcción de un biodigestor y de esta manera reemplazar el uso de GLP por el uso de Biogás, además del beneficio de la obtención de abono orgánico de alta calidad. Es decir, que el biodigestor producirá biogás para la cocción de alimentos y calefacción para los pollos, y el Biol que servirá para un mejor rendimiento de los suelos y para alimentación de las tilapias.

PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACION

El tratamiento ambiguo de residuos agroindustriales y excretas animales mixtas en el Centro Binacional Formación Técnica Zapotepamba, como proceso de obtención de bioabono y biogás.

ESPACIO

El desarrollo de nuestro proyecto se llevó a cabo en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja, el cual se caracteriza por ser una institución de educación superior de alta calidad en el campo agropecuario, donde se implementará un biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula flexible, el mismo que facilitará la automatización de todos los procesos que conlleva la obtención y producción del bioabono y biogás respectivamente. 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 estimado para realizar la presente construcción y automatización del biodigestor, está dado en un periodo de ocho a diez meses aproximadamente, a partir de la aprobación del proyecto de tesis, tiempo en el cual podremos cumplir con la entrega del Biodigestor y con los objetivos propuestos.

UNIDADES DE OBSERVACIÓN

- Biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula flexible.
- Procesos más importantes dentro y fuera del biodigestor.
- Ubicación del agitador en el biodigestor.
- Investigaciones previas, revistas y catálogos sobre biodigestores.
- Equipos, Sensores, PLC y Electroválvulas.
- Régimen de trabajo del biodigestor

JUSTIFICACIÓN.

Con la forma de utilización de los desechos agroindustriales de la granja experimental del CBFT-Z de la UNL, no se está aprovechando eficazmente las potencialidades de los mismos y en consecuencia existen mayores efectos negativos para el ambiente.

Entonces la presente investigación está destinada a la construcción de un biodigestor automatizado, con lo que se pretende lograr un adecuado aprovechamiento de las excretas de los animales y demás desechos orgánicos de la granja, lo cual permitirá obtener la producción de biogás y bioabono y de esta manera poder subsanar los daños ocasionados al medio ambiente y de brindar nuevas alternativas de aprovechamiento de energía.

Muchas fincas o instalaciones agropecuarias tienen la posibilidad de suplir la totalidad de sus requerimientos energéticos, mediante la recolección de todos sus residuos orgánicos y utilizarlos en producción de bioabono y biogás, con nuestra investigación aspiramos impulsar el crecimiento de este tipo de proyectos en la región.

Se realiza el estudio del proyecto “Construcción e implementación de un biodigestor automatizado para la granja del CBFT-Z de la Universidad Nacional de Loja”. Considerando los beneficios económicos que se derivan del uso del biogás como combustible y del bioabono para mejorar la producción agrícola de la granja.

La elaboración de la presente investigación es posible, en primera instancia gracias a los conocimientos adquiridos en el transcurso de nuestra carrera, por lo cual 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.

Este proyecto lo hemos considerado ya que la Universidad Nacional de Loja, está trabajando con energías alternativas desde hace varios años y nos proveerá de los equipos necesarios para la construcción del mismo y de esta forma dar continuidad a un proyecto de gran beneficio para la Universidad y por ende para los estudiantes.

Es así que se puede ver como el alcance del proyecto puede ser altamente sostenible, tanto social, ambiental y económico a la vez.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General.

Construir e implementar un biodigestor totalmente automatizado que permita aprovechar el uso integral de los desechos orgánicos producidos en la Granja del Centro Binacional de Formación Técnica “Zapotepamba” de la Universidad Nacional de Loja.

Objetivos Específicos.

- Emplear los equipos y programas necesarios que nos permita la automatización del biodigestor.
- Implementar un sistema de agitación para lograr la uniformidad de la mezcla (agua-estiércol) y evitar la formación de sedimentos dentro del reactor.
- Clasificar los materiales para la construcción del biodigestor y con ello un mecanismo que nos facilite la implementación del mismo.
- Intervenir en los parámetros más importantes del proceso de generación de biogás y bioabono (temperatura, carga de operación, nivel, tiempo de alojamiento, pH.) y actuar sobre estos mediante la automatización del biodigestor.
- Mediante la automatización controlar los parámetros (temperatura, carga de operación, nivel, tiempo de alojamiento, pH.) y con ello lograr un correcto funcionamiento en el mismo.
- Diseñar una criadora de pollos utilizando como fuente principal el Biogás.
- Elaborar un manual que sirva de guía para un mantenimiento preventivo y condiciones de trabajo que se consideran en el biodigestor.

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Hipótesis general.

Con el control automático de las variables de temperatura, nivel, presión y pH, obtendremos un eficiente rendimiento en la producción de bioabono y biogás.

Hipótesis específicas.

- Con los equipos y programas empleados en el biodigestor este quedara totalmente automatizado.
- Con el sistema de agitación se lograra homogeneidad en la mezcla y evitara la formación de sedimentos en el biodigestor.
- El biodigestor construido tendrá un rendimiento mayor en concordancia a los biodigestores no automatizados.
- Con el control de estas variables se obtendrá biogás y bioabono en cantidades que podrá satisfacer la demanda de la criadora de pollos y la cocina.
- La criadora de pollos tendrá un rendimiento óptimo con el uso de biogás.
- Mediante la elaboración de un manual de trabajo se dará un mejor mantenimiento del biodigestor y con ello se prolongara la vida útil del mismo.

4. REVICIÓN LITERARIA

4.1. BIOENERGÍA

La bioenergía es un tipo de energía renovable obtenida de los combustibles derivados de fuentes biológicas (Biomasa). Actualmente, la biomasa realiza el mayor aporte energético de todas las energías alternativas. Como la bioenergía puede ser implementada a pequeña, mediana y gran escala, es aplicable a una amplia variedad de recursos y modelos de procesamiento/utilización.

4.1.1. Bioenergía En Ecuador

En Ecuador, donde su principal fuente de ingresos es la exportación de petróleo, el impulso de energías renovables que aprovechen la biomasa (Bioenergías), podría ser la respuesta para subyugar el uso de combustibles fósiles y nuestra dependencia de su uso. Creando de esta manera una infraestructura de autoabastecimiento y auto sustentación energética.

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.

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

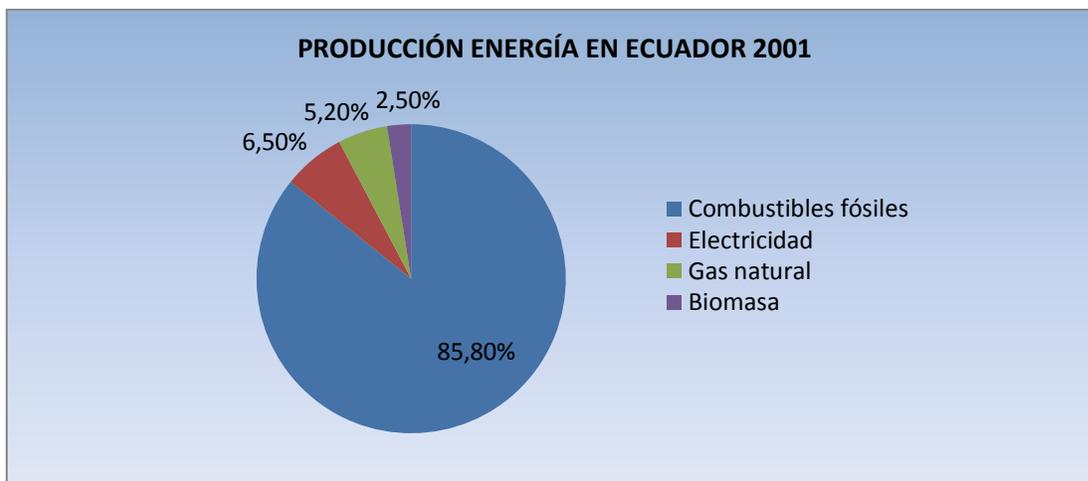


Fig. 1 Producción Energía en Ecuador.

4.2. BIOMASA

También conocida como bioenergía o biocombustibles, es la fracción biodegradable de los productos y residuos de la agricultura, la forestación y sus industrias asociadas.

El término también incluye la fracción orgánica de los desperdicios municipales e industriales. Dicha biomasa tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede, en última instancia, de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Esta materia orgánica es renovable cuando se produce a la misma velocidad de consumo, evitando la sobre explotación de los recursos naturales.

Durante gran parte de la historia de la humanidad y hasta la revolución industrial, la biomasa ha servido para cubrir las necesidades de calor e iluminación, tanto en la vida cotidiana como en las distintas industrias. Se utilizaba para cocinar, calefacción, hacer cerámica, producir metales y, posteriormente, para alimentar las máquinas de vapor. Estos nuevos usos que progresivamente requerían una mayor cantidad de energía en un espacio cada vez más reducido, promocionaron el uso del carbón como combustible sustitutivo a mediados del siglo XVIII. Desde ese momento se empezaron a utilizar fuentes energéticas con un mayor poder calorífico, y el uso de la biomasa declinó hasta mínimos históricos. Actualmente, sin embargo, según datos del Fondo de las Naciones Unidas para la

Alimentación y la Agricultura (FAO), “algunos países pobres obtienen el 90% de su energía de la leña y otros biocombustibles”.²

La utilización de la biomasa vegetal seca, especialmente en forma de madera, para la generación de calor por combustión directa es un hecho cotidiano (*fig. 2*). Así la madera cubre, en promedio, hasta el 5% de las necesidades energéticas presentes en los países industrializados (porcentaje similar al cubierto por la energía nuclear), llegando a representar la fracción mayoritaria (hasta 95%) en países subdesarrollados, donde la media de consumo alcanza alrededor de una tonelada por habitante por año. En conjunto se estima que la madera suministra aproximadamente el 14% del consumo energético mundial.³

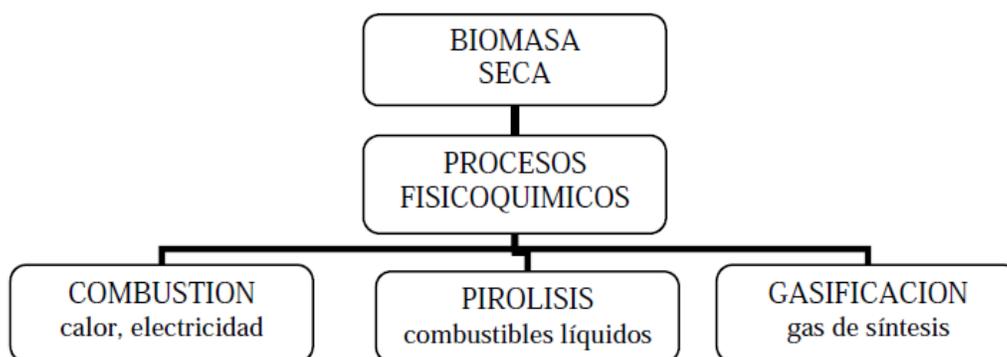


Fig. 2 utilización de la biomasa.

La biomasa con alto grado de humedad puede transformarse por degradación biológica, mediante procesos anaeróbicos, en metano o etanol, consiguiéndose aumentar el valor energético de la biomasa de 16 kJ/g a 30 kJ/g en el caso de etanol y a 56 kJ/g en el de metano.

²www.epec.com.ar

³Carrillo, Leonor. **Energía de biomasa. 1° ed. S.S. Jujuy : el autor, 2004.**

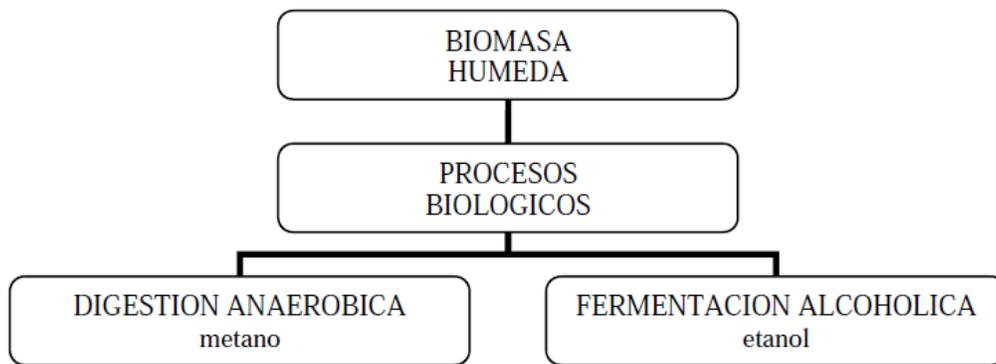


Fig. 3 proceso de la biomasa.

Las técnicas más desarrolladas son, por un lado, la digestión anaeróbica de biomasa con alto contenido en celulosa (basura, plantas acuáticas y residuos agrícolas, ganaderos e industriales), para la generación de metano, y por otro, la fermentación de materiales azucarados o amiláceos para la producción de etanol (*fig.3*). En contraste con la digestión anaeróbica que emplea materias primas de escaso valor, la fermentación alcohólica utiliza como sustratos productos de alto valor económico.⁴

4.2.1. Tipos De Biomasa

Biomasa natural: Se produce de forma espontánea en la naturaleza, sin intervención humana. Por ejemplo, las podas naturales de los bosques.

Biomasa residual seca: Procede de recursos generados en las actividades agrícolas y forestales, así como en las industrias agroalimentaria y maderera (ej: aserrín).

Biomasa residual húmeda: Procede de vertidos biodegradables formados por aguas residuales urbanas e industriales y también de los residuos ganaderos (el guano, por ejemplo).

Cultivos energéticos: Su única finalidad es producir biomasa transformable en combustible. Incluye los cereales, oleaginosas, remolacha y los cultivos lignocelulósicos.⁵

⁴Carrillo, Leonor. Energía de biomasa. 1° ed. S.S. Jujuy : el autor, 2004.

⁵www.epec.com.ar

4.2.2. Composición Química

Todas las formas de biomasa consisten en una parte orgánica, una inorgánica y agua. En la combustión se quema la parte orgánica. La inorgánica influye en el proceso de combustión y forma la ceniza o residuo sólido que queda después de la combustión.

Los elementos químicos más importantes son carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), y azufre (S) y, en algunos casos, cloro (Cl). Además, contiene oxígeno (O), lo cual no se determina directamente, sino que se calcula como diferencia entre el peso total y la suma de los otros elementos, más la ceniza.⁶ La siguiente tabla muestra la composición para varios tipos de biomasa. Se incluye el carbón mineral como punto de comparación.

Tabla 1. Composición química de diferentes formas de biomasa.

Tipo de biomasa	Porcentaje del peso (sin humedad)						
	C	H	N	O	S	Cl	Ceniza
Madera							
Sauce	47,66	5,2	0,3	44,70	0,03	0,01	1,45
Madera suave	52,10	6,10	0,20	39,90	-	-	1,70
Corteza de madera dura	50,35	5,83	0,11	39,62	0,07	0,03	3,99
Madera dura	50,48	6,04	0,17	42,43	0,08	0,02	0,78
Eucalipto	50,43	6,01	0,17	41,53	0,08	0,02	1,76
Roble	49,89	5,98	0,21	42,57	0,05	0,01	1,29
Corteza de pino	52,30	5,80	0,29	38,76	0,03	0,01	2,90
Aserrín pino	52,49	6,24	0,15	40,45	0,03	0,04	0,60
Sub-productos agrícolas							
Brizna de trigo	39,07	4,77	0,58	50,17	0,08	0,37	4,96
Caña de azúcar	44,80	5,35	0,38	39,55	0,01	0,12	9,79
Bagazo de caña	46,95	5,47	0,38	39,55	0,01	0,12	9,79
Paja de arroz	39,65	4,88	0,92	35,77	0,12	0,50	18,16
Cascarilla de arroz	38,68	5,14	0,41	37,45	0,05	0,12	18,15
Paja de maíz	46,91	5,47	0,56	42,78	0,04	0,25	3,99
Olote de maíz	47,79	5,64	0,44	44,71	0,01	0,21	1,2
Fibra de coco	50,29	5,05	0,45	39,63	39,63	0,28	4,14
Carbón mineral	71,70	4,70	1,3	8,30	0,64	0,060	20,70

Fuente: RWEDP (2002).

⁶Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

4.2.3. Valor Calorífico

Todas las formas de biomasa tienen un valor calorífico, el cual se expresa como la cantidad de energía por unidad física, por ejemplo, joule por kilogramo. Esta es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se quema completamente.

El valor calorífico se puede anotar de dos formas diferentes: bruto y neto. El bruto se define como la cantidad total de energía que se liberaría vía combustión, dividido por el peso. El neto es la cantidad de energía disponible después de la evaporación del agua en la biomasa; es decir, es la cantidad de energía realmente aprovechable, y siempre es menor que el valor calorífico bruto.

Para madera completamente seca, la cantidad de energía por unidad de peso es más o menos igual para todas las especies, con un promedio de valor calorífico bruto de 20 MJ/kg para madera de tronco. Los valores pueden variar ligeramente de este promedio, según el contenido de ceniza, para ramas pequeñas, tienden a ser más bajos y más variables. Sin embargo, en la práctica, la humedad relativa es el factor más importante que determina el valor calorífico.⁷

4.2.4. Contenido de Humedad

El contenido de humedad, o humedad relativa, se define como la cantidad de agua presente en la biomasa, expresada como un porcentaje del peso. Para combustibles de biomasa, este es el factor más crítico, pues determina la energía que se puede obtener por medio de la combustión. Cuando se quema la biomasa, primero se necesita evaporar el agua antes de que el calor esté disponible, por eso, cuanto más alto el contenido de humedad, menos el valor calorífico.

Todos los combustibles contienen una cantidad de agua, pero, para la biomasa, los niveles pueden ser altos, esto afecta el valor calorífico y el proceso de combustión. El contenido de humedad puede variar dependiendo del tipo de biomasa, el tiempo entre su cosecha y su

⁷Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

uso y la humedad atmosférica. Después de haberla cosechado, paulatinamente ésta perderá la humedad hasta que se establezca un equilibrio con el ambiente.

El valor de la humedad se puede indicar según sea en base seca o en base húmeda: en base seca se define como la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso del material seco, expresado como porcentaje. El contenido de humedad en base húmeda es la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso total del material. El valor en base húmeda siempre es más bajo que en base seca, por lo que es muy importante indicar el método aplicado.⁸

4.2.5. Descomposición Anaeróbica

Es el fenómeno de desintegración biológica o putrefacción causado por micro organismos en ausencia de oxígeno.

En muchos ambientes anóxicos los precursores inmediatos del metano son el H₂ y el CO₂ que se generan por las actividades de los fermentadores anaeróbicos. En el proceso general de producción de metano a partir de la fermentación de un polisacárido, como la celulosa, pueden intervenir hasta cinco grupos fisiológicos de procariotas. Las bacterias celulolíticas rompen la molécula de celulosa de peso molecular elevado dando celobiosa (β -glucosa - β -glucosa) y en glucosa libre. Por acción de los fermentadores primarios, la glucosa origina una variedad de productos, entre los cuales se encuentran acetato, propionato, butirato, succinato, alcoholes, H₂ y CO₂. Todo el hidrógeno producido en los procesos fermentativos primarios es consumido inmediatamente por las bacterias metanogénicas, las acetogénicas o las reductoras de sulfato si éste se halla en alta concentración. Además el acetato puede ser convertido en metano por algunos metanógenos (*véase fig. 4*).

⁸Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

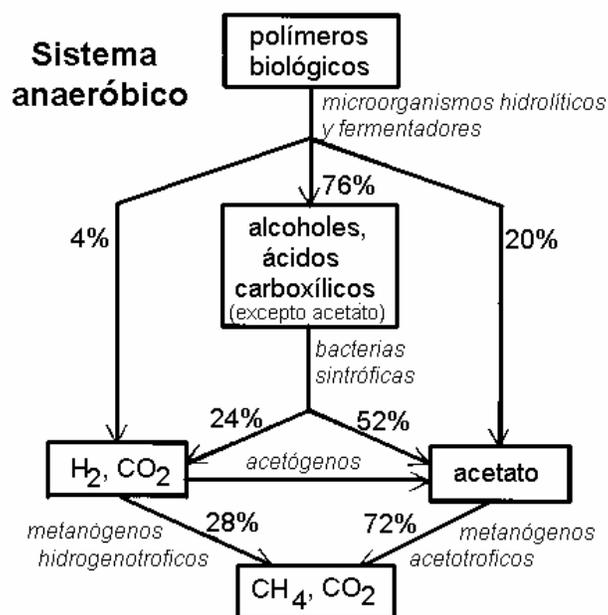


Fig. 4 Descomposición anaeróbica con producción de metano en un digestor

4.3. BIOGÁS

Es un gas combustible que se obtiene de la descomposición anaerobia de la materia orgánica en un ambiente carente de oxígeno, por la acción de grupos bacteriológicos, que liberan una mezcla de gases formada por metano (principal componente del biogás), dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno, ácido sulfhídrico entre otros.

Este gas conocido también como gas de los pantanos por que se genera de manera natural en los pantanos.

El Biogás es una mezcla de gases que está compuesta básicamente por:

- ♣ Metano (CH₄): 40 - 70 % vol.
- ♣ Dióxido de carbono (CO₂): 30 - 60 % vol.
- ♣ Otros gases: 1 - 5 % vol.
- ♣ Incluyendo:
- ♣ Hidrógeno (H₂): 0 - 1% vol.
- ♣ Sulfuro de hidrógeno (H₂S): 0 - 3 % vol.

Así como cualquier gas puro las propiedades características del Biogás dependen de la presión y la temperatura. El valor calorífico del biogás es de aprox. 6 kWh/m³ que corresponde aprox. a la mitad de un litro de combustible diesel; el valor calorífico neto depende de la eficiencia de los quemadores o de su aplicación.

4.4 BIODIGESTORES

4.4.1. 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.

4.4.1.1. Pozos sépticos

Es el más antiguo y sencillo digestor anaerobio 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.⁹

⁹ http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/biodigestor1.pdf, consultado el 12.03.08

4.4.1.2. Biodigestor del domo flotante (Indio):

Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después fue reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared y fondo del reactor de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón (Fig. 5). Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central.



Fig. 5 Biodigestores hindúes

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.

4.4.1.3. -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.

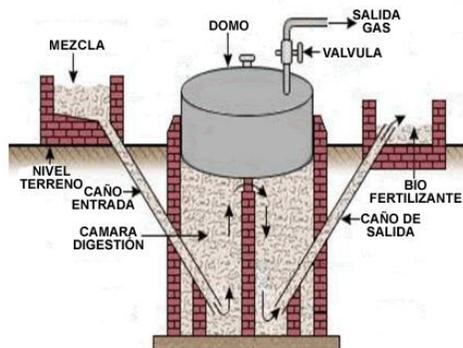


Fig. 6 Biodigestor tipo chino.

En la *fig. 6* Se muestra el esquema de una planta de biogás tipo chino, donde 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.

En la *fig.7*. Se muestra el esquema de un biodigestor tipo chino, con sus principales elementos.



Fig. 7 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.

4.4.1.4. 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 remplazado después por polietileno (*Fig. 8*) 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.



Fig. 8 Biodigestor de estructura flexible

En este digester 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.

4.4.1.5. 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 (*Fig. 9*) como los

empleados en los prototipos tradicionales, y la estructura de polietileno flexible, puede llegar a alcanzar hasta diez años de vida útil.¹⁰



Fig. 9 Digester 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.

4.4.1.6 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.



Fig. 10 Biodigestores industriales

¹⁰ www.aqualimpia.com

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 construidos de ladrillo u hormigón, como se muestra en la *fig.10*.

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.

4.4.2. 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.

Tabla 2: 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

Fuente: Maramba 1978; Finck 1992

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 micro organismo.

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 °C), el segundo es el termofílico (por encima de 45 °C).

El óptimo puede ser de 35 °C a 55 °C. La ventaja de la digestión termofílica es que la producción de biogás es aproximadamente el doble que la mesofílica, así que los biodigestores 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 °C. El tercer rango (psicrofílico) ocurre entre los 10 y 25 °C. 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.

4.4.3. 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 °C. 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. ¹¹

4.4.4. 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.
3. 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.

¹¹ LOPEZ CAÑAS, Marcela Milena. Experimentación con Biodigestores a Escala de Laboratorio para Generación de Biogás a partir de Desechos Vegetales. Junio de 2003.

4.4.5. 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.

Tabla 3: Rango de valores de pH en la generación de BIOGAS

Valor pH	Característica
7 – 7.2	OPTIMO
Menor de 6.2	Retardo por ácidos
Mayor a 7.6	Retardo por amonios

Fuente: Difusión de la tecnología del biogás en Colombia

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.¹²

4.5. MANTENIMIENTO Y FUNCIONAMIENTO:

4.5.1. 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.

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

Factores humanos

- Peculiaridad
- 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.

¹² LOPEZ CAÑAS, Marcela Milena. Experimentación con Biodigestores a Escala de Laboratorio para Generación de Biogás a partir de Desechos Vegetales. Junio de 2003.

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 quebradizo.
- Suelos con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrologica.

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 del pre-tratamiento, la mezcla, la carga, y controles de PH, obstrucciones de líquidos, sólidos y

gases: las descargas de efluentes tanto líquidas 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.¹³

4.5.2. 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.

4.5.3. 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.

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

¹³ LOPEZ CAÑAS, Marcela Milena. Experimentación con Biodigestores a Escala de Laboratorio para Generación de Biogás a partir de Desechos Vegetales. Junio de 2003.

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.¹⁴

4.5.3.1. 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.

4.5.3.2. 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. El motor que se utilizó para el sistema de agitación, es monofásico de marca WEB, de 1 hp, de 3600 rpm., considerando las características del reductor que emplearemos.

4.5.3.3. 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. Se utilizó un eje de acero hueco de 1 ½” y aspas de acero inoxidable para evitar la corrosión del mismo que puede ocurrir en contacto con el sustrato.

¹⁴ LOPEZ CAÑAS, Marcela Milena. Experimentación con Biodigestores a Escala de Laboratorio para Generación de Biogás a partir de Desechos Vegetales. Junio de 2003.

4.5.3.4. Motor reductor:

Los Motor 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 motorreductores 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 motorreductores se suministran normalmente acoplado 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.

Se utilizó un reductor de doble sinfín-corona de relación de 325:1 por encontrarse a disposición en el mercado.

4.6 BIODIGESTORES AUTOMATIZADOS

La necesidad de 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.

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) ya que principalmente es el factor que puede inhibir o eliminar a las bacterias que son las responsables de la digestión anaerobia. 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.

4.6.1 Referencia bibliográfica de una planta de biogás automatizada para el Jardín Botánico de Quito

El fin de este proyecto es diseñar e implementar un sistema de control y automatización para la planta de biogás, del Jardín Botánico de Quito que tenga la capacidad de medir, visualizar y almacenar las variables para supervisarlas desde un punto remoto, y compararlas con valores esperados en el diseño para verificar que se encuentren en rangos permisibles; permitiendo a la vez un posterior análisis con los datos recopilados de este tipo de energía alternativa.

Tabla 4 Características técnicas del biodigestor

Material de construcción:	Metal
Volumen total requerido:	10 m ³
Diámetro:	2,6 m
Altura:	2,0 m
Volumen de acumulación de biogás	1 m ³
Tiempo de retención:	30 días
Producción de biogás:	10 m ³ /día
Producción de metano:	6 m ³ /día
Producción de lodo orgánico	12 kg./día
Producción de Biol	140 kg./día
Capacidad diaria de procesamiento	110 kg
Producción de energía eléctrica	3 kWh/día
Producción de energía térmica	5 kWh/día
Volumen total de fertilizante orgánico	150 kg./día

Para el diseño del sistema de control de la planta de biogás JBQ, se han considerado cuatro aspectos importantes que son:

- ✓ Garantizar y mantener las condiciones más favorables para dicho proceso, lo que prácticamente depende de una variable fundamental que es la temperatura en el interior del biodigestor.
- ✓ La seguridad, tanto para las personas como para los equipos.
- ✓ El trabajo continuo de la planta, mediante la utilización de elementos robustos y confiables; y,
- ✓ Que el sistema sea simple en su operación.

Con base a esas consideraciones, el sistema de control se encargará de:

- ✓ Mantener la temperatura en el interior del biodigestor lo mas alto posible dependiendo siempre de las condiciones climáticas, ya que la fuente de calor es el sol; controlando para tal efecto la operación de los elementos que influyen en la regulación de dicha variable.
- ✓ Controlar la presión en la línea del biogás para evitar sobrepresiones y posibles roturas en las juntas del tanque.

- ✓ Mantener una mezcla homogénea dentro del biodigestor para mejorar las condiciones de generación de biogás.
- ✓ Proporcionar al operador información visual de las variables de proceso y facilitar el control de la planta.

Por otro lado, todos los dispositivos de maniobra y protecciones del sistema eléctrico, serán dimensionados considerando las características y valores nominales de cada componente de carga y acorde a las normativas existentes sobre instalaciones eléctricas.

Controlando este tipo de variables y con la tecnología empleada en el mismo, se logro una producción de biogás de 3 m³ diaria, por lo que no se pudo suplir el valor deseado. Pero si se logro un valor aceptable.

Tabla 5 Motores instalados en la planta

Denominación	Potencia (HP)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Tipo	Arranque
Agitador	2	220	9.8	Monofásico Jaula de ardilla	A voltaje pleno
Bomba Tanque- Biodigestor	1	110	8.4	Monofásico Jaula de ardilla	A voltaje pleno
Bomba Colectores- Tanque	1	110	8.4	Monofásico Jaula de ardilla	A voltaje pleno
Picadora	1.5	110	10	Monofásico Jaula de ardilla	A voltaje pleno
Bomba sumergible	2	220	6.2	Monofásico Jaula de ardilla	A voltaje pleno

Es preciso mencionar que no existe precio en algunos de los equipos que intervinieron en el desarrollo del proceso, ni valoración económica debido a que algunos de los mismos ya existían y otros fueron donados.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1. INTRODUCCIÓN:

Este subtítulo se conforma de tres secciones, las cuales se dividen en:

Primero, la ubicación del lugar para la construcción de la planta generadora de biogás, tomando en consideración, el acceso del personal que visite el CBFT-Z, que sientan la necesidad de conocer este tipo de obtención de energía limpia, pudiendo ser utilizada con fines didácticos, considerar el fácil acceso para ingresar con las excretas de los diferentes tipos de ganado existentes en el lugar, accesibilidad del agua para la realización de la mezcla tomando en consideración el servicio que se le va a dar al biogás.

Segundo, establecer el modelo del biodigestor, su capacidad y características finales, sus partes constitutivas, tomando como base la demanda de biogás requerida en el CBFT-Z, que nos permita reemplazar la demanda de GLP, que se emplea en la climatización de pollos en levante y en la cocción de alimentos, considerando el número total de animales, y la cantidad de estiércol que se puede recolectar de los mismos, además se establecerán las variables de trabajo como son la temperatura, nivel, presión y pH, con valores establecidos para el óptimo funcionamiento del biodigestor.

Tercero, trata todo lo referente a la automatización con sus diferentes diagramas de lazo y las estrategias de control necesarias para la cual se dispone de 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, además de una simulación de un sistema de adquisición de datos SCADA en 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.

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.

5.2 UBICACIÓN DE LA PLANTA GENERADORA DE BIOGÁS.

5.2.1 Antecedentes Del Centro Binacional Zapotepamba

Con motivo de la firma de la paz entre Ecuador y Perú, con el propósito de contribuir a fortalecer el proceso de paz entre los dos países; y, lograr, en el mediano y largo plazo, superar las difíciles condiciones socioeconómicas y ambientales de la Cuenca Hidrográfica Catamayo-Chira, se constituyó el Centro Binacional de Formación Técnica (fig. 11), con dos sedes. La una en el Ecuador, en la Provincia de Loja, Cantón Paltas, sector de Zapotepamba; y, la otra en el Perú, en el Departamento de Piura, sector Mallares.



Fig. 11 Centro binacional de formación técnica Zapotepamba

Las instituciones involucradas en el desarrollo del Centro Binacional, han conformado la Corporación Catamayo (en el Ecuador) y la Asociación Chira (en el Perú), con la finalidad de gestionar ambas sedes. La Corporación Catamayo y la Asociación Chira, con personería jurídica, se constituyen como entidades nacionales con una clara proyección hacia la binacionalidad, para actuar en la cuenca hidrográfica Catamayo-Chira dentro de un marco de manejo integral de la Cuenca.

El centro binacional de formación técnica Zapotepamba (CBFT-Z), está ubicado en el sector de Zapotepamba del Valle de Casanga, perteneciente a la Parroquia Casanga, Cantón Paltas, Provincia de Loja. La distancia de la ciudad de Loja al CBFT-Z es de 132 Km., aproximadamente a dos horas de viaje vía terrestre. El CBFT-Z, cuenta con una finca de 196 hectáreas, de las cuales 40 hectáreas son potencialmente regables, las mismas que están ubicadas en la parte baja de la finca; y, las 150 hectáreas con áreas de secano y formaciones naturales de bosque seco.

5.3. TIPO DE BIODIGESTOR A SER EMPLEADO EN EL PROYECTO

Para la elección del biodigestor, se realizó una amplia recopilación 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 del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFT-Z) y de acuerdo a un previo diseño ya establecido por estudiantes de nuestra universidad, será el de un *Biodigestor con Tanque de Almacenamiento Tradicional y Cúpula de Polietileno de Desplazamiento Horizontal y Flujo Semicontinúo*(fig. 12)¹⁵, además que nos permitirá realizar la automatización de todos los procesos que conlleva a la obtención y producción del bioabono y biogás.

¹⁵Chara, J.; Pedraza, G. 2002. Biodigestores plásticos de flujo Semicontinuo: Investigación y transferencia en países tropicales. Fundación CIPAV. Cali. CO. 278 p.

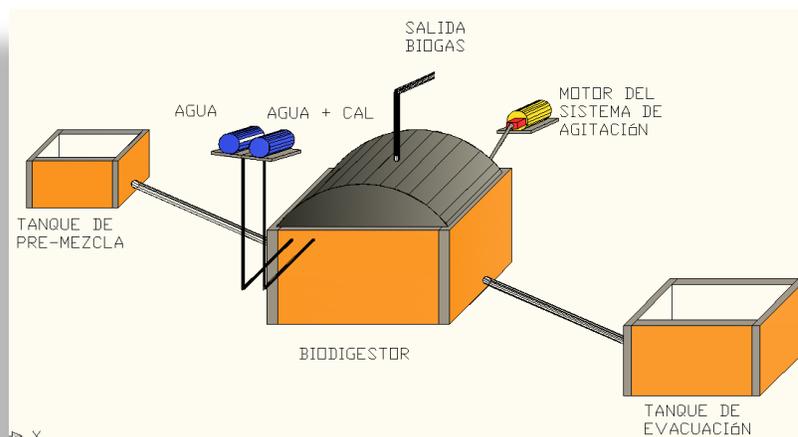


Figura 12 Biodigestor con Tanque de Almacenamiento Tradicional y Cúpula de Polietileno de Desplazamiento Horizontal y Flujo Semicontinúo.

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.

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 lateral hacia el tanque de evacuación.

La cubierta superior será fija, utilizando geomembrana “flexible” de 500 micras, tiene una buena resistencia y lo suficientemente durable en un ambiente hostil y a la intemperie que va a permanecer y que no presente fugas.

Mediante estas condiciones, se establece el rediseño 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 sedimentos, que permitirá obtener un mayor rendimiento en el proceso de digestión y obtención de biogás con un afluente de substrato con alta calidad.

5.4 PARÁMETROS DE DISEÑO:

5.4.1. Biogás Generado.

El biogás se genera a partir de la digestión anaerobia, proceso biológico en el que la materia orgánica deviene en degradación desde una colonia bacteriana, metabolismo que no necesita del oxígeno. Con tecnologías apropiadas, el biogás se puede transformar en otros tipos de energía, como calor, electricidad o energía mecánica¹⁶.

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 $25 - 30 \text{ MJ}/\text{m}^3$, comparado con $33 - 38 \text{ MJ}/\text{m}^3$ 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 energéticos (madera, leña, carbón vegetal)¹⁷ representando un ahorro para el agricultor al no tener que comprar gas natural o comercial.

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.

¹⁶ SIMPOSIO CENTROAMERICANO SOBRE APLICACIONES DE ENERGÍA BIOMÁSICA, Diseño y Construcción de biodigestores, Editorial Tecnológica, Costa Rica, 1985.

¹⁷ 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).

- ✓ Control de malos olores
- ✓ El efluente puede ser utilizado como alimento para peces, en lagos o estanques artificiales, además de la lombricultura.

Para nuestro caso en particular el biogás obtenido se lo utilizará en una cocina de dos quemadores diseñados para la utilización de biogás con inyectores de mayor diámetro, y/o, en una criadora para calentar el interior de un galpón de pollos en levante.

5.4.2. Requerimiento de demanda de biogás por día:

Se realiza mediante la demanda que existe en el CBFT-Z, en lo referente a la producción de biogás que debería producir el biodigestor por día, para alimentar una criadora de pollos cuya fuente principal sea el biogás, por lo que realizamos un rediseño y nuevos cálculos que nos permitan determinar las demandas finales de la criadora y de una cocina a biogás que permita realizar la calefacción de 300 litros de agua por día a 60°C., para la criadora se realizará un diseño de la misma, este diseño se lo hará en base a la necesidad de calentar el ambiente de los pollos en levante (12 primeros días); 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 estas dos aplicaciones, y el volumen que deberá tener la cámara de digestión donde se alojará el sustrato a ser tratado.

5.4.2.1. Parámetros para el diseño de la criadora de pollos.

La producción de pollos ha tenido un desarrollo importante durante los últimos años y está muy difundida en nuestro país, sobre todo en climas templados y cálidos, debido a su alta rentabilidad, buena aceptación en el mercado, facilidad para encontrar muy buenas razas y alimentos concentrados de excelente calidad que proporcionan muy buenos resultados en conversión alimenticia y una temperatura apropiada para su crianza.

En climas cálidos y templados el galpón, debe ser construido de oriente a occidente, así el sol no llegará al interior del alojamiento, lo cual conllevaría a una alta elevación de la

temperatura, además los pollos se correrían hacia la sombra pudiendo producir mortalidades por amontonamiento. Sin embargo, si las corrientes de aire predominantes en la región son muy fuertes y fueran a cruzar directamente por el galpón se deben establecer barreras naturales para cortarlas.

Las dimensiones: las dimensiones de los galpones varían de acuerdo al número de aves que se pretendan alojar y a la topografía.

Para nuestro diseño tomaremos en cuenta parámetros de referencias bibliográficas, que nos ayudará a realizar el diseño más ajustable a las necesidades en el galpón del CBFT-Z.

Muchos tipos de criadoras se usan en avicultura (fig. 13), en su mayoría son eficientes si se cumplen las instrucciones del fabricante. Los puntos a considerar en la selección de criadoras de pollos son la eficiencia de operación y el tipo de área que se calentará (Manual pollos de engorde PRONACA).

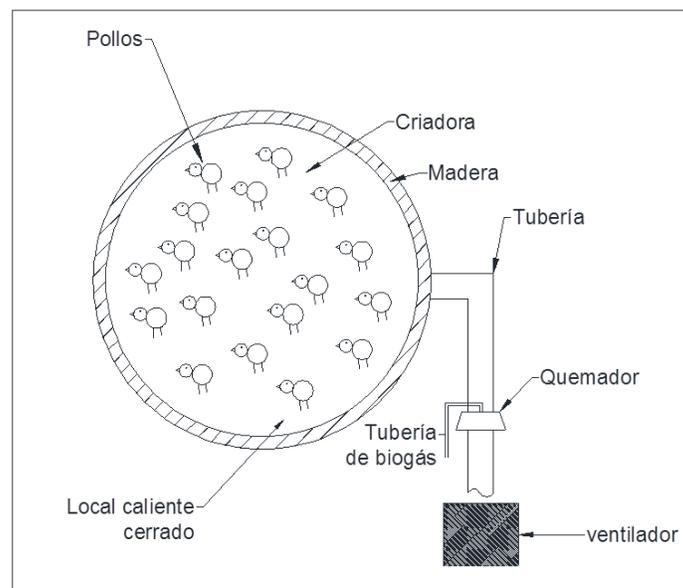


Figura 13 Forma y componentes de la criadora de pollos.

5.4.2.2 Cálculo Térmico.

Considerando los tipos de transferencia de calor, se realizó un análisis de transferencia de calor por convección, que se caracteriza por producirse por intermedio de un fluido (aire, agua) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Estos, al calentarse, aumentan de volumen y, por lo tanto, su densidad disminuye y ascienden desplazando el fluido que se encuentra en la parte superior y que está a menor temperatura. Lo podríamos definir también como el transporte de calor por medio de las corrientes ascendente y descendente del fluido, teniendo en cuenta estos conceptos básicos realizamos el balance térmico de la criadora de pollos del CBFT-Z.

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 criadora.

Las pérdidas de calor que se producen en un galpón de pollos son varias, debido a que se encuentra constituido por varios materiales (madera, polisombra, concreto, aire), esto permite que el calor producido por la criadora no llegue directamente a los pollos (fig. 14).

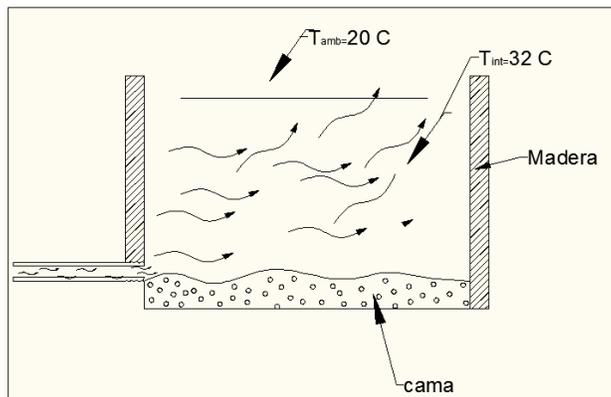


Figura 14 Forma y componentes de la criadora de pollos (vista frontal).

5.4.2.3. Calor necesario para calentar los Pollos.

Realizamos el análisis hasta los 12 días, que es el tiempo que comprende el levante del pollo.

Espacio de alojamiento: existen muchos factores que influyen la cantidad de espacio que se usa para alojar a los pollos, tales como:

- ♣ Sexo (mixtos o sexados).
- ♣ Edad (recepción 40 pollos por m² en costa, y 45 pollos por m² en la sierra).
- ♣ Tipo de galpón abierto o cerrado.
- ♣ Zona geográfica. (Manual pollos de engorde INCA, PRONACA).

Para calcular el calor necesario para calentar los pollos, se parte desde la cantidad del área de crianza.

$$A = \frac{\#de\ pollos \times m^2}{40\ pollos} \qquad \text{Ecuación 1}$$

$$A = \frac{100\ pollos \times 1m^2}{40\ pollos}$$

$$A = 2.5m^2$$

Dónde:

$$\#de\ pollos = 100\ pollos$$

A: área de la base del cilindro (galpón)

La forma del local de la crianza (galpón) será cilíndrica, por cuanto procedemos a encontrar el radio del cilindro del área afectada (*fig. 15*).

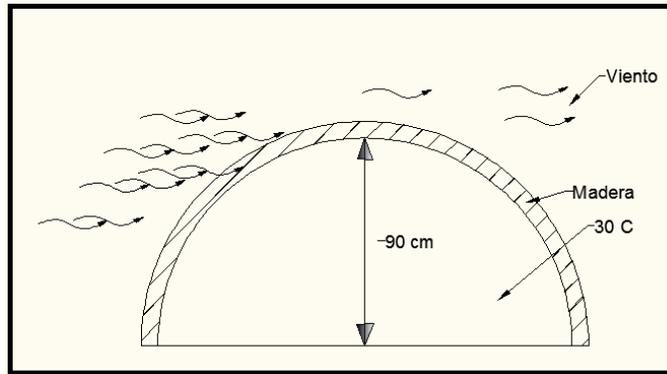


Fig. 15 vista superior del galpón de pollos.

$$A_{base \text{ de cilindro incidente}} = \pi \cdot r^2$$

Ecuación 2

$$r = \sqrt{\frac{A_{circ.}}{\pi}} \text{ reemplazando valores tenemos:}$$

$$r = \sqrt{\frac{2.5m^2}{\pi}}$$

$$r = 0.89 = 1m$$

Dónde:

$A_{base \text{ cilindro incidente}}$: área del cilindro (galpón)

r : radio del cilindro.

Seguidamente determinamos el volumen del aire en el local a climatizar.

$$V_{local} = A_{circ} \cdot h$$

Ecuación 3

$$V_{local} = 2.5m^2 \times 1m$$

$$V_{local} = 2.5m^3$$

Dónde:

V_{local} : volumen del galpón

h : altura del galpón.

Una vez determinados el área del galpón, realizamos un análisis de las pérdidas de calor en la madera, debido al flujo de aire existente en el lugar, la velocidad del viento en el CBFT-Z promedio es de 2.6 m/s. Tanto el local climatizado como la madera estarán en equilibrio térmico.

$$T_{madera} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$v_{viento} = 2.6 \text{ m/s}$$

$$T_{amb.} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Establecido alguno de los valores que tendremos en el galpón y a las condiciones ambientales, queremos saber el comportamiento de temperatura y del viento, para esto utilizamos el número de Reynolds que relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el flujo pueda considerarse laminar o turbulento, el cual se define por la siguiente relación.

$$Re = \frac{v_{viento} \times l}{\nu} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$Re = \frac{2.6 \text{ m/s} \times 5.65 \text{ m}}{15.89 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 925480.8$$

Dónde:

$Re = \text{número de reynolds}$

$$v_{viento} = \text{velocidad del viento} = 2.6 \text{ m/s}$$

$$\nu = \text{viscosidad cinemática} (15.89 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$$

$$l = \text{longitud} (p = l)$$

$p = \text{perímetro}$

Luego encontramos en perímetro con la relación siguiente.

$$l = \pi \times \emptyset$$

$\emptyset = \text{diámetro}$

5.4.2.4. Análisis de la parte exterior por convección.

Para el análisis por convección empezaremos por decir, que la convección es el mecanismo transferencia de calor a través de un fluido con movimiento masivo de éste. La convección se clasifica en natural y forzada. En la convección forzada se obliga al fluido a fluir mediante medios externos, como un ventilador o una bomba. En la convección natural el movimiento del fluido es debido a causas naturales, como el efecto de flotación, el cual se manifiesta con la subida del fluido caliente y el descenso del fluido frío.

La convección forzada se clasifica a su vez en externa e interna dependiendo de si el flujo de fluido es interno o externo. El flujo de un fluido no limitado por una superficie es flujo externo. El flujo por un tubo o ducto es flujo interno, si ese fluido está limitado por completo por superficies sólidas.

Es por esto que procedemos a encontrar el número de Reynolds, para determinar si el flujo es de régimen laminar o turbulento.

$$Re = \frac{v_{viento} \times \delta \times h}{\mu} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$Re = \frac{2.6 \text{ m/s} \times (1.16 \text{ kg/m}^3) \times 1 \text{ m}}{184.6 \times 10^{-7} \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 1.633 \times 10^5$$

Dónde:

$Re = \text{número de reynolds}$

$v_{viento} = \text{velocidad del flujo del fluido (viento)} = 2.6 \text{ m/s}$

$\mu = \text{es la viscosidad evaluada a la temperatura del fluido } (184.6 * 10^{-7} \text{ kg/m.s})$

$h = \text{altura de la placa a ser calentada (pared).}$

5.4.2.4.1 Determinación del número de Nusselt promedio.

El Número de Nusselt (Nu) es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre, comparada con la transferencia de calor si ésta ocurriera solamente por conducción (fig. 16).

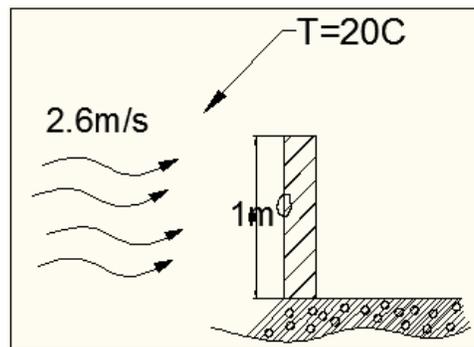


Fig. 16 flujos de aire exterior en las paredes del galpón de pollos.

En transferencia de calor dentro de una cavidad por convección natural, el número de Reynolds, permite caracterizar la naturaleza del flujo, es decir, si se trata de un flujo laminar o de un flujo turbulento, además, indica la importancia relativa de la tendencia del flujo hacia un régimen turbulento respecto de uno laminar y la posición relativa de este estado dentro de una longitud. Mientras que el número de Prandtl, expresa la relación entre la difusión del momento, efecto mecánico de la fricción del fluido sobre la superficie, y la difusión del calor debido a este proceso.

Para el cálculo del número de Nusselt hay que distinguir entre convección forzada y natural, en convección forzada el número de Nusselt es función del número de Reynolds y de Prandtl.

Determinamos el número de Nusselt promedio mediante la siguiente relación:

$$Nu = 0.664 \times Re^{1/2} \times Pr^3 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$Nu = 0.664 \times (1.633 \times 10^5)^{1/2} \times (0.707)^3$$

$$Nu = 95.33$$

Dónde:

Re = número de reynolds

Pr = número de Prandtl = 0.707

El valor de número de Prandtl y el de la viscosidad lo determinamos de la tabla 6.

Tabla 6. Propiedades termofísicas de aire.

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
100	3,5562	1032	71,1	2,00	9,34	2,54	0,786
150	2,3364	1012	103,4	4,426	13,8	5,84	0,758
200	1,7548	1007	132,5	7,590	18,1	10,3	0,737
250	1,3947	1006	159,6	11,44	22,3	15,9	0,720
300	1,1614	1007	184,6	15,89	26,3	22,5	0,707
350	0,9950	1009	208,2	20,92	30,0	29,9	0,700
400	0,8711	1014	230,1	26,41	33,8	38,3	0,690
450	0,7740	1021	250,7	32,39	37,3	47,2	0,686
500	0,6964	1030	270,1	38,79	40,7	56,7	0,684
550	0,6329	1040	288,4	45,57	43,9	66,7	0,683
600	0,5804	1051	305,8	52,69	46,9	76,9	0,685
650	0,5356	1063	322,5	60,21	49,7	87,3	0,690
700	0,4975	1075	338,8	68,10	52,4	98,0	0,695
750	0,4643	1087	354,6	76,37	54,9	109	0,702
800	0,4354	1099	369,8	84,93	57,3	120	0,709
850	0,4097	1110	384,3	93,80	59,6	131	0,716
900	0,3868	1121	398,1	102,9	62,0	143	0,720
950	0,3666	1131	411,3	112,2	64,3	155	0,723
1000	0,3482	1141	424,4	121,9	66,7	168	0,726
1100	0,3166	1159	449,0	141,8	71,5	195	0,728
1200	0,2902	1175	473,0	162,9	76,3	224	0,728
1300	0,2679	1189	496,0	185,1	82	238	0,719
1400	0,2488	1207	530	213	91	303	0,703
1500	0,2322	1230	557	240	100	350	0,685

Fuente: fundamentos de transferencia de calor. Frank P. Incropera, David P. DeWitt.

5.4.2.5 Determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección externa (h_e).

En mecánica de fluidos el flujo externo es aquel en el que las capas límite se desarrollan libremente sin restricciones impuestas por superficies adyacentes. Por tanto, siempre existirá una región de flujo fuera de la capa límite en el que los gradientes de velocidad, temperatura de concentración son despreciables.

Entonces tenemos que:

$$Nu = \frac{h_e \times l}{Kf} \quad \text{Ecuación 7}$$

El número de Nusselt representa la relación que existe entre el calor transferido por convección a través del fluido y el que se transferiría si sólo existiese conducción, o si se analiza por conducción.

Mediante esta relación despejamos h_e por lo que tenemos:

$$h_e = \frac{Nu \times Kf}{l} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$h_e = \frac{95.33 \times (26.3 \text{ W/m.K})}{1\text{m}}$$

$$h_e = 2.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Dónde:

Nu = número de Nusselt

h_e = coeficiente de transferencia de calor por convección externa

Kf = coeficiente pelicular del aire = $26.3 \times 10^{-3} \text{ W/m K}$, cuyo valor se lo obtiene de la tabla 6.

l = la altura del galpón ($l = h$)

5.4.2.5.1 Análisis de la parte interna por convección

La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio de las corrientes ascendente y descendente del fluido. Causado una circulación debido a las diferencias de densidades que resultan del gradiente de temperaturas en el fluido.

Realizamos el análisis partiendo de, que tanto la temperatura en el local, como la temperatura de la madera es la misma, por ende esta en equilibrio térmico y no hay flujo de calor.

Buscamos las propiedades y características del aire a 32 °C, debido a que es a esta temperatura que se va a mantener dentro del galpón.

Propiedades del aire a 32 °C:

$$\delta = \text{densidad del aire} = 1.1846 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = \text{viscosidad del aire} = 188.29 \times 10^{-7}$$

$$k = \text{coeficiente pelicular del aire} = 26.82 \times 10^{-3} \text{ W/m.K}$$

$$Pr = 0.75114$$

$$v_{\text{circulacion}} = 3 \text{ m/s}$$

Estos valores lo obtenemos de la tabla 6 interpolando los valores de las propiedades mencionadas.

5.4.2.6 Ventilación.

La ventilación es uno de los puntos críticos en la crianza de pollos de engorde, debido a que la demanda del oxígeno en el interior de las criadoras es muy importante con la utilización de un soplante, pero los cambios de aire dentro de la criadora, y así la remoción de gases como el amoníaco y humedad que producen los mismos.

Todos los alojamientos para aves deberán ser ventilados adecuadamente, ya sea de manera natural o a través de aire forzado, evitando las corrientes de aire. El sistema deberá mantener la temperatura siempre por abajo de los 27°C.

Datos técnicos del soplante

$$Potencia = 0.2 \text{ HP}$$

$$Caudal = 9.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Presión < 0.5 \text{ atm.}$$

Luego procedemos a determinar el número de Reynolds para saber el régimen en que se va a comportar el fluido mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{v_{\text{circulación}} \times \delta \times h}{\mu} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$Re = \frac{3 \text{ m/s} \times 1.1846 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m}}{188.29 \times 10^3 \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 188740.77 = 1.88 \times 10^3$$

Dónde:

$$Re = \text{número de reynolds}$$

$$v_{\text{circulación}} = \text{velocidad del flujo del fluido (viento)} = 2.6 \text{ m/s}$$

$$\mu = \text{viscosidad del flujo} = 188.29 \times 10^3 \text{ kg/m.s}$$

$$h = \text{altura.}$$

Si consideramos el número de Reynolds debemos determinar también el número de Nusselt promedio que se va a producir en el ducto, así tenemos:

$$Nu = 0.664 \times Re^{1/2} \times Pr^3 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$Nu = 0.664 \times (188740.77)^{1/2} \times (0.72114)^3$$

$$Nu = 107.6709$$

Dónde:

$Re = \text{número de reynolds}$

$Pr = \text{número de Prandtl} = 0.72114$

El valor de *número de Prandtl* lo determinamos interpolando de la tabla 6.

5.4.2.7 Determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección interna (h_i).

Los coeficientes de convección (h) del aire varían ampliamente según las condiciones, fundamentalmente según su humedad y su velocidad de desplazamiento. Cambiando en la misma medida que los coeficientes de convección o por las variaciones de temperatura. Por cuanto determinamos h_i por la siguiente ecuación tenemos:

$$h_i = \frac{Nu * Kf_i}{l} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$h_i = \frac{107.6709 \times 26.82 \text{ W/mK}}{1m}$$

$$h_i = 2.8877 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Dónde:

$Nu = \text{número de Nusselt}$

$h_i = \text{coeficiente de transferencia de calor por convección interna.}$

$Kf_i = \text{coeficiente pelicular del aire} = 26.3 \times 10^{-3} \text{ W/mK}$

$l = \text{altura del galpón}$

El valor de *coeficiente pelicular del aire* lo determinamos de la tabla 6.

5.4.2.7.1. Análisis de transferencia de calor por conducción en la madera

La conducción de calor, es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas, basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas.

El principal parámetro dependiente del material que regula la conducción de calor en los materiales es la conductividad térmica, una propiedad física que mide la capacidad de conducción de calor o capacidad de una sustancia de transferir el movimiento cinético a sus propias moléculas adyacentes o a otras sustancias con las que está en contacto (fig. 17).

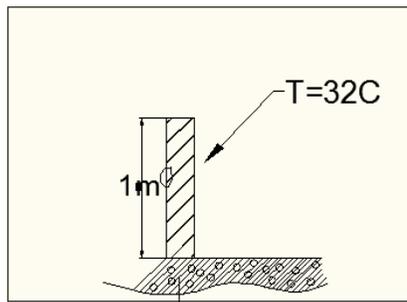


Fig. 17 sección transversal del cilindro de la pared del galpón de pollos.

Su determinación la encontramos mediante la siguiente relación:

$$Rt_{conducción} = \frac{\ln De/Di}{2 \cdot \pi \cdot K_{madera}} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$Rt_{conducción} = \frac{\ln(118m/1178m)}{2 \times \pi \times (0.097W/m.K) \times 0.01m}$$

$$Rt_{conducción} = 1.833 w$$

Dónde:

Rt = resistecia total en la pared

D_e = diámetro externo del galpón

D_i = diámetro interno del galpón

K_{madera} = *coeficiente pelicular de la madera*

Datos técnicos del galpón:

Φ_{ext} = diámetro externo = 180 cm.

Φ_{int} = diámetro interno = 178 cm.

h = la altura = 100cm.

esp. = espesor = 1 cm.

K = *coeficiente pelicular de la madera* = 0.097 W/m K

El valor de *coeficiente pelicular de la madera* lo determinamos de la tabla 7.

Tabla. 7 Propiedades termofísicas de algunos elementos.

Descripción/ composición	Temperatura (K)	Densidad ρ (Kg/m ³)	Conductividad térmica, k (W/m·K)	Calor específico, c_p (J/Kg·K)
Hielo	223	920	1.88	2040
	253	-	2.03	1945
Cuero (suela)	300	998	0.159	-
Papel	300	930	0.180	1340
Parafina	300	900	0.240	2890
Roca				
Granito, barre	300	2630	2.79	775
Caliza, Salem	300	2320	2.15	810
Mármol, Halstoo	300	2680	2.80	830
Cuarcita, Sioux	300	2640	5.38	1105
Arenisca, Berea	300	2150	2.90	745
Caucho, vulcanizado				
Suave	300	1100	0.13	2010
Duro	300	1190	0.16	-
Arena	300	1515	0.27	800
Tierra vegetal	300	2050	0.52	1840
Nieve	273	110	0.049	-
		500	0.190	-
Teflon	300	2200	0.35	-
	400		0.45	-
Tejido, humano				
Piel	300	-	0.37	-
Capa de grasa	300	-	0.2	-
Músculo	300	-	0.41	-
Madera, hilos cruzados				
Balsa	300	140	0.055	
Ciprés	300	465	0.097	
Abeto	300	413	0.11	2720
Roble	300	545	0.17	2385
Pino amarillo	300	640	0.15	2805
Pino blanco	300	435	0.11	-
Madera, radial				
Roble	300	545	0.19	2385
Ciprés	300	420	0.14	2720

Fuente: fundamentos de transferencia de calor. Frank P. Incropera, David P. DeWitt.

5.4.2.7.2. Análisis de transferencia de calor por conducción en el piso (tamo de arroz)

La transferencia de calor es la forma que transmite el calor en cuerpos sólidos (*fig. 18*), las moléculas que reciben directamente el calor aumentan su vibración y chocan con las que rodean.

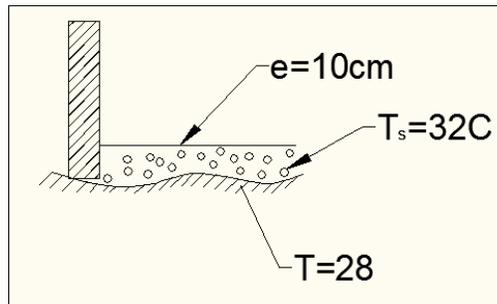


Fig. 18 análisis de convección de calor en el piso del galpón de pollos.

El tipo de cama depende de la disponibilidad y costo. Los materiales más comunes usados son: gramínea, cáscara de arroz, bagacillo de caña, etc (*véase fig. 19*). Es importante tener presente que sin importar el tipo de cama que se use, esta debe estar seca y libre de materiales extraños. La profundidad de la cama debe ser mínimo de 10 cm.



Fig. 19 Cama de los pollos.

La conducción térmica en este caso está determinada por la siguiente relación que establece:

$$Rt_{graminea} = \frac{e}{A \times K_{graminea}}$$

Ecuación 13

$$Rt_{graminea} = \frac{0.1m}{2.5 m^2 \times 0.055 W/m}$$

$$Rt_{graminea} = 0.8 W$$

Dónde:

Rt = resistencia total en el piso.

A = área del galpón

K_{graminea} = coeficiente pelicular de la gramínea = 0.055 W/m.K

h = la altura del galpón

K = coeficiente pelicular del tamo = 0.055 W/m.K

El valor de *coeficiente pelicular del gramínea*, se utilizó las propiedades y características de la balsa por presentar características similares a la gramínea, y ser la madera mas liviana, el valor lo determinamos de la tabla 7.

5.4.2.8 Análisis De Temperaturas En La Criadora y Flujo De Calor

En nuestro país la producción de pollo se ha desarrollado y difundido en gran nivel. Cubriendo todos los climas y regiones, debido a su alta adaptabilidad, rentabilidad, aceptación en el mercado, y disposición para encontrar pollos de buena calidad.

El pollo de engorde, en sus primeros días es incapaz de regular su temperatura corporal, debido a su inmadurez cerebral. Por esto, es importante la utilización de una fuente de calor externa. Las criadoras, estas pueden ser de gas, biogás o eléctricas. Asegurando un ambiente favorable para que el pollo coma, y que todo el alimento se transforme en carne y no se pierda en la producción de calor corporal. Existen criadoras con capacidad para calentar desde los 100 hasta 1000 pollos. Se debe regular bien la temperatura, ya que si el ambiente está muy caliente el pollo se amontonara en los extremos del galpón, de similar

forma si la temperatura fuese muy baja, se amontonarían debajo de la criadora o el centro del galpón. En cualquiera de las dos circunstancias en las cuales el pollo se amontona, podría haber aumento de la mortalidad por asfixia, o semanas después problemas de edemas.

Para evitar este fenómeno se utiliza algunos materiales con propiedades térmicas como el aserrín, tamo de arroz, pulpa de café, entre otros, y con ello mantener la temperatura en el galpón, así como también cuando el pollo sea desalojado poder limpiar el galpón. En nuestro caso utilizaremos tamo de arroz (gramínea), por encontrarse más cerca del CBFT-Z y ser más fácil su adquisición.

$$Q_c \text{ gramínea} = \frac{k_{\text{gramínea}} \times A \times (\Delta T)^\circ K}{e} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$Q_c \text{ gramina} = \frac{0.05^\circ K/W \times 2.48m^2 \times (32-28)^\circ K}{0.1m}$$

$$Q_c \text{ gramina} = 5.45 W$$

Dónde:

$Q_c \text{ gramínea}$ = calor perdido en el piso (gramínea).

A = área del galpón

$K_{\text{gramínea}}$ = coeficiente pelicular del tamo = $0.055 W/m \cdot K$

e = espesor del piso (gramínea)

5.4.2.8.1. Energía necesaria para calentar el aire en el galpón.

Es la energía que se transmite entre dos cuerpos que están a diferentes temperaturas, es decir, con distinto nivel calórico. El calor es una forma de energía que se encuentra en constante tránsito. Lo que significa que si un cuerpo está a un determinado nivel calórico, el calor se transmite al medio ambiente.

Entonces diremos que la energía será igual a:

$$E = \dot{m} \times Cp \times \Delta T \quad \text{Ecuación 15}$$

$$E = (0.01102 \text{ kg/s}) \times \left(1.007 \text{ kJ/kg.K} \right) \times 12^\circ K$$

$$E = 133.165 \text{ W}$$

Dónde:

$$Cp = \text{poder calorífico} = 1.007 \text{ kJ/kg.K}$$

$\Delta T = \text{variación de temperatura en el galpón.}$

$\dot{m} = \text{flujo másico}$

El valor del *poder calorífico del aire* lo obtenemos de la tabla 6

Ahora queremos saber el tiempo en que se va a requerir esta energía, como sabemos que flujo másico es igual a la masa por unidad de tiempo tenemos:

$$t = \frac{m \times cp \times \Delta T}{E} \quad \text{Ecuación 16}$$

Sabemos que el flujo másico se determina por la relación de entre el caudal y la densidad entonces tenemos:

$$\dot{m} = Q \times \delta \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\dot{m} = (9.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) \times (1.16 \text{ kg/m}^3)$$

$$\dot{m} = 0.01102 \text{ kg/s}$$

Dónde:

Q : caudal de entrada de aire, por datos del soplante tenemos que es igual a $9.5 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

δ = densidad del aire = $1.16 \text{ kg}/\text{m}^3$.

\dot{m} = flujo másico

El valor de la densidad del aire la determinamos de la tabla 6., a una temperatura de 300°K

5.4.2.8.2. Determinación de las pérdidas de calor en las paredes del local

Las pérdidas de calor que se producen dentro del galpón son mediante la transferencia de calor por convección y conducción por tratarse de pared y el piso que se encuentran en contacto con el exterior.

La transferencia o dispersión del calor puede ocurrir a través de tres mecanismos posibles, conducción, convección y radiación, en nuestro caso en particular será mediante convección y conducción.

$$Q_T = \frac{T_{int} - T_{ext}}{Rt} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$Q_T = \frac{(32-20)^\circ\text{K}}{1.965^\circ\text{K}/\text{W}}$$

$$Q_T = 6.106 \text{ W}$$

Dónde:

Q_T = pérdidas de calor en las paredes del galpón

T_{int} = temperatura interna = 32°C .

T_{ext} = temperatura externa = 20°C

Rt = perdidas por conveccion y conduccion en las paredes.

Las pérdidas por conducción y convección las determinamos bajo la siguiente relación:

R_t : Resistencia total de las pérdidas que se producen (convección) en el plywood que es el material de que está construido el galpón.

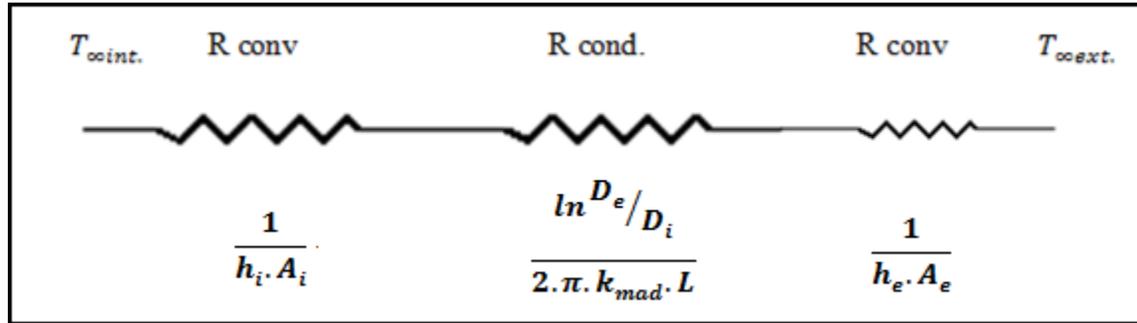


Fig. 20 circuito termoeléctrico.

La resistencia total se la determina de la relación de transferencia de calor por convección la cual se simboliza como se observa en la (fig. 20), por lo que es igual a:

$$R_t = \frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\ln D_e / D_i}{2 \times \pi \times L} + \frac{1}{h_e \times A_e} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$R_t = \frac{1}{5.65 \text{ m}^2 \times 2.8877 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{\ln(118\text{m}/1178\text{m})}{2. \pi \times (0.097 \text{ W/mK}) \times 0.01\text{m}} + \frac{1}{5.65 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$R_t = 0.0619 \text{ }^\circ\text{K/w} + 1.833 \text{ }^\circ\text{K/w} + 0.07 \text{ }^\circ\text{K/w}$$

$$R_t = 1.965 \text{ }^\circ\text{K/w}$$

Dónde:

h_i = Coeficiente de convección interna de la madera.

A_i = Área interna del galpón = 5.59 m^2

D_e = Diámetro externo (2.25 m).

D_i = : Diámetro interno (2.24 m).

k_{mad} = Coeficiente de conductividad térmica de la madera.

L = Longitud de la madera (0.6 m).

h_e = Coeficiente de convección externa de la madera.

A_e = Área externa del galpón = $5.65m^2$

El valor de *coeficiente pelicular de la madera* lo determinamos de la tabla 7.

5.4.2.9. Cálculo de ganancia de la energía interna producida por los pollos.

Realizamos un análisis de la energía emitida por los pollos en la primera y segunda semana y sabiendo de que los pollos tienen una temperatura corporal promedio de 35°C, tenemos:

5.4.2.9.1 Análisis de la primera semana del pollo:

Para ello debemos conocer su masa promedio en la primera semana.

$m_{pollo} = 162 \text{ g.} \leftrightarrow \text{primera semana.}$

$\#pollos = 100 \leftrightarrow \text{es la cantidad que se tendrá en el galpón.}$

$T_c = \text{temperatura corporal del pollo} = 35^\circ\text{C}$

$T_{int} = \text{temperatura promedio en la primera semana} = 32^\circ\text{C}$

A continuación determinamos la masa total promedio en la primera semana con la siguiente relación.

$$Mt_{promedio} = Mp_{pollo} \times \#pollos \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Mt_{promedio} = 162 \text{ gr}^c/u \times 100$$

$$Mt_{promedio} = 16.2 \text{ kg.}$$

Luego determinamos la cantidad de energía producida en la primera semana.

$$E = \frac{m_t \times cp_{pollo} \times \Delta T_{pollo}}{t} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$E = \left(\frac{16.2kg}{261s} \right) \times (3.32 \text{ kJ/kg.K}) \times (32 - 35)^\circ K$$

$$E = -618.2 \text{ W}$$

Dónde:

$$Cp = \text{poder calorífico pollo} = 3.32 \text{ kJ/kg.K}$$

.ΔT = variación de temperatura corporal del pollo y el galpón

m_T = masa promedio de los pollos en la primera semana

El valor del *poder calorífico del pollo* lo determinamos de la tabla 8.

Tabla. 8 Propiedades de algunos ALIMENTOS COMUNES.

Alimento	Contenido de agua, ^a % (masa)	Punto de congelación ^a °C	Calor específico, ^a KJ/Kg·°C		Calor latente de fusión, ^a KJ/Kg
			Arriba del punto de congelación	Debajo del punto de congelación	
Duraznos	89	- 0.9	3.82	1.96	297
Peras	83	- 1.6	3.62	1.89	277
Piñas	85	- 1.0	3.69	1.91	284
Ciruelas	86	- 0.8	3.72	1.92	287
Membrillos	85	- 2.0	3.69	1.91	284
Pasas	18	-	-	1.07	60
Fresas	90	- 0.8	3.86	1.97	301
Mandarinas	87	- 1.1	3.75	1.94	291
Sandías	93	- 0.4	3.96	2.01	311
Pescado/Mariscos					
Bacalao entero	78	- 2.2	3.45	1.82	261
Hipogloso entero	75	- 2.2	3.35	1.78	251
Langosta	79	- 2.2	3.49	1.84	264
Macarela	57	- 2.2	2.75	1.56	190
Salmón entero	64	- 2.2	2.98	1.65	214
Camarón	83	- 2.2	3.62	1.89	277
Carnes					
Res, canal de	49	- 1.7	2.48	1.46	164
Hígado	70	- 1.7	3.18	1.72	234
Bistec	67	-	3.08	1.68	224
Lomo	56	-	2.72	1.55	187
Pollo	74	- 2.8	3.32	1.77	247
Cordero, pierna de	65	-	3.02	1.66	217
Cerdo, canal de	37	-	2.08	1.31	124
Jamón	56	- 1.7	2.72	1.55	187
Salchicha de puerco	38	-	2.11	1.32	127
Pavo	64	-	2.98	1.65	214
Otros					
Almendras	5	-	-	0.89	17
Mantequilla	16	-	-	1.04	53
Queso americano	37	- 12.9	2.08	1.31	124
Queso Suizo	39	- 10.0	2.15	1.33	130
Chocolate con leche	1	-	-	0.85	3
Huevos enteros	74	- 0.6	3.32	1.77	247
Miel de abeja	17	-	-	1.05	57
Mantecado	53	- 5.6	2.95	1.63	210
Leche entera	38	- 0.6	3.79	1.95	294
Cacahuates	6	-	-	0.92	20
Cacahuates tostados	2	-	-	0.87	7
Nueces encarceladas	3	-	-	0.87	10
Nueces	4	-	-	0.88	13

Fuente: *Transferencia de calor. YUNUS A. CENGEL*

5.4.2.9.2. Análisis de la segunda semana del pollo:

Para ello debemos conocer su masa promedio en la segunda semana.

$$m_{pollo} = 422 \text{ g.} \leftrightarrow \text{segunda semana.}$$

$$\#pollos = 100 \leftrightarrow \text{es la cantidad que se tendrá en el galpón.}$$

$$T_c = \text{temperatura corporal del pollo} = 35^\circ\text{C}$$

$$T_{int} = \text{temperatura promedio en la segunda semana} = 28^\circ\text{C}$$

A continuación determinamos la masa total promedia en la segunda semana con la siguiente relación.

$$M_{t_{promedio}} = M_{p_{pollo}} \times \#pollos \quad \text{Ecuación e.20}$$

$$M_{t_{promedio}} = 422 \text{ gr}^c/u \times 100$$

$$M_{t_{promedio}} = 42.2 \text{ kg.}$$

Luego determinamos la cantidad de energía producida en la primera semana.

$$E = \frac{m_t \text{ cp}_{pollo} \cdot \Delta T_{pollo}}{t} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$E = \left(\frac{42.2 \text{ kg}}{261 \text{ s}} \right) \cdot (3.32 \text{ kJ/kg.K}) \cdot (30 - 35)^\circ\text{K}$$

$$E = -2683.9 \text{ W}$$

Dónde:

$$C_p = \text{poder calorífico pollo} = 3.32 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\Delta T = \text{variación de temperatura corporal del pollo y el galpón}$$

$$m_T = \text{masa promedio de los pollos en la segunda semana}$$

El peso promedio del pollo de la primera y segunda semana la obtenemos de la tabla 9.

Tabla. 9 Tabla semanal de control de pesos/consumo/conversión y ganancia diaria de peso.

Semana	Peso gr.	Peso lb.	Consumo Semana gr.	Consumo acumulado gr.	Índice de conversión.	Ganancia diaria de peso gr.
1	162	0.36	139	139	0.86	17
2	422	0.93	323	462	1.09	37
3	795	1.75	562	1024	1.29	53
4	1279	2.82	825	1849	1.45	69
5	1826	4.02	1028	2877	1.58	78
6	2400	5.29	1198	4075	1.70	82
7	2968	6.54	1328	5403	1.82	81

Fuente: Manual de pollos de engorde, INCA. PRONACA

5.4.2.10. Determinación del calor total necesario en la criadora por ciclo.

Para determinar el calor necesario para calentar el local donde se utilizara la criadora de pollos sumamos las pérdidas que se producen en el mismo:

$$Q_{T \text{ necesario}} = Q_{\text{aire}} + Q_{\text{perd graminea}} + Q_{\text{perd pared}} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$Q_{T \text{ necesario}} = 133.65 W + 5.45 W + 6.106 W$$

$$Q_{T \text{ necesario}} = 145.206 W$$

5.4.2.10.1. Análisis del calor necesario al día (primera semana)

Partimos de la relación de la cantidad de calor que se necesita para calentar el local en un ciclo, para ello necesitamos saber:

$$Q_{T \text{ necesario}} = W / \text{ciclo}$$

$$\# \text{ciclos} = \text{ciclos al dia} = 60 \text{ciclos}$$

Debido a que son cinco ciclos por hora y se va a utilizar doce horas al día.

Para luego determinar el calor total necesario:

$$Q_{TN} = Q_{Tnec/ciclo} \times \#ciclos \quad \text{Ecuación 23}$$

$$Q_{TN} = 145.206 \text{ W/ciclo} \times 60 \text{ ciclos}$$

$$Q_{TN} = 8.7 \text{ kW} = 8700 \text{ W} = 8700 \text{ J/s}$$

$$Q_{TN} = 31320000 \text{ J/h}$$

Dónde:

Q_{TN} = calor total necesario

$Q_{Tnec/ciclo}$ = calor necesario por ciclo

$\# \text{ ciclos}$ = número de ciclos al día

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. 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 valor energético o poder calórico del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano, el cual oscila alrededor de 25 – 30 MJ/m³

Así tenemos que la cantidad de biogás será entonces igual a:

$$C_{BIO} = \frac{Q_{TN}}{P_{CBIO}} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$C_{BIO} = \frac{31320000 \text{ J/h}}{25 \times 10^6 \text{ J/m}^3}$$

$$C_{BIO} = 1.25 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dónde:

C_{BIO} = cantidad de biogás.

Q_{TN} = calor total necesario

PC_{BIO} = poder calorífico del biogás = $25 \text{ MJ}/\text{m}^3$

Luego determinamos el valor real que se consumirá en una hora tenemos:

$$C_{real} = C_{BIO} \times 1 \text{ hora} \tag{Ecuación 25}$$

$$C_{real} = 1.25 \text{ m}^3/\text{h} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$C_{real} = 0.02006 \text{ m}^3/\text{min} \times \frac{4.35 \text{ min}}{1 \text{ ciclo}}$$

$$C_{real} = 0.091 \text{ m}^3/\text{ciclo}$$

Luego calculamos el consumo del proceso del levante del pollo esto es:

Para luego encontrar la cantidad total de biogás que se consumirá en la primera y segunda semana en el levante del pollo.

$$C_T = C_{real} \times \# \text{ ciclos} \tag{Ecuación 26}$$

$$\# \text{ ciclos} = \frac{\#}{\text{proceso}}$$

Consumo del proceso del levante es:

$$\# \text{ ciclos} = \frac{720}{\text{proceso}}$$

$$C_T = 0.091 \text{ m}^3/\text{ciclo} \times \frac{720\text{ciclos}}{\text{levante}}$$

$$C_T = 65.52 \text{ m}^3/\text{levante}$$

5.4.2.11. Análisis y Diseño Del Quemador Para La Criadora

En un proceso térmico en el cual la transferencia de calor depende de la energía liberada durante la combustión, el quemador cumple un papel preponderante. Un quemador puede definirse como una maquina térmica, en la mayoría sin partes móviles en la cual se realiza parte de la transferencia de energía química, contenida en los enlaces moleculares del combustible, en energía térmica. La eficiencia de un quemador depende de diversos factores como el nivel térmico, de la homogeneidad de la mezcla reactiva entre otros.

Existen varios modelos de quemadores entre estos tenemos el quemador atmosférico (ver *fig. 21*), que es uno de los modelos que se puede acoplar para la combustión de biogás.

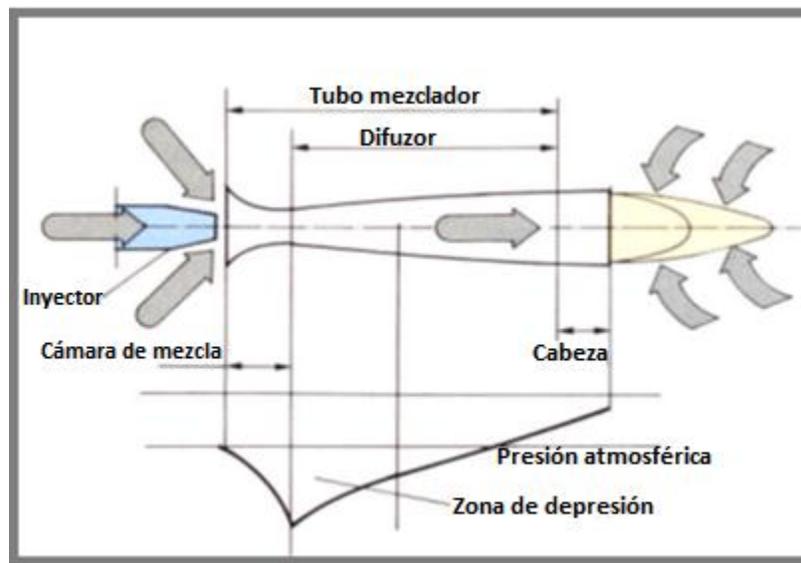


Fig. 21 análisis de los parámetros para diseño del quemador.

Debemos tener presente que la velocidad a la que debe ingresar el fluido que se transporta por una tubería debe estar entre:

$$v_f \leq 3 \text{ m/s}$$

$$v_f \geq 0.6 \text{ m/s}$$

Para conseguir una buena combustión en el quemador calculamos la velocidad promedio del fluido en la red, así tenemos:

$$v_{promedio} = \frac{vf_{max} + vf_{min}}{2} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$v_{promedio} = \frac{3 \text{ m/s} + 0.6 \text{ m/s}}{2}$$

$$v_{promedio} = 1.8 \text{ m/s}$$

Dónde:

$v_{promedio}$ = velocidad promedio del fluido.

vf_{max} = velocidad máxima del fluido.

vf_{min} = velocidad mínima del fluido

Calculada la velocidad promedio a la que debe ingresar el fluido, establecemos las características de la tubería en que se transportará el biogás, para la alimentación del quemador como es el diámetro interno de la tubería, $\phi_{int} = 1.9 \text{ cm}$.

Determinación del caudal que ingresará en el quemador, para ello utilizamos la siguiente ecuación:

$$Q_{BIO} = v_{promedio} \times A_{tub}. \quad \text{Ecuación 28}$$

Dónde:

Q_{BIO} = caudal de biogás.

$v_{promedio}$ = velocidad promedio del fluido.

A_{tub} = área de la tubería de ingreso de biogás.

Luego determinamos el área de la tubería, mediante la siguiente relación:

$$A_{tub} = \frac{2 \times \pi \times (\phi_{int})^2}{4} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$A_{tub} = \frac{2 \times \pi \times (1.9cm)^2}{4}$$

$$A_{tub} = 2.84 \text{ cm}^2$$

$$Q_{BIO} = v_{promedio} \times A_{tub}.$$

$$Q_{BIO} = 1.8 \text{ m/s} \times 2.84 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q_{BIO} = 5.1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

5.4.2.11.1. Análisis de la masa de biogás a ser quemada:

Para saber la cantidad de biogás que se requiere para la combustión en el hogar del quemador es necesario saber la cantidad de masa. Para determinar la masa aplicamos la siguiente relación:

$$\dot{m} = Q_{BIO} \times \delta_{BIO} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$\dot{m} = 5.1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \times 0.83 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\dot{m} = 4.23 \times 10^{-4} \text{ kg}/\text{s}$$

Dónde:

Q_{BIO} : caudal de entrada de biogás

δ_{BIO} = densidad del biogás = $0.83 \text{ kg}/\text{m}^3$.

\dot{m} = flujo másico

El valor de la densidad del biogás la determinamos de la tabla 10.

Tabla 10 Tabla de características del biogás.

Características	CH4	CO2	H2-H2S	OTROS	BIOGÁS 60/40
<i>Proporciones % Volumen</i>	55-70	27-44	1	3	100
<i>Valor calorífico MJ/m³ Kcal/m³</i>	35.8 8600	- -	10.8 2581	22 5258	21.5 5140
<i>Ignición % en aire</i>	5-15	-	-	-	6-12
<i>Temp. Ignición en °C</i>	650-750	-	-	-	650-750
<i>Densidad nominal g/l</i>	0.7	1.9	0.08	-	1.2
<i>Densidad relativa</i>	0.55	2.5	0.07	1.2	0.83
<i>Inflamación Vol. en % aire.</i>	5-15	-	-	-	6-12

Fuente: Manual para la producción del biogás del IIR.

Una vez determinado el flujo másico del biogás, encontramos la temperatura en el hogar del quemador mediante la relación de energía.

$$E = \dot{m} \times C_{p_{aire}} \times (T_o - T_f) \quad \text{Ecuación 31}$$

Dónde:

\dot{m} = flujo másico

T_o = temperatura ambiente en el galpon.

T_f = temperatura en el hogar del quemador.

Para determinar el valor de la temperatura en el hogar del quemador despejamos de la ecuación e.31. Por lo que tenemos.

$$T_f = \frac{E}{\dot{m} \times C_{p_{aire}}} + T_o \quad \text{Ecuación 32}$$

$$Tf = \frac{133.165 \text{ J/s}}{4.23 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \times 1.007 \text{ KJ/kg.K}} + 32^\circ\text{C}$$

$$Tf = 39.47^\circ\text{C} + 32^\circ\text{C} = 71.47^\circ\text{C}$$

Dónde:

Cp_{aire} : poder calorífico de BIOGÁS

\dot{m} = flujo másico del biogás.

5.4.2.11.2. Análisis de dimensionamiento del quemador.

Para diseñar un quemador existen dos parámetros de diseño principales, que son el tipo de combustible a quemar y la potencia calorífica. En este proyecto se decide diseñar un quemador experimental de biogás de baja presión, este es un biocombustible producto de la degradación anaeróbica de la materia orgánica (fig. 22).

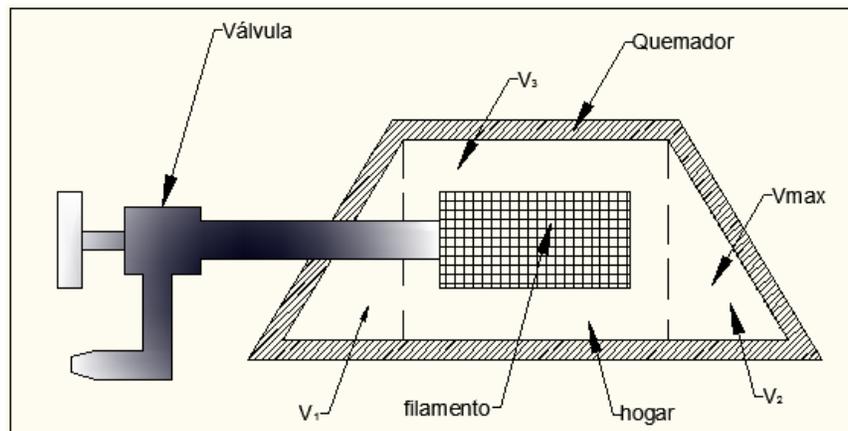


Fig. 22 Forma y componentes de la criadora (quemador) de pollos.

La masa de combustible necesaria, es entonces la relación entre la potencia calorífica solicitada, y el poder calorífico del combustible. Determinamos el numero intermedio que ingresa al quemador, este volumen nos servirá para determinar el volumen del mismo.

Para esto transformamos los m^3/s a litros en un tiempo de un segundo.

Para determinar los valores máximo y mínimo utilizamos los valores que se obtienen cantidad real para el levante del pollo y el tiempo de combustión que dura el ciclo, así tenemos.

$$V_{max} = 5.1 \times 10^{-3} m^3 = 5100 cm^3$$

$$V_{min} = 0.091 m^3 = 348.66 cm^3$$

Determinado el volumen máximo y mínimo del hogar del quemador, encontramos el volumen promedio.

$$V_{promd} = \frac{V_{max} + V_{min}}{2} \tag{Ecuación 33}$$

$$V_{promd} = \frac{5100 cm^3 + 348.66 cm^3}{2}$$

$$V_{promd} = 4715.3 cm^3$$

Dónde:

V_{max} = volumen máximo del hogar del quemador.

V_{min} = volumen mínimo del hogar del quemador.

Una vez determinado el volumen promedio, a continuación encontramos las dimensiones finales del quemador.

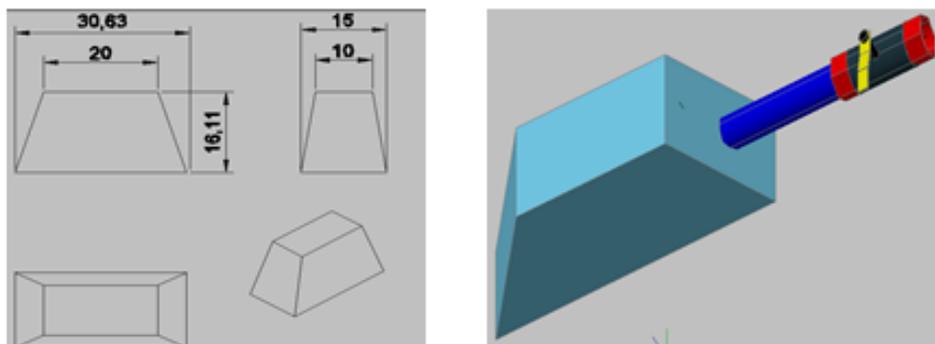


Fig. 23 Forma de la criadora para biogás.

Ahora queremos saber la cantidad de biogás que se va a necesitar en las dos semanas del proceso, por lo que partimos del poder calorífico del biogás que es de $25 \text{ MJ}/\text{m}^3$ transformados:

$$25 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} = 25 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$E = 684.4242 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Ahora:

$$Q_T = 684.4242 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \times \frac{\text{KJ}}{0.2388458966 \text{Kcal}} \times \frac{1000\text{J}}{\text{KJ}} \times \frac{24\text{h}}{1\text{día}}$$

$$Q_T = 68773133.78 \frac{\text{J}}{\text{día}}$$

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

$$C_{\text{biogás}} = \frac{Q_T}{25 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}} \quad \text{Ecuación 35}$$

$$C_{\text{biogás}} = \frac{68773133.78 \frac{\text{J}}{\text{día}}}{25 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}}$$

$$C_{\text{biogás}} = 2.751 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Como la criadora va a trabajar en levante del pollo 12 días, entonces tenemos:

$$C_{\text{biogásT}} = C_{\text{biogas}} \times 12 \text{ días}$$

$$C_{\text{biogásT}} = 2.751 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 12 \text{ días}$$

$$C_{\text{biogásT}} = 33.012 \text{ m}^3$$

Para la selección del quemador es necesario conocer la aplicación que tendrá (combustible a quemar), caudal, presión a manejar, así como las condiciones de instalación y

funcionamiento. Estos mismos requerimientos se deben establecer para la correcta selección, de los demás dispositivos en el sistema de inyección de combustible.

Para este caso la aplicación es el manejo, transporte y en gran medida la atomización de combustible biogás. Se dispone de una presión entre 0 a 30psi, con un volumen de 5100 cm³ máximo, para calentar 100 pollos de engorde para levante.

5.4.3. Cocina para Biogás.

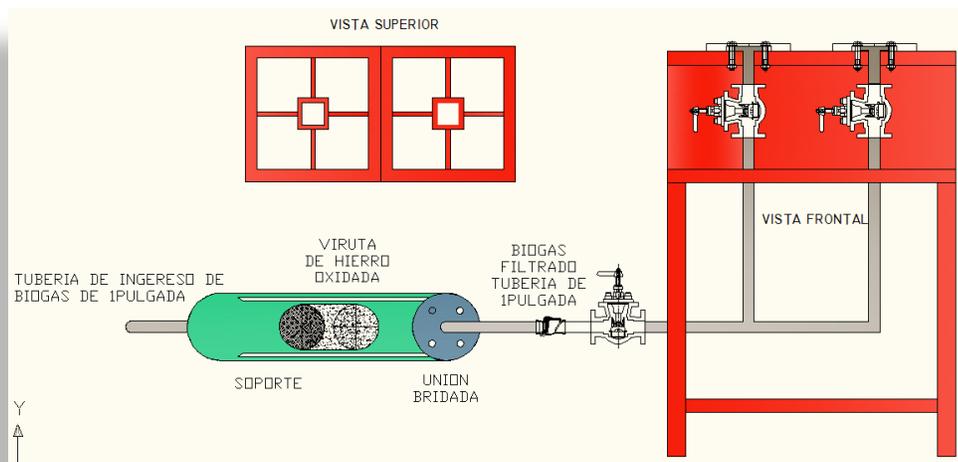


Fig. 24 Forma y componentes de la cocina para biogás.

Además del diseño de una criadora vamos a realizar el diseño de una cocina (*fig. 24*), cuya fuente principal de alimentación será el consumo de biogás.

El diseño de la misma se debe principalmente que en el CBFT-Z existe la necesidad de la calefacción de 300 litros 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, sustituir esta cantidad de gas licuado de petróleo por la de biogás que se generará en el biodigestor.

5.4.3.1 Dimensionamiento de la cocina de biogás¹⁸.

Cada biodigestor trabaja a presiones diferentes según el diseño y el tipo de gasómetro utilizado, o sea que no hay una regla fija para la conversión del quemador, por lo tanto, será una tarea totalmente artesanal, mediante sucesivas pruebas.

En primer término se debe aumentar el diámetro del inyector (diámetro que estará en el orden de los 2,5 mm a 3,0 mm en quemadores chicos y medianos, y hasta 5,0 mm en quemadores muy grandes).

Los quemadores tienen en general un anillo de chapa que permite hacer esta reducción de la sección de paso para el aire. El caudal de mezcla total será mayor que en el uso original del quemador, entonces la sección de salida en la corona del quemador se debe aumentar sustancialmente. Según el diseño de cada quemador, esto se realiza mediante una lima, cuando se desmonta en dos piezas o aumentando los agujeros con una broca cuando es de una sola pieza.

El buen funcionamiento se logra cuanto toda la llama es de un color azul pálido, sin puntos amarillos, que no se despegue de la corona, incluso al hacerle una pequeña corriente de aire moviendo la mano suavemente cerca del quemador. Tampoco debe haber retroceso de la llama dentro del quemador.

5.4.3.2 Dimensiones de las Cañerías

Se debe tener en cuenta el largo de la red y el caudal de consumo máximo (m³/hora) para evitar pérdidas de carga demasiado elevadas. En general la pérdida de carga en la longitud total de la cañería no debe sobrepasar los 10 mm de columna de agua. En la siguiente tabla 11., podemos observar los diferentes diámetros y longitudes de las cañerías a las que podemos instalar una cocina de biogás.

¹⁸ GUIA DE DISEÑO Y MANUAL DE INSTALACIÓN DE BIODIGESTORES FAMILIARES.2008. [en línea] Cooperación Técnica Alemana-GTZ Programa de Desarrollo Agropecuario. Bolivia. Conferencia. Pág.142-143.

Tabla. 11. Diámetros de las Cañerías

Longitud Cañerías (m)	DÍAMETROS DE CAÑERÍAS					
	½"	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"
	13mm	19mm	25mm	32mm	38m	50mm
					m	
10	1 030	2 880	5 870	10 530	16	32 950
					035	
20	725	2 020	4 150	7 190	11	23 305
					330	
30	595	1 670	3 425	5 925	9 335	19 205
40	520	1 445	2 955	5 095	8 075	16 580
50	463	1 265	2 640	4 565	7 215	14 800
60	421	1 180	2 415	4 185	6 600	13 580
70	393	1 000	2 230	3 875	6 103	12 580
80	365	1 020	2 090	3 620	5 700	11 725
90	347	964	1 970	3 425	5 390	11 090
100	328	912	1 865	3 245	5 110	10 530

Fuente: OEKOTOP

5.4.4 Tipos de Cañerías.

Los biodigestores no trabajan con altas presiones, aproximadamente a 0,010 – 0,020Kg/cm² (equivalente a 10 – 20 cm de columna de agua). El biogás producido siempre se encuentra saturado en vapor de agua, lo que puede producir condensación dentro de las cañerías, contiene también un pequeño porcentaje de ácido sulfhídrico, por lo que se pueden utilizar cañerías de PVC, disponibles fácilmente en el mercado.

Para la cantidad de 300 litros de agua que son utilizados en la planta de procesamiento de alimentos con la que cuenta el CBFT-Z, 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:

$$lit * \frac{1kcal}{1^{\circ}C \times 1lit} \times (\Delta P) = Kcal \quad \text{Ecuación 36}$$

Mediante la ecuación 36, 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 × 10⁶J tenemos el consumo de biogás que se necesitaría al día:

$$CBIO_{cocina} = Kcal \times \frac{1m^3}{25 \times 10^6 J} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$300lit \times \frac{1kcal}{1^{\circ}C \times 1lit} \times (60 - 15)^{\circ}C = (300 \times 45)kcal = 13500kcal$$

$$CBIO_{cocina} = 13500kcal \times \frac{1m^3}{25 \times 10^6 J} \times \frac{4.186kJ}{1kcal}$$

$$CBIO_{cocina} = 2.26 \frac{m^3}{dia}$$

5.4.4. Cantidad de demanda de biogás por día:

Se lo realiza mediante la demanda diaria que se necesita para la alimentación de las criadoras de pollos de la primera y segunda semana respectivamente y de la demanda de biogás que debe implementarse a la cocina en lo concerniente al calentamiento de agua.

Con lo expuesto anteriormente debemos sumar las demandas de consumo de la criadora de pollos y de la cocina al día:

$$CBIO_T = CBIO_{criadora} + CBIO_{cocina} \quad \text{Ecuación 38}$$

$$CBIO_{total} = 2.26 \frac{m^3}{dia} + 2.751 \frac{m^3}{dia}$$

$$CBIO_{total} = 5.01 \frac{m^3}{dia}$$

La demanda de biogás que se necesita en el CBFT-Z al día es de:

$$CBIO_T = 5.01 \frac{m^3}{día}$$

Mediante la cantidad necesaria de biogás que se requiere por día en el CBFT-Z, se determinará si la producción de biogás del biodigestor puede suplir dicha cantidad, brindándonos así una imagen clara de que si la cantidad de animales es la idónea o de que tendría que aumentar la cantidad de los mismos para cubrir con la demanda.

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:

$$C_{BIO} = VS_g \times 300 \frac{lit}{Kg}$$

$$VS_g = \frac{CBIO_T}{300 \frac{lit}{Kg}}$$

$$VS_g = \frac{5.01 \frac{m^3}{día}}{0.3 \frac{m^3}{Kg}}$$

$$VS_g = 16.7 \frac{Kg}{día}$$

Ahora vamos a encontrar los sólidos volátiles totales, partiendo de la producción que posee cada uno de los animales existentes en el CBFT-Z, obtenidos de la tabla (12), con la cantidad de los mismos de la tabla (13), con lo que el total es la sumatoria de todos los sólidos volátiles de los diferentes animales que existen en el CBFT-Z 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 38:

$$VS_g = Tt \times \frac{VSt}{1000Kg}$$

$$Tt = \frac{VS_g \times 1000Kg}{VSt}$$

$$Tt = \frac{16.7 \frac{Kg}{día} \times 1000Kg}{77.8Kg}$$

$$Tt = 214.65 Kg$$

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 el CBFT-Z 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:

5.4.5. Diseño y Capacidad del Biodigestor.

Los biodigestores son depósitos (tanques) en los que se produce la digestión anaerobia aprovechando el recurso biomasa, en este caso el estiércol del ganado vacuno, porcino, caprino y avícola del CBFT-Z. A grandes rasgos se pueden definir como recipientes o tanques que permiten la carga de substratos y descarga de bioabono-ból y poseen un sistema de recolección y almacenamiento de biogás para su aprovechamiento. (Barbara Eder-Heinz Schulz / Biogás Praxis, Grundlagen).

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.

5.4.5.1. 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 12. 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

Dónde:

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 el CBFT-Z se encuentra expresada en la siguiente tabla:

Tabla 13. Cantidad y variedad de animales existentes en la granja.

TIPO	GRANDE	MEDIANO	PEQUEÑO
<i>Chanchos</i>	9	-	-
<i>Vacas</i>	6	2	3
<i>Cabras</i>	40	12	8
<i>Gallinas</i>	300	231	200
<i>Cuyes</i>	400	-	-
<i>Conejos</i>	20	-	-
<i>Patos</i>	150	-	-

5.4.5.2. 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 6*, luego multiplicamos ese peso por la cantidad de animales en este caso los animales que se encuentran en el CBFT-Z especificados en la *Tabla 13* y así obtenemos con la siguiente ecuación el peso total de cada animal:

$$W_{t_animal} = W_{animal} \times cantidad_animales \quad \text{Ecuación 39}$$

Cabras:

$$Wca = 30Kg$$

$$Wcat = Wca \times 60$$

$$W_{cat} = 30Kg \times 60$$

$$W_{cat} = 1800Kg$$

Conejos:

$$W_{co} = 2Kg$$

$$W_{cot} = W_{co} \times 20$$

$$W_{cot} = 2Kg \times 20$$

$$W_{cot} = 40Kg$$

Cuyes:

$$W_{cu} = 0.8Kg$$

$$W_{cut} = W_{cu} \times 400$$

$$W_{cut} = 0.8Kg \times 400$$

$$W_{cut} = 320Kg$$

Gallinas:

$$W_g = 2.2Kg$$

$$W_{gt} = W_g \times 731$$

$$W_{gt} = 2.2Kg \times 731$$

$$W_{gt} = 1608.2 Kg$$

Patos:

$$W_p = 2Kg$$

$$W_{pt} = 2Kg \times 150$$

$$W_{pt} = 300Kg$$

Vacas:

$$Wv = 180Kg$$

$$Wvt = Wv \times 11$$

$$Wvt = 180Kg \times 11$$

$$Wvt = 1980Kg$$

Chanchos:

$$Wc = 200$$

$$Wct = Wc \times 7$$

$$Wct = 200 \times 7$$

$$Wct = 1400kg$$

5.4.5.3. 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 12*, 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:

$$T_{animal} = W_{t_animal} \times \frac{T[Kg]}{1000Kg} \quad \text{Ecuación e.40}$$

Vacas:

$$Tv = 14.3 \text{ kg}$$

Chanchos:

$$Tch = 7.91 \text{ kg.}$$

$$T_{animal} = W_{t_animal} \times \frac{T[Kg]}{1000Kg}$$

Cabras:

$$Ta = W_{cat} \times \frac{40Kg}{1000Kg}$$

$$Ta = 1800 \times \frac{40Kg}{1000Kg}$$

$$Ta = 72Kg/dia$$

Conejos:

$$Tc = W_{ct} \times \frac{64Kg}{1000Kg}$$

$$Tc = 40 \times \frac{64Kg}{1000Kg}$$

$$Tc = 2.56Kg/dia$$

Cuyes:

$$Tcu = W_{cu} \times \frac{64Kg}{1000Kg}$$

$$Tcu = 320 \times \frac{64Kg}{1000Kg}$$

$$Tcu = 20.48 Kg/dia$$

Gallinas:

$$Tg = W_{gt} \times \frac{85Kg}{1000Kg}$$

$$Tg = 1867 \times \frac{85Kg}{1000Kg}$$

$$Tg = 158.76 \text{ kg/dia}$$

Patos:

$$Tp = W_{pt} \times \frac{47Kg}{1000Kg}$$

$$Tp = 300 \times \frac{47Kg}{1000Kg}$$

$$Tc = 14.1Kg/dia$$

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

$$Tt = T_{animal_1} + T_{animal_2} + \dots + T_{animal_n} \quad \text{Ecuación 41.}$$

$$Tt = 7.91Kg + 72Kg + 2.56Kg + 20.48Kg + 14.3kg + 158.7kg + 14.1kg$$

$$Tt = 288.83 \text{ kg/dia}$$

5.4.5.4. 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 la tabla 14, 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 14. 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)	Cantidad total de excretas por día. (Kg/día)	Total de (Kg)
Heces humanas	17	1.1		
Estiércol de vaca	20	1.5	14.3	21.45
Caballos, bueyes y mulas	25	2.1		
Cerdos	18	1.3	7.91	10.283
Ovejas, cabras	32	3	72	216
Gallinas, pavos	44	4.5	158.76 +14.1	777.87
Conejos, cuyes	30	2.5	2,56 + 20.48	57.6
TOTAL				1083.203

Fuente: Biogás, Energía y Fertilizantes de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Cuernavaca, Morelos, México 1981

De acuerdo a la *tabla 14*. se determina la cantidad de agua que se debe suministrar a las excretas animales para cada tipo y variedad de animales existentes en el CBFT-Z, 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 12*, para lo cual podemos aplicar la siguiente relación:

$$TS_{animal} = W_{t_animal} \times \frac{Ts[Kg]}{1000kg} \quad \text{Ecuación 42}$$

Chanchos:

$$TSc = Wct \times \frac{11Kg}{1000Kg}$$

$$TSc = 1400 \times \frac{11Kg}{1000Kg}$$

$$TSc = 15.4Kg$$

Vacas:

$$TSv = Wvt \times \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$TSv = 1980 \times \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$TSv = 23.76kg$$

Cabras:

$$TSca = Wcat \times \frac{11Kg}{1000Kg}$$

$$TSca = 1800 \times \frac{11Kg}{1000Kg}$$

$$TSca = 19.8Kg$$

Gallinas:

$$TSg = Wgt \times \frac{22Kg}{1000Kg}$$

$$TSg = 1867.8 \times \frac{22Kg}{1000Kg}$$

$$TSg = 41.09Kg$$

Conejos:

$$TSco = Wcot \times \frac{16Kg}{1000Kg}$$

$$TSco = 40 \times \frac{16Kg}{1000Kg}$$

$$TSco = 0.64Kg$$

Cuyes:

$$TScu = Wcut \times \frac{16Kg}{1000Kg}$$

$$TScu = 320 \times \frac{16Kg}{1000Kg}$$

$$TSc = 5.12Kg$$

Patos:

$$TSp = W_{pt} \times \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$TSp = 300 \times \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$TSp = 3.6Kg$$

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

$$TSt = TS_{animal_1} + TS_{animal_2} + \dots + TS_{animal_n} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$TSt = TSc + TSca + TSCO + TScu + TSv + Tsg + TSp$$

$$TSt = 109.41 Kg/dia$$

5.4.5.5. 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 12*.

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 12.*, para este cálculo aplicamos la siguiente ecuación:

$$VS_{animal} = W_{t_animal} \times \frac{VS[kg]}{1000Kg} \quad \text{Ecuación 44}$$

Chanchos:

$$VSc = Wct \times \frac{8.5Kg}{1000Kg}$$

$$VSc = 1400 \times \frac{8.5Kg}{1000Kg}$$

$$VSc = 11.9Kg$$

Cabras:

$$VSca = Wcat \times \frac{9.2Kg}{1000Kg}$$

$$VSca = 1800 \times \frac{9.2Kg}{1000Kg}$$

$$VSca = 16.568Kg$$

Vacas:

$$VSv = Wvt \times \frac{10Kg}{1000Kg}$$

$$VSv = 1980 \times \frac{10Kg}{1000Kg}$$

$$VSv = 19.8kg$$

Gallinas:

$$VSg = Wgt \times \frac{17Kg}{1000Kg}$$

$$VSg = 1876.8 \times \frac{17Kg}{1000Kg}$$

$$VSg = 31.75Kg$$

Conejos:

$$V_{Sco} = W_{cot} \times \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$V_{Sco} = 40 \times \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$V_{Sco} = 0.48 Kg$$

Cuyes:

$$V_{Scu} = W_{cut} \times \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$V_{Scu} = 320 \times \frac{12Kg}{1000Kg}$$

$$V_{Sc} = 3.84 Kg$$

Patos:

$$V_{Sp} = W_{pt} \times \frac{9.1Kg}{1000Kg}$$

$$V_{Sp} = 300 \times \frac{9.1Kg}{1000Kg}$$

$$V_{Sp} = 2.73 Kg$$

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

$$V_{St} = VS_{animal_1} + VS_{animal_2} + \dots + VS_{animal_n} \quad \text{Ecuación 45}$$

$$V_{St} = 11.9Kg + 16.568Kg + 19.8kg + 31.75Kg + 0.48Kg + 3.84Kg + 2.73Kg$$

$$V_{St} = 87 Kg/dia$$

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:

$$VS_g = Tt \times \frac{VSt}{1000Kg} \quad \text{Ecuación 46}$$

$$VS_g = 288.83 Kg \times \frac{87 Kg/dia}{1000Kg}$$

$$VS_g = 25.13 \frac{Kg}{dia}$$

5.4.5.6. 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 digestión¹⁹. 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 15. 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.

Fuente: FAO, 199

¹⁹Martina 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.

5.4.5.7. Temperatura (TC).

Para cálculos se tomó la temperatura de 35°C que es una temperatura promedio en el interior de digester debido a que de acuerdo al tiempo de retención el régimen de temperatura es mesofílico de (35°C a 45°C)²⁰.

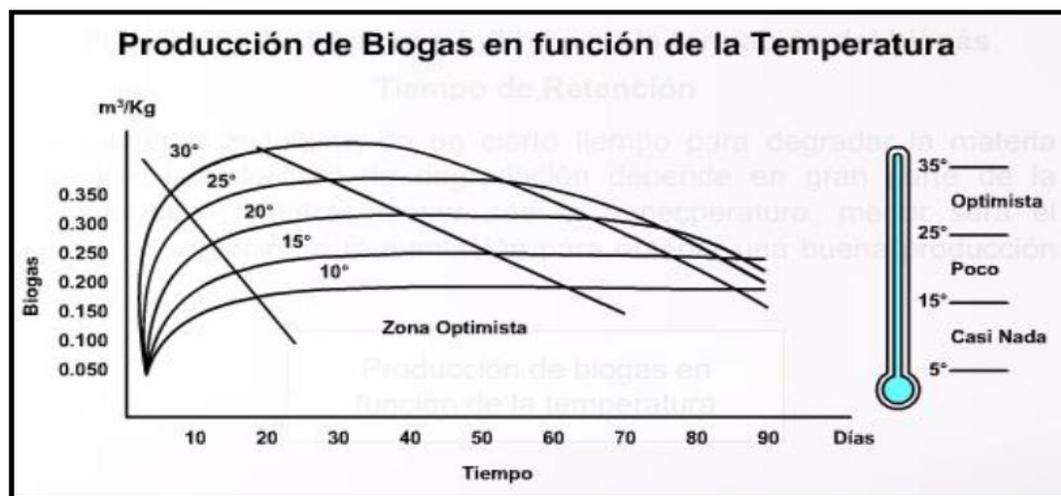


Fig. 25 Producción de biogás en función de la temperatura versus Tiempo de Retención.

Mediante la fig. 25, 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.

5.4.5.8. Potencial de Producción de Metano (BO).

Se realizará un análisis, mediante el cual se puede realizar la obtención del volumen de metano producido por la biodegradación de las excretas de los animales existentes en el CBFT-Z, 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

²⁰Botero, 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.

ecuaciones y sobre todo si los resultados se encuentran equilibrados, dándonos 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.

5.4.5.8.1. 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 (*tabla 16*). 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 día²¹.

Tabla 16. Datos de la materia orgánica a tratar.

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

Fuente: FAO, 199

5.4.5.9. 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:

²¹Jonathan Álvarez, Ernesto Tostado. Propuesta de Automatización de un Digestor Anaerobio tipo Horizontal. Instituto Politécnico Nacional de México, “Adolfo López Mateos”,

$$C_{BIO} = VS_g \times 300 \frac{\text{lit}}{\text{Kg}} \quad \text{Ecuación 47}$$

$$C_{BIO} = 25.13 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}} \times 300 \frac{\text{lit}}{\text{Kg}}$$

$$C_{BIO} = 7538.46 \frac{\text{lit}}{\text{dia}}$$

$$C_{BIO} = 7.54 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

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

$$C_{BIO} = 7.54 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}}$$

$$C_{BIO} = 226.15 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

5.4.6. Diseño de la obra civil:

Los tanques principales que conforman el biodigestor como son el tanque de pre-mezcla, biodigestor y evacuación serán construidos de hormigón armado, con bloques macizo de pared como se observa en la *Fig. 26*, los mismos tienen las siguientes dimensiones: 40 cm de largo; 12 cm de ancho y 20 cm de alto, en la construcción se los ubicará de tal forma que las paredes sean de 12 cm de ancho; el alto de las mismas será la de la sumatoria de hileras de bloque macizo con un alto de 20 cm cada una; de igual forma serán ubicados a lo largo con 40 cm.

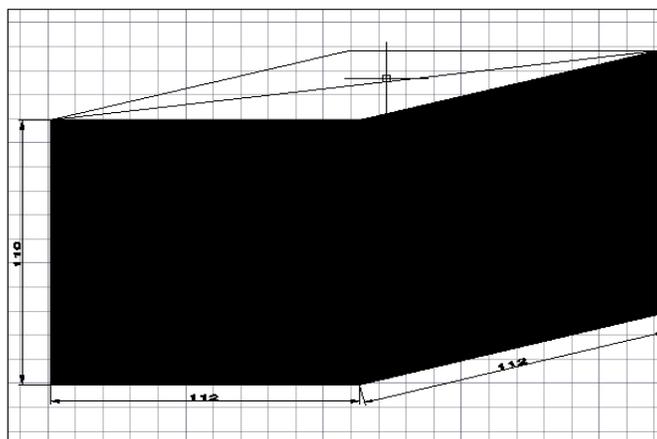


Fig. 26 Forma de los tres tanques principales del biodigestor y posición de los ladrillos para su construcción.

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 (cisterna) con una capacidad de 250 litros cada uno. Así como también se construirán cajas de protección para las electroválvulas de carga y descarga respectivamente esto para protegerlas del polvo, lluvia, roedores, etc.

5.4.6.1. 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 13.), mediante la cual se obtendrá una mezcla homogénea que contenga alrededor del 8% de sólidos(ver tabla 14.), que asegure la máxima producción de biogás determinándose de esta forma el total de mezcla diaria que posee **una densidad de 1145kg/m³**, que permitirá obtener el volumen necesario de dicho tanque que deberá abarcar la cantidad de mezcla diaria.

El tanque contara con una cubierta de latón por estética del mismo; su forma será rectangular con sus paredes interiores y exteriores revestidas de cemento además constará de un conducto de descarga tipo PVC de 4 pulgadas para desagüe con una inclinación de 20°, 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 se tomara en cuenta la cantidad total de estiércol por día, considerando la cantidad de disolución explicada anteriormente con su respectiva densidad²²:

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.

$$\delta = \frac{m(\text{Cantidad de estiércol})[\text{Kg}]}{vol} \quad \text{Ecuación 48}$$

$$m = 288.83kg + 1083.203 Kg$$

$$m = 1372.03kg$$

Como tenemos las variables, que 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 el respectivo dimensionamiento.

$$vol = \frac{m(\text{Cantidad de estiércol})[\text{Kg}]}{\delta} \quad \text{Ecuación 49}$$

$$vol = \frac{1372.03[kg]}{1145kg/m^3}$$

²²Santiago J. Sánchez Miño .Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones, Quito, Ecuador, WWF - Fundación Natura

$$vol = 1.2 m^3$$

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 el CBFT-Z:

$$F_{seg} = vol \times \left(\frac{30}{100}\right) \quad \text{Ecuación 50}$$

$$F_{seg} = 1.2m^3 \times \left(\frac{30}{100}\right)$$

$$F_{seg} = 0.35 m^3$$

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

$$vol_T = vol + F_{seg} \quad \text{Ecuación 51}$$

$$vol_T = 1.2 m^3 + 0.35 m^3$$

$$vol_T = 1.55m^3$$

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

Por cuestiones de diseño consideramos las siguientes dimensiones para el tanque:

$$\text{Largo } [l]: \quad 1.20m \quad \quad \text{Ancho } [a]: \quad 1.15m \quad \quad \text{Alto } [h]: \quad 1.10m$$

$$H_l = \frac{h}{20cm} \quad \text{Ecuación 52}$$

$$H_l = \frac{110cm}{20cm}$$

$$H_l = 5.5 \text{ bloques}$$

Para el largo tomamos la siguiente ecuación:

$$L_l = \frac{l}{40cm} \quad \text{Ecuación 53}$$

$$L_l = \frac{120cm}{40cm}$$

$$L_l = 3 \text{ bloques}$$

Para el ancho tomamos la siguiente ecuación:

$$A_l = \frac{a}{12cm} \quad \text{Ecuación 54}$$

$$A_l = \frac{115cm}{12cm}$$

$$A_l = 9.6 \text{ bloques}$$

Se procede a encontrar el número total de bloques 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:

$$Tl_{13} = (A_l \times H_l) \times 2 \quad \text{Ecuación 55}$$

$$Tl_{13} = (9.6 \times 5.5) \times 2$$

$$Tl_{13} = 105.6 \cong 106 \text{ bloques}$$

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

$$Tl_{24} = (L_l \times H_l) \times 2 \quad \text{Ecuación 56}$$

$$Tl_{24} = (3 \times 5.5) \times 2$$

$$Tl_{24} = 33 \text{ bloques}$$

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

$$Tl = Tl_{13} + Tl_{24} \quad \text{Ecuación 57}$$

$$Tlm = 106 + 33$$

$$Tlm = 139 \text{ bloques}$$

5.4.6.2. Diseño del Tanque Digestor.

Para el diseño es conveniente sobredimensionarlo, para que exista la posibilidad de abarcar una mayor cantidad de sustrato, si en un futuro aumenta la cantidad de animales en el CBFT-Z 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 biodigestión y el proceso de producción continúe normalmente, al no realizarse esto, todo el proceso tendría que iniciarse nuevamente y esperar que las bacterias empiecen a producir el proceso de biodigestión. Las paredes serán revestidas con cemento, además se recubrirán en su parte interior con geomembrana para impermeabilizar y/o hermetizar al mismo, el cual también estará conformado de un sistema de agitación.

Para la construcción del tanque digestor se debe hacer una excavación, de tal forma que este quede enterrado, para mantener el calor y evitar las bajas temperaturas de la noche, en su parte superior se ubicará una cúpula de polietileno de geomembrana “flexible” de 500 micras, lo suficientemente durable y que no presente fugas; para lograr este propósito se colocó un soporte de tubos de acero a la cúpula de geomembrana, para anclarlos a las paredes del tanque, y con las láminas de geomembrana que sobresalen de cada una de las paredes que se utilizaron para hermetizar el tanque, las adherimos a la cúpula, lo cual permitió la hermeticidad completa de la cámara de descomposición de los desechos, para la recolección del biogás producido se colocó una salida en la parte superior de la geomembrana de válvulas macho-hembra (adaptadores de tanques) de ½” hasta 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 2.5 debido a la relación de disolución (materia: agua), expuesto anteriormente; se obtiene una media de la disolución de todos los animales, para lo cual utilizamos:

$$T_{sus} = val_{med} \times TSt$$

Ecuación 58

$$T_{sus} = 2.5 \times 109.4 \text{ kg}$$

$$T_{sus} = 273.529 \text{ kg}$$

Una vez determinados los valores preliminares procedemos a determinar la cantidad de masa total que será depositada 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):

$$V_{Tm} = T_{susm} \times RT \quad \text{Ecuación 59}$$

$$V_{Tm} = 273.529 \text{ kg} \times 30$$

$$V_{Tm} = 8205.87 \text{ kg}$$

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

$$\delta = \frac{V_{Tm}(\text{Total de sustrato}[Kg])}{vol} \quad \text{Ecuación 60}$$

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 biodigestión para su posterior dimensionamiento.

$$vol = \frac{V_{Tm}(\text{Total de sustrato}[Kg])}{\delta} \quad \text{Ecuación 61}$$

$$vol = \frac{8205.87[kg]}{1145kg/m^3}$$

$$vol = 7.16m^3$$

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 el CBFT-Z:

$$F_{seg} = vol \times \left(\frac{30}{100}\right) \quad \text{Ecuación 62}$$

$$F_{seg} = 7.16m^3 \times \left(\frac{30}{100}\right)$$

$$F_{seg} = 2.15m^3$$

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

$$vol_{TD} = vol + F_{seg} \quad \text{Ecuación 63}$$

$$vol_{TD} = 7.16m^3 + 2.15m^3$$

$$vol_{TD} = 9.31m^3 \cong 10m^3$$

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

5.3.6.3. Diseño del Tanque de Evacuación.

Posee una forma rectangular, y un desnivel de 1.55m con respecto al tanque biodigestor, la tubería de evacuación tiene una inclinación de 15° con respecto a la horizontal, a una altura de 0.20m, permitiendo el desalojo del sustrato después que se haya cumplido el tiempo de alojamiento en el tanque digestor. 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 2 pulgada colocada en la parte inferior del mismo.

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:

$$vol_{TE} = vol_{TD} \times \left(\frac{70}{100}\right) \quad \text{Ecuación 64}$$

$$vol_{TE} = 10 \text{ m}^3 \times 0.7$$

$$vol_{TE} = 7.0 \text{ m}^3$$

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

5.4.6.4. 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 digestor 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:

$$VG = \frac{vol_{TD}}{3} \quad \text{Ecuación 65}$$

$$VG = \frac{10 \text{ m}^3}{3}$$

$$VG = 3.33 \text{ m}^3$$

5.4.6.5. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Agua.

Este tanque cisterna de PVC con una capacidad de 250 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.

5.4.6.6. Volumen del Tanque de Almacenamiento de Agua + cal.



Fig. 27 Forma de los tanques para agua y agua + cal

Este tanque será de plástico PVC (fig. 27), con una capacidad de 250 litros, con conexión con una tubería de ½ pulgada con el tanque biodigestor, el cual almacenara agua, y agua + cal, con una proporción de cal que está en relación 100 a 1 es decir por los 100 lit 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.

5.4.7. Diseño Del Sistema Agitación Mecánica

5.4.7.1. Descripción del Sistema de Agitación

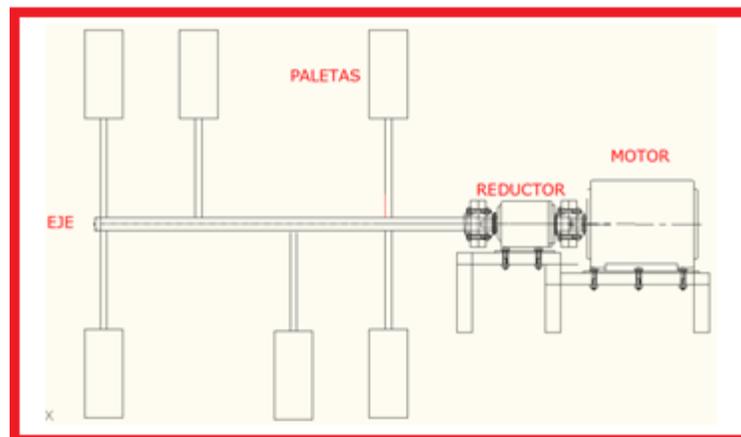


Fig. 28 Sistema de Agitación Mecánica

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 mesofílico²³ como es el caso de nuestro proceso, la agitación debe ser intermitente 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 hora por un espacio de no más de un minuto. Esta operación será realizada mediante un sistema de agitación mecánica con paletas (*fig. 28*), que consiste de un motor A.C. de 3600 rpm, el mismo que será acoplado a un reductor de relación 300:1, que de acuerdo a referencias literarias no deben sobrepasar las 25 rpm para realizar el movimiento de las aspas con su respectiva agitación²⁴.

Por lo que el tiempo que establecimos para este diseño es de veinte segundos por cada hora para lograr el tiempo adecuado de mezclado mediante el cual se puede mantener una mezcla uniforme en todo el biodigestor.

²³Martina 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.

²⁴Diseño y construcción de un biodigestor industrial, Romina Arias, AqualimpiaBeratendeIngenierure.

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 (*fig. 30*), por tratarse de paletas de dimensiones iguales:

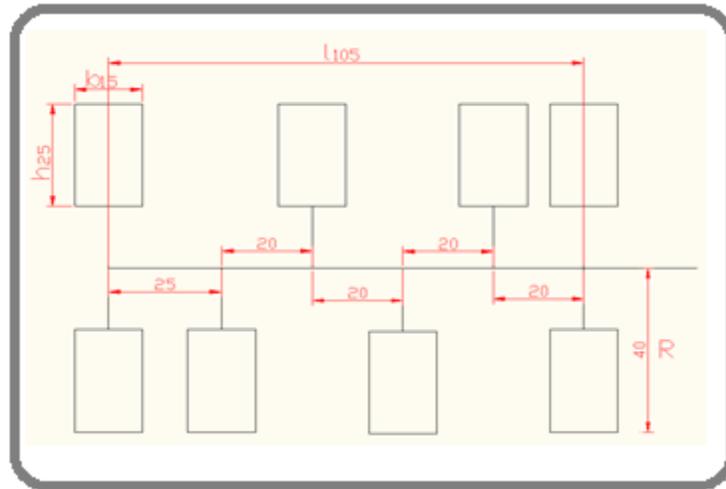


Fig. 30 Medidas del Sistema de Agitación Mecánica

AREA DE LAS ASPAS

$$A_p = b \times h$$

Ecuación 66

$$A_p = 15\text{cm} \times 25\text{cm} = 375\text{cm}^2$$

Dónde:

b: es la base

h: es la altura

AREA DEL BRAZO

$$A_b = \emptyset\pi \times h$$

Ecuación 67

$$Ab = 2.54cm \times \pi \times 15cm = 119cm^2$$

Dónde:

\emptyset : Diámetro del brazo = 2.54 cm.

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

$$AT = Ap + Ab \quad \text{Ecuación 68}$$

$$AT = 375cm^2 + 119cm^2$$

$$AT = 494cm^2$$

Dónde:

Ap : Área de la paleta

Ab : Área del brazo

Dónde:

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

$$AT_A = AT \times \# \text{ de paletas} \quad \text{Ecuación 69}$$

$$AT_A = 494cm^2 \times 8$$

$$AT_A = 3952cm^2$$

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:

$$E = \frac{1}{2} m \times v^2 \quad \text{Ecuación e. 70}$$

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:

$$\omega = \frac{\#rpm \times 2\pi}{60} \quad \text{Ecuación 71}$$

$$\omega = \frac{25rpm \times 2\pi}{60}$$

$$\omega = 2.61rad \times seg^{-1}$$

De lo que nos quedaría E expresada como:

$$E = \frac{1}{2} \times (\delta \times Vol) \times \omega^2 \times R^2 \quad \text{Ecuación 72}$$

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

$$Pot = \frac{E}{t} \quad \text{Ecuación 73}$$

A continuación reemplazando:

$$Pot = \frac{1}{2} \left(\delta \frac{Vol}{t} \right) \times (\omega \times R)^2 \quad \text{Ecuación 74}$$

Pero como caudal es igual a $Q = \frac{Vol}{t}$ reemplazamos en (70), entonces nos quedaría:

$$Pot = \frac{1}{2} \times \delta \times Q \times \omega^2 \times R^2 \quad \text{Ecuación 75}$$

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

Con esto reemplazamos el caudal en (75) y la ecuación para hallar la potencia queda definida por:

$$Pot = \delta \times \omega^3 \times R^4 \times h \quad \text{Ecuación 76}$$

$$Pot = 1145 \frac{Kg}{m^3} \times \left(\frac{2.61rad}{seg} \right)^3 \times (0.4m)^4 \times 1.05m$$

$$Pot = 547.21 \frac{Kg*m^2}{seg^3}$$

Pero como Newton es $N = \frac{Kg*m}{seg^2}$ tenemos que potencia seria 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 vatio $[W]$ tenemos:

$$Pot = 547.21W$$

Pero deseamos encontrar la potencia en HP, y $1HP = 746W$

$$Pot = 547.21W \times \frac{1HP}{746W}$$

$$Pot = 0.74HP \cong 1HP$$

5.4.7.3. 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 Ideales²⁵ con el objetivo de encontrar la presión del proceso, partiendo de algunos conceptos básicos de presión. Teniendo en cuenta los datos del proceso se tiene:

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

²⁵ 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.

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

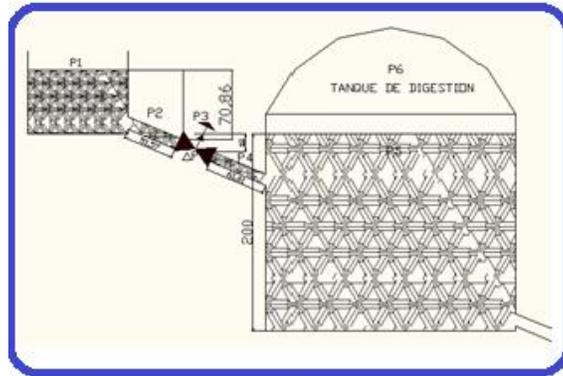


Fig. 31 Para realizar el cálculo de Presión por medio de la ley de gases ideales.

Para encontrar la presión interna en el biodigestor, aplicamos el teorema de Bernoulli, dónde la presión atmosférica que interviene en el tanque de pre-mezcla se anulará con la presión atmosférica presente en el tanque del digestor (*fig. 31*), entonces tenemos:

$$P_1 = \delta_{mez} \times g(h_1 - h_2) \quad \text{Ecuación 77}$$

$$P_1 = 1145 \frac{Kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{seg^2} \times (0.71m - 0.18m)$$

$$P_1 = 5947.13 Pa = 0.058 atm$$

Dónde:

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 gases²⁶:

Para encontrar la presión del biogás que ejerce el fluido sobre las paredes y cúpula de polietileno del tanque biodigestor, partimos de la densidad del biogás que es $\delta = 1.2 \text{ Kg/m}^3$ y del volumen del biogás obtenido al mes que es de $226.15 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$, encontramos su masa:

$$m = \delta \times Vol \quad m = \frac{1.2 \text{Kg}}{\text{m}^3} \times 226.15 \text{m}^3 \quad m = 271.48 \text{Kg}$$

Ahora procedemos a encontrar el número de moles partiendo del peso molecular del biogás ($PM = 16 \text{ Kg/Kmol}$), así tenemos.

$$\#mol = \frac{m}{PM} \quad \text{Ecuación 78:}$$

$$\#mol = \frac{271.48 \text{Kg}}{\frac{16 \text{Kg}}{\text{Kmol}}}$$

$$\#mol = 16.96 \text{Kmol} = 16960 \text{ mol}$$

Dónde:

m : Masa del biogás

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

$$R = \frac{P \times Vol}{T \times \#mol} \quad \text{Ecuación 79}$$

²⁶Constante 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.

Despejamos P de la ecuación 79:

$$P = \frac{R \times T \times \#mol}{Vol} \quad \text{Ecuación 80}$$

$$P = \frac{0.082 \frac{atm \cdot lit}{mol \cdot K} \times 318K \times 16960mol}{226.15 \times 10^3 lit}$$

$$P = 1.95atm = 2atm = 30PSI$$

Dónde:

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

5.4.7.4. Cálculo de la velocidad del fluido.

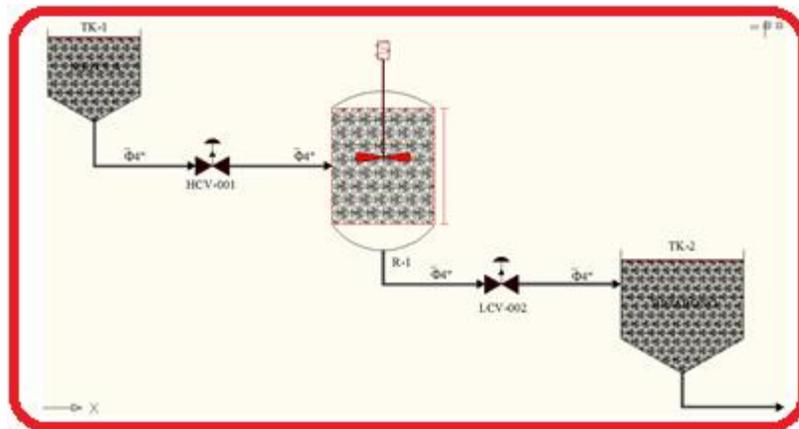


Fig. 32 Para realizar el cálculo de velocidad de desalojo de materia biodigerida hacia el tanque de evacuación.

Aplicando el teorema de Bernoulli²⁷, se calcula la velocidad con la que será alojada la mezcla ya digerida del tanque de digestión (*fig. 32*), 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:

$$\frac{P_1}{\gamma} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 81}$$

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.

Para encontrar la v_2 , Finalmente despejamos de la ecuación 8.

$$v_2 = \sqrt{2g \left(\frac{P_1}{\gamma} + h_1 - \frac{P_2}{\gamma} - h_2 \right)} \quad \text{Ecuación 82}$$

$$\frac{2\text{atm}}{1145 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 1.9\text{m} = \frac{1\text{atm}}{1145 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 0.5\text{m} + \frac{v_2^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$\frac{20664.55 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}{1145 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 1.9\text{m} = \frac{10332.27 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}{1145 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 0.5\text{m} + \frac{v_2^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$18.04\text{m} + 1.9\text{m} = 9.023\text{m} + 0.5\text{m} + \frac{v_2^2}{2(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

²⁷ Teorema de Bernoulli, principio físico que implica la disminución de la presión de un fluido (líquido o gas) en movimiento cuando aumenta su velocidad.

$$v^2 = (10.417m) \times 19.08 \frac{m}{s^2}$$

$$v = \sqrt{198.75 \frac{m^2}{s^2}}$$

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

$$S = \frac{\pi \times \phi^2}{4} \quad \text{Ecuación 83}$$

$$S = \frac{\pi \times (0.1016m)^2}{4}$$

$$S = 0.0081m^2$$

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

$$Q = S \times v \quad \text{Ecuación 84}$$

$$Q = 0.0081m^2 \times 14.08 \frac{m}{s}$$

$$Q = 0.114 \frac{m^3}{s} \times \frac{1000lit}{1m^3}$$

$$Q = 114.15 \frac{lit}{s}$$

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

$$Q = \frac{Vol}{t} \quad \text{Ecuación 85}$$

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

$$t = \frac{Vol}{Q} \quad \text{Ecuación 86}$$

$$t = \frac{4000lit}{114.15 \frac{lit}{seg}}$$

$$t = 35.04seg$$

El volumen a desalojar es del 40% del tanque digestor, debido a que el 30% de la mezcla se debe mantener dentro del mismo para una producción continua del biogás, y un 30% debe quedar libre del tanque biodigestor por seguridad y para almacenamiento del biogás producido.

5.5 ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA PROTECCIÓN DEL MOTOR.

La instalación eléctrica para motores, se debe hacer siempre de acuerdo con las disposiciones de las normas técnicas para instalaciones eléctricas, que se refieren, no sólo a la instalación misma de los motores, sino, también a los requisitos que deben llenar los elementos que la conforman.

5.5.1 Cálculo De Fusibles Y Protecciones

5.5.1.1 Cálculo de la corriente de protección con fusibles:

El fusible eléctrico, denominado inicialmente como aparato de energía y de protección contra sobrecarga de corriente eléctrica por fusión. El fusible coexiste con otros dispositivos protectores, dentro de un marco de cambios tecnológicos muy acelerados que lo hacen aparecer como pasado de moda u obsoleto, lo que no es así.

$$I_F = k X I_N$$

Ecuación 87

$$I_f = 2 \times 14.2 A$$

$$I_f = 28.4 A$$

5.5.1.2 Cálculo de la corriente de protección:

La corriente o intensidad eléctrica, es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe al movimiento de los electrones en el interior del material. Una corriente eléctrica, puesto que se trata de un movimiento de cargas, produce un campo magnético, lo que se aprovecha en el electroimán.

$$I_p = C X I_N \quad \text{Ecuación 88}$$

$$I_p = 2.5 \times 14.2 A$$

$$I_p = 35.5 A$$

5.6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN

Para la propuesta de automatización, se continuó con la establecida ya en el diseño previo a la investigación ya realizada con las mismas características y en el mismo CBFT-Z y con los mismos equipos que se realizó la simulación, por lo que 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 equipos, 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.
- Mejorar la disponibilidad de los productos necesarios para la producción agrícola del CBFT-Z, 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.

5.6.1. Ingeniería Básica

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

5.6.2. Bases o Criterios de Diseño

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

5.6.3. 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 la simulación del proceso de la planta y controlar, las variables del proceso como son, temperatura, PH, presión y nivel.

5.6.4. 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.

5.6.5. Diagrama Entradas Proceso Salidas (EPS)

En la *Fig. 33* se puede observar la distribución de las diferentes variables que interactúan en el proceso.

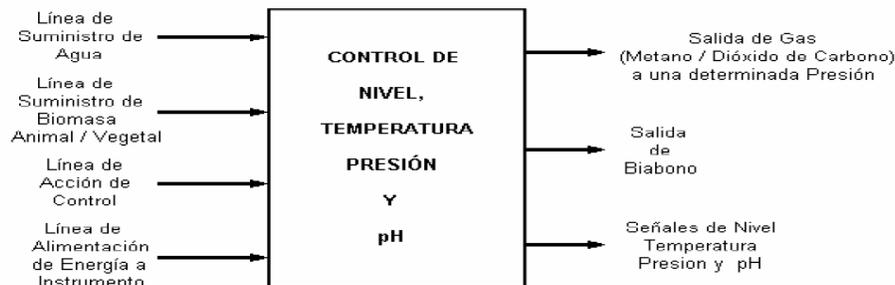


Fig. 33 Diagrama EPS

5.6.6. 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 industrial.

5.6.7. Controlador Lógico Programable (PLC)

Conceptuamos conveniente utilizar el PLC Twido de denominación TWDLCDA24DRF (fig. 34), 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.

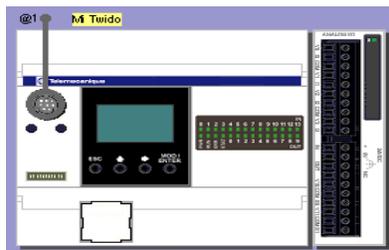


Fig. 34 PLC

5.6.8. Válvula de alivio de presión.

Las válvulas de alivio (fig. 35), se pueden encontrar a nivel industrial, comercial y doméstico. En general en cualquier lugar donde circule o se mantenga un fluido que esté sometido a cambios de presión y/o temperatura. Tienen múltiples aplicaciones, entre estas tenemos En la industria como los compresores de aire o estaciones de reducción de presión para suministro de gas natural. A nivel industrial no todas las válvulas liberan el fluido al exterior, en el caso de gases o líquidos peligrosos la liberación se hace hacia contenedores especiales. En nuestro caso también utilizaremos este método ya que el biogás que se libere por las válvulas de alivio será enviado al tanque de agua + cal (tanque 4).



Fig. 35 Válvula de alivio de Presión

El mecanismo de alivio consiste en un tapón que mantiene cerrado el escape. Un resorte conserva este tapón en posición evitando que el fluido se escape del contenedor o tubería. Cuando la presión interna del fluido supera la presión del resorte el tapón cede y el fluido es expulsado a través del escape. Una vez que la presión interna disminuye el tapón regresa a su posición original.

El umbral de presión que determina el punto de liberación del fluido se ajusta aumentando o reduciendo la presión que el resorte (*fig. 36*), ejerce sobre el tapón con un tornillo que lo atraviesa por su centro.

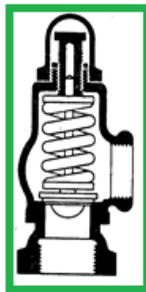


Fig. 36 válvulas de alivio de presión.

5.6.9. Sensor de temperatura + PH

Para la medición de éstas dos variables se optó por el Analizador Dual Universal Honeywell UDA2182 (*fig. 37*); 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.



Fig. 37 Sensor de Temperatura y PH

5.6.10. Switch de Nivel

De marca W.E Anderson serie F6-MHS (*fig. 38*), 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.

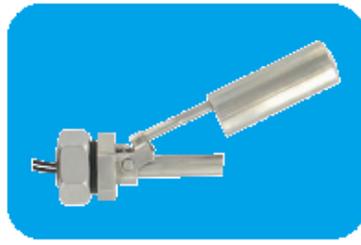


Fig. 38 Switch de Nivel

5.6.11. Electroválvulas

Para las funciones de maniobra, regulación, control y protección utilizaremos electroválvulas LCV (válvula + actuador eléctrico). El sistema se diseñó 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.

5.6.12. Válvulas para Ingreso y Evacuación de la Mezcla

Éstas son de 4 pulgadas de diámetro, son válvulas de disco convencional o comúnmente denominada válvula mariposa (*fig. 39*), 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.



Fig. 39 Válvula Mariposa.

5.6.13. 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 (*fig. 40*), 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, StrokeSpeed) 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.



Fig. 40 Válvula Tipo Bola.

5.6.14. Actuadores de las Válvulas de Control

Serán de la marca Bray de la serie 70 (*fig. 41*), se caracterizan por ser más compactas, 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 mADC, tiene que estar alimentado a una fuente de poder de 85 o 240 VAC o VAD, con una frecuencia de 50/60 Hz,



Fig. 41 Actuador Eléctrico.

5.7.1. Esquema General de Proceso de Control.

A continuación se representa el esquema general del proceso de control de automatización de la planta generadora de biogás (véase fig. 42).

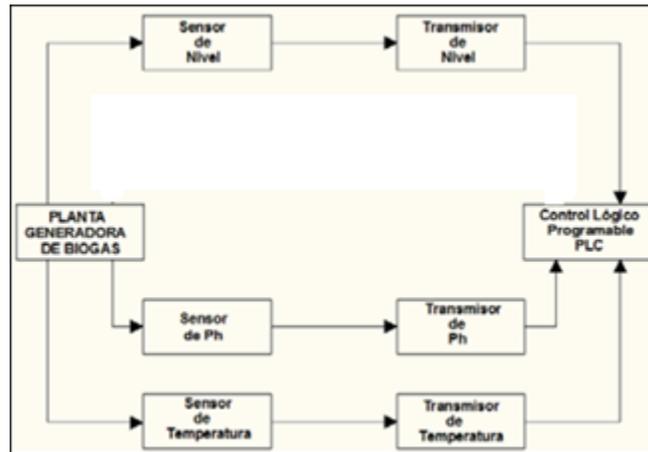


Fig. 42 Esquema del Diseño de la Estrategia de Control.

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

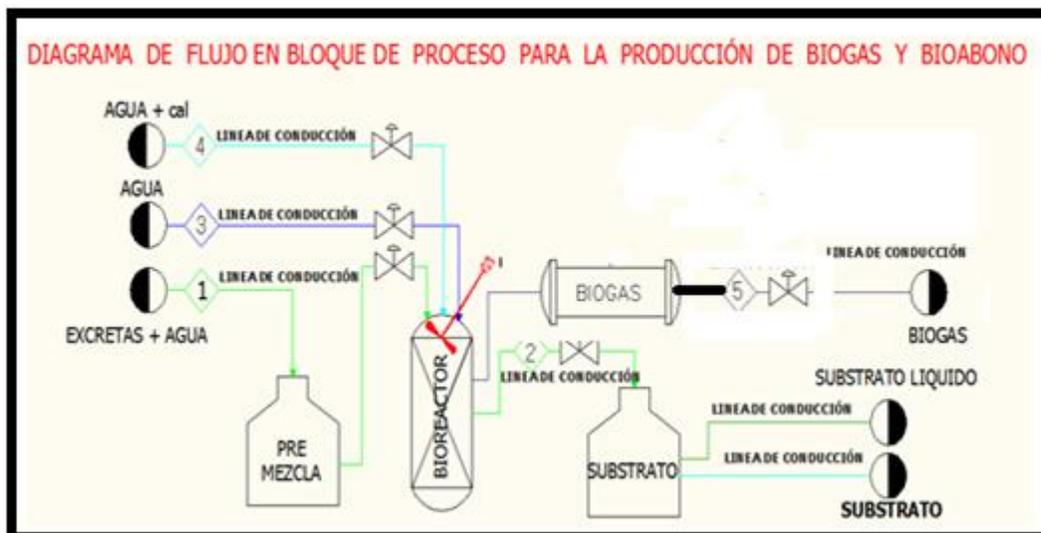


Fig. 43 Diagrama de Flujo en Bloque de Proceso para la Producción de Biogás y Bioabono

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 emplearán en el proceso de biodigestión (*véase fig. 43*). 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.

5.7.2. 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 normaliza, 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 indica el grado de acidez y alcalinidad para mantener el rango adecuado del mismo, estará relacionado con el suministro de agua más cal para controlar esta variable. La presión del gas dentro del recipiente será controlada a través de una válvula de alivio de presión, que actúa cuando sobre pase el rango de presión a la que esta calibrada y 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 término del tiempo de retención esta mezcla ya digerida, será desalojada mediante la activación de una electroválvula por 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 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.

5.7.3. Delimitación del Proceso de Automatización

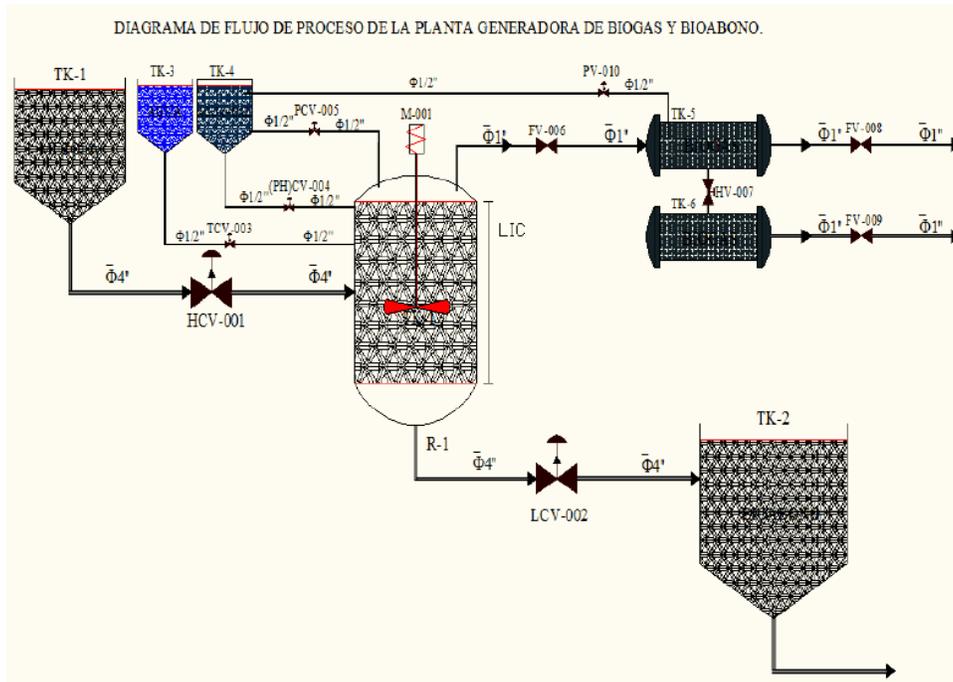


Fig. 44 Diagrama de Flujo de Proceso de la Planta Generadora de Biogás y Bioabono

A continuación se describen los pasos a seguirse dentro del proceso de automatización (fig. 44):

1.- Se establece una entrada (tipo interruptor) de inicio y otra de paro de todo el proceso, el biodigestor tendrá una capacidad de 10 m³, de 2.5m de largo x 1.80 m de ancho y 2.20m de alto, **2.-El biodigestor** será alimentado con 226.15kg de materia orgánica mezclada con agua para la **activación 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 cada hora, por un lapso de tiempo de 15 segundos, el tiempo de retención de la materia será de 30 días dando un total de 2297.4 kg, en el proceso de evacuación de la materia procesada para la obtención de biogás y bioabono por tanto se utilizará:

4.-Un sensor de nivel para determinar el rango máximo y mínimo que serían de 1.60 m 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 el trascurso de 35 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 mínimo es decir 6.6 se activará la electroválvula 4 [(PH) CV-004] la misma que dejará introducir cierta cantidad de agua con CAL hasta que suba el PH hasta los 7.6.

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, y evitar el contacto directo del biogás con el ambiente.

5.7.4. Narrativas de Control

El sistema de control está asociado a las variables de temperatura, 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, entre otros, 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

5.7.5. 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 45*, 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.

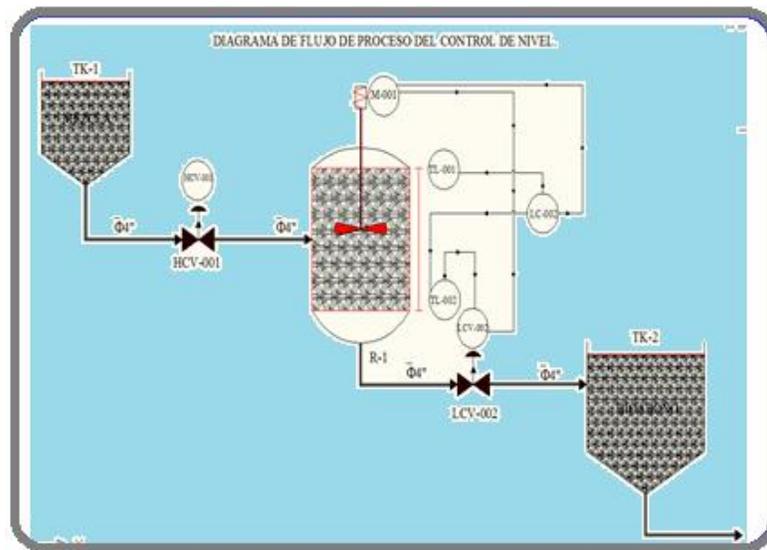


Fig. 45 Diagrama de Flujo de Proceso de Control de Nivel.

Del mismo modo cuando haya transcurrido un tiempo de 35 segundos se 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.

5.7.6. Narrativa de Control de Temperatura (T)

El objetivo de este sistema es mantener la temperatura del sustrato en el Tanque de Digestión en los rangos establecidos, en la *Fig. 46*; 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.

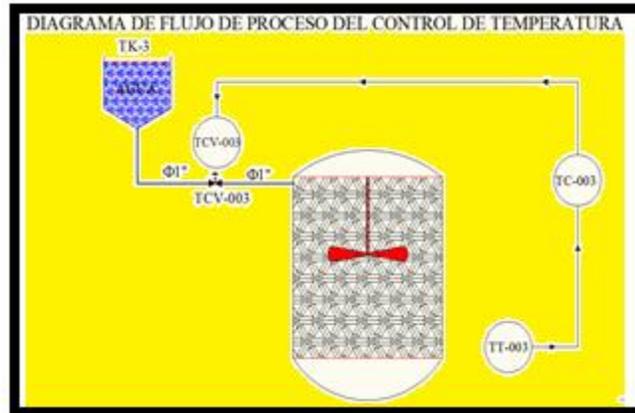


Fig. 46 Diagrama de Flujo de Proceso de Control de Temperatura.

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

5.7.7. Narrativa de lazo de control de Acidez (PH)

Cuando el nivel de acidez (PH) en el interior del biodigestor alcanza su valor mínimo *fig. 47*, es decir [6.6]; 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 suba el PH hasta los [7.6]; donde PHT-004, emite la señal a PHC-004, para que mande a cerrar PHCV-004.

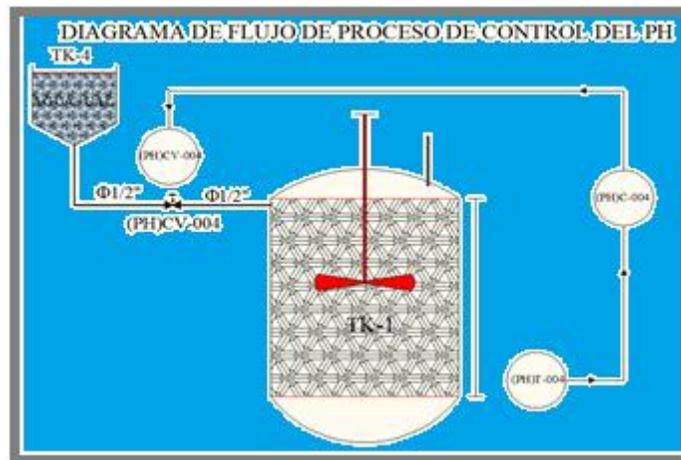


Fig. 47 Diagrama de Flujo de Proceso de Control de Nivel de Acidez (PH).

5.6. PROGRAMACION Y SIMULACION DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION DEL BIODIGESTOR

Programación del PLC Twido TWDLCDA24DFR + módulo de entradas analógicas M24MM6HT y simulación del proceso en el programa Twido-Suite versión 2.0, cable de comunicación multi función TSXPCX1031.

Tabla 17 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 18 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), 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 tendrá que cambiar únicamente los tiempos de diferentes temporizadores que contiene el programa.

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 esta 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 se encuentra 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 y son utilizadas para llamar alguna acción en el PLC Twido, 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.

Tabla 19 de temporizadores con su respectivo tiempo de funcionamiento

Definir los objetos

Asignación: Automático Número de objetos: 0 Asignadas: 11 Máx: 128

Tabla

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"/>

5.6.1. PROGRAMA Y SIMULACIÓN

5.6.1.1. Segmento 0:

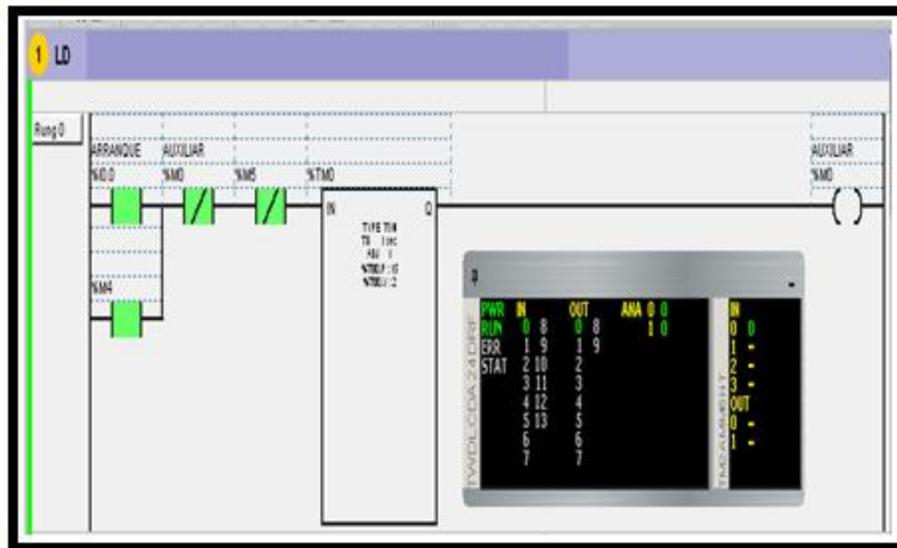


Fig. 48 Programación

En este segmento se activa la entrada %I0.0, como se observa en la parte inferior derecha de la *fig. 48*, 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 %TM0 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.

5.6.1.2. Segmento 1 y Segmento 2: (Control del agitador):

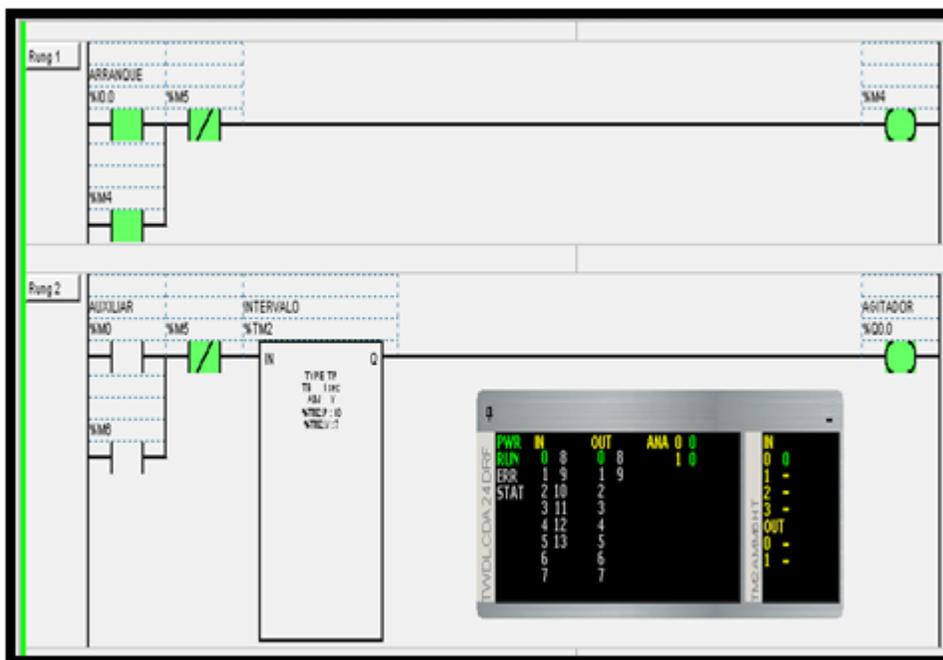


Fig. 49 Programación

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), que actuará por el lapso de 1min el cual lo hará desconectado al temporizador %TM0 por este tiempo (véase fig. 49), 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.

5.6.1.3. Segmento 3, Segmento 4 y Segmento 5. (Control de nivel) + Agitador

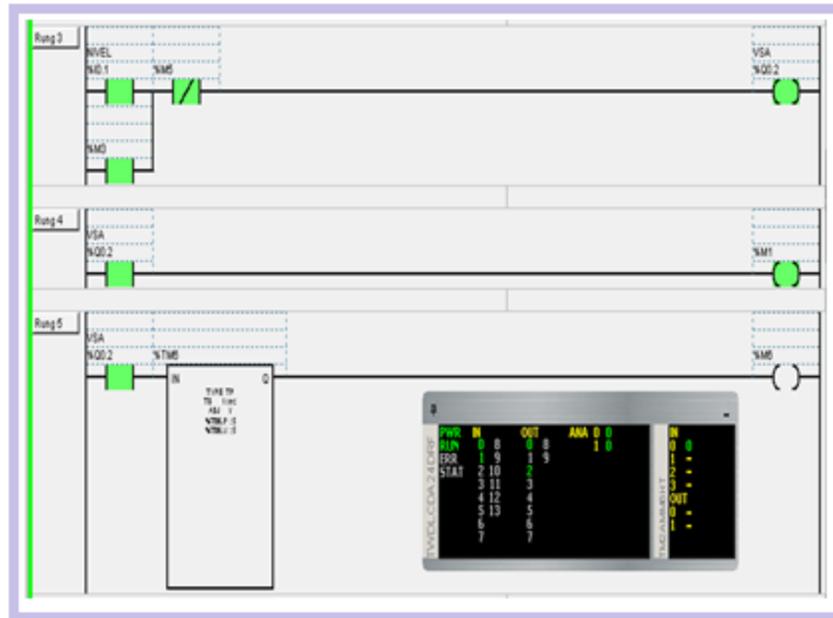


Fig. 50 Programación

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 fig. 50, 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 35 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).

5.6.1.4. Segmentos 9



Fig. 51 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, siendo la encargada de llevar de posición abierta a cerrada la electroválvula LCV-002 (fig. 51).

5.6.1.5. Segmentos 10 y segmento 11. (Control de temperatura)

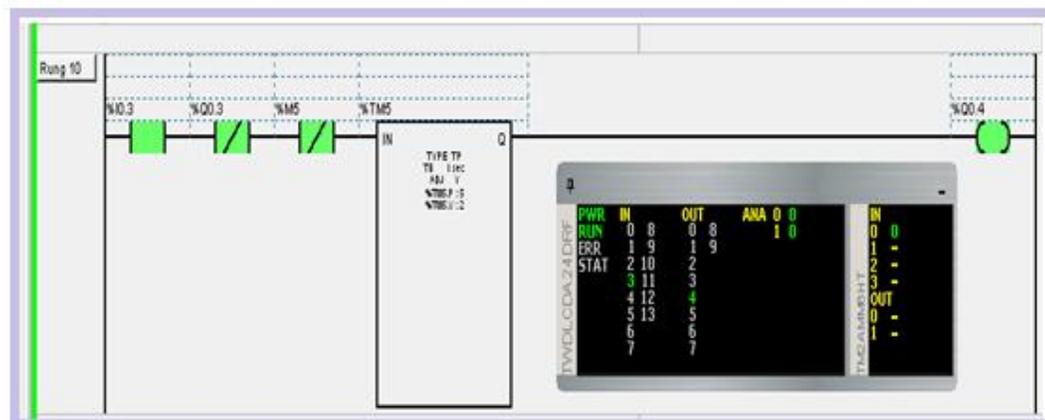


Fig. 52 Programación

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 (fig. 52), que pasará de posición cerrada a abierta.

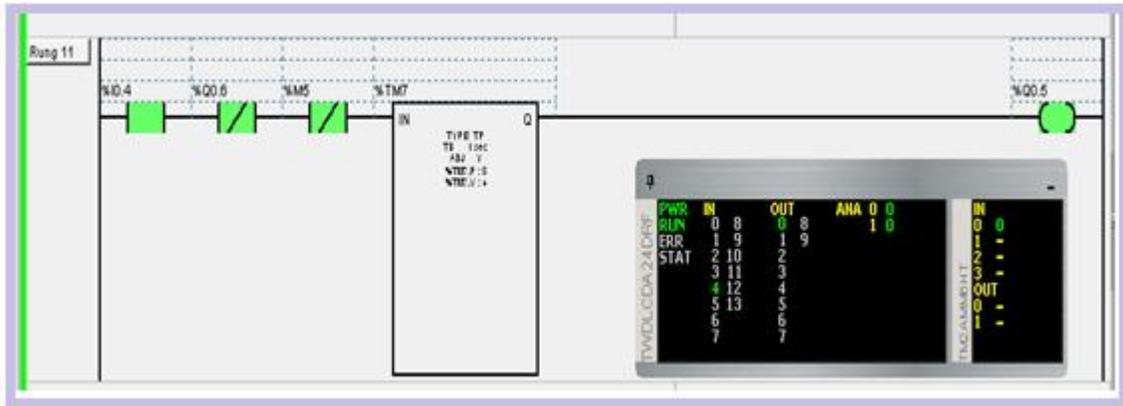


Fig. 53 Programación

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 (fig. 53), 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.

5.6.1.6. Segmentos 12 y segmento 13. (Control de PH)

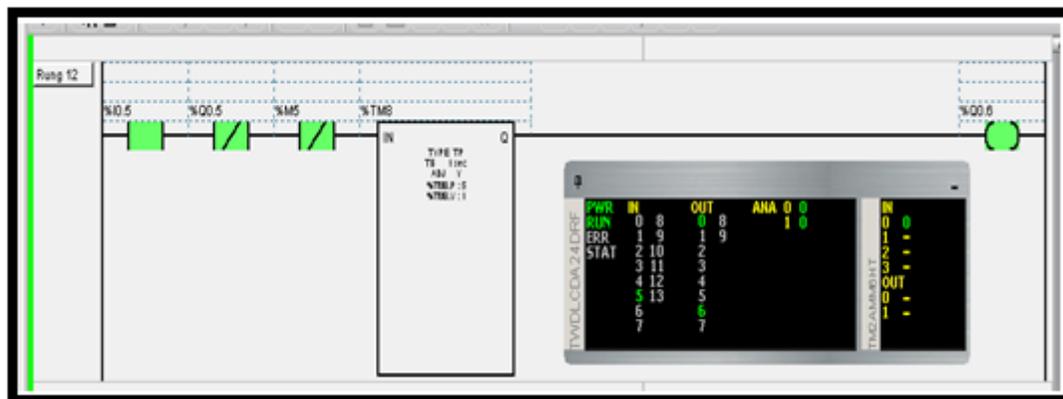


Fig. 54 Programación

En el segmento 12 se activará la entrada %I0.5, la cual es activada cuando el rango de PH (ver fig. 54), 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 a abierta para el ingreso de agua + cal.

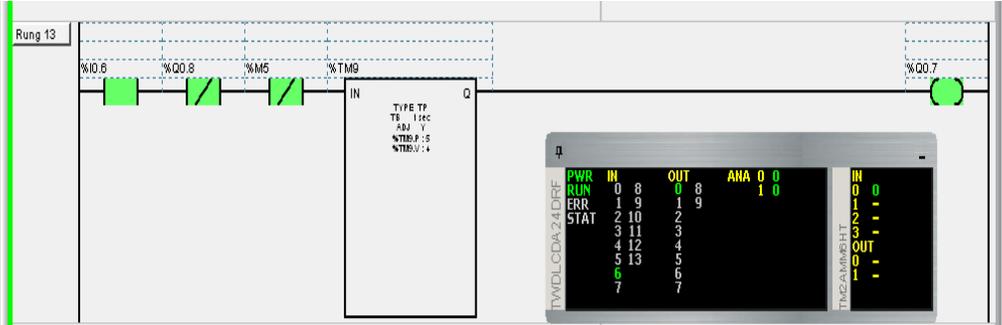


Fig. 55 Programación

En el segmento 13 se activará la entrada %I0.6, cuando luego de cierta cantidad de agua + cal (Fig. 55), que ha dejado pasar la electroválvula LCV-004 suba el pH hasta un valor neutro (7), con lo que el sensor de pH enviará esta señal a la salida %Q0.7 el pH a subido 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 neutro de PH.

5.6.1.8. Segmento 8. Paro de todo el proceso

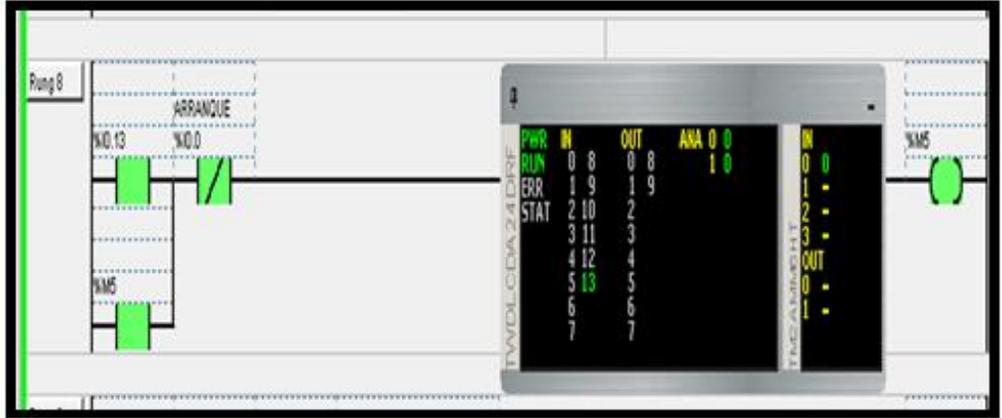


Fig. 56 Programación

En este segmento (*Fig. 56*), 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, para cuando pueda presentarse algún infortunio o por mantenimiento de algún mecanismo o equipo.

A continuación se detalla un cuadro, el cual hace mención a los principales parámetros de diseño, como son capacidad, cantidad de producción, aplicación, entre otros.

Tabla 20 Descripción de los parámetros más sobresalientes en el proceso de rediseño y construcción del biodigestor.

DESCRIPCIÓN	CANT.
Consumo de biogás en la primera y segunda semana en el levante del pollo.	$65.52 \text{ m}^3/\text{levante}$
Consumo de biogás a utilizarse para la cocción, en el CBFT-Z.	$2.26 \text{ m}^3/\text{día}$
Contenido Total de estiércol de los animales existente en el CBFT-Z.	$288.83 \text{ kg}/\text{día}$
Contenido Total de solidos de cada animal existente en el CBFT-Z.	$109.41 \text{ kg}/\text{día}$
Contenido de solidos volátiles de los animales en el CBFT-Z	$25.13 \text{ kg}/\text{día}$
Capacidad del tanque de pre-mezcla.	1.65 m^3
Capacidad del tanque biodigestor	10 m^3
Capacidad del tanque de evacuación	7 m^3
Capacidad del tanque de almacenamiento de biogás	3.3 m^3
Factor de disolución de la mezcla (agua-estiércol) 2.5:1	
Potencia del motor monofásico. 1 HP	
Reductor de velocidad, relación 325:1	
Programación del PLC Twido TWDLCA24DFR + módulo de entradas analógicas M24MM6HT y simulación del proceso en el programa Twido-Suite versión 2.0.	

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El biodigestor automatizado funciona correctamente, permitiendo realizar un monitoreo de las variables que se plantearon en el inicio de su diseño y construcción (nivel, PH, temperatura). Su uso en investigación permitirá desarrollar nuevos proyectos de investigación en la provincia de Loja, donde se cuenta con climas similares al del sector Zapotepamba, cantón Catacocha, para la obtención de biogás y bioabono de excretas animales mixtas, materia prima abundante en la región, por cuanto a la tenencia de diferentes tipos de ganados en las familias. El biogás generado puede satisfacer las necesidades de calefacción y cocción de alimentos de familias, y el sobrante de la digestión es un excelente fertilizante rico en materia orgánica. El prototipo fabricado deberá adaptar algunas mejoras al proceso de almacenamiento y consumo del gas generado.

Se realizó durante un periodo de 78 días consecutivos, el monitoreo y seguimiento de las variables de pH y temperatura. Obteniendo temperaturas promedio de 29.9°C, en el interior del reactor y en el ambiente con temperaturas promedio de 22.6°C, al día respectivamente. Los valores de PH que se obtuvo fueron entre 6.95 a 7.25 respectivamente, en las figura 57, 58 y 59, se observa el comportamiento de las mismas.

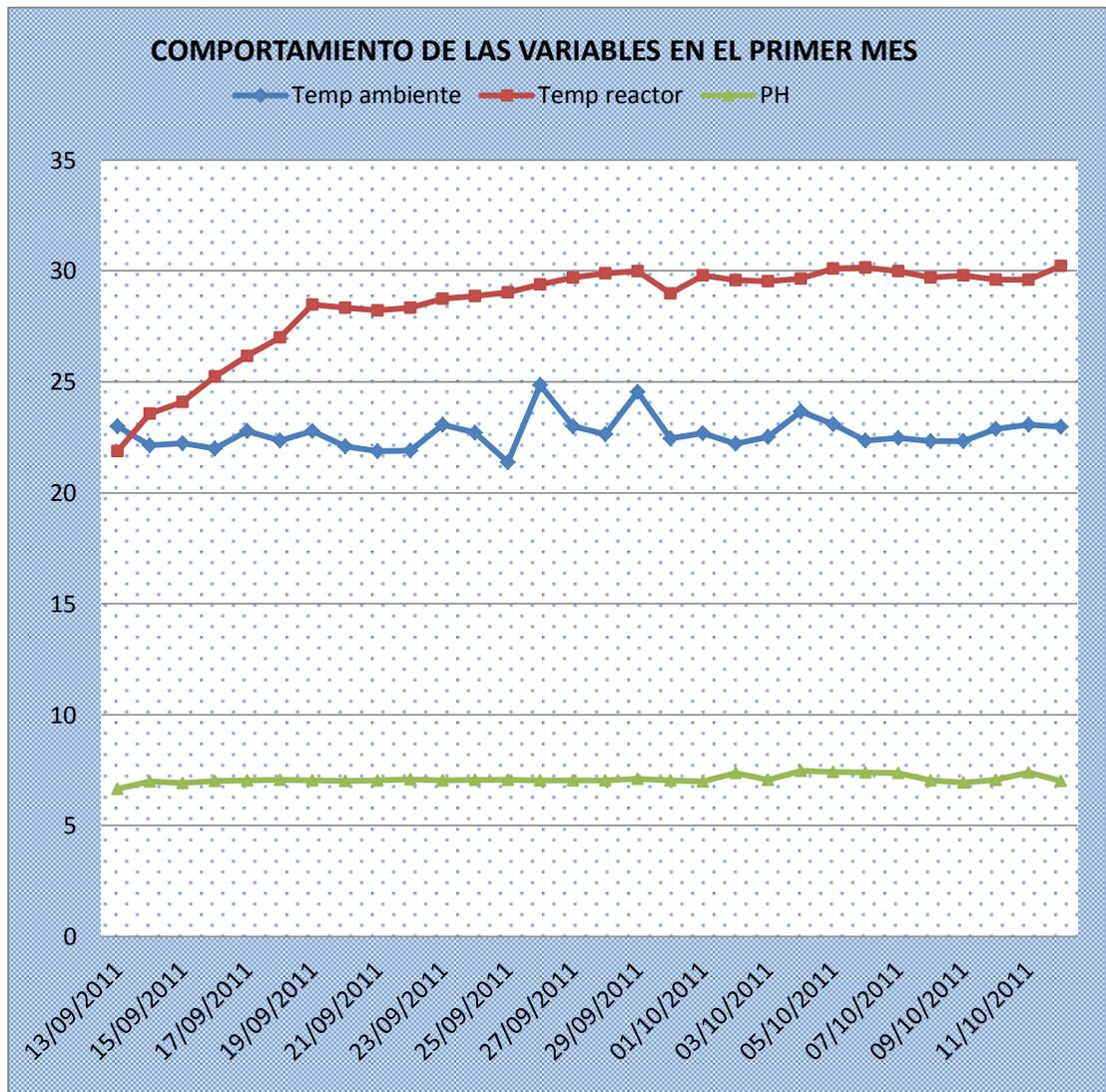


Fig. 57 Comportamiento de la temperatura ambiente, reactor y pH.

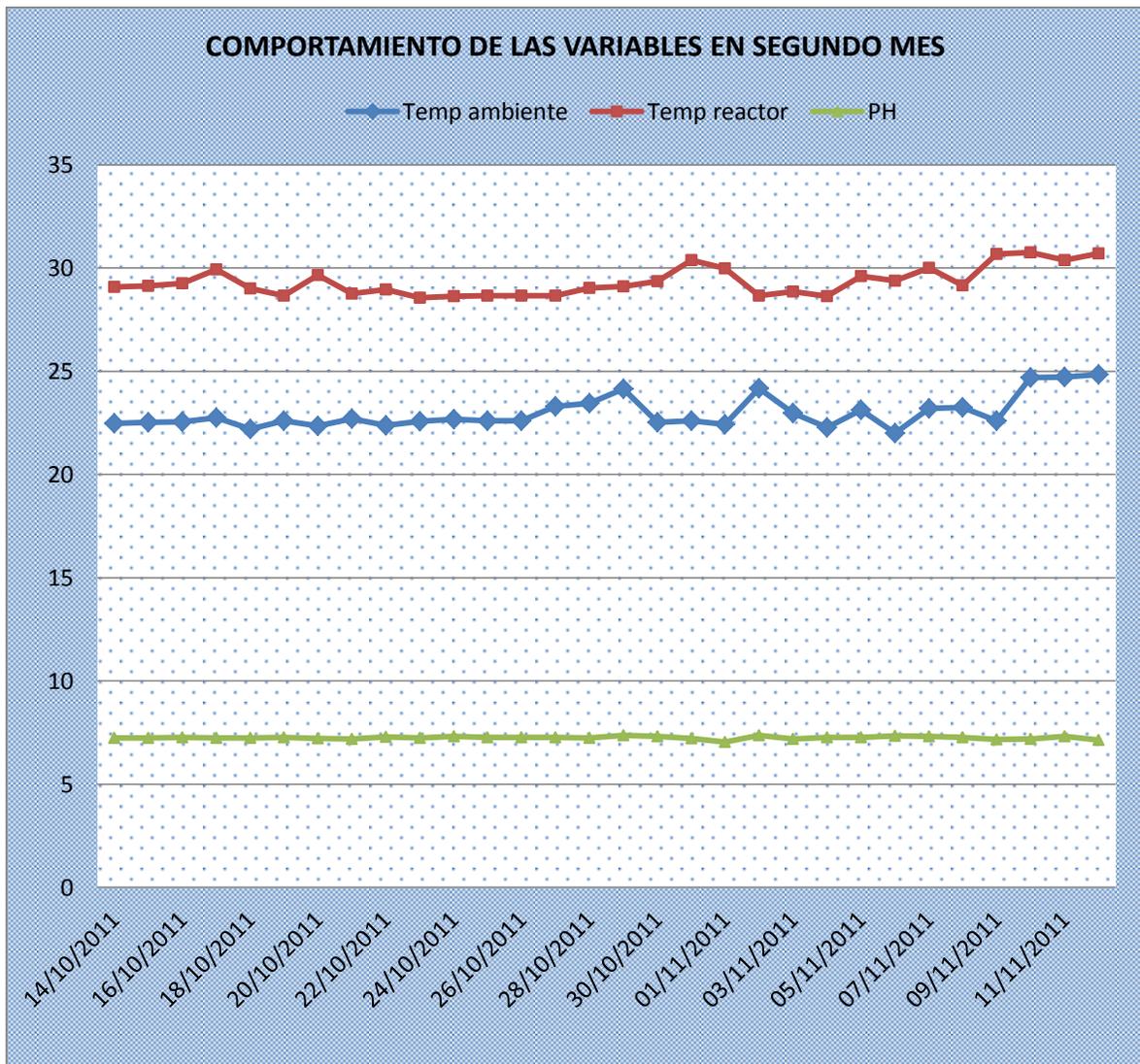


Fig. 58 Comportamiento de la temperatura ambiente, reactor y pH.

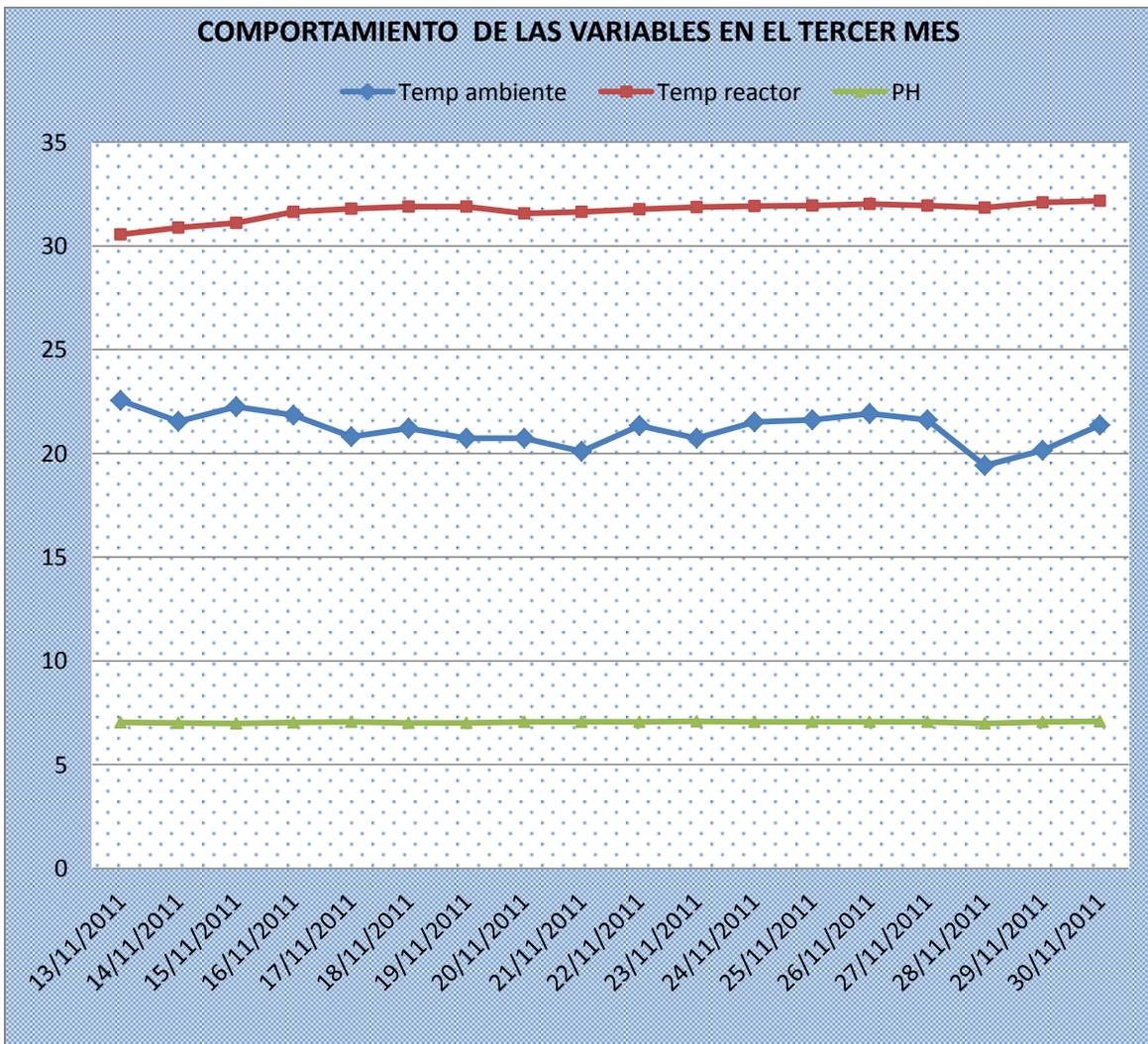


Fig. 59 Comportamiento de la temperatura ambiente, reactor y pH.

El día de mayor generación fue a partir del día 16, esto indica que mientras mayor tiempo de retención de la materia orgánica mayor será la generación, hasta alcanzar el punto máximo de generación donde este se estabilizará si se sigue alimentando constantemente.

En el desarrollo del proceso se utilizó estiércol de ganado vacuno, porcino, caprino y aviar, este tipo materia prima es bastante favorable y fundamental para dar inicio al proceso de aclimatación y producción de bioabono y biogás. El éxito o fracaso del proceso depende de la rigurosidad con que se realicen los procedimientos, vale decir, el cultivo debe ser a temperatura adecuada y en condiciones anaerobias estrictas, las cuales se puede controlar

mediante el sistema de automatización, procurando en todo momento el no ingreso de oxígeno al reactor y alimentando diariamente por ser un biodigestor de régimen continuo.

En general el pH se mantuvo dentro de los rangos óptimos establecidos, fig. 58, 59, 60. Por otra parte, la temperatura osciló entre 26.7 y 33.1°C, con un promedio de 29.9°C para los 79 días de recolección de datos, manteniéndose dentro de los valores ideales, no se registraron alzas ni descensos bruscos de temperatura en ninguna de las etapas, pero se debe destacar que las mediciones se realizaron cuando se montó todo los equipos de automatización y con rangos bien establecidos, y controlas todas las condiciones de operación.

La estabilidad en cuanto a pH y temperatura mostrada por el sistema se debe al óptimo funcionamiento en el periodo de mediciones y a la medición estricta de la relación de mezcla entre agua-estiercol.



MANUAL BIODIGESTOR
CIBFT-ZAPOTEP AMBA

6.1 MANUAL DE OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR AUTOMATIZADO PARA EL CBFT-Z.

El acceso a fuentes de energía moderna en áreas rurales se ha convertido en un prerrequisito para la ejecución de medidas llevadas a cabo en pos de la disminución de los niveles de pobreza. Muchos programas y proyectos, con el soporte de organizaciones de cooperación internacional, trabajaron y trabajan en esta relación de “Energía – Pobreza” con el uso de tecnologías alternativas en búsqueda de posibilitar el acceso a fuentes confiables de energía a hogares rurales.

Pese a estos esfuerzos, en los países menos desarrollados, quedan aún millones de personas que sufren de la falta de accesibilidad a fuentes de energía moderna, situación que se debe al mismo hecho por la que es generada, es decir, los altos niveles de pobreza bajo los cuales se encuentran inmersos, así como también 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 biogás es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire). La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por

bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. Este proceso que genera biogás es una fuente de energía renovable.

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:

Para extender la vida útil y evitar posibles daños en el biodigestor se recomienda tener en consideración lo siguiente:

Operación:

- ✓ Las excretas que se utilizaran para alimentar al biodigestor deben estar libres de otros materiales como gramínea en el caso de las aves, de forrajes en el caso del estiércol de bovinos y caprinos, así como plásticos, piedras o tierra; Para evitar alargar el tiempo de retención del sustrato e impedir taponamientos en la válvula de ingreso.
- ✓ Tener cuidado con el sustrato que ingresa al biodigestor, la presencia de objetos ajenos a la producción de biogás o bioabono, 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 cantidad de estiércol se le debe añadir cierta cantidad de kilogramos de agua (por cada kilogramo de excreta de animal se le añadirá 2.5 litros de agua).
- ✓ Una vez alimentado el tanque digestor se recomienda tener un volumen mínimo en el tanque de pre-mezcla permanente de 0.12 m^3 y de esta manera evitar posibles

fugas de biogás y pérdidas del mismo al momento de apertura de la electroválvula LCV-001 para el ingreso de la mezcla.

- ✓ Antes de ingresar la mezcla (estiércol-agua) al digestor, asegurarse de tener una mezcla homogénea en el tanque de pre-mezcla, para no retrasar el proceso de descomposición de la biomasa y producción de metano, además de evitar la formación de costras.
- ✓ Con la mezcla homogénea en el tanque de pre-mezcla presionamos durante 10 segundos (tiempo de trabajo del actuador) el pulsador de apertura (botón verde) de la electroválvula LCV-001 que permitirá el ingreso de la mezcla al reactor.
- ✓ Para terminar la alimentación de sustrato, tener cuidado que el tanque de pre-mezcla no se vacíe por completo y presionar el pulsador de cierre (botón rojo) de la electroválvula LCV-001, cuando haya aproximadamente 0.12 m^3 de sustrato en el tanque de pre-mezcla.
- ✓ Para apertura y cierre de la electroválvula de ingreso tener en cuenta, además del tiempo de trabajo del actuador (10 segundos), las luces piloto de aviso existentes en la parte superior de los pulsadores, para asegurarse visualmente que dicha válvula esté completamente abierta o cerrada, evitando de esta manera el escape de biogás.

Mantenimiento.

- ✓ Asegurarse que no existan fugas en tanques, tuberías, cúpula y tanque de almacenamiento.
- ✓ Cambiar la cúpula del biodigestor cada dos años, por cuanto el tiempo de vida útil de geomembrana al aire libre es de 2 a 7 años (corporación argentina tecnológica S.A. ingeniería civil e hidráulica).
- ✓ Evitar los contactos bruscos con todos los equipos que intervienen dentro de la planta de biogás debido a que son dispositivos frágiles y costosos.

- ✓ Realizar mantenimiento y limpieza del biodigestor cada dos años para impedir la acumulación de lodos y sedimentos en el fondo del tanque digester.
- ✓ Para el mantenimiento y limpieza del biodigestor asegurarse que todo el proceso debe estar inactivo, es decir parar todo el proceso de la planta, tanto electrónico, eléctrico y mecánico y con ello evitar daños, accidentes tanto del personal de limpieza como de los equipos empleados en la planta.
- ✓ Colocar filtros de biogás uno en cada línea de distribución y otro al ingreso de la tubería de alimentación ya sea para la criadora o para la cocina, o donde se vaya a utilizar el biogás.

EQUIPOS:

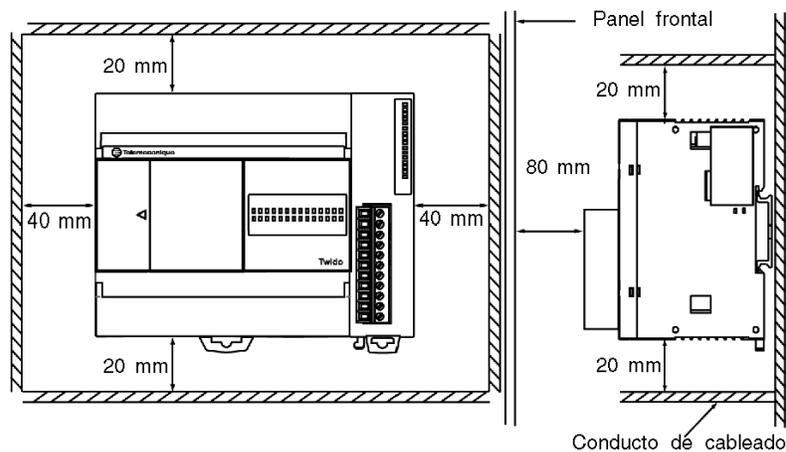
En este punto tenemos que tener supremo cuidado debido a que se trata de componentes electrónicos con partes delicadas, para esto debemos considerar aspectos importantes como son en el transporte de los mismos, conexión, manipulación, etc. A continuación se describe el componente y su cuidado respectivo:

PLC Twido TWDLCAA24DRF:

- ✓ Utilizar una caja metálica para el montaje del PLC, como medida de protección contra el polvo, lluvia, rayos solares, entre otros.
- ✓ 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 flexible.
- ✓ 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, y asegurarse que los cables estén perfectamente

conectados a sus respectivas entradas y salidas, para evitar posibles corto circuitos y con ello averías en la planta.

- ✓ 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, para impedir posibles sobre cargas que se pueden presentar debido a los cambios naturales para esto se utilizara 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.

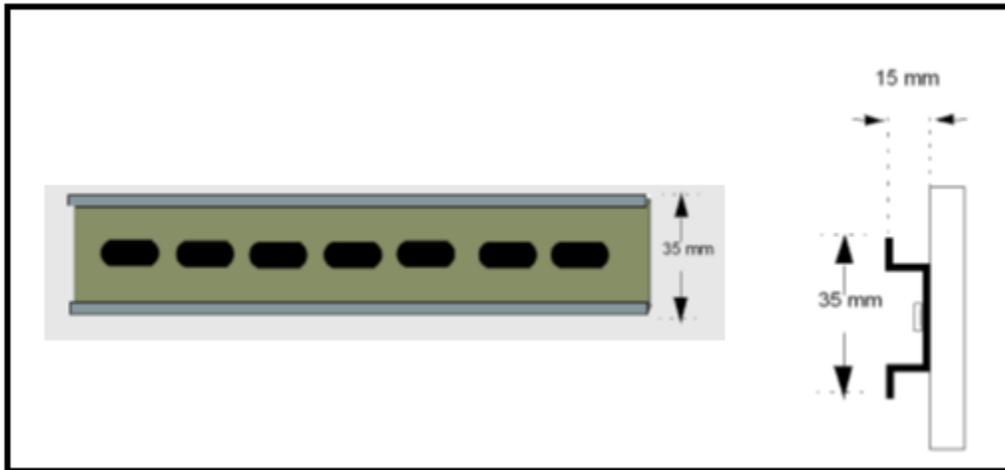


Módulo de Ampliación Twido TM24MM6HT:

- ✓ 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.



Válvula de alivio (purga) de presión + manómetro.

- ✓ Para la instalación de la válvula de alivio, antes de montarla es necesario realizar su respectiva calibración para evitar sobrepresiones en el biodigestor y tanque de almacenamiento.
- ✓ Asegúrese que no existan fugas al momento de montar la válvula, para ello, utilizar teflón y sello químico ya que es un gas inflamable y se tiene que controlar las fugas.
- ✓ Asegúrese, en el montaje, que el manómetro se instale en un lugar visible para su respectiva lectura y una perfecta visualización, esto como medida de referencia.

- ✓ La válvula de alivio debe ir dentro de un acople para tubería, para que en el peor de los casos que sobre pase la presión del rango máximo el biogás no se esparza al ambiente sino que será transportado al tanque de agua y si disipe en él.

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 contra la acidez y gases q se puedan producir.
- ✓ 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 concreto, esto para ayudar a sostenerlas en el momento de inercia que se produce al abrir o cerrar cada una de las válvulas respectivamente.
- ✓ 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 presentar averías las deben revisar personal capacitado.
- ✓ Utilizar cajas para su respectivo montaje, y proteger las totalmente de la lluvia ya que esto podría ocasionar corto circuitos y dañar el equipo y todo el sistema.

PROTECCIONES ELECTRICAS:

SEGURIDAD ELÉCTRICA.

El sistema eléctrico de la planta de biogás trabaja a una tensión de 220V, por lo que se recomienda tener mucho cuidado al manipular estos equipos, ya que una descarga de esta magnitud podría resultar fatal.

- ✓ Si se va hacer algún tipo de mantenimiento en la planta de biogás, mandar a detener totalmente todo el proceso para evitar posibles corto circuitos y con ello la avería de los equipos.
- ✓ Utilizar una caja de protecciones eléctricas para el montaje de PLC, placas de conversor de voltaje, y sensor honeywell, para aislar del polvo, sol y lluvias.
- ✓ Para el mantenimiento y manipulación de los equipos electrónicos y electrónicos, hacerlo solo personal capacitado.

PROCESO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR PARA CBFT-Z.

Primeramente realizamos la excavación para los tanques biodigestor y evacuación con las medidas correspondientes.



Luego realizamos los pisos de los tanques de y levantamiento de biodigestor, evacuación y pre-mezcla.



Luego procedemos a levantar las columnas y paredes de los tanques respectivamente.



Ya levantadas las paredes de los tanques correspondientes, procedemos a enlucir las paredes de los tanques.



Después de contruidos los tanques correspondientes, procedemos a realizar la excavación de las zanjas las cuales servirán para colocar la tubería y electroválvulas que comunicaran los tanques entre sí.



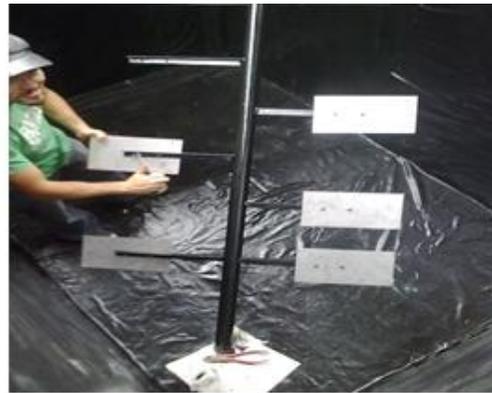
Luego construimos las cajas para proteger las electroválvulas del polvo y lluvia de los tanques de pre-mezcla y evacuación con el biodigestor.



Para concluir con la construcción de la parte física de la planta de biogás nos queda por montar el sistema de agitación.



Una vez construida la parte física de la planta, procedemos a forrar las paredes y piso del tanque biodigestor con geomembrana la misma q nos ayudara para controlar la humedad, como también a hermetizar el mismo.



Una vez cubiertas las paredes del biodigestor con geomembrana se procede instalar los sensores de nivel, pH y temperatura respectivamente y en la posición correspondiente con el cableado correspondiente.



Luego se recomienda construir hacer un techo para el biodigestor para proteger la geomembrana y la parte electrónica y eléctrica de la planta biodigestor.



Teniendo en cuenta el diagrama de las instalaciones de la parte eléctrica y electrónica realizado el programa en el PLC Twido, y realizada la simulación en Labview de la planta, procedemos a realizar el respectivo montaje.



Concluida la instalación de los equipos electrónicos como eléctricos, procedemos a colocar la cúpula al tanque biodigestor con las salidas para el biogás como para la válvula de seguridad.



Luego instalamos la válvula de alivio de presión y un manómetro en el biodigestor, cuya finalidad es de proteger el mismo de una posibles sobrepresión y visualizar los cambios de presión que pueda darse.



Seguidamente instalamos las cisternas, la una será para el agua el cual servirá para el control de temperatura y la otra para el agua con cal para el control de pH.



Una vez instalada los equipos y materiales de la planta productora de biogás realizamos unas pruebas de hermeticidad, con ayuda de un compresor, jabón en polvo y cámara de humo, esto con el propósito de evitar posibles fugas en el reactor.



Una vez realizadas las pruebas de hermeticidad, procedemos a preparar la mezcla de estiércol con agua para llenar el biodigestor.



Una vez concluida con la alimentación del reactor con la mezcla estiércol-agua mediante relación en kg., de 1:2.5 respectivamente, nos queda por esperar la producción del biogás.



6.2 DISCUSIÓN

Las plantas de tratamiento de desechos industriales, han tenido una importante evolución en los últimos años y habiendo superado una primera etapa a nivel piloto, en Europa y China se encuentran actualmente siendo difundidas para determinados fines en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales, y basados en la literatura relacionadas a la energía y tipos de biomasa descritos en los capítulos anteriores, varios países desarrollados y en vía de desarrollo están explotando cada vez más el recurso de la biomasa, otorgando incentivos para la explotación de energía limpia y favorable con el medio ambiente, enfocándose además en cubrir el déficit de energía eléctrica y petrolíferos con el uso de este tipo de energía.

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.

En nuestro proyecto de investigación no se utilizó todos los diferentes tipos de estiércoles que estaba planificado, ya que varios de ellos no se los podía obtener íntegramente por que estaban mezclados con basura y otros elementos que podrían tapar las tuberías del biodigestor; A pesar de que solamente se utilizó el estiércol de bovinos, caprinos y porcinos se obtuvo un rendimiento de 67% en la producción de biogás.

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 del lugar donde se instaló nuestro biodigestor, además se llegó a la conclusión de que obtuvimos un resultado importante, ya que al ser comparado con un trabajo de tesis realizado en la Escuela Politécnica Nacional: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION PARA LA PLANTA DE BIOGÁS DEL JARDÍN BOTÁNICO DE QUITO” Se puede evidenciar que la producción real de Biogás que obtuvieron en dicho proyecto está en similares proporciones a la que obtuvimos con nuestro proyecto instalado en el CBFT-Z, aun siendo nuestro biodigestor de menor volumen al del proyecto mencionado.

Esto se debe a muchas razones pero fundamentalmente a las condiciones climáticas de donde se instalaron los biodigestores y al tipo de biomasa utilizada para su alimentación.

6.3 IMPACTO AMBIENTAL

Desde que el hombre aprendió a emplear el fuego, la cocción de alimentos ha llegado a ser una de las actividades fundamentales para su subsistencia. Para esto se han utilizado diferentes combustibles, entre ellos la biomasa vegetal.

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.

Si no se cuenta con biodigestores se tendría que cuantificar los daños generados al ambiente ya sea en forma de deforestación, emisiones de gases o contaminación de mantos acuíferos. Se debe mencionar que el gas obtenido con el biodigestor si no se quema es contaminante. De aquí la importancia de adecuar el tamaño a las necesidades de la economía doméstica. Si se prevé que no se va a utilizar, o quemar, todo el biogás que se es capaz de producir dadas las excretas y el tamaño del biodigestor es mejor no introducir más boñiga en el biodigestor. Existe la posibilidad de combinar el biodigestor con el lombricompost y así se puede dar solución para dar tratamiento a las excretas sin contaminar el medio ambiente.

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 esta propuesta 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.

Con la implantación de biodigestores el ambiente es el gran beneficiado ya que se soluciona el problema de contaminación de las excretas, puede disminuir la tala de árboles y se emiten menos gases contaminantes a la atmósfera. La producción diaria de biogás permite reducir la dependencia externa de insumos: agroquímicos, gas comercial y energía eléctrica que tienen que ser compradas en el mercado y transportadas.

6.3.1 Impacto social

Hay aceptación y valoración de los sedimentos de la actividad pecuaria como un desecho útil. También hay concienciación sobre la importancia y el deber ciudadano de preservar el ambiente es por esto que buscamos implementar en cada uno de las familias rurales de ser posibles.

6.3.2 Recursos que se liberan

La necesidad de cocción de los alimentos puede satisfacerse sin depender de los combustibles fósiles no renovables (electricidad, leña o gas). Aspecto importante ya que en los últimos años los precios de la energía se han incrementado de forma substancial y de aquí el renovado interés en las energías limpias. Si tenemos en cuenta que en la zona rural la ubicación de las familias puede ser dispersa y que la accesibilidad no siempre es fácil las ventajas de ser autosuficiente en la producción de energía aumentan. El ahorro mensual por familia se calcula en aproximadamente dos cilindros de gas, valorado en cerca de tres dólares americanos que ahora pueden destinarse a otras necesidades. Se gana tiempo, seguridad dentro de la casa y la cocina no se deteriora. Existe la posibilidad de destinar las horas que antes se dedicaban a recolectar leña a otras actividades.

El uso del fertilizante producido en el cultivo de las hortalizas también puede permitir ahorros por su consumo de productos a la vez que permite aumentos en la productividad. En el caso de que los productos orgánicos obtenidos sean vendidos en el mercado el margen de beneficio obtenido por el productor es más elevado.

Otro aspecto difícil de cuantificar son los beneficios en la salud derivados del uso de fertilizantes de procedencia orgánica que comportarían una mejora en la nutrición de los consumidores.

Si se deja de utilizar la leña para cocinar las personas estarán menos expuestas a humos nocivos y serán menos los problemas respiratorios (asma, tos, cáncer), que se presentarán. La costumbre de prender el fuego con desechos plásticos que al quemarse desprenden dióxidos agrava las enfermedades causadas por el humo. Una población más sana comporta un menor gasto médico.

Con la instalación de biodigestores pretendemos suplir gastos que se producen en la cocción de alimentos y que pueden ser utilizadas en otras necesidades familiares, además evitar la exposición de las personas al humo que puede afectar su salud, y a su vez contribuir a la preservación del ambiente.

Malos olores. El biodigestor evita el 90% malos olores. Se favorece la convivencia vecinal, así como un medio ambiente más sano implica una mejora de las condiciones de vida de las personas.

Cuadro resumen de los beneficios asociados al uso del biodigestor

Tabla 20 ventajas de un biodigestor.

Para la familia	Para el medio ambiente
No hay humo en la casa	Hay menos producción del CO2
No produce hollín en los trastos	Menos desechos contaminantes
No jalar ni picar leña	No proliferación de insectos
Es más rápido prender el fuego	Fertilizantes y abonos orgánicos
No hay peligro de explosiones dentro de la casa	No se produce la tala de árboles
No hay que tener el fuego	
No se deteriora la casa	
Es más rápido para cocinar	
Mejora la economía familiar	

Con la construcción del biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno en el CBFT-Z, se aporta a la reducción de los gases de infecto invernadero (dióxido de carbono y metano), la reutilización de los desechos orgánicos y reducción del consumo de hidrocarburos (gas licuado de petróleo), aportando de esta manera a la protección ambiental.

6.4 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, en forma más detallada, 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 significa la obtención y producción de biogás y bioabono, el mantenimiento que se debe realizar a los equipos, la mano de obra, etc.

La finalidad de la evaluación económica es la de inferir si el proyecto en cuestión es una alternativa viable o no. Para esto, se identificarán los costos e ingresos que se obtienen y se analizarán los costos/beneficios para ver si el proyecto generará ganancias o no.

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los costos e ingresos que se han tomado en cuenta al realizar el análisis económico del Biodigestor del CBFT-Z.

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 poder concluir si este proyecto puede ser aplicable o no para familias de escasos recursos económicos.

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, Dirl de Disensa, austro riego, farma ecology, entre otras.

Con lo que concierne 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:

Tabla 21 materiales de construcción del biodigestor.

DENOMINACION	CANT	U	PRECIO UNITARIO	TOTAL POR ITEM
Bloque reforzado para pared	700	U	0,51	357,0
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	100	M	0,35	35
Manguera de polietileno de 1/2" para transporte de cable eléctrico	100	M	0,21	21
Plástico transparente calibre 8 para invernadero de 1,5 m de ancho	9	M	2,50	22,50
Geobomb soldadura para geomembrana.	2	Gl.	32,5	65
Llama roja pegamento para poliuretano.	5	Gl.	18,25	91,25
Válvula de alivio de presión.	2	u	19,5	39
Adaptador de tanque hembra-macho	6	u	1,25	7,5
Ligas neumáticas.	1	u	5,00	5,00
Motor eléctrico de 1 HP	1	u	115	115
Reductor de velocidad	1	u	100	100
Eje de acero inoxidable de 1 ½" pulg.,	1	u	180	180
Adaptador de acero para electroválvulas mariposa.	2	u	25	50
Macilla para acero	1	u	6,5	6,5
Silicón sika	2	u	10,5	21
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	1804,75

Materiales utilizados en el proceso de automatización del biodigestor.

Tabla 22 equipos de automatización.

ÍTEM	Descripción	Cantidad.	VALOR REF. TOTAL (EN DOLARES)
1	Switch de nivel.	1	611
2	Transmisor, Medidor de PH	1	3008
3	Ensamble sello químico +transmisor de presión.	1	991.70
4	Válvulas --Diámetro 4".	2	728
5	Actuador eléctrico para válvula de 4".	2	1710
8	Válvulas Tipo roscado NPT Diámetro 1/2".	2	317.66
9	Actuador eléctrico para válvula de 1/2".	2	611
10	Autómata programable (PLC). Twido Especificaciones técnicas: BASE UNIT AC,14 IN DC,10	1	925.90
		TOTAL	\$8903.26

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 30 días a un costo de 20 USD diarios, lo que resulta un costo total de 600 USD.

Costo Directo Total

En la Tablas anteriores se considera el Costo directo Total

Tabla 23 Costo Directo Total

COMPONENTES	VALOR (USD)
Materiales	1804,75
Equipos	8903.26
Costo de Construcción	600
Subtotal	11308.01

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 cada dos años 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

Tabla 24 Costo Indirecto Total..

COMPONENTES	VALOR (USD)
Mantenimiento	100
Calibración de Equipos	180
Total	280

COSTO TOTAL DEL BIODIGESTOR AUTOMATIZADO.

Resulta de la adición de Costos Directos y los Costos Indirectos.

Tabla 25 Costo Total.

COMPONENTES	VALOR (USD)
Costo Directo	11308.01
Costo Indirecto	280
TOTAL	11588.01

Tiempo de Amortización de Costos:

El costo total de la construcción, automatización y mantenimiento del biodigestor es relativamente alto dando un total de \$ 11588.01 **dólares americanos** que se tendrían que ser desglosados para los mismos como se observa en la tabla 25.

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 2297.4 kg luego de 30 días de retención de la materia orgánica tratada en el interior del digestor y 7.54 m³/día de gas metano.

Producción de composta (bioabono).- La composta que se genera por mes luego del proceso de digestión es de 2297.4 kg 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 45 Kg = 5 dólares americanos

Dando un total de 2297.4 kg/45Kg = 51.1 sacos con lo que dieran 51.1 sacos * \$5 de cada saco un total de \$ 255.26 al mes:

$$\frac{\text{Costo total de los equipos } \$11588.01}{\$255.26/mes} = 45.4 \text{ meses}$$

$$\frac{45.4 \text{ meses}}{12 \text{ meses/año}} = 3.78 \text{ años} = 4 \text{ años}$$

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 GLP, y a su vez que $1m^3$ de GLP = $1.25kg$ se tiene:

$$\text{Equivalencia en GLP} = \frac{7 m^3 (0.89 m^3)}{1 m^3} = 6.23 m^3 \text{ de GLP}$$

$$\text{Peso del gas} = \frac{6.23 m^3 (1.25 kg)}{1 m^3} = 7.8 kg$$

El precio del gas en el mercado ecuatoriano es de:

Kilogramo = 0.12 dólares americanos.

Esto sucede si se lo adquiere directamente en el depósito y como la granja se encuentra alejada de la ciudad de Catacocha 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.

$$7.8 kg (\$0.12) = \$0.93 \text{ Al día.}$$

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 $\$280$ USD, mientras que el valor de la obtención de biogás sería de:

$$\text{Capital extra de biogás} \left(\frac{\$0.92}{\text{día}} \right) * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = \$ 342 \text{ en 1 año}$$

Con lo que el rubro de capital que se debería invertir en costos indirectos sería amortizado además existiría un excedente de:

$$\text{Capital de biogás} = (\$342 - \$280) = \$62 / \text{año}$$

Con lo que se contaría con un capital extra de \$ 62 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.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 Conclusiones:

- El tener un biodigestor en el CBFT-Z, supone trabajo extra pero, con la ventaja de que obtendrá varios beneficios. Es por esta razón que se debe diseñar el biodigestor y fijar su tamaño de acuerdo a las características y necesidades de la misma.
- El rendimiento de un biodigestor está ligado principalmente a la estructura de la comunidad microbiana presente en el mismo. Además, la producción de metano tiene un límite que depende también de la naturaleza de la materia dispuesta en el sistema digestor.
- Con la recopilación y sistematización de información que se obtuvo del CBFT-Z en cuanto a la cantidad de ganado existente, se estableció un rediseño del biodigestor anaerobio con tanque tradicional y cúpula de polietileno, 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 el CBFT-Z.
- Mediante la elaboración de los cálculos, se determinó las dimensiones finales de las partes constitutivas del biodigestor.
- La propuesta de automatización se realizó tomado en cuenta las características de los procesos de descomposición anaeróbica que ocurren en un biodigestor, y del diseño anterior que se realizó sobre este mismo tema, concretándose que es posible implementar un sistema de control automático que mantenga las condiciones adecuadas de nivel, temperatura, pH y tiempo de mezclado (Valores establecidos), con el fin de disponer del medio anaerobio en que las bacterias llevan a cabo la producción de biogás.

- Con el monitoreo se pudo constatar que la temperatura en el reactor se mantuvo dentro del rango esperado (Temperatura promedio durante los 79 días de monitoreo = 29,9°C), al igual que el nivel de PH (nivel de PH promedio = 6,97).
- El valor promedio de la temperatura ambiente durante el periodo de monitoreo es de 22,6°C y el valor promedio anual es de 24°C (Dato de estación meteorológica existente en el lugar), lo que indica que el objetivo de hacer el tanque digestor enterrado en el suelo además de la utilización de la geomembrana, se cumplió lográndose mantener el calor en el reactor.
- La máxima producción diaria de biogás será de 3,3m³ por lo cual se implementó un tanque de almacenamiento de polietileno tipo manga de 3m³ donde se almacenará el combustible, además en el tanque digestor + cúpula también permite almacenar biogás ya que dicho tanque solo se llena de sustrato el 70%.
- El diseño de la planta generadora de biogás y bioabono, garantiza su eficiente funcionamiento, asegurando la completa biodigestión de desechos orgánicos producidos en el CBFT-Z.
- 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.
- Desde la operación inicial no se llevó a cabo un monitoreo adecuado de pH, temperatura, los cuales son de suma importancia para lograr un equilibrio dentro del digestor con su monitoreo y mediciones continuas.
- El proceso de carga inicial se debió realizar de manera gradual, es decir comenzando con una mezcla diluida con una relación de 2.5 a 1 que es la proporción que teóricamente se manejó y respetando los tiempos de retención hidráulica de cada etapa los cuales varían según el digestor.

- Para asegurar el éxito del proyecto las capacitaciones son esenciales por dos aspectos: garantizar el éxito en el mantenimiento y pequeñas reparaciones del biodigestor y en segundo lugar por permitir la réplica del biodigestor entre comunidades.

Las fuentes de energía renovable contribuyen al desarrollo sostenible, a proveer acceso a energía de bajo costo para los sectores de escasos recursos en las zonas rurales, a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y a reducir la contaminación del aire. La biomasa ocupa el primer lugar dentro de las fuentes de energía renovable y hasta el momento, en nuestro país la aplicación mayoritaria se limita a la cocción de alimentos.

7.2 Recomendaciones

La Universidad Nacional de Loja conjuntamente con otras instituciones pretende implementar energías alternativas en el sur del país, cuyo propósito es mejorar la calidad de vida de las familias que habitan en zonas rurales de la misma que carecen de energías como son las de electrificación y gas licuado de petróleo, para ello está proponiendo proyectos enfocados a la construcción de biodigestores, así como destiladores, secadores, cocinas solares entre otros.

- Alimentar el biodigestor diariamente, con la finalidad de obtener una buena producción de biogás, para con ello ayudar a la demanda del gas licuado de petróleo en el levante de pollos.
- Utilizar geomembrana para el recubrimiento del tanque biodigestor para evitar los cambios de temperaturas bruscos en el reactor, y con ello asegurar un buen rendimiento en la producción de bioabono y biogás.
- Utilizar los materiales como el geobond PVC, para pegar la geomembrana, y con ello evitar fugas de biogás en las uniones de la misma, así como también utilizar retenes y

collarines de presión en el sistema de agitación, y con ello garantizar la hermeticidad en el reactor.

- Realizar el cambio de la cúpula cada dos años, ya que el tiempo de vida útil de la geomembrana al aire libre es de 2 a 7 años.
- 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.
- En el proceso de carga inicial y diaria se recomienda seguir la metodología de carga gradual expuesta es decir con la relación de 2.5 a 1 para tener una buena producción.
- Realizar un análisis de laboratorio para determinar el poder calorífico (Pc) y más propiedades del biogás que se produce en este 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, ya que el bioabono que se obtiene es de muy buena calidad.
- 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.

- Se recomienda seguir las instrucciones tanto del manual de operación y de mantenimiento que se encuentran en el apartado en el capítulo anterior.

8. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- ❖ CARRILLO, Leonor. Energía de biomasa. 1° ed. S.S. Jujuy : el autor, 2004.
- ❖ CASTILLO, Gabriel, Manual de biogás, Cartago, Instituto tecnológico de Costa Rica, Pipa SA.
- ❖ CENGEL, YUNUS. Transferencia de calor Cengel.
- ❖ De WITT, David P. Fundamentos de transferencia de calor Frank P. INCROPERA,
- ❖ LÓPEZ, Amador Pedro. Manual de Biodigestores, San José, CR: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2005
- ❖ Manual de pollos de engorde INCA, PRONACA
- ❖ Manuales sobre energía renovable: Biomasa/Biomass Users Network (BUN-CA). -1ed. –San José, C.R.: Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.
- ❖ MONROY, O.and Viniegra G. Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. México, AGT Editor 1990, pp. 65-69

REVISTAS

- ❖ AFRAPROSUR. Documento del proyecto “Mejoramiento de las habilidades y destrezas técnicas de las familias productoras en sus sistemas de producción orgánica, por medio de intercambio de experiencias entre productores, capacitación práctica, que les permita mejorar sus ingresos y proteger el medio ambiente”, AFRAPROSUR, 2004.
- ❖ APANG. II Informe de avance “Desarrollo de la Finca Modelo de Manejo Integral”, APANG, 2007.
- ❖ COOPEPUEBLOS. Documento de proyecto “Producción de biogás”, COOPEPUEBLOS, 2006.
- ❖ COOPEPUEBLOS. Informe de avance Número 1 “Producción de biogás”, COOPEPUEBLOS, 2007.

- ❖ FORO NACIONAL DE ENERGÍA EL DESAFÍO DEL DESARROLLO ENERGÉTICO DE COSTA RICA: Limitaciones y Perspectivas, San José, CR, 1991. Memoria del Foro Nacional de Energía, 6/06/1991.
- ❖ FUNDECOCA, Documento de propuesta “Capacitación y construcción de biodigestores para producción de gas natural”, FUNDECOCA, 1999.
- ❖ LA GACETA, Decreto No.30294-S-Reglamento sobre granjas porcinas. La Gaceta No. 79, 25/04/2002 <http://www.bvs.sa.cr:8081/costarica/E/textos/porcinas.pdf>.
- ❖ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, Material informativo Biodigestor conservacionista disponible en http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/biodigestor1.pdf., consultado el 12.03.08
- ❖ OLADE, Reporte anual 2001. (Miño, 2003)
- ❖ VISIÓN MUNDIAL. Guía para construir un biodigestor de estañones plásticos. Folleto. Elaborado por José Gabriel Castillo Araya y Eduardo Villegas Barrantes. San José: Visión Mundial, sin año.

DOCUMENTOS PDF

- ❖ ADI, de Canaán. Documento de proyecto “Protección del Medio Ambiente y mejoramiento de la Calidad de vida de la familias pobladoras de las Comunidades de Los Ángeles y Canaán de Rivas, Pérez Zeledón”, ADI de Canaán, 2007.
- ❖ AGUILAR, F.X. y BOTERO-BOTERO, R. Estimación de los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo, EARTH, Guácimo, 2002.
- ❖ ALPÍZAR, Felipe. Informe de evaluación final del proyecto “Empoderamiento en el manejo integrado de fincas de familias campesinas del cantón de Guatuso”, Aprodegua, 2007.
- ❖ BARRETO TORRELLA, Sarah. Consideraciones para el desarrollo de programas rurales de empleo del biogás, Centro de Estudio para el Desarrollo de la Producción Animal Cuba, Universidad de Camagüey, 2005.

- ❖ LOPEZ, CAÑAS. Marcela Milena. Experimentación con biodigestores a escala de laboratorio para generación de biogás a partir de desechos vegetales. Junio de 2003.
- ❖ SÁEZ, Jorge Arturo. Biodigestores: Aportes a las condiciones ambientales y calidad de vida de la población campesina. Sistematización de una experiencia exitosa en producción de biogás. Costa Rica: Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD/FMAM, Octubre 2001.

TESIS

- ❖ DIAZ, Darío; RODRIGUÉZ, Hermes. “Diseño de un biodigestor automatizado para la gran Zapotepamba”.

SITIOS WEB

- ❖ www.aqualimpia.com
- ❖ www.epec.com.ar
- ❖ Food and Agriculture Organization, Disponible en www.fao.org/newsroom/es/news/2007/1000654/index.html, 19.09.2007.
- ❖ http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/biodigestor1.pdf

9. ANEXOS

ANEXOS

ANEXOS 1: Proceso de la construcción del biodigestor:

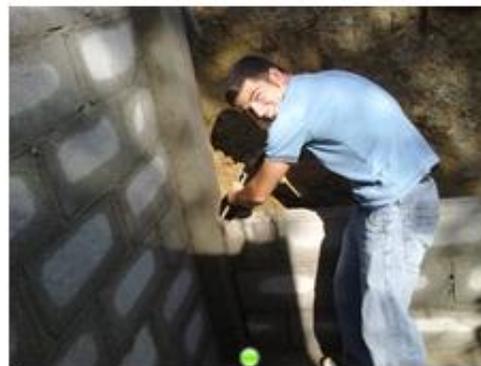
Primeramente realizamos la excavación para los tanques biodigestor y evacuación con las medidas correspondientes.



Luego realizamos los pisos de los tanques de y levantamiento de biodigestor, evacuación y pre-mezcla.



Luego procedemos a levantar las columnas y paredes de los tanques respectivamente.





Ya levantadas las paredes de los tanques correspondientes, procedemos a enlucir las paredes de los tanques.



Después de construidos los tanques correspondientes, procedemos a realizar la excavación de las zanjas las cuales servirán para colocar la tubería y electroválvulas que comunicaran los tanques entre sí.



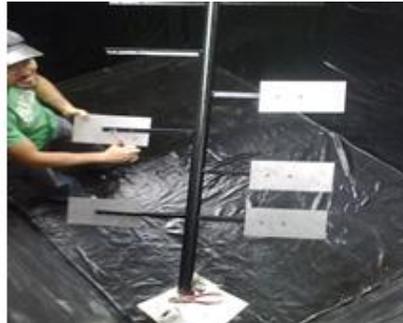
Luego construimos las cajas para proteger las electroválvulas del polvo y lluvia de los tanques de pre-mezcla y evacuación con el biodigestor.



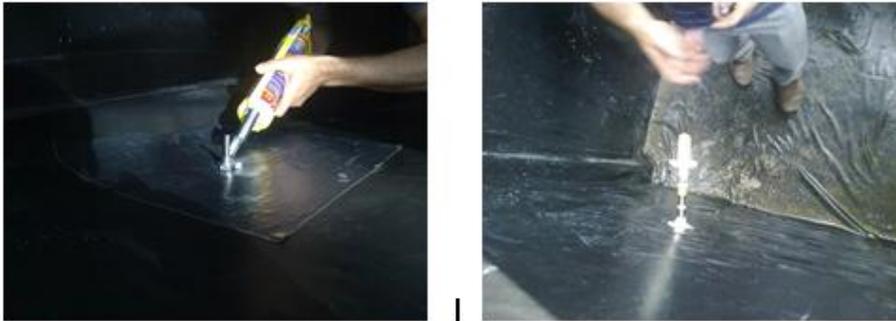
Para concluir con la construcción de la parte física de la planta de biogás nos queda por montar el sistema de agitación.



Una vez construida la parte física de la planta, procedemos a forrar las paredes y piso del tanque biodigestor con geomembrana la misma q nos ayudara para controlar la humedad, como también a hermetizar el mismo.



Una vez cubiertas las paredes del biodigestor con geomembrana se procede a instalar los sensores de nivel, pH y temperatura respectivamente y en la posición correspondiente con el cableado correspondiente.



Luego se recomienda construir un techo para el biodigestor, y así proteger la geomembrana y la parte electrónica y eléctrica de la planta biodigestor del sol, lluvia etc.



Teniendo en cuenta el diagrama de las instalaciones de la parte eléctrica y electrónica realizado el programa en el PLC Twido, y realizada la simulación en Labview de la planta, procedemos a realizar el respectivo montaje.





Concluida la instalación de los equipos electrónicos como eléctricos, procedemos a colocar la cúpula al tanque biodigestor con las salidas para el biogás como para la válvula de seguridad.



Luego instalamos la válvula de alivio de presión y un manómetro en el biodigestor, cuya finalidad es de proteger el mismo de una posibles sobrepresión y visualizar los cambios de presión que pueda darse.



Seguidamente instalamos las cisternas, la una será para el agua el cual servirá para el control de temperatura y la otra para el agua con cal para el control de pH.



Una vez instalada los equipos y materiales de la planta productora de biogás realizamos pruebas de hermeticidad, con ayuda de un compresor y cámara de humo, esto con el propósito de evitar posibles fugas en el reactor.



Una vez realizadas las pruebas de hermeticidad, y controladas las mismas, procedemos a preparar la mezcla de estiércol con agua para llenar el biodigestor.



Una vez concluida con la alimentación del reactor con la mezcla estiércol-agua mediante relación en kg., de 1:2.5 respectivamente, nos queda por esperar la producción del biogás.



ANEXO 2: 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 3: 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

ANEXO 4: TABLA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN SEGÚN LA ISA.

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 Radio activad o proporción	Gradación o impresión
S Velocidad o frecuencia	Switch
T Temperatura	Trasmisor
V Viscosidad	Válvula o regulador
W Peso	Bien
Y	Transmitir o computar
Z Posición	Manejo

ANEXO 5: Tabla f.4 materiales de construcción del biodigestor.

DENOMINACION	CANT	U	PRECIO UNITARIO	TOTAL POR ITEM
Bloque reforzado para pared	700	U	0,51	357,0
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	100	M	0,35	35
Manguera de polietileno de 1/2" para transporte de cable eléctrico	100	M	0,21	21
Plástico transparente calibre 8 para invernadero de 1,5 m de ancho	9	M	2,50	22,50
Geobomb soldadura para geomembrana.	2	Gl.	32,5	65
Llama roja pegamento para poliuretano.	5	Gl.	18,25	91,25
Válvula de alivio de presión.	2	u	19,5	39
Adaptador de tanque hembra-macho	6	u	1,25	7,5
Ligas neumáticas.	1	u	5,00	5,00
Motor eléctrico de 1 HP	1	u	115	115
Reductor de velocidad	1	u	100	100
Eje de acero inoxidable de 1 ½" pulg.,	1	u	180	180
Adaptador de acero para electroválvulas mariposa.	2	u	25	50
Macilla para acero	1	u	6,5	6,5
Silicón sika	2	u	10,5	21
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	1804,75

ANEXO 6: EQUIPOS UTILIZADOS EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL BIODIGESTOR.

ÍTEM	Descripción	Cantidad.	VALOR REF. TOTAL (EN DOLARES)
1	Switch de nivel.	1	611
2	Transmisor, Medidor de PH	1	3008
3	Ensamble sello químico +transmisor de presión.	1	991.70
4	Válvulas --Diámetro 4".	2	728
5	Actuador eléctrico para válvula de 4".	2	1710
8	Válvulas Tipo roscado NPT Diámetro 1/2".	2	317.66
9	Actuador eléctrico para válvula de 1/2".	2	611
10	Autómata programable (PLC). Twido Especificaciones técnicas: BASE UNIT AC,14 IN DC,10	1	925.90
		TOTAL	\$8903.26

ANEXO 7: MONITOREO BIODIGESTOR CBFT-Z (DIAS)

FECHA	TEMPERATURA AMBIENTE °C	TEMPRETURA DEL REACTOR °C	PH
13/09/2011	23,00	21,88	6,65
14/09/2011	22,15	23,57	7,00
15/09/2011	22,24	24,10	6,92
16/09/2011	21,99	25,23	7,02
17/09/2011	22,78	26,16	7,04
18/09/2011	22,35	27,01	7,06
19/09/2011	22,78	28,49	7,04
20/09/2011	22,08	28,33	7,02
21/09/2011	21,87	28,22	7,03
22/09/2011	21,9	28,34	7,08
23/09/2011	23,07	28,75	7,05
24/09/2011	22,71	28,87	7,07
25/09/2011	21,38	29,03	7,06
26/09/2011	24,85	29,39	7,05
27/09/2011	22,99	29,7	7,05
28/09/2011	22,63	29,89	7,03
29/09/2011	24,54	29,98	7,1
30/09/2011	22,46	28,98	7,05
01/10/2011	22,69	29,79	7
02/10/2011	22,22	29,58	7,37
03/10/2011	22,53	29,54	7,06
04/10/2011	23,66	29,65	7,46
05/10/2011	23,1	30,1	7,42
06/10/2011	22,35	30,16	7,39
07/10/2011	22,47	29,98	7,37
08/10/2011	22,34	29,7	7,04
09/10/2011	22,34	29,8	6,95
10/10/2011	22,87	29,6	7,06
11/10/2011	23,06	29,6	7,4
12/10/2011	22,97	30,22	7,01

HA	FEC	TEMPERATURA AMBIENTE °C	TEMPRETURA DEL REACTOR °C	PH
	14/10/2011	22,46	29,09	7,24
	15/10/2011	22,54	29,13	7,22
	16/10/2011	22,55	29,27	7,27
	17/10/2011	22,76	29,92	7,23
	18/10/2011	22,20	29,00	7,23
	19/10/2011	22,59	28,65	7,27
	20/10/2011	22,35	29,67	7,21
	21/10/2011	22,69	28,77	7,18
	22/10/2011	22,37	28,95	7,28
	23/10/2011	22,56	28,57	7,24
	24/10/2011	22,68	28,63	7,30
	25/10/2011	22,59	28,65	7,27
	26/10/2011	22,59	28,65	7,27
	27/10/2011	23,30	28,66	7,26
	28/10/2011	23,44	29,05	7,23
	29/10/2011	24,14	29,10	7,35
	30/10/2011	22,52	29,36	7,32
	31/10/2011	22,59	30,38	7,21
	01/11/2011	22,42	29,99	7,03
	02/11/2011	24,17	28,66	7,35
	03/11/2011	22,99	28,87	7,20
	04/11/2011	22,28	28,65	7,27
	05/11/2011	23,13	29,60	7,26
	06/11/2011	22,01	29,39	7,34
	07/11/2011	23,21	30,01	7,30
	08/11/2011	23,25	29,16	7,26
	09/11/2011	22,59	30,69	7,15
	10/11/2011	24,69	30,76	7,19
	11/11/2011	24,72	30,37	7,31
	12/11/2011	24,85	30,71	7,13

FECHA	TEMPERATURA AMBIENTE °C	TEMPRETURA DEL REACTOR °C	PH
13/10/2011	23,00	31,08	7,15
14/10/2011	23,15	31,57	6,97
15/10/2011	22,84	32,91	7,02
16/10/2011	21,99	33,03	7,11
17/10/2011	22,78	32,36	7,35
18/10/2011	23,35	29,01	7,06
19/10/2011	23,18	28,49	6,64
20/10/2011	22,08	28,33	7,02
21/10/2011	23,17	28,42	6,87
22/10/2011	23,08	28,54	6,68
23/10/2011	22,74	29,05	7,13
24/10/2011	22,71	28,98	7,02
25/10/2011	23,11	29,12	7,22
26/10/2011	22,74	29,37	6,85
27/10/2011	22,66	29,57	6,62
28/10/2011	22,83	29,92	7,01
29/10/2011	23,15	30,18	6,89
30/10/2011	23,46	30,86	6,97
31/10/2011	23,1	31,07	6,72
01/11/2011	23,61	32,19	7,23
02/11/2011	22,89	32,21	7,08
03/11/2011	23,14	32,84	7,23
04/11/2011	22,57	32,65	6,74
05/11/2011	22,62	32,14	6,82
06/11/2011	22,93	32,24	7,1
07/11/2011	22,46	32,13	6,73
08/11/2011	22,34	32,2	6,86
09/11/2011	22,51	32,26	6,95
10/11/2011	22,42	32,51	7,24
11/11/2011	22,63	32,58	7,09
12/11/2011	22,21	32,49	6,78