	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(80)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	LUIS CARLOS NAVARRO ARANGO		
FACULTAD	INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA MECANICA		
DIRECTOR	MARIA ANGELICA ACOSTA PEREZ		
TÍTULO DE LA TESIS	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA Y USO EXPERIMENTAL PARA LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>LA PROPUESTA PLANTEA EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS Y GANADEROS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA, EN LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS, BIOL Y ABONO ORGÁNICO RESULTADO DEL PROCESO DIGESTIVO QUE SE LLEVA A CABO POR MEDIO DE UN GRUPO DE BACTERIAS EN AUSENCIA DE OXIGENO MOLECULAR DENTRO DEL REACTOR, ETAPAS QUE DEBEN ESTAR CONTROLADAS PARA GARANTIZAR UNA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS ESTABLE Y SIN RETRASOS, JUNTO CON PARÁMETROS QUE SE DEBEN MONITOREAR COMO EL PH, LA TEMPERATURA, Y LA AGITACIÓN PARA DARLE UNA HOMOGENIZACIÓN A LA MEZCLA Y UNA CORRECTA ESTABILIDAD AL EFLUENTE DURANTE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 81	PLANOS: 2	ILUSTRACIONES:21	CD-ROM: 1



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA EL
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA Y USO EXPERIMENTAL
PARA LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA.**

LUIS CARLOS NAVARRO ARANGO

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA
OCAÑA
2015**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA EL
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA Y USO EXPERIMENTAL
PARA LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA.**

LUIS CARLOS NAVARRO ARANGO

**Proyecto de grado presentado como requisito para obtener el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
MARÍA ANGÉLICA ACOSTA PEREZ
Msc. Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA
OCAÑA
2015**

A DIOS

Fuente de inmenso poder, dador de vida y de maravillosas bendiciones a quienes nunca pierden la fe y siempre están con él.

A mi madre

Arizolina Arango Causado

Fuente de amor, honestidad y rectitud, sinónimo de humildad, perseverancia y constancia, a ella mi primera Ingeniera, a quien Dios y la Virgen le tiene preparado el Cielo por sus inmensas acciones.

A mi padre

Carlos Jesús Navarro Solano

Hombre de inteligencia desbordante, modelo de ejemplo en muchas de las etapas de su vida, por su apoyo y cariño.

A mi hermana

Katerin Johan Navarro Arango

Mujer de apoyo fiel y de particular amor incondicional, muestra de amor por la familia y batallas superadas.

A ti

Claudia Marcela Velásquez Lemus

Por el tiempo, por los momentos, por las emociones y sentimientos compartidos, por ese amor intangible e inigualable que no se extingue y continua.

Porque nada es imposible para quien tiene fe

AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar presente en cada momento de esta etapa tan fructífera y por las bendiciones preparadas para mí y mi familia.

A la Virgen de Santa Marta, a quien mis suplicas e intenciones iban dirigidas y nunca obtuve un NO como respuesta.

A mi madre por todos sus sacrificios, por sus consejos y por su amor espiritual que fundaron en mí, bases fuerte de vida.

A mi familia, mis hermanos Juan David Navarro Montes, Jazmín Navarro Galvis por los momentos.

A Los Profesores María Angélica Acosta Pérez, Eder Flórez Solano Y Ricardo García León por ser partícipes de esta etapa y llevarla a feliz término.

A mis amigos Luz Neira Gómez Chogo, Jaider Andres Medina Yepes, Edwuar Pérez rojas por lo que se vive en esa familia de diversión, por los detalles y acciones sin esperar jamás algo a cambio.

A Astrid Lemus rincón, por su hospitalidad y por ese apoyo sin límites que la caracterizan junto a sus hijas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1.DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA Y USO EXPERIMENTAL PARA LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA.....	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo general.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 JUSTIFICACIÓN	15
1.5 DELIMITACIONES	16
1.5.1. Delimitación geográfica.....	16
1.5.2. Delimitación conceptual	16
1.5.3. Delimitación operativa.....	16
1.5.4. Delimitación temporal.....	17
2 MARCO REFERENCIAL.....	18
2.1 MARCO HISTORICO.....	18
2.1.1 Antecedentes históricos a nivel mundial.....	18
2.1.2 Antecedentes históricos a nivel nacional	18
2.1.3 Antecedentes históricos a nivel local	18
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	19
2.3 MARCO TEORICO.....	20
2.3.1 Biomasa.....	20
2.3.2 Tipos de biomasa	20
2.3.3 Biogás	21
2.3.4 Disponibilidad de materia prima	23
2.3.5 Proceso de biodigestión	23
2.3.6 Digestión anaerobia.	24
2.3.7 Etapas de la digestión anaerobia	24
2.3.7.1 Etapa hidrolítica	24
2.3.8 Parámetros del proceso	25
2.3.9 Inhibidores de la digestión anaerobia.....	26
2.4 MARCO LEGAL.....	27
2.4.1 Constitución política de Colombia.....	27
2.4.2 Universidad francisco de paula Santander	28
2.4.3 Normas internacionales.....	29

3 DISEÑO METODOLOGICO	30
3.1 FASES DEL PROYECTO.....	30
3.1.1 Fase I. Determinación de la muestra.....	30
3.1.2 Fase II. Selección de equipos y accesorios	30
3.1.3 Fase III. Construcción detallada.....	30
4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL BIODIGESTOR ANAEROBIO	31
4.1 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIA PRIMA A INTRODUCIR EN EL BIODIGESTOR.....	31
4.1.1 Cálculo del volumen de trabajo.	32
4.1.2 Cálculo de volumen para biogás.	33
4.1.3 Cálculo de volumen para mezcla	33
4.1.4 Tiempo de retención de la mezcla.....	34
4.2 SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE CONTROL	34
4.2.1 Medidor de Temperatura.....	34
4.2.2 Medidor de pH	35
4.2.3 Sistema de agitación	36
4.2.4 Medidor de presión	44
4.3 CÁLCULOS DEL TANQUE BIODIGESTOR.....	45
4.3.1 Diseño mecánico del recipiente.	45
4.3.2 Consideraciones del Diseño.....	46
4.3.3 Análisis de falla por fatiga	55
5. CONSTRUCCIÓN	58
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES.....	67
BIBLIOGRAFIA	68
ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Rendimientos de producción de biogás con diferentes Temperaturas vs. Tiempos de retención.....	21
Tabla 2. Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios.	22
Tabla 3. Tiempo requerido para la digestión de lodos a diversas temperaturas.....	25
Tabla 4. Compuestos Inhibidores de la Metano-génesis.....	26
Tabla 5. Aporte de estiércol diario por especie y propiedades químicas determinadas en laboratorio.	30
Tabla 6. Aporte de estiércol diario por especie porcino.....	30
Tabla 7. Aporte de estiércol diario por especie caprino.	31
Tabla 8. Aporte de estiércol diario por especie cunícola	31
Tabla 9. Aporte de estiércol diario por especie avícola	31
Tabla 10. Aspectos del pH.....	34
Tabla 11. Composición del biogás.....	43
Tabla 12. Características del biogás.....	43
Tabla 13. Composición nominal de material de construcción	47
Tabla 14. Eficiencia de la soldadura	48
Tabla 15. Presiones Hidrostáticas	50
Tabla 16. Valores de diseño del biodigestor	50
Tabla 17. Parámetros de diseño	51
Tabla 18. Propiedades de Acero inoxidable.....	54

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Efecto de la temperatura en la digestión anaerobia	24
Figura 2. Equipo multifuncional medición de temperatura y pH	35
Figura 3. Estudio teórico experimental de la agitación.....	36
Figura 4. Mezclado de fluidos	37
Figura 5. Categoría de Juntas Soldadas	48
Figura 6. Grafica para hallar diámetro.....	52
Figura 7. Gráfica de límites de resistencia a la fatiga contra resistencias o la tensión de resultados de ensayos reales de un gran número de hierros forjados y aceros aleados.....	55
Figura 8. Cuerpo cilíndrico del reactor	57
Figura 9. Tapa del tanque y perfiles aseguradores.....	58
Figura 10. Sistema de sellado autoclave.....	58
Figura 11. Guía para el sello hermético	59
Figura 12. Accesorios	59
Figura 13. Soldadura TIG Acero Inox	60
Figura 14. Salidas del Biodigestor.....	60
Figura 15. Mecanizado para el sistema de acople.....	61
Figura 16. Acople de ejes	61
Figura 17. Configuración de las aspas.....	62
Figura 18. Estructura del Motorreductor	62
Figura 19. Acople del sistema de unión de ejes.....	63
Figura 20. Válvula de seguridad y manómetro	63
Figura 21. biodigestor anaeróbico con accesorios. Resultado Final	64

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Eficiencia de las soldaduras	70
ANEXO 2 Selecciones de tipo de cabeza para recipientes a presión.....	71
ANEXO 3. Selecciones de tipo de cabeza para recipientes a presión.....	72
ANEXO 4. Selecciones de tipo de cabeza para recipientes a presión.....	73
ANEXO 5. Prototipo del biodigestor	74
ANEXO 6. Diseño de las paletas	75
ANEXO 7. Planos de Construcción.....	76
ANEXO 8 Análisis de tensión von Mises.....	77
ANEXO 9. Deformación del cilindro	78

INTRODUCCIÓN

La obtención de biogás a partir de desechos y residuos sólidos, como la biomasa en todas sus formas para el aprovechamiento energético de este recurso, que están de forma libre en la naturaleza y que ocupan gran cantidad de volumen y tardan tiempo en degradarse al suelo y devolver los nutrientes que poseen, resulta muy atractiva para estos tiempos donde el calentamiento global y el consumo excesivo de energía por parte de la humanidad hacen que se esté innovando y buscando alternativas de mejoramiento de fuentes de energía limpias y renovables que sean sustentables para la comunidad. Esta práctica ha llevado a un sin número de opciones de desarrollo para el óptimo aprovechamiento de este recurso que parece tan insignificante pero que tiene grandes ventajas en su obtención.

La utilización del biogás como fuente de energía es aprovechada en gran parte por las zonas rurales donde la energía eléctrica no abastece estas áreas, de ahí que el uso que se le da al biogás generado por el proceso anaerobio dentro de los diferentes biodigestores que poseen es directamente utilizado para el consumo casero para las cocinas y en pocos casos para el calentamiento de agua en zonas frías y templadas donde existe un suministro de gas natural en las viviendas. Pero aún no se le da el uso adecuado y se explota el gran potencial que tiene el biogás para la generación de energía eléctrica a través del uso de plantas piloto para el tratamiento del mismo.

¿Lo que se propone? es el estudio de la composición de los diferentes tipos de estiércol y la determinación de pruebas, de que tan eficiente puede resultar la combinación de estas biomasa para la obtención de biogás con un elevado porcentaje de metano de cada una de las mezclas que se puedan realizar dentro del biodigestor de uso experimental, de ahí que cada uno de los parámetros que afectan la producción de biogás estén controlados desde el principio para una determinación correcta de los resultados.

Considerando el beneficio que se puede obtener a partir de la producción de biogás por medio de biodigestores, es determinante conocer las características de biodigestores anaeróbicos, su utilización, sus ventajas y desventajas, las propiedades de la materia prima necesaria para su funcionamiento, los parámetros ligados al proceso anaeróbico, entre otros; buscando así realizar pruebas que determinen las características biológicas de la materia prima a utilizar (excretas de vacuno) que junto con la puesta en marcha de un biodigestor a escala de laboratorio en la granja experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander permitirán obtener biogás, lixiviado y compostaje para su posterior análisis permitiendo conocer la calidad de las excretas presentes en la granja experimental y así poder aprovechar la materia orgánica a gran escala.

1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA Y USO EXPERIMENTAL PARA LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La búsqueda de alternativas energéticas de origen renovable y la disminución de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición de desechos orgánicos hacen del biogás una prometedora alternativa para la sustitución de combustibles fósiles y para la valorización energética de residuos orgánicos en zonas urbanas, rurales y agroindustriales. El biogás es una fuente de energía alternativa atractiva debido a que presenta una disponibilidad energética descentralizada, en tanto que su producción es posible siempre que existan fuentes de origen orgánico. El potencial para el aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas es muy grande; sin embargo, actualmente la producción de energía a partir del biogás se limita a la producción de energía necesaria para la cocción e iluminación de las viviendas. Así mismo, la generación de energía a partir del biogás se practica en muy pocos sitios, y la potencia generada normalmente no supera los 180 kW¹.

La producción de residuos sólidos, resultado de las actividades ganaderas y agrícolas en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por parte de la granja experimental, es un recurso que podemos utilizar para la generación de energías limpias y renovables a través del proceso anaeróbico que ocurren dentro de los biodigestores para la generación de biogás y subproductos que a su vez son recursos que provienen de la naturaleza y se regresan a la naturaleza, además ofrecen un alto contenido de materia orgánica para la producción de metano, producción de compostaje y fertilizante natural llamado biol, siendo estos últimos utilizados como mejoradores y restauradores de los suelos además de contener microorganismos que enriquece la Flora. La variedad de especies bovina, porcina, avícola, cunícola, caprina existentes en la Granja generan diariamente una carga residual que siendo utilizada correctamente estaríamos haciendo uso de su potencial como fuente generadora de energía y a su vez proporcionando a la región, al país el uso y el incentivo de estos recursos como energías alternativas al uso excesivo de los combustibles fósiles.

En Colombia el aumento en el uso de fuentes renovables de energía ha sido de 1,5% para los últimos seis años. Este potencial de generación de energía se encuentra representado en un alto porcentaje por la biomasa, y específicamente por los desechos forestales y agropecuarios. La producción de biogás a partir de esta materia prima es una práctica que tiene en el país cerca de treinta años. Inicia con la instalación masiva de digestores para procesar residuos orgánicos animales y vegetales con el fin de producir la energía necesaria para atender las necesidades básicas del sector rural. A partir del desarrollo de dicha iniciativa se han instalado en el país digestores de este tipo con resultados satisfactorios, los cuales tienen la capacidad de procesar diferentes tipos de residuos orgánicos y se encuentran ubicados en granjas pequeñas.

¹ MANTILLA GONZALES, Juan Miguel: Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno.2011

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El diseño y la construcción del biodigestor ayudarían a minimizar la cantidad de residuos orgánicos producidos por los animales de la granja experimental de la UFPSO?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Diseñar y construir un biodigestor anaeróbico para el aprovechamiento energético de la biomasa y uso experimental.

1.3.2 Objetivos específicos. Calcular la capacidad de mezcla representativa a introducir en el biodigestor.

Seleccionar los elementos necesarios para la medición y control de los parámetros del proceso anaeróbico.

Construir el biodigestor con las características adecuadas que garanticen la hermeticidad y el correcto funcionamiento de los elementos dispuestos para su uso.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Las energías alternativas provienen de recursos que están relacionados con los ciclos naturales del planeta, haciendo posible que se disponga del recurso de manera permanente. De acuerdo a lo que corresponde a este tipo de energía en la zona oriente de Colombia se han desarrollado pocos proyectos de generación de energía, a través de la utilización de los residuos agrícolas y ganaderos que sean capaces de suministrar a la red nacional un aporte significativo a su consumo anual de electricidad. Esta región posee fuentes de generación de energía a través del carbón y los cultivos energéticos para el desarrollo de biocombustibles, pero escasea el uso de fuentes de energía renovables de manera que contribuya al abastecimiento energético del país, los proyectos que se han realizado en materia de fuentes renovables se focalizan en zonas rurales para el propio sostenimiento e incluso para el aporte eléctrico donde la red nacional no llega, o lo que se conoce como las zonas no interconectada de Colombia, dado que esta región del país es un territorio donde las principales actividades económicas depende de la agroindustria entre ellas la palma de aceite, forestales como pino, patula, bosques cafeteros y cacaoteros, de todas estas actividades se generan de acuerdo a su capacidad cultivada residuos de biomasa para su utilización en la extracción de su potencial energético. Estas son alternativas ciertas para zonas rurales aisladas, dada la inviabilidad económica de llevar servicios de energía por medio de redes de interconexión y por la potencial natural de energías renovables en estas zonas. Hacer llegar la red eléctrica a zonas rurales suele ser muy costoso y no es factible en

Zonas rurales aisladas, o es poco probable que se logre en el medio plazo en muchas áreas. En tales situaciones, la electricidad con micro-redes puede producir la energía para hogares, escuelas y empresas locales. El agotamiento de las fuentes tradicionales de energía (combustibles fósiles) ha

puesto a la mayoría de países del mundo a encontrar soluciones en energías alternativas. Colombia tiene un gran potencial en la generación de este tipo de energías por su posición geográfica y ya está trabajando en ello. Las energías alternativas o renovables son las que se aprovechan directamente de recursos considerados inagotables como el sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor interior de la tierra.

Por un lado, el país cuenta con una política de fomento al uso racional y eficiente de la energía y promoción de la utilización de las energías alternativas, definida en la Ley 697 de 2001 y reglamentada mediante una serie de normas, que incluyen el Decreto 2688 de 2008 (modificatorio del 3683 de 2003), el cual define la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía, CIURE, como una instancia de asesoramiento y apoyo para el Ministerio de Minas y Energía. El objetivo del Programa PROURE, es promover el Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, que contribuya a asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el ambiente y los recursos naturales. La nueva ley 1715 de 2014 promueve el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía renovable “FNCER” (y no renovable), así como al fomento de la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía; la eficiencia energética y la respuesta de la demanda en el marco de la política energética nacional. En particular se concentra en el desarrollo de: energía procedente de biomasa forestal; repoblación forestal energética; biomasa agrícola; energía de residuos; energía solar; energía eólica; energía geotérmica; pequeños aprovechamientos hidroeléctricos y energía de los mares².

Con todo esto es viable tener la participación y contribución al uso racional y a la generación de energía utilizando los residuos orgánicos provenientes de la granja experimental de la Ufpso sede algodonal, junto a ello la generación de subproductos que se restituyen a la tierra como los son el biol y el compostaje resultado del proceso anaeróbico realizado en el biodigestor.

1.5 DELIMITACIONES

1.5.1. Delimitación geográfica. El proyecto se realizará en la ciudad de Ocaña norte de Santander, para la universidad francisco de paula Santander Ocaña, en la granja experimental ubicada en la sede el algodonal.

1.5.2. Delimitación conceptual. Los términos que definen la conceptualización del proyecto son los siguientes: anaerobio, bacterias anaeróbicas, biodigestor, biogás, demanda química de oxígeno (dco), digestión anaeróbica, efluente, energía alternativa, estequiometría, excreta, hidrólisis, metanogénesis, pH, pH-metro, temperatura, termocupla.

1.5.3. Delimitación operativa. El proyecto se desarrollara con base a su estructura y parámetros del documento, si en el proceso investigativo existe algún cambio que modifique su contenido será

² OBSERVATORIO DE JUSTICIA AMBIENTAL. El comienzo del aprovechamiento de energías renovables en Colombia [en línea]. <<http://ojambiental.org/2014/11/04/el-comienzo-del-aprovechamiento-de-energias-renovables-en-colombia>> [citado en 4 febrero de 2015]

consultado con el director del proyecto y las personas que cooperan en la investigación, con el fin de cumplir los objetivos.

1.5.4. Delimitación temporal. El presente proyecto investigativo tendrá una duración aproximada de 10 semanas a partir de la fecha de aprobación del anteproyecto, como se muestra en el cronograma de actividades.

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO HISTORICO

2.1.1 Antecedentes históricos a nivel mundial. Durante este proceso investigativo en la selección, clasificación y recopilación de información sobre temas relacionados con el desarrollo propuesto se encontraron publicaciones extranjeras donde se evidencia la ejecución de proyectos tangibles y a su vez publicaciones de artículos y documentos a nivel científico.

Biodigestor anaerobio de laboratorio, realizada por Javier Ocaña Pérez Cerda, Universidad Carlos III de Madrid, Leganes, 2011.

Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales, realizado por Antonio Guevara Vera, centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente, lima, 1996.

Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca estado de México, realizado por Juan Carlos Doroteo Otlica, México 2012

Desarrollo metodológico para el análisis de la viabilidad de un proyecto de micro generación, realizado por Iván Vera Romero, universidad nacional Autónoma de México, México, 2011

Diseño de un biorreactor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación Tunshi-Espoch, realizado por Edwin Sebastián Lara Guilcapi, María Belén Hidalgo Chimborazo, escuela superior politécnica de Chimborazo, Ecuador,2011.

2.1.2 Antecedentes históricos a nivel nacional. Siguiendo con la documentación realizada para compilar la información, se obtuvieron pocos resultados de documentos de artículos publicados en revistas nacionales, tesis de pregrado dentro de los cuales se citan los siguientes:

Estudio de factibilidad técnica y financiera de utilización de biomasa para suplir necesidades energéticas en el edificio bienestar universitario, realizado por Nelson Andrés Rodríguez Miranda, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,2010.

Fundamentos para el diseño de biodigestores realizado por Yesón Olaya arboleda, universidad nacional de Colombia sede Palmira, 2009

2.1.3 Antecedentes históricos a nivel local. En la ciudad de Ocaña actualmente no existen reseñas, antecedentes o artículos sobre el diseño y la construcción de un biodigestor tipo experimental, pero se reconoce que en algunas partes de la región se cuentan con biodigestores tipo bath, hindu que son utilizados para el suministro y consumo propio.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Aerobio: Se aplica al proceso que se desarrolla con presencia de oxígeno.

Anaerobia: Se aplica al proceso que se desarrolla en ausencia de oxígeno libre

Bacterias anaeróbicas: Son los organismos que no utilizan oxígeno en su metabolismo, y que probablemente pueda reaccionar negativamente o incluso morir en la presencia de oxígeno.

Biodigestor: Es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita material orgánico a fermentar en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca biogás

Biogás: Típicamente se refiere a un gas producido por la descomposición biológica de la materia orgánica en la ausencia de oxígeno. Es un tipo de gas que es producido por la digestión anaeróbica debido a la fermentación de materiales biodegradables tales como biomasa, estiércol, aguas negras y materiales vegetales.

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

Digestión anaeróbica: Es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno

Hidrólisis: Descomposición de sustancias orgánicas e inorgánicas complejas en otras más sencillas por acción del agua

Metanogénesis: Es la formación de metano por microbios. Es una forma de metabolismo microbiano cuyo paso final es la descomposición de la biomasa. Los organismos capaces de producir metano viven usualmente en asociación directa con bacterias anaeróbicas

pH: Se refiere a la medida de la acidificación o de una solución. Se aproxima pero nunca es igual a $p[H]$, el logaritmo negativo de la concentración molar de iones hidrógeno disueltos. Un bajo pH indica una alta concentración de iones hidrógeno, mientras que un pH alto indica una baja concentración.

pH-metro: Aparato que consta de un electrodo que mide el diferencial de potencial dentro de una muestra y que se utiliza para medir la cantidad de iones hidrógeno en el agua

Poder calorífico: es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.

Polietileno: Es un polímero de cadena lineal no ramificada. Químicamente es el polímero más simple.

Reactor: Es un confinamiento donde se lleva a cabo la descomposición de forma anaeróbica de la biomasa, produciendo así el biogás.

Recurso renovable: Son aquellos recursos cuya existencia no se agota con su utilización, debido a que vuelven a su estado original o se regeneran

Termofílico: Se dice que un biodigestor es tipo termofílico, cuando dentro de su reactor se alcanzan temperaturas entre el rango de los 35°C y 60°C.

Tiempo de retención: Es el tiempo calculado de permanencia de materia útil adentro de un reactor para que este pueda ser degradado mediante la acción de las bacterias anaerobias.

Válvula de alivio: Son válvulas diseñadas para liberar fluido cuando la presión interna supera el umbral establecido.

2.3 MARCO TEORICO

2.3.1 Biomasa. La biomasa para fines ecológicos es la materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o volumen; mientras que para fines energéticos, se define como la materia orgánica originada de un proceso biológico, ya sea espontaneo o provocado, utilizado como fuente de energía.

En general cualquier sustrato puede ser utilizado como biomasa en cuanto contengan carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa y hemicelulosa como componentes principales.

Para seleccionar la biomasa se deben tener en cuenta los siguientes puntos.

- ✓ El contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.
- ✓ El valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende se busca que sea lo más alto posible.
- ✓ El sustrato debe estar libre de agentes patógenos que puedan inhibir el proceso de fermentación.
- ✓ El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación.
- ✓ Es importante que el resultado final del sustrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás) sea un desecho utilizable como por ejemplo fertilizante³

2.3.2 Tipos de biomasa. La biomasa puede subdividirse en biomasa residual húmeda y seca. Dentro de la biomasa residual húmeda se encuentran todos los residuos provenientes del tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, el estiércol porcino y vacuno. La biomasa seca se clasifica según el sector productivo que la emite, este tipo de biomasa puede incluir residuos forestales de la industria maderera, residuos agroindustriales de la producción de alimentos, residuos de plantaciones, residuos de poda y maleza, residuos de mataderos, aceites y grasas, lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales (industriales y residenciales), residuos sólidos urbanos y estiércol avícola⁴.

³ PEREZ MEDEL, Javier andrés: Estudio y diseño de un Biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Mexico, 2010.

⁴ Biomass users network, BUN-CA. Manuales sobre energía renovable: Biomasa. 2002

2.3.3 Biogás. El biogás es un producto proveniente de ciertos fenómenos naturales que pueden darse sin la intervención del hombre. La principal característica para que este gas se produzca, es que debe estar en ausencia de oxígeno. El nombre de biogás, se deriva principalmente porque proviene de la biodegradación de materia orgánica a través de procesos anaerobios, este sistema se lleva a cabo por la interacción de los microorganismos en el interior de la materia orgánica. Este biogás, está compuesto principalmente por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), y por otros gases en menor proporción. Este gas posee un poder calorífico suficiente como para sustituir otros combustibles. El biogás puede emplearse en la generación de energía eléctrica, calefacción, cocción de alimentos, evaporación de agua, hornos, estufas, secadores, calderas y otros sistemas de combustión.

La biodegradación produce un residuo orgánico prácticamente inerte, el cual posee características similares a los fertilizantes de origen químico, sin embargo, el bio-fertilizante obtenido es de cero costos si se considera que es un subproducto. Con un poder calorífico que va entre 18,000kJ/kg a 25,000kJ/kg, en algunos casos y dependiendo el origen de la materia orgánica, este valor puede aproximarse a los 30,000kJ/kg. Sin embargo, los sistemas de filtrado y eliminación del CO₂ hacen que el poder calorífico aumente y se llegue a tener un gas con alto poder calorífico similar al del gas natural

2.3.3.1 Primeros usos del biogás. Los primeros indicios de la utilización de biogás data antes del siglo XX cuando era quemado para dar iluminación en Inglaterra, sin embargo con la explotación del petróleo crudo y sus derivados a gran escala, a partir de los años de 1930 el uso del biogás se dejó a un lado por mucho tiempo. Debido a la crisis a mediados de 1970 el uso del biogás se intensificó y hoy en día representa una forma de sustentabilidad para campesinos y ganaderos en muchas partes del mundo, principalmente en China, India, Estados Unidos, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, Filipinas y Alemania.

2.3.3.2 Características del biogás. El biogás presenta algunas características que deben ser tomadas muy en cuenta cuando se pretenda sustituir este energético por uno convencional, ya que sus propiedades lo hacen exclusivo en su uso, y deben de tomarse en cuenta las modificaciones a los quemadores y/o motores donde se lleve a cabo la combustión, salvo las micro turbinas las cuales están diseñadas para trabajar con biogás⁵.

En cuanto a la sustitución se refiere, se debe tomar en cuenta también, que el biogás es un gas equivalente y solo se puede sustituir comparativamente con el energético a reemplazar, por lo que el biogás no tiene un costo de extracción, transporte y distribución, que pueda comercializarlo (hasta el momento).

2.3.3.3 Rendimientos de producción de biogás. En cuanto a la producción de Biogás, se debe tomar en cuenta que la producción depende de variables tales como:

- Temperatura ambiente

⁵ VERA ROMERO, Iván: desarrollo metodológico para el análisis de la viabilidad de un proyecto de micro generación. México, 2011.

- Temperatura interna del biodigestor
- Altura del lugar
- Material de alimentación (sustancia orgánica)
- Relación de sólido/líquido
- Acidez
- Tóxico
- Agitación

De las cuales solo dos de ellas se consideran fáciles de controlar, tales como, la temperatura interna del biodigestor y la relación de sólido/líquido. Por otra parte, las demás variables, difícilmente se pueden cambiar, por lo que se toman como constantes en la evaluación de un sistema de generación de biogás y es el diseño el que se tiene que adaptar a las variables de su entorno.

Por tal razón, ninguna planta de biogás se puede construirse de la misma manera, y aunque así fuera, los rendimientos en la producción de biogás no pueden ser los mismos para diferentes condiciones. Las variables que hasta el momento se consideran las más importantes son la temperatura interna del biodigestor y el pH, ya que estas definen la cantidad de biogás producido y el tiempo de retención de la materia orgánica dentro del biodigestor⁶. Los tiempos de residencia pueden variar entre 10 días y 70 días, haciendo con esto que algunos biodigestores pequeños obtengan las mismas eficiencias que biodigestores más grandes para la misma cantidad de sólidos orgánicos depositados diariamente.

En la siguiente tabla se muestran las temperaturas, el tiempo de retención y la eficiencia de biogás.

Tabla 1. Rendimientos de producción de biogás con diferentes Temperaturas vs. Tiempos de retención.

Temperatura °C	Tiempo de retención Días	Eficiencias $m^3 \text{Biogás} / m^3 \text{Digestor}$	Calefacción SI/NO
10 - 25	50 - 70	0.01 - 0.30	NO
30 - 40	20 - 30	0.7 - 1.00	SI
40 - 55	10 - 20	1.00 - 2.00	SI

Fuente: J. Luis Magaña R⁷

La producción del biogás hasta el momento se ha llevado a cabo mediante residuos orgánicos urbanos así como excretas de animales principalmente de granjas y casas, tales como:

- Vacuno
- Porcino
- Conejos

⁶ Manual de biogás: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. Chile, 2011.

⁷ Producción de Biogás a Nivel Laboratorio Utilizando Estiércol de Cabras, agosto, 2006

- Pollos
- Entre otros

Sin embargo, existen pocos estudios donde se involucren la generación de biogás a través de excretas de origen humano. A pesar de ello la generación de biogás de esta forma permitiría disminuir los contaminantes vertidos a los afluentes locales, así como los olores producidos por la descomposición en las tuberías del drenaje. La generación de biogás a través excretas humanas disminuiría al mismo tiempo los consumos de gas natural o gas LP en zona habitacionales u hoteles. Por lo que no se descarta su aplicación más extensa en un futuro. El biogás se obtiene a través de un proceso de digestión anaeróbica, la cual se considera la forma más sencilla y segura de dar tratamiento a los excrementos de animales y humanos. Además de ser una fermentación natural que forma parte del ciclo biológico, por lo que los residuos se consideran no contaminantes.

2.3.4 Disponibilidad de materia prima. Las materias primas fermentables son muy abundantes ya que se incluyen dentro de un amplio panorama a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas⁸. A modo ilustrativo se expone directamente en la tabla 2 las cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles.

Tabla 2. Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios.

Especie.	Peso vivo.	Kg Estiércol/día.	% CH ₄ .
Cerdos.	50	4,5 -6	65 -70
Vacunos.	400	25 – 40	65
Equinos.	450	12 – 16	65
Ovinos.	45	2,5	63
Aves.	1.5	0,06	60
Caprinos.	40	1,5	-

Fuente: Hidalgo, Bonilla, José

2.3.5 Proceso de biodigestión. El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y eliminación de residuos. La población microbiana juega un importante papel en las transformaciones de estos residuos orgánicos especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la

⁸ OLAYA ARBOLEDA, Yeison: fundamentos para el diseño de biodigestores. Colombia, 2009.

molécula de oxígeno, componente universal de las células. Esto permite establecer bio-procesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar adecuadamente diversos residuos orgánicos

2.3.6 Digestión anaerobia. Es un proceso biológico en el cual la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en biogás (CH₄, CO₂, H₂, H₂S, etc.) que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación. El proceso de digestión anaerobia se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado. Los lodos se introducen en el reactor continuo, intermitente o discontinuo y son retenidos en el mismo durante periodos de tiempos variables. El lodo estabilizado, que se extrae continua o intermitentemente del proceso, no es putrescible y su contenido patógeno es bajo.

2.3.7 Etapas de la digestión anaerobia

2.3.7.1 Etapa hidrolítica. Consiste en la degradación de moléculas orgánicas complejas como lípidos proteínas ácidos grasos constituyentes de la biomasa, originando moléculas más simples. En esta etapa, la materia orgánica se encuentra normalmente en estado sólido. Las bacterias que producen la hidrólisis pueden ser anaerobias estrictas o facultativas, son muy numerosas, se desarrollan espontáneamente en el medio cuando las condiciones son favorables, o bien pertenecen a la flora de la sustancia orgánica a digerir.

Realizan un amplio espectro de actividades enzimáticas sobre los polímeros orgánicos, desdoblándolos en los correspondientes monómeros o fragmentos más sencillos. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no solo radica en el hecho que producen el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además, eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema.

2.3.7.2 Etapa acidogénicas. Los compuestos solubles obtenidos de la etapa anterior se transforman en ácidos grasos de cadena corta (ácidos grasos volátiles), esto es, ácido acético, propiónico, butírico y valérico, principalmente y en menor proporción, anhídrido carbónico e hidrógeno⁹. Estas bacterias son altamente resistentes a variaciones en las condiciones ambientales. Por ejemplo, aunque el pH óptimo para el desarrollo de su actividad metabólica es 5-6, los procesos anaerobios generalmente son conducidos a pH 7, y aún en estas condiciones su actividad metabólica no decae.

2.3.7.3 Etapa acetogénicas. Durante esta etapa actúan las bacterias productoras de hidrógeno, las cuales producen ácido acético junto con CO₂ y H₂ a partir de ácido propiónico, butírico o de cadena más larga. A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaerobias han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, han de eliminar sus propios

⁹ MOSQUERA CALLE, Jhon Mario: evaluación de la digestión anaerobia como alternativa de estabilización de biosólidos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la universidad tecnológica de Pereira. Colombia, 2012.

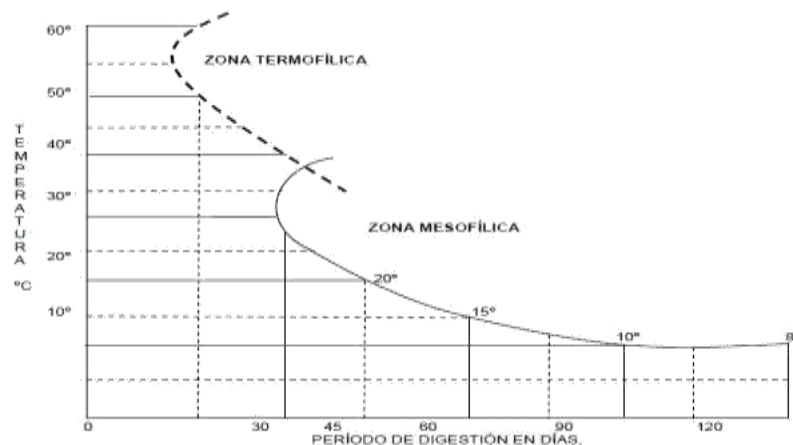
productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente.

2.3.7.4 Etapa metanogénicas. Constituye la etapa final del proceso, en el que compuestos como el ácido acético hidrogeno y dióxido de carbono son transformados a CH₄ y CO₂. Se distinguen dos tipos principales de microorganismos, los que degradan el ácido acético (bacterias metanogénicas-acetoclásicas) y los que consumen hidrogeno (metanogénicas- hidrogenófilas). La principal vía de formación del metano es la primera, con alrededor del 70% del metano producido, de forma general.

2.3.8 Parámetros del proceso

2.3.8.1 Temperatura. Dado que la digestión anaerobia es un proceso lento, con frecuencia es necesario aplicar calor para acelerar las reacciones bioquímicas implicadas¹⁰. La digestión “en frío” o la digestión psicrófila operan a temperaturas bajo 20°C. La mayoría de los digestores convencionales funcionan en la gama mesofílica (Figura 1), es decir, entre 12 y 35°C, optimizándose el proceso entre los 29 y 33°C. Ambas poblaciones anaerobias psicrófila y mesofílicas son encontradas de manera natural, en los sedimentos inferiores de los lagos y zonas pantanosas.

Figura 1. Efecto de la temperatura en la digestión anaerobia



Fuente: (Rodríguez, 2010)

2.3.8.2 Concentración De Sólidos. La contaminación que se le quita a las aguas residuales es arrastrada por los lodos, ya sea íntegramente (lodo primario) o parcialmente (lodo activado). En consecuencia, el lodo residual, puede llegar a contener entre un 1 y 10% de sólidos, siendo el resto agua, conteniendo en él una gran cantidad de materia orgánica biodegradable. Los productos residuales del proceso serán sólidos inorgánicos, líquidos y gases. Los líquidos deberán ser

¹⁰ MOSQUERA CALLE, Jhon Mario: evaluación de la digestión anaerobia como alternativa de estabilización de biosólido producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la universidad tecnológica de Pereira. Colombia, 2012.

recirculados al proceso de tratamiento del agua con el objeto de disminuir el volumen del lodo de salida de la digestión, no es recomendable obtener concentraciones de sólidos que exceda el 10%, ya que tales lodos son viscosos y difíciles de bombear.

2.3.8.3 pH. Los organismos que intervienen en cada fase son diferentes, y debe establecerse un equilibrio entre la producción de ácidos y su regresión, para que ambos tipos de organismos puedan coexistir dentro del digestor y encuentren las posibilidades ambientales para su desarrollo. Concretamente, los organismos productores de ácidos y por consiguiente, el proceso de digestión suele interrumpirse por el decaimiento de los organismos productores de metano debido a algún cambio ambiental que les hace menos viables.

Esta es la razón de que el pH del lodo en digestión sea indicio de que la digestión se está realizando en condiciones adecuadas, ya que, si los organismos productores de metano son inhibidos o destruidos, no se degradan los ácidos producidos y el pH dentro del digestor disminuirá progresivamente. Por debajo de pH 6.2 la supervivencia de los microorganismos productores de metano es imposible y, por consiguiente, cuando en un digestor se alcanza este pH, la digestión puede considerarse como interrumpida.

2.3.8.4 El Tiempo Y La Temperatura. El tiempo necesario para la estabilización de los lodos es función de la temperatura de digestión (tabla 3). En la gama de las temperaturas de 14°C a 65 °C, las bacterias ordinarias o mesófilas mantienen su actividad hasta los 35°C; a partir de este momento, dejan paso a las bacterias que se adaptan más al calor, razón por la que se les llama termófilas.

Tabla 3. Tiempo requerido para la digestión de lodos a diversas temperaturas

Concepto	Digestión mesofílica				
Temperatura °C	10	13	21,1	26,7	32,2
Periodo de digestión , días	75	56	42	30	25

Fuente: (metcatt & Eddy, 2002)

2.3.9 Inhibidores de la digestión anaerobia

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo. Cuando es demasiado alta la concentración de ácidos volátiles (más de 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 ppm para la termofílica) se inhibirá la digestión, igualmente cuando el Nitrógeno se encuentra en exceso puede producir amoníaco, el cual en grandes cantidades es tóxico, destruye las bacterias e inhibe el proceso ocasionado cambios de pH intracelular, acumulación de ácidos grasos volátiles provocando una reducción del pH. Los inhibidores de la metanogénesis son:

2.3.9.1 Cationes Y Metales Pesados. Los cationes de metales alcalinos y alcalinotérreos tienen un efecto estimulador de la actividad de las bacterias a bajas concentraciones. A partir de un nivel de concentración, pueden proporcionar toxicidad provocando una disminución de la velocidad de crecimiento. La toxicidad de los cationes aumenta con el peso molecular, por lo que los metales

pesados son los que provocan toxicidad a menor concentración. El orden de toxicidad de los metales pesados es Ni>Cu>Cr (IV) ≈ Cr (III)> Pb>Zn.

2.3.9.2 Hidrogeno. El hidrogeno es también un compuesto intermedio importante del proceso anaerobio. Su acumulación en el medio, provoca la inhibición de la acetogénesis y, consecuentemente, la acumulación de ácidos grasos volátiles con más de dos átomos de carbono.

2.3.9.3 Nitrógeno amoniacal. Durante el proceso anaerobio, el nitrógeno orgánico es hidrolizado dando lugar a formas amoniacales. Aunque el nitrógeno amoniacal es un nutriente importante para el crecimiento bacteriano, una concentración excesiva puede limitar su crecimiento.

2.3.9.4 Sulfatos y sulfuros. La presencia de elevadas concentraciones de sulfato en el sustrato puede producir la inhibición del proceso anaerobio, especialmente del metano-génesis. En presencia de sulfatos, las bacterias Metanogénicas compiten con las sulfato-reductoras por los mismos sustratos (acetato e hidrógeno), mostrando éstas últimas ventajas termodinámicas y cinéticas sobre las primeras. El resultado de esta competición determinará la proporción de sulfhídrico y metanos en el biogás producido, estos y otros compuestos inhibidores se describen en la tabla 4.

Tabla 4. Compuestos Inhibidores de la Metano-génesis

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO ₄	5000 ppm
NaCl	40000 ppm
Nitratos (según contenido de nitrógeno)	0,05 mg/L
Cu	100 mg/L
Cr	200 mg/L
Ni	200 – 500 mg/L
Na	3500 – 5500 mg/L
K	2500 – 4000 mg/L
Ca	2500 – 4000 mg/L
Mg	1000-1500 mg/L

Fuente: Gene (1986)

2.4 MARCO LEGAL

Las bases legales que sustentan este proyecto están contempladas en la Constitución Política de Colombia, en la Universidad francisco de Paula Santander Ocaña y las normas internacionales que se mencionan a continuación.

2.4.1 Constitución política de Colombia. Artículo 71. La búsqueda del conocimiento y la expresión artística son libres. Los planes de desarrollo económico y social incluirán el fomento a las ciencias y, en general, a la cultura. El Estado creará incentivos para personas e instituciones que

desarrollen y fomenten la ciencia y la tecnología y la demás manifestaciones culturales y ofrecerá estímulos especiales a personas e instituciones que ejerzan estas actividades¹¹.

2.4.2 Universidad francisco de paula Santander. Acuerdo 065 de 1996. El cual establece el estatuto estudiantil que es el regente actual en la institución.

Artículo 140. El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado:

a. Proyecto de Investigación

- ✓ Monografía
- ✓ Trabajo de Investigación: Generación o aplicación de conocimientos
- ✓ Sistematización del conocimiento.

b. Proyecto de Extensión.

- ✓ Trabajo social
- ✓ Labor de consultoría en aquellos proyectos en los cuales participe la Universidad.
- ✓ Pasantía
- ✓ Trabajo dirigido

PARÁGRAFO 1. El estudiante podrá optar como componente alterna al proyecto de grado, créditos especiales como cursos de profundización académica o exámenes preparatorios.

PARÁGRAFO 2°. Para algunos Planes de Estudio y de acuerdo a sus características el Consejo Académico podrá obviar la presentación del trabajo de grado.

Artículo 141. El proyecto de grado incluye las siguientes etapas:

- a. Presentación del anteproyecto o plan de trabajo según corresponda a la modalidad del proyecto seleccionado.
- b. Desarrollo de la investigación o ejecución física del proyecto.
- c. Sustentación de la investigación y/o verificación o aval de la realización del proyecto.

PARÁGRAFO. Para todas las modalidades de proyecto de grado, el estudiante deberá presentar un informe final avalado por su director.

Artículo 142. Las condiciones y procedimientos para la presentación, desarrollo y evaluación de cada una de las modalidades de trabajo de grado, o sus componentes alternas, harán parte de la reglamentación específica de cada facultad, para cada plan de estudios.

PARÁGRAFO. La Universidad incorporará los trabajos de grado, como componente básico de su hacer y creará bancos de proyectos en los Departamentos Académicos y en la Vicerrectoría Asistente de Investigación y Extensión.

¹¹ Constitución política de Colombia

2.4.3 Normas internacionales.

Protocolo De Kioto. El Protocolo de Kioto establece, reducir el total de sus emisiones de GEI (Gases Efecto Invernadero) a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso, comprendido entre el año 2008 y el 2012. Para cumplir con el mismo se establecieron además de las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero en Cada país, y del comercio de emisiones, otros mecanismos como la Aplicación Conjunta (AC) y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Tras la ratificación por parte de Rusia en septiembre de 2004 el Protocolo de Kioto se convierte en Ley internacional. Este mecanismo ofrece a los gobiernos y a las empresas privadas de los países industrializados la posibilidad de transferir tecnologías limpias a países en desarrollo, mediante inversiones en proyectos de reducción de emisiones o sumideros, recibiendo de esta forma certificados de emisión que servirán como suplemento a sus reducciones internas.

Un proyecto en el marco del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL o CDM en inglés) es un proyecto de reducción de emisiones o secuestro de carbono que se lleva a cabo en un país en desarrollo.

3 DISEÑO METODOLOGICO

El tipo de investigación del proyecto es cualitativo exploratorio, ya que es un tema que se encuentra poco estudiado en nuestro ámbito pero se aborda la idea de que se tengan en cuenta los requerimientos, piezas, funciones, fabricación y todo lo que conlleve a un diseño muy acercado a la realidad y por ende poder en el momento de la construcción materializar las ideas que en este se proponen.

Este proyecto se ha basado en una investigación cualitativa¹², haciendo una descripción¹³ detallada de la situación, apoyada en la recolección de datos y buscando la aplicación de los conceptos adquiridos en un área específica, tal como el diseño de elementos de máquinas y la resistencia de materiales que ayuden a resolver y/o dar solución a los objetivos específicos propuestos.

3.1 FASES DEL PROYECTO

3.1.1 Fase I. Determinación de la muestra. En esta fase se cumplirá con el primer objetivo específico de Calcular la capacidad de mezcla representativa a introducir en el biodigestor, realizando los cálculos matemáticos sobre la muestra selectiva a estudiar

3.1.2 Fase II. Selección de equipos y accesorios. En esta fase se cumple con el segundo objetivo específico que es Seleccionar los elementos para la medición y control de los parámetros del proceso anaeróbico, con el fin de optimizar el desarrollo del proceso.

3.1.3 Fase III. Construcción detallada. En esta última fase se da cumplimiento al tercer objetivo específico que es Construir el biodigestor con las características que garanticen la hermeticidad y el correcto funcionamiento de los elementos dispuestos para su uso

¹² HERNANDEZ, Roberto. Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill, 5ta ed. 2010

¹³ CALDERON, Héctor. Lecturas básicas de metodología de la investigación. México: McGraw-Hill. 2003

4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL BIODIGESTOR ANAEROBIO

4.1 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIA PRIMA A INTRODUCIR EN EL BIODIGESTOR.

Para dimensionar el biodigestor, se considera el equipamiento incluido, la capacidad del producto, la materia prima y las recomendaciones para el correcto y óptimo funcionamiento de acuerdo a la estequiometría de la mezcla a tratar. Para los cálculos se debe tener en cuentas las propiedades y características de la materia prima así como del animal, ya que la producción de biogás debe controlarse desde la alimentación.

Tabla 5. Aporte de estiércol diario por especie y propiedades químicas determinadas en laboratorio.

CARACTERISTICAS DEL ESTIERCOL VACUNO Y DE CARNE					
Cantidad de especies		Peso promedio (Kg)		Estiércol diario producido	
Lechero	15	600		8 Kg * 100 Kg peso vivo	48 Kg * especie
Carne	48	600		8 Kg * 100 Kg peso vivo	48 Kg * especie
PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS					
pH prom	7.1 ¹⁴	Viscosidad σ	80 cp.		
Densidad ρ	1023 kg/m ³				
Cantidad de estiércol producida diaria por ganado vacuno 3120 kg					

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 6. Aporte de estiércol diario por especie porcino.

CARACTERISTICAS DEL ESTIERCOL PORCINO					
Cantidad de especies		Peso promedio (Kg)		Estiércol diario producido	
PORCINO	61	100		4 Kg * 100 Kg peso vivo	4 Kg * especie
Cantidad de estiércol producida diaria por ganado porcino 244 Kg					

Fuente: Autor del proyecto

¹⁴ Diseño Y Construir Un Biodigestor A Escala De Laboratorio, Velásquez, L. Claudia; Navarro, A. Luis. 2014

Tabla 7. Aporte de estiércol diario por especie caprino.

CARACTERISTICAS DEL ESTIERCOL CAPRINO				
Cantidad de especies		Peso promedio (Kg)	Estiércol diario producido	
CAPRINOS	80	40	4 Kg * 100 Kg peso vivo	1.6 Kg * especie
Cantidad de estiércol producida diaria por ganado caprino 128 kg				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 8. Aporte de estiércol diario por especie cunícola

CARACTERISTICAS DEL ESTIERCOL CUNICOLA				
Cantidad de especies		Peso promedio (Kg)	Estiércol diario producido	
CONEJOS	40	0.5	3 Kg * 100 Kg peso vivo	2.5×10^{-3} Kg * especie
Cantidad de estiércol producida diaria por ganado porcino 0.1 Kg				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 9. Aporte de estiércol diario por especie avícola

CARACTERISTICAS DEL ESTIERCOL AVICOLA				
Cantidad de especies		Peso promedio (Kg)	Estiércol diario producido	
GALLINAS	1500	1.5	0.1 Kg * 100 Kg peso vivo	1×10^{-4} Kg * especie
LEVANTE	3300	1.5	0.1 Kg * 100 Kg peso vivo	1×10^{-4} Kg * especie
Cantidad de estiércol producida diaria por ganado porcino 0.48 Kg				

Fuente: Autor del proyecto

Los valores para la producción de estiércol diario por especie has sido tomado de la referencia citada para su apropiación a este proyecto¹⁵.

4.1.1 Cálculo del volumen de trabajo.

Para la determinación de la cantidad de materia prima a introducir en el biodigestor anaerobio partimos del volumen total del reactor¹⁶.

$$v = \pi r^2 h$$

$$v = \pi(0.33 \times 10^{-2})^2 (0.9)$$

$$v = 307.90 \text{ lts}$$

¹⁵ Manual de Construcción y operación de biodigestor tipo hindú y flujo continuo, Ecuador, 2010.

¹⁶ Tomaremos un valor de 300 litros para volumen disponible de acuerdo a la configuración del recipiente.

Para cálculos cerrados tomaremos el valor de 300 lts de volumen total de trabajo, para la selección del volumen del efluente y del volumen del biogás se asumen dentro del rango del 60-80% y 40-20% respectivamente. Para esta disposición se trabajara con un volumen de 60% para el efluente o mezcla y el 40% para el almacenaje del biogás.

4.1.2 Cálculo de volumen para biogás.

$$V_b = 300 \text{ litros} \times 0.4$$

$$V_b = 120 \text{ litros}$$

El volumen destinado para el almacenaje de biogás por un periodo de tiempo corto es de 0.012 m³.

4.1.3 Cálculo de volumen para mezcla

$$V_T = V_b - V_m$$

Dónde:

V_T corresponde a volumen total.

V_b corresponde a volumen de biogás.

V_m corresponde a volumen de mezcla.

$$300 \text{ lts} = 120 \text{ lts} - V_m$$

Despejando V_m

$$V_m = 180 \text{ litros}$$

El volumen para mezcla es de 0.018 m³.

Para este volumen se tiene que por cada kilogramo de estiércol de ganado fresco se adicionara 1 litro de agua en una relación definida como 1:1 y que puede variar según el tipo de carga que se desee tratar, como nuestra carga va ser una sola vez se deja este valor de relación de agua a excretas¹⁷. los valores de la relación dependen de la concentración de sólidos volátiles con que el estiércol proviene directamente y la concentración que se necesita para la óptima producción de biogás, el estiércol bovino presenta un 17-20% de estos sólidos y para llegar al 8% se deben agregar de 1 a 1.5 litros de agua por cada kilogramo de materia prima.

Para los 180 litros de volumen para la mezcla se disponen de 90 kg para estiércol fresco y 90 litros de agua, de acuerdo a la relación 1:1, a su vez el volumen de biogás generado por esta cantidad de estiércol se determina de la siguiente manera:

1 kg de estiércol bovino → genera 35.3 litros **de** biogas¹⁸

¹⁷ Las relaciones de excretas pueden variar desde 1:1, 2:1, 3:1. Dependiendo de la continuidad y del tipo de pruebas que se quieran realizar.

¹⁸ Aprovechamiento del recurso energético biomasa en la vivienda rural de la ciudad de Loja, Ecuador, 2009.

90 kg de estiercol bovino → 3177 litros de biogas

4.1.4 Tiempo de retención de la mezcla¹⁹. Como el Tiempo de Retención Hidráulico²⁰ depende del tipo del sustrato, del volumen del biodigestor de la temperatura y otros factores se procede a determinar de la siguiente manera:

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas²¹ del lugar de ejecución del proyecto se tienen valores de una temperatura media mínima de 12.3 °C y una máxima de 27 °C, y los rangos para un ambiente Mesofílico²² están entre los 10-40 días de retención, se escogen 20 días para el TRH. Además de esto se debe tener en cuenta un factor de corrección por variaciones ambientales de 1.3.

$$\text{TRH} = 20\text{días} * 1.3$$

$$\text{TRH} = 26 \text{ días}$$

4.2 SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE CONTROL

En el proceso de biodigestión anaerobia la materia orgánica requiere de ciertas condiciones para la producción de biogás, a su vez también se deben controlar y vigilar que los parámetros estén en los rangos óptimos para el correcto funcionamiento del reactor. Los factores que afectan la producción de biogás en cada una de las etapas metabólicas que involucran el grupo bacteriano que responden a cambios y retrasos en el proceso se deben controlar para tener una producción de biogás de forma precisa.

4.2.1 Medidor de Temperatura. Como se ha descrito anteriormente el rango de temperatura de nuestro biodigestor esta proporcionado por la temperatura de funcionamiento de cada una de las etapas del proceso anaerobio. De esta manera el rango Mesofílico²³ va desde 20°C a 35°C-40°C. Las ventajas de este rango Mesofílico son:

- ✓ fermentación más rápida,
- ✓ disminución de la viscosidad de la solución
- ✓ mayor conversión de desechos en biogás
- ✓ eliminación de casi un 100% de virus y bacterias patogénicas
- ✓ separación de solido-liquido más rápido

¹⁹ Se consideran dichos tiempos debido a que el periodo que demoran las bacterias metanogénicas en duplicarse es mayor comparativamente con la producción de las bacterias acetogénicas. Si el tiempo de retención es menor al necesario, las bacterias serían eliminadas del sistema antes de que se hallan duplicado. En caso contrario la producción de biogás en un primer momento sería muy eficiente, pero va a disminuir hasta llegar a una producción cero.

²⁰ Tiempo de retención hidráulico.

²¹ CLIMATE-DATA.ORG.

²² Rango Mesofílico de 10°C-40°C.

²³ La consideración del rango Mesofílico es que esta permite una elevada producción de metano y un correcto crecimiento de las bacterias, lo que conlleva a un menor tiempo de retención.

4.2.2 Medidor de pH²⁴. Un pH neutro es el ambiente más eficiente para la digestión, esto es un pH en el rango de 6.6-7.6, si el pH disminuye ya sea por aumento repentino de la carga, presencia de sustancias tóxicas o cambios súbitos de temperatura se puede corregir dejando de alimentar la carga durante un corto tiempo o adicionando sustancias alcalinas como agua de cal que reducen principalmente sustancias tóxicas como ácidos volátiles. En caso contrario si el pH aumenta, se corrige agregando ácido acético para ayudar a que regule la biodigestión y el pH disminuye.

El pH se puede corregir en forma práctica de la siguiente manera, sacando frecuentemente una pequeña cantidad de efluente y agregando materia prima fresca en la misma cantidad y en forma simultánea. Cuando el pH es bajo se puede agregar fertilizante, cenizas, agua amoniacal diluida o una mezcla de ambos y licor fermentado.

Tabla 10. Aspectos del pH

EFFECTOS DEL pH EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS	
Valor de pH	Efecto
7.0-7.2	Optimo
≥ 6.2	Retarda la acidificación
≤ 7.6	Retarda la amonización

Fuente: Metcall-Eddy 1995

Tanto para la medición de temperatura como del pH se harán a través del mismo dispositivo, que cuya función es medir los dos parámetros con cifras decimales con bajo rango de tolerancia.

Las especificación de toma de muestra y verificación de pH se realizaran a través de un recipiente donde se recolecta el efluente para luego introducir de manera manual el pH-metro y la lectura se hará de forma instantánea. Luego de tomada la lectura de pH, temperatura y verificar sus valores y sus rangos que estén dentro de lo establecido se procede a realizar el mantenimiento del equipo para garantizar la durabilidad según especificación del fabricante en el respectivo manual.

A continuación se describe el equipo a utilizar.

²⁴ El pH es una característica propia de cada producto, la sigla significa Potencial Hidrogeno. La escala de medición va desde cero (0) a catorce (14), conteniendo la escala de cero (0) a siete (7) todos los productos o sustancias identificadas como ácidos y la escala que va del siete (7) a catorce (14), las sustancias alcalinas o básicas; siete (7) es el valor neutro.

Figura 2. Equipo multifuncional medición de temperatura y pH

Tester de pH/Temperatura pHep®5



- Resistentes al agua y diseñados para flotar.
- Compensación automática de temperatura.
- Cubiertas de agarre táctil.
- Función HOLD.
- Apagado automático.
- Eficiente funcionamiento a dos botones.
- Temperatura en ° C o ° F.
- BEPS (Sistema de Prevención de Error de Batería)
- Se muestra % de batería en el arranque.

Rango pH	-2.00 hasta 16.00 pH
Rango Temperatura	-5.0°C hasta 60.0° C / 23.0 hasta 140.0° F
Resolución pH	0.01 pH
Resolución Temperatura	0.1° C / 0.1° F
Precisión (@20°C) pH	±0.05 pH
Precisión Temperatura	±0.5° C / ±1° F
Compensación de Temperatura	Automática
Calibración pH	automática, uno o dos puntos con dos juegos de tampones estándar (pH 4.01 / 7.01 / 10.01 o 4.01 / 6.86 / 9.18)
Electrodo de pH Ambiente	HI 73127 (reemplazable, incluido)
Tipo/Duración de Batería	-5.0°C hasta 50° C (23 hasta 122° F); HR max 100% 1.5V (4) /aproximadamente 300 horas de uso continuo, apagado automático después de 8 minutos sin uso.
Dimensiones/Peso	163 x 40 x 26 mm (6.4 x 1.6 x 1.0??)/100 g (3.5 oz.)

Fuente: Laboratorio Unisalud.sas

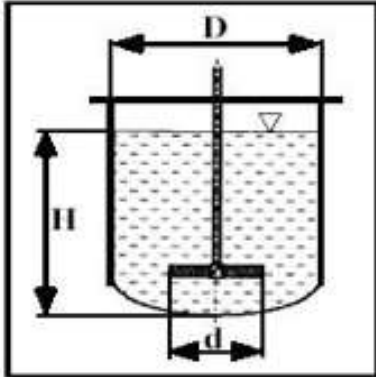

4.2.3 Sistema de agitación

La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. La selección de este sistema se basa en consideración al estudio experimental de la agitación²⁵.

²⁵ <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>,.

Figura 3. Estudio teórico experimental de la agitación.

<u>Agitador con palas planas inclinadas</u>	
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> - 4-6 palas rectas - ángulo de inclinación = 45°
Campo de flujo generado	axial / radial (componente radial mayor que con el mezclador de hélice)
Régimen alcanzado	de transición – turbulento
Velocidad tangencial	3 - 15 m/s
Viscosidad del medio	hasta 20 Pa·s
Posición del rodete (d_2 / d_1)	0,2 – 0,5 (alejado de la pared)
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> - homogeneizar - suspender - favorecer el intercambio de calor

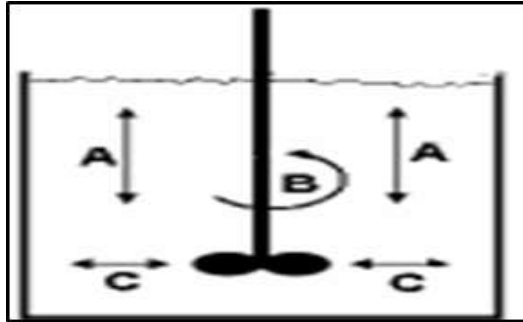



Fuente: Unizar.2010

Cuando un líquido se somete a la acción de una mezcladora existen 3 componentes de velocidad que dicha mezcladora puede impartir al líquido:

- A → Velocidad longitudinal (paralela al eje de la mezcladora)
- B → Velocidad rotacional (tangencial al eje de la mezcladora)
- C → Velocidad radial (perpendicular al eje de la mezcladora)

Figura 4. Mezclado de fluidos



Fuente: Edgner, ríos, 2010.

Las velocidades radial y longitudinal son las que contribuyen principalmente a la mezcla. La velocidad rotatoria por el contrario, produce flujo laminar del líquido que circula alrededor del eje (formando vórtices o remolinos) donde el líquido simplemente de vueltas pero sin llegar a mezclarse (potencia desaprovechada), además de que puede atrapar aire, lo cual es indeseable.

Cuando se mezclan fluidos de baja viscosidad se obtienen productos de elevada homogeneidad, por lo que pueden utilizarse pocas muestras para el análisis de mezclado.

La potencia que la mezcladora deberá tener depende de:

- Naturaleza, cantidad y consistencia del producto.
- Tipo de flujo obtenido durante el mezclado
- Posición y velocidad y tamaño del dispositivo impulsor (factores de forma, velocidad de giro)

Los factores que consideramos para calcular el agitador y que son indispensables para su construcción y diseño son:

- Numero de Reynolds: este parámetro nos indica n que régimen de flujo va a trabajar nuestro agitador, es importante porque de él depende la potencia del motor y si introducimos o no aire a la mezcla. En un régimen laminar o viscoso hay poco o nada de introducción de aire a la mezcla (dentro de este régimen trabajan los agitadores lentos). El número de Reynolds influye directamente en la potencia del agitador.

$$Re = \frac{\rho * N * D^2}{\mu}$$

Donde

D → diametro de la turbina expresado en mts

μ → viscosidad del producto expresado en pa. seg (1 Pa. seg = 10 poises = 1000 cps)

ρ → densidad del producto o gravedad especifica en kgs/m³

N → velocidad de salida del motor o motorreductor en revoluciones por segundo

- Potencia del motor: una de las fórmulas para determinarla, según el tipo de unidades que se estén utilizando y dependiendo del autor es la siguiente, algunos autores la manejan universal:

$$P = Np * \rho * N^3 * D^5$$

donde

P → potencia

Np → numero de potencia

ρ → densidad del producto o gravedad especifica en kgs/m³

N → velocidad de salida del motor o motorreductor en revoluciones por segundo

D → diametro de la turbina expresado en mts

4.2.3.1 Cálculo de la potencia del agitador. Para este biodigestor como se desea que la mezcla solo se homogenice y no entrar en estados de dilución, disolución, fundición, emulsión, etcétera, para este punto se establece que el régimen será laminar con un valor entre 2000-2500, así el diseño de las paletas se determina para agitación lenta y las configuraciones deben ir a cumplir este requerimiento, es decir la selección de las palas planas inclinadas obedece este flujo laminar para su funcionamiento.

$$N = \frac{Re * \mu}{D^2 \rho}$$

$$N = \frac{2000 * 0.08}{0.58^2 * 1023 \text{ kg/m}^3} \quad N = 0.46 \text{ rps}$$

Para calcular la potencia se emplea la siguiente ecuación:

$$P = kl * N^3 * Da^5 * \rho$$

$$P = 41 * 0.46^3 * 0.58^5 * 1023$$

$$P = 267.096 \text{ w}$$

$$P = 267.96 * \frac{1 \text{ HP}}{745.699 \text{ w}} = 0.359 \text{ hp}$$

Para el agitador se necesita un motor de 0.5 HP.

4.2.3.2 Selección del Motorreductor. Para la selección del Motorreductor necesitamos los siguientes datos:

$$P = 267.096 = 0.5 \text{ HP (Potencia de Salida)}$$

$$N = 84 \text{ RPM (Velocidad de salida)}$$

Aplicación: Agitación de líquidos

Clase II: Carga Uniforme

Eficiencia del motor (η) = 0,94 – 0,96

Potencia motor = Potencia de Motorreductor (Kw)

F.S. = 1,25 (Factor de Servicio)

Horas diarias de operación = 4 horas

Posición de montaje = Vertical

$$\text{Potencia motor} = \frac{P}{\eta}$$

Hallando P motor:

Tomamos como $\eta = 0,94$, reemplazando en la fórmula:

$$\mathbf{P \text{ motor} = \frac{0.5}{0.94}}$$

$$\mathbf{P \text{ motor} = 0.53 \text{ HP}}$$

Para seleccionar el Motorreductor utilizaremos la siguiente fórmula:

potencia del motor (HP)x F. S = potencia de seleccion

Para ello tenemos que convertir la Potencia en HP:

$$P_{\text{seleccion}} = 0.53 * 1.25 \quad P_{\text{seleccion}} = 0.66 \text{ HP}$$

4.2.3.3 Cálculo del Momento Torsor. Se realizará el cálculo del Momento Torsor para realizar el cálculo del Eje para el impulsor o rodete, para ello se utilizará la siguiente fórmula

$$T = \frac{716,20 * P}{N}$$

Se necesitan los siguientes parámetros:

T: Momento Torsor (Kg-m)

P: Potencia (HP)

N: RPM

Datos:

$$P = 0.66 \text{ HP}$$

$$N = 84 \text{ RPM}$$

$$T = \frac{716,20 * 0,66}{84}$$

$$T = 5,62 \frac{Kg}{m}$$

4.2.3.4 Cálculo del Eje del impulsor. Para el cálculo eje impulsor tomamos como dato la Potencia requerida para agitar el estiércol, además expresaremos los datos para el cálculo del eje del impulsor.

Parámetros:

Material: SA-240-TP 304L 2B

Sy: Esfuerzo de Fluencia (Kg/mm²)

Su: Esfuerzo de Ruptura (Kg/mm²)

Ssd: Esfuerzo Permisible a Corte (Kg/mm²)

KT: Factor de Carga de Torsión

T: Momento Torsor (Kg-mm)

D_o: Diámetro exterior del eje (mm)

S'_{sd}: Esfuerzo Permisible a Corte con chavetero (Kg/mm²)

Datos:

$$S_y = 21,09 \text{ Kg/mm}^2$$

$$S_u = 52,73 \text{ Kg/mm}^2$$

$$K_T = 1,5$$

$$T = 2450 \text{ Kg-mm}$$

Para el cálculo del diámetro del eje utilizaremos la Fórmula del código ASME para un Eje Macizo:

$$S_{sd} = \frac{16K_t T}{n d_o^3}$$

Los esfuerzos de cálculo (probablemente pensando en árboles estirados en frío) se dan como sigue:

$$S'_{sd} = 0,30 * S_y$$

$$S'_{sd} = 0,18 * S_u$$

Con el desarrollo de estas fórmulas tenemos que seleccionar el menor valor de ellos (Teoría de Esfuerzo de Cortante Máximo).

$$S'_{sd} = 0,30 * 21,09 = 6,32 \frac{Kg}{mm^2}$$

$$S'_{sd} = 0,18 * 52,73 = 9,38 \frac{Kg}{mm^2}$$

Entonces el menor valor es:

$$S'_{sd} = 6,32 \frac{Kg}{mm^2}$$

Pero como tiene chavetero, utilizaremos la siguiente fórmula:

$$S'_{sd} = 0,75 * S'_{sd}$$

$$S'_{sd} = 0,75 * 6,32$$

$$S'_{sd} = 4,74 \frac{Kg}{mm^2}$$

Despejando d_o tenemos:

$$d_o = \left(\frac{16 K_t T}{n S'_{sd}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d_o = \left(\frac{16 * 1,5 * 2450}{\pi * 4,74} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d_o = 15,81 \text{ mm}$$

Luego se procede a incrementar $\frac{1}{16}$ " de acuerdo a tablas debido al cálculo de su diámetro es mayor que 1". También debido a que el diámetro del Motorreductor es de 1,25" se tomará un diámetro mayor a este.

Por lo tanto:

$$d_o = 31,68 \text{ mm}$$

Como ya se contaba con un eje de 20 mm a disposición se trabajó con este para reducir costos y evitar posibles esfuerzos en el Motorreductor.

4.2.3.5 Verificación del eje por deformación angular por torsión. Por recomendaciones prácticas, la deformación torsional para eje de transmisión sometido a cargas variables debe ser:

$$\theta \leq 1^\circ$$

La fórmula para hallar la deformación es la siguiente:

$$\theta = \frac{T * L}{G * J}$$

Donde:

θ = ángulo de deformación (rad)

T = Torsión (kg-cm)

L = Distancia hasta la sección crítica

J = Momento polar de inercia (cm⁴)

G = Módulo de elasticidad transversal (kg/cm²)

E = Módulo de Elasticidad = 2,10 x 10⁶ Kg/cm²

μ = Coeficiente de Poisson = 0,3

Hallando Momento Polar de Inercia “J”:

$$J = \frac{\pi * d_o^4}{32} = \frac{\pi * 2^4}{32}$$

$$J = 1.57 \text{ cm}^4$$

Hallando Módulo de elasticidad transversal “G”:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

$$G = \frac{2,10 \times 10^6}{2(1 + 0,3)}$$

$$G = 0,81 * 10^6 \frac{Kg}{cm^2}$$

Como L = 68

Luego tenemos que:

$$\theta = \frac{245 * (68)}{0,81 * 10^6 * 1,57} * \frac{180}{\pi}$$

$$\theta = 0.75^\circ \leq 1^\circ \text{ (Correcto)}$$

4.2.4 Medidor de presión

Para determinar las presiones que el recipiente soportara y tendrá como producto del biogás y del efluente nos basamos en la siguiente tabla:

Tabla 11. Composición del biogás

Composición del biogás			
componente	Mínima %	Máxima %	promedio
Agua (H2O)	3.62	4.24	3.92
Dióxido de Carbono (CO2)	27.5	15.01	20.85
Ácido sulfhídrico (H2S)	0.1	.01	0.18
Metano (CH4)	68.78	80.65	75.05
Poder calorífico Mj/m3	26.84	31.12	29.17

Nota: la presión de salida del biogás es 4 Kpa
El poder calorífico del gas natural es de 38.9 Mj/m3

Fuente: Proyecto de Cogeneración y mecanismo de desarrollo limpio. Ing. Alejandro Romay R

Tabla 12 Características del biogás.

Características del biogás y sus componentes.					
Características	Ch4	CO2	H2-H2S	Otros	Biogás 60/40
Proporciones	55-70	22-44	1	3	100
Valor calorífico Kcal/m3	8600	-	2581	5258	5140
Ignición % en el aire	5-15	-	-	-	6-12
Temperatura de ignición °C	650-750	-	-	-	650-750
Presión crítica en Mpa	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
Densidad nominal en g/l	0,7	1,9	0,08	-	1,,2
Densidad relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
Inflamabilidad vol. en % aire	5-15	-	-	-	6-12

Fuente: Proyecto de Cogeneración y mecanismo de desarrollo limpio. Ing. Alejandro Romay R

Como se describe, la presión de salida del biogás es de 4 KPa y las presiones generadas por el biogás como resultado de los gases que lo forman están entre el rango de 2-10 MPa.

Contará con una válvula de seguridad de 250 psi para la salida cuando exista una sobrepresión en el interior del recipiente.

4.3 CÁLCULOS DEL TANQUE BIODIGESTOR

4.3.1 Diseño mecánico del recipiente. Los cálculos se realizan según las normas establecidas para recipientes sometidos a presión interna y externa, citando a los autores de los manuales de fabricación.^{26 27}.

4.3.1.1 Recipientes a presión. Se considera como un recipiente a presión cualquier vasija cerrada que sea capaz de almacenar un fluido a presión manométrica, ya sea presión interna o vacío, independientemente de su forma y dimensiones. Los recipientes cilíndricos a que nos referimos en este tomo, son calculados como cilindros de pared delgada.

4.3.1.2 Presión de operación (Po). Es identificada como la presión de trabajo y es la presión manométrica a la cual estará sometido un equipo en condiciones de operación normal.

4.3.1.3 Presión de diseño (P). Es el valor que debe utilizarse en las ecuaciones para el cálculo de las partes constitutivas de los recipientes sometidos a presión, dicho valor será el siguiente:

$$\begin{array}{ll} \text{si } P_o > 300 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} & \text{si } P_o < 300 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \\ P = 1.1 P_o & P = P_o + 30 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \end{array}$$

Donde P es la presión de diseño, y Po es la presión de operación.

Al determinar la presión de diseño (P), debe tomarse en consideración la presión hidrostática debida a la columna del fluido que estemos manejando, si éste es líquido sobre todo en recipientes cilíndricos verticales.

4.3.1.4 Presión de trabajo máxima permisible. Es la presión máxima a la que se puede someter un recipiente, en condiciones de operación, suponiendo que él está:

- a) En condiciones después de haber sido corroído.
- b) Bajo los efectos de la temperatura de diseño.

²⁶ Diseño Y Cálculo De Recipientes Sujetos A Presión, Ing. Juan Manuel León Estrada Edición 2001

²⁷ Manual de recipientes a presión, Eugene, F, Megyesy 1992

c) En la posición normal de operación.

d) Bajo los efectos de otras cargas, tales como fuerza debida al viento, presión hidrostática, etc., cuyos efectos deben agregarse a las ocasionadas por la presión interna.

Es una práctica común, seguida por los usuarios, diseñadores y fabricantes de recipientes a presión, limitar la presión de trabajo máxima permisible por la resistencia del cuerpo o las tapas, y no por elementos componentes pequeños tales como bridas, boquillas, etc.

El término “Máxima presión de trabajo permisible nuevo y frío” es usado frecuentemente. Esto significa: La presión máxima permisible, cuando se encuentra en las siguientes condiciones:

a) El recipiente no está corroído (nuevo).

b) La temperatura no afecta a la resistencia a la tensión del material (temperatura ambiente) (frío).

c) Tampoco se consideran los efectos producidos por la acción del viento, presión hidrostática, etc.

El valor de la presión de trabajo máxima permisible, se obtiene despejando “p” de las ecuaciones que determinan los espesores del cuerpo y las tapas, y usando como “t” el espesor real del equipo y su valor será el que resulte menor.²⁸

4.3.1.5 Esfuerzo de diseño a la tensión (S). Es el valor máximo al que podemos someter un material, que forma parte de un recipiente a presión, en condiciones normales de operación. Su valor es aproximadamente el 25% del esfuerzo último a la tensión del material en cuestión.

4.3.1.6 Eficiencia de las soldaduras (E). Se puede definir la eficiencia de las soldaduras, como el grado de confiabilidad que se puede tener de ellas. Sus valores están dados en la Figura 5 en la cual se muestran los tipos de unión más comúnmente usados en la fabricación de recipientes a presión

4.3.1.7 Tipos de tapas. Para “cerrar” recipientes cilíndricos, existen varios tipos de tapas, entre otras tenemos las siguientes: Tapas planas, planas con ceja, únicamente abombadas, abombadas con ceja invertida, toriesféricas, semielípticas, semiesféricas, tapas 80-10, tapas cónicas, toricónicas, etcétera

4.3.2 Consideraciones del Diseño. El Recipiente a Presión se va a diseñar es un recipiente a presión de 300 litros (0.3 m³), de capacidad nominal. En el cual se realizará el proceso de Transesterificación. La forma del recipiente tendrá un cuerpo cilíndrico, un cabezal tipo plano y un fondo tipo plano.

Se ha elegido el cuerpo vertical tipo cilíndrica porque su simetría facilita una buena distribución de tensiones y nos permite un cálculo sencillo de las mismas, además de proporcionarnos una mayor polivalencia y sencillez de construcción.

En el diseño de reactores se busca qué tamaño y tipo de reactor, así como qué método de operación, también el tipo de reacción, la necesidad de un catalizador, el volumen de diseño, la presión de

²⁸ Diseño Y Cálculo De Recipientes Sujetos A Presión, Ing. Juan Manuel León Estrada Edición 2001

diseño, así como el tipo de transferencia de calor, por enchaquetado o por serpentines tubulares sumergidos en el líquido²⁹.

4.3.2.1 Parámetros de diseño. A continuación se describirá los Parámetros de Diseño:

$$P_o = \text{presion de Operacion } \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$T_o = \text{Temperatura de Operación (}^\circ\text{C)}$$

$$V_o = \text{Volumen Operación (m}^3\text{)}$$

$$P_D = \text{Presión de Diseño (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$T_D = \text{Temperatura de Diseño (}^\circ\text{C)}$$

$$V_D = \text{Volumen de Diseño (m}^3\text{)}$$

$$C = \text{Sobre espesor de corrosión (pulg. – mm)}$$

$$E = \text{Eficiencia de la Soldadura}$$

$$P_H = \text{Presión hidrostática (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$\text{Presión atmosférica} = 1,03 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\rho_{\text{estiércol}} = \text{Densidad del estiércol bovino} = 1023 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{agua}} = \text{Densidad del agua} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

4.3.2.2 Selección del Material. La elección del material a utilizar en base a los siguientes factores:

- La temperatura de diseño.
- La presión de diseño.
- Las características corrosivas del fluido contenido en el recipiente.
- Los costos.
- La disponibilidad en el mercado de medidas estándares.

²⁹ Diseño De Un Recipiente A Presión Con Un Sistema De Agitación Para El Procesamiento De Biodiesel De 3 M3 De Capacidad, Jim Anthony Manrique Rebaza, 2011

Los materiales para la construcción de los Reactores para el proceso de biogás y debido a que disponemos de elementos corrosivos, se ha decidido utilizar Acero Inoxidable, puesto que, aunque su coste es muy superior a los aceros al carbono, es más económico al compensarse con el grosor de corrosión necesario si se utilizar acero al carbono.

El material a utilizar es Acero inoxidable 304 2B, comúnmente llamado el acero inoxidable “todo propósito”, tiene propiedades adecuadas para gran cantidad de aplicaciones. Se recomienda para construcciones ligeras soldadas en las que el recocido no es práctico o posible, pero que requieren buena resistencia a la corrosión. Otras propiedades del tipo 304 son su servicio satisfactorio a altas temperaturas (800° a 900°C) y buenas propiedades mecánicas.³⁰ El tipo 304 contiene bajo carbono con lo que se evita la precipitación de carburos durante periodos prolongados de alta temperatura; tiene un contenido de carbono de 0.08% máximo por lo que se le considera un material satisfactorio para la mayoría de las aplicaciones con soldadura.

El material a utilizar en el diseño del Tanque Reactor tiene la siguiente especificación: SA – 240 – 304.

Con estas características y de acuerdo a la norma ASME SECCION II PARTE D, el material que elegimos tiene las siguientes características en la figura 7.

Tabla 13. Composición nominal de material de construcción

Composición nominal	especificaciones	Tipo/ grado	Esfuerzo de tracción (Kg/mm2)	Esfuerzo de fluencia (Kg/mm2)	Máximo esfuerzo admisible de tensión (Kg/mm2)
18 Cr- 8 Ni	SA - 240	304	52.73	21.09	11.74

Fuente: Navarro, A. Luis.

4.3.2.3 Margen por Corrosión. En todo equipo se debe determinar un sobreespesor de corrosión para compensar la corrosión, erosión o abrasión mecánica que van sufriendo los equipos. La vida deseada de un recipiente es una cuestión de economía y así mismo aumentando convenientemente el espesor del material respecto al determinado por las fórmulas de diseño, o utilizando algún método adecuado de protección.

Este valor es habitualmente igual al máximo espesor corroído previsto durante diez años, y en la práctica oscila entre 1 a 6 mm incrementándose a los espesores obtenidos para resistir las cargas a las que se encuentran sometidos los recipientes.

En la mayoría de las aplicaciones se utiliza un margen de corrosión de 1/8” para compensar las posibles cargas a las que se pueda encontrar el recipiente debido a la corrosión que origine el producto.

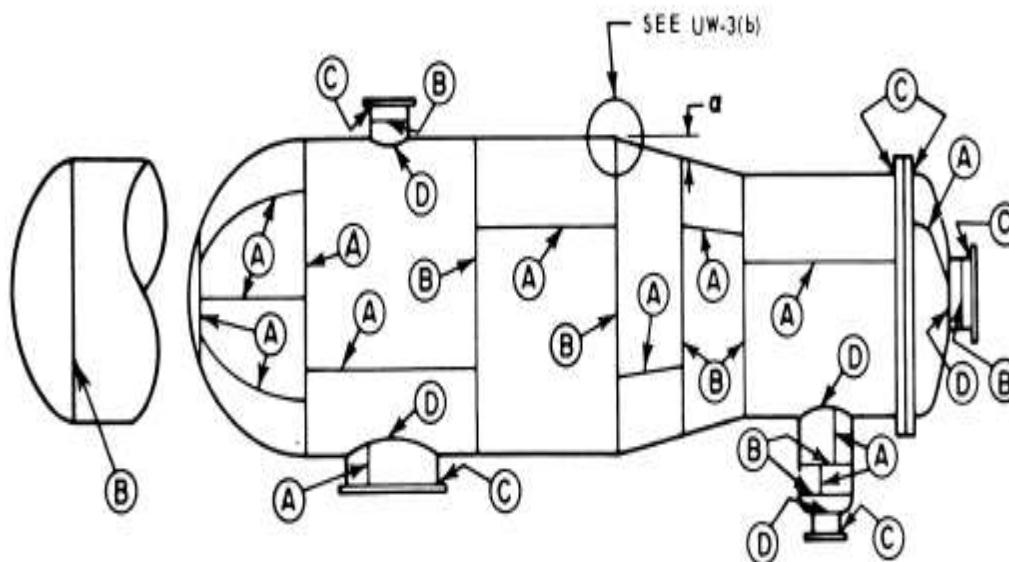
Por lo tanto $C = 3mm$

³⁰ Diseño De Un Recipiente A Presión Con Un Sistema De Agitación Para El Procesamiento De Biodiesel De 3 M3 De Capacidad, Jim Anthony Manrique Rebaza,2011

4.3.2.4 Eficiencia de la Soldadura. La unión entre los elementos para la fabricación del reactor se realiza por medio de la soldadura, por esta razón, junto con la posibilidad de producirse defectos en la realización de la soldadura y el calentamiento y rápido enfriamiento al que se está sometida la zona más próxima a la soldadura, se tiende a considerar la zona de soldadura como debilitada.

Las categorías de las juntas se muestran en la Figura 5. Teniendo en cuenta esto, en el cálculo de los recipientes se introduce una reducción de la tensión máxima admisible multiplicando a esta por un coeficiente denominado Eficiencia de Junta (E).

Figura 5. Categoría de Juntas Soldadas



Fuente: Anthony Manrique rebaza, 2011

De acuerdo a la norma ASME SECCION VIII División 1 (UW-12) el valor de la Eficiencia es:
 $E = 0,85$ (Cuando los requerimientos de radiografiado “spot” no son cumplidos o cuando las juntas categoría A o B que conectan sin costura son tipo 3, 4, 5 ó 6).

$E = 1,00$ (Cuando las juntas B y C cumplen los requerimientos de radiografiado “spot”).

Tabla 14. Eficiencia de la soldadura

E	Descripción
0,85	Cuerpo cilíndrico
1,00	Cabezal torisférico
1,00	Fondo torisférico

Fuente: Manual de recipientes a presión.

4.3.2.5 Condición de operación del Recipiente. A continuación detallaremos las presiones de diseño y volumen de diseño. El valor de Volumen de Diseño es:

$$V = 0.3 \text{ m}^3$$

El valor de Volumen de Operación se tomará el 75% del volumen total del reactor, por lo tanto este valor es:

$$V_o = 0.75 * 0.3 = 0.225 \text{ m}^3$$

La Presión de Operación para el procesamiento del estiércol en el biodigestor es de 14,7 Lb (Presión Atmosférica = 1,03 Kg/cm²).

Para ello utilizaremos:

$$\text{si } P_o < 300 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

$$P = (P_o + P_h) + 30 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

La presión interna de diseño variará de acuerdo con la altura de la columna del producto. Para calcular el espesor del cuerpo, debemos considerar que la presión será diferente a diferentes alturas. Para hallar PH debemos tener en cuenta que las presiones hidrostáticas generadas por las diferentes alturas de las columnas del producto, debemos considerar que una columna de agua de un pie de altura produce una presión de $0.0305 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$.

Con lo dicho anteriormente tenemos que:

$$P_H = P_e H$$

Donde

P_e = peso específico del producto³¹

H = altura de columna del producto

A continuación, se calcularán las presiones hidrostáticas generadas por las diferentes alturas de las columnas de producto, considerando que una columna de agua de un pie de altura produce una presión de $0.0305 \text{ Kg/cm}^2 = 0.4331 \text{ lb/Pulg}^2$.

³¹ El peso específico del estiércol se determina multiplicando la densidad del estiércol por la gravedad, obteniendo un valor de $10035.63 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$.

Tabla 15. Presiones Hidrostáticas

Para H1= 45'-3''	PH1= 19.60(1.2)=23.51 $\frac{Lb}{pulg^2}$
Para H2= 44'-0''	PH2= 19.06(1.2)= 22.86 $\frac{Lb}{pulg^2}$
Para H3= 38'-0''	PH3= 16.45(1.2)= 19.74 $\frac{Lb}{pulg^2}$
Para H4= 32'-0''	PH4= 13.86(1.2)= 16.63 $\frac{Lb}{pulg^2}$
Para H5= 26'-0''	PH5= 11.26(1.2)= 13.51 $\frac{Lb}{pulg^2}$
Para H6= 20'-0''	PH6= 8.66(1.2)= 10.39 $\frac{Lb}{pulg^2}$
Para H7= 14'-0''	PH7= 6.06(1.2)= 7.27 $\frac{Lb}{pulg^2}$
Para H8= 8'-0''	PH8= 3.46(1.2)= 4.15 $\frac{Lb}{pulg^2}$
Para H9= 2'-0''	PH9= 0.87(1.2)= 1.04 $\frac{Lb}{pulg^2}$

Fuente: Manual de diseño de recipientes a presión.

Y las presiones de diseño serian

$$P = P_o + P_H + 30 \frac{lb}{pulg^2}$$

$$P = 150 \frac{lb}{pulg^2} + 19.74 \frac{lb}{pulg^2} + 30 \frac{lb}{pulg^2}$$

$$P = 199.74 \frac{lb}{pulg^2}$$

La presión hidrostática a una altura de 3ft será de $200 \frac{lb}{pulg^2}$

$$\text{Luego entonces } 200 \frac{lb}{pulg^2} \rightarrow 14.0614 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$P = 14.0614 \frac{Kgf}{cm^2}$$

Los valores de diseño de presión, temperatura y volumen se observan en la siguiente tabla.

Tabla 16. Valores de diseño del biodigestor

Descripción	Presión $\frac{Kgf}{cm^2}$	Temperatura °C	Volumen m^3
Valor de operación	14.06414	10-40	0.225
Valor de diseño	20	60	0.3

Fuente: Autor del proyecto.

Para la realización de los cálculos de las dimensiones del biodigestor tomaremos la Presión de diseño de 20 Kg/cm², el cual también es equivalente a 200 Lb/pulg².

El valor del volumen de diseño será de 0.3 m³, para facilitar los cálculos, este valor es equivalente a 10.593 pies³, estos valores servirán para calcular el tamaño óptimo del recipiente, el cual se detallará en el ítem siguiente, se utilizarán los valores en el sistema inglés debido a la utilización de la Figura 3.2 del “Manual de Recipientes a Presión, del autor Eugene Megyesy.

4.3.2.6 Cálculo del tamaño óptimo del Tanque. Una vez seleccionado el material de construcción, el margen por corrosión, la presión de diseño y la temperatura de diseño, podemos abordar el diseño mecánico del Reactor. La relación óptima de la longitud del diámetro puede hallarse mediante el procedimiento siguiente:

$$F = \frac{P}{CSE}$$

Donde

P = Presión de diseño (Lb/pulg²).

C = Margen de corrosión (pulg).

S = Valor de esfuerzo del material (Lb/pulg²).³²

E = Eficiencia de la junta.

Di = Diámetro interior (m)

LC = Altura del cuerpo cilíndrico (m)

De acuerdo a los parámetros de operación tenemos que:

Tabla 17. Parámetros de diseño

Descripción	Parámetros de diseño
P	200 $\frac{lb}{pulg^2}$
C	0.125 pulg
S	17800 $\frac{lb}{pulg^2}$
E	0.85
V	10.59 $pies^3$

Fuente: Autor del proyecto.

³² Tomado de la tabla de propiedades de los materiales- acero inoxidable pág. 160. Para valores máximos de esfuerzo permitido. Manual de recipientes a presión, Eugene, F, Megyesy 1992]

Para hallar las dimensiones del tanque se utilizarán medidas en sistema ingles anteriormente descrito en la tabla 16.

Resolviendo la ecuación tenemos que:

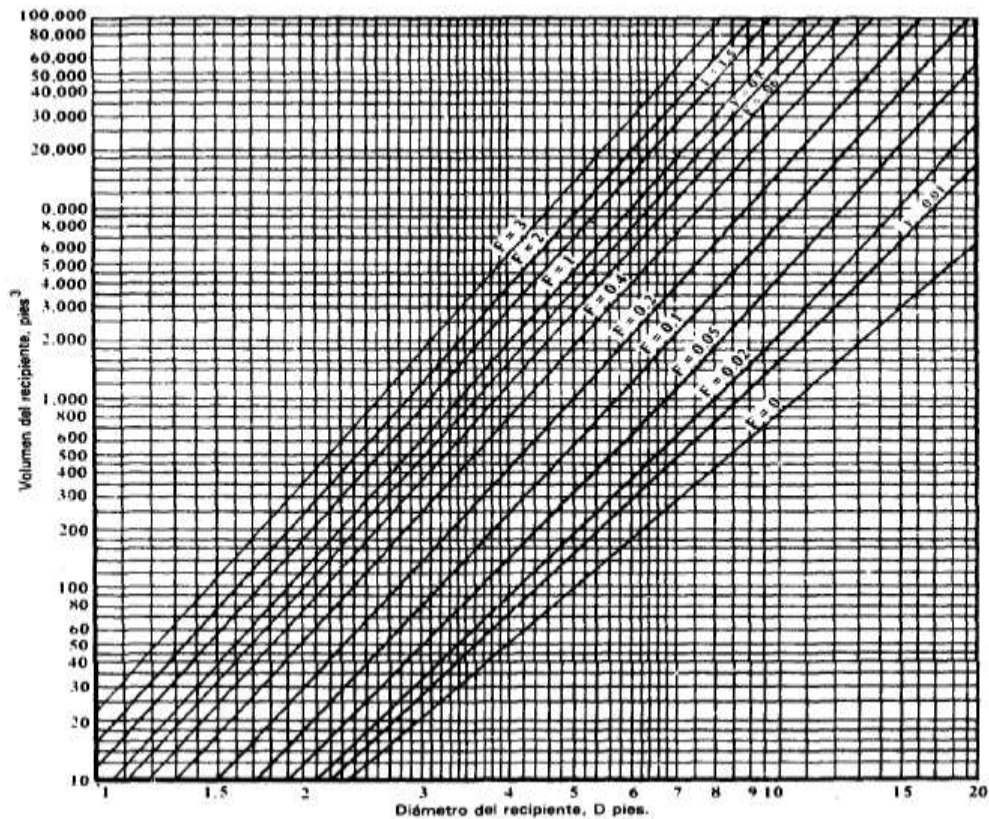
$$F = \frac{200 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}}{0.85 * 0.125 * 17800 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}}$$

$$F = 0.1057$$

Ahora con el Factor “F” hallado y el volumen del recipiente “V” en pies³ utilizamos la Figura 7 y encontramos el diámetro interior (Di) del recipiente.

Nota: los valores que se detallan a continuación son datos para un recipiente ideal sin consideración de diseño inicial para la construcción, como ya tenemos un volumen de 300 litros disponible de trabajo se toman valores aproximados para el aprovechamiento de la configuración del material a disposición.

Figura 6. Grafica para hallar diámetro.



Fuente: Manual de recipientes a presión, Eugene, F, Megyesy 1992, pag 196.

Con la gráfica y los valores de F y V detallados en la tabla 15 tenemos un valor de

$$D_i = 1.89 \text{ pies}$$

$$D_{i \text{ min}} = 0.5760 \text{ m}$$

4.3.2.7 Cálculo de la Altura Total Interior del Tanque

$$L_c = \frac{4 * V_c}{\pi * D_i^2}$$

$$L_c = \frac{4 * 0.3 \text{ m}^3}{\pi * 0.5760^2}$$

$$L_{c \text{ min}} = 0.8634 \text{ m}$$

4.3.2.8 Cálculo del espesor del cuerpo cilíndrico interior. Para calcular el espesor del cuerpo cilíndrico vamos a recurrir a la bibliografía de la norma ASME VIII División 1 en la Parte UG – 27 para la Presión interna y UG – 28 para la Presión Externa.

4.3.2.8.1 Cálculo del espesor del cilindro interior por Presión Interna. Para cuerpos cilíndricos sometidos a presión, el cálculo del espesor requerido se realiza mediante la fórmula de UG – 27 del ASME VIII basadas en el Esfuerzo Circunferencial (Junta Longitudinal), la fórmula es la siguiente:

$$t_c = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

Los datos para desarrollar la fórmula del cálculo del espesor del cilindro por presión interna son los siguientes:

$$P = 14.06 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Este valor es equivalente a los 200 PSI)}$$

$$R = 33 \text{ cm}$$

$$S = 1251,5002 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = 0,85$$

t_c = Espesor del cuerpo del cilindro (mm)

$$C = 3 \text{ mm}$$

Resolviendo

$$t_c = \frac{14.06 * 33}{1251,50 * 0.85 - 0.6 * 14.06}$$

$$t_c = 0.4396 \text{ cm}$$

$$t_c = 5 \text{ mm}$$

Con el margen de corrosión tendremos:

$$t = t_c + C = 5 + 3$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

Para soportar presiones elevadas se tiene que el espesor ideal será de 8 mm ya que la configuración del diseño así lo especifica.

Como el material a utilizar para reducir costos de fabricación y operación con el que se cuenta en el mercado es acero 304 L con características de presiones máximas están definidas así:

Tabla 18. Propiedades de Acero inoxidable

ACERO INOXIDABLE 304 (UNS S30400) ASTM A 276 ³³			
Propiedades mecánicas		Propiedades físicas	
Resistencia a la fluencia	310 MPa	densidad	$7.8 \frac{g}{cm^3}$
Resistencia máxima	620 MPa		

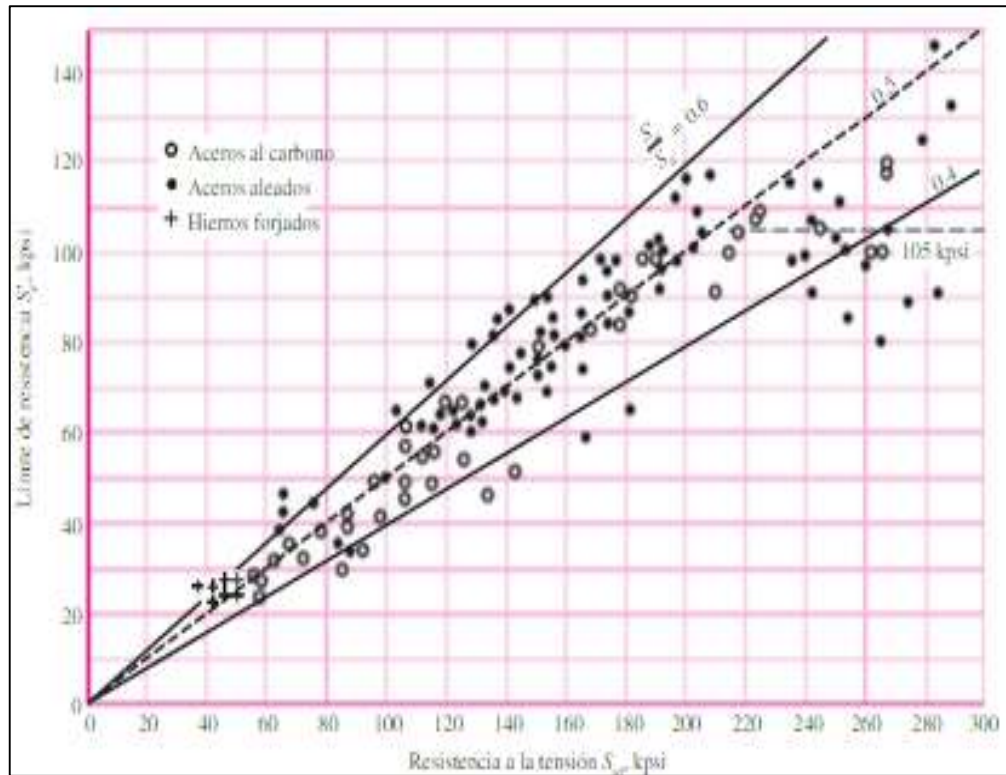
Fuente: Autor del proyecto.

De acuerdo a las propiedades mecánicas del material trabajaremos con un calibre de 1,5 mm de alta resistencia, ya que las presiones máximas de nuestro recipiente y esfuerzo no exceden los 5Mpa durante el proceso.

4.3.3 Análisis de falla por fatiga. En la actualidad, determinar los límites de resistencia mediante ensayos a la fatiga es una rutina, aunque resulta un procedimiento extenso. En general, para los límites de resistencia los ensayos de esfuerzo se prefieren a los ensayos de deformación. Para el diseño preliminar y de prototipos, así como para algunos análisis de falla, se requiere un método rápido para estimar los límites de resistencia. Existen grandes cantidades de datos en la literatura técnica sobre los resultados de ensayos con viga rotativa y de ensayos a la tensión simple de muestras tomadas de la misma barra o lingote. Si se grafican estos datos, como en la figura, se verá si hay alguna correlación entre los dos conjuntos de resultados. La gráfica parece sugerir que el límite de resistencia varía desde aproximadamente 40 hasta 60% de la resistencia a la tensión para aceros, y hasta alrededor de 210 kpsi(1 450 MPa). Comenzando en alrededor de $S_{ut}=210$ kpsi (1450 MPa), la dispersión parece incrementarse, pero aparentemente la tendencia se nivela, como lo sugiere la línea horizontal discontinua en $S_{Je}=105$ kpsi

³³ Datos tomados como referencia en <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf>

Figura 7. Gráfica de límites de resistencia a la fatiga contra resistencias o la tensión de resultados de ensayos reales de un gran número de hierros forjados y aceros aleados



Fuente: Diseño en ingeniería mecánica Shigley.

Los aceros tratados para proporcionar diferentes microestructuras tienen relaciones S_e/S_{ut} diferentes. En apariencia, las microestructuras más dúctiles tienen una relación más alta. La martensita tiene una naturaleza muy frágil y es altamente susceptible a las grietas inducidas por fatiga; por lo tanto, la relación es baja. Cuando los diseños incluyen especificaciones detalladas de tratamiento térmico para obtener microestructuras específicas, es posible usar una estimación del límite de resistencia con base en datos de ensayos para la microestructura particular; dichas estimaciones son mucho más confiables y en realidad su uso es recomendable³⁴

Aplicando los valores obtenidos del acero y utilizando las formulas establecidas para ciclos bajos en el libro Diseño En Ingeniería Mecánica Shigley capítulo 6.

Las constantes a y b están definidas por los puntos $10^3(S_f)_{10^3}$ y $10^6 S_e$ con $(S_f)_{10^3}$.

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e}$$

³⁴ Diseño en ingeniería mecánica Shigley. 6 ed. 2009

$$a = \frac{(0,5 * 50)^2}{90} = 6,94$$

$$b = \frac{1}{3} \log \frac{f S_{ut}}{S_e}$$

$$b = \frac{1}{3} \log \frac{25}{90} = 0,1854$$

Si se produce un esfuerzo completamente invertido se expresa como:

$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

$$N = \left(\frac{55}{6,94} \right)^{\frac{1}{0,1854}} = 69843,9397 = 69,8 (10^3) \text{ ciclos}$$

5. CONSTRUCCIÓN

La etapa de la construcción del biodigestor se realizó teniendo en consideración los datos obtenidos anteriormente y la disponibilidad de materiales en la región que ofrezcan las propiedades físico-mecánicas necesarias para la elaboración de recipientes a presión.

De esta manera se dispone a trabajar con acero inoxidable 304 “todo propósito” en plancha de 1,5 mm de espesor para el cilindro como para la tapa superior y el fondo del reactor; la tapa superior ira desmontable con seis tornillos que cumplen la función de darle la hermeticidad de una autoclave.

Figura 8. Cuerpo cilíndrico del reactor



Fuente: Autor del proyecto.

En la tapa estaran dispuestas las muelas donde entraran los tornillos guía del autoclave ubicados de manera simetrica para darle presion en la mayoria de los puntos posibles del aro superior. Asi mismo la tapa tendra una lamina de acero al carbono soldad para acoplar al cuerpo cilindrico del tanque.

Figura 9. Tapa del tanque y perfiles aseguradores.



Fuente: Autor del proyecto.

Para asegurar la tapa, los tornillos fueron fabricados con un eje de $\frac{1}{2}$ pulgada roscado y soldados a un eje liso solido del mismo diametro junto con los bujes para su movimiento.

Figura 10. Sistema de sellado autoclave.



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 11. Guía para el sello hermético



Fuente: Autor del proyecto.

Para los accesorios del biodigestor los acoples que se utilizaron son de acero inox 304 para las salidas de las valvulas como para el tapon de limpieza en la parte nferior del tanque.

Figura 12. Accesorios



Fuente: Autor del proyecto.

Todo el proceso se llevo a cabo con soldadura TIG y material de aporte 304, tanto para la junta longitudinal como para cada accesorio instalado. Para evitar los ángulos de deformación y una posible oscilación del eje por las fuerzas que se puedan generar por el fluido se hace recomendable poner una guía donde el eje descansara y rotara

Figura 13. Soldadura TIG Acero Inox



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 14. Salidas del Biodigestor.



Fuente: Autor del proyecto.

Para realizar el mecanizado del sistema de acople se utilizo un eje de 2,5” pulg de acero 304 solido para torneare el buje donde descansaria el sello mecanico que evitara la fuga del gas en tod momento.

Figura 15. Mecanizado para el sistema de acople



Fuente: Autor del proyecto.

Para poder unir el eje del motorreductor con el eje del agitador se utilizo un acople como el mostrado en la figura 16.

Figura 16. Acople de ejes



Fuente: Autor del proyecto.

Para el sistema de agitacion se selecciono un eje solido de $\frac{3}{4}$ de pulgadas solido en acero inoxidable para el agitador donde se ubicaron las aspas para esta configuracion y se soldaron a un buje que se unio al eje solido para la conexi3n del eje-aspas. Para la selecci3n del motorreductor de acuerdo a los datos obtenidos, se utilizo un motorreductor de 0,5 HP de potencia y con una relacion 20:1 para una velocidad final de salida de 84 rpm. Para la instalcion del motorreductor fue necesario construir un sistema de acoplado ya que el motorreductor originalmente viene con el sistema de reduccion a 90° sentido contrario manecillas del reloj y para este proyecto fue necesario reubicarlo para la adaptacion tanto del eje del agitador como del motorreductor, ademias se le construyo una base para el apoyo y refuerzo de la tapa para evitar pandeo por peso

Figura 17. Configuraci3n de las aspas.



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 18. Estructura del Motorreductor



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 19. Acople del sistema de unión de ejes



Fuente: Autor del proyecto.

Así mismo en la tapa superior están ubicados la válvula de alivio de 150 psi y el manómetro Winter junto con la válvula de salida del gas.

Figura 20. Válvula de seguridad y manómetro



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 21.biodigestor anaeróbico con accesorios. Resultado Final



Fuente: Autor del proyecto.

Para este caso por razones de costo y tiempo de entrega de materiales se han omitido ciertos valores definidos por los manuales pero que no afectan ni repercuten de cierta manera en la construcción y parámetros de funcionamiento del proyecto.

CONCLUSIONES

La mezcla estequiometria que se realizó para introducir al biodigestor determina la cantidad de biogás generado en los periodos correspondientes a dichas actividades experimentales, ya sea que se tome el reactor para pruebas de tiempos corto o tiempos largos y dependiendo el tipo de carga, si se realiza diaria, semanal, o mensual, pues esta disposición estará respaldada por los datos que se quieran obtener a través de las pruebas, se sabe que la caracterización de las excretas y el porcentaje de metano que puedan producir depende de la alimentación de los animales por lo tanto es indispensable controlar tanto el ambiente en el que se encuentran y los horarios de adición y porcentaje de comida que se le brinda al animal, así de esta manera también se establece que se pueden mezclar los diferentes estiércoles tratando de encontrar una mezcla perfecta que contenga un alto porcentaje de metano en el biogás generado.

Los parámetros como la agitación, el control de temperatura y el pH deben priorizarse y mantenerse dentro de los niveles estables para una buena producción de biogás, siempre teniendo en cuenta que el valor del porcentaje de biogás generado está directamente ligado con la funcionalidad correcta de estos para la óptima obtención, si alguno de estos elementos no está en funcionamiento o no están controlados ni se verifican se puede tener un retroceso en la producción de biogás. Para ello se deben tener valores ideales para la producción de biogás por medio del proceso anaerobio y que están dentro del rango de 6,8-7,4 para que el proceso no se retarde en ningún momento. El instrumento que se utiliza para la medición y control de los parámetros durante el proceso de biodigestión anaerobia tiene una tolerancia de error muy baja lo cual es ideal para poder medir con exactitud los valores.

El manejo que se le da al biodigestor son para pruebas que determinaran que cantidad de biogás es más eficiente y que clase de mezcla es la que la produce, las condiciones ambientales correctas mejoran la producción y la calidad del mismo teniendo en cuenta que el rango mesofilo de la digestión anaerobia es el ideal. Dada las configuraciones del diseño del reactor se tiene que se pueden variar y modificar las mezclas y los accesorios para una mayor obtención de datos y evaluar de muna mejor manera los valores obtenidos a través de las pruebas.

RECOMENDACIONES.

En la determinación de las muestras de estiércol tener presentes los agentes que retardan e inhiben la producción de biogás ya que estas en cantidades nocivas de metales pesados y tóxicos son agentes mortales para las bacterias en su proceso digestivo. Si el pH de las mezclas a introducir es muy elevado o muy bajo se debe adicionar soluciones alcalinas para nivelar los valores hasta un rango aceptable entre 7-7.5.

Como el recipiente diseñado es un tanque destinado a la producción de biogás se debe tener precaución en No exceder del 80 % del volumen neto disponible para mezcla, hasta no poseer un tanque de almacenamiento directo de biogás como tanque auxiliar, esto con el fin de evitar sobre presiones interiores y causar deformaciones del material en casos críticos. Para esto se da una proporción del 60% para la mezcla en condiciones normales para el volumen del estiércol y el 40% restante destinado a la producción de biogás. En la utilización del pH-metro se tenga precaución en la manipulación, tanto en la toma de muestra como en el mantenimiento del instrumento, y realizarlo según el manual del equipo, se pueden tomar muestras directamente con equipos especializados y utilizar instrumentos que controlen el caudal producción y salida de biogás tales como caudalímetros dispuestos para este tipo de pruebas

El lugar donde se instale debe poseer un espacio abierto para evitar una contaminación por fuga del biogás en un caso crítico, para los accesorios se da la consideración de que deben ser de acero inoxidable para evitar la corrosión por el ácido sulfhídrico presente en el biogás, aunque su costo sea elevado evitara contaminaciones futuras y retrasos en la producción del biogás, en el sistema de agitación debe adecuarse tanto a las viscosidades de la mezcla como al tipo de flujo que se desee tratar, dependiendo de las condiciones que se le quieran dar a cada actividad experimental, para la conexión se realizó una instalación a 220 v monofásica conectada con una clavija trifásica para conexión a tierra y se debe tener precaución a la hora de manipular el equipo de agitación por lo tanto se debe tener **PRECAUCION**.

Para cada experimento a realizar se debe proceder con cuidado en el desmontaje de la tapa junto con el Motorreductor ya que el diseño es un poco robusto para realizarlo una sola persona.

BIBLIOGRAFIA

- American Society of Mechanical Engineering, Boiler and Pressure Vessel Code an International Code VIII Division 1 – Edición 2002.
- ATKNSON. B., Reactores bioquimicos, 2 ed. Revert, 1983.
- Biomass users network, BUN-CA. Manuales sobre energía renovable: Biomasa. 2002
- BULOCK J y KRISTIENSEN B., Biotecnología Basica, 3. ed. Acribia 1991.
- CALDERON, Héctor. Lecturas básicas de metodología de la investigación. México: McGraw-Hill, 2003
- CALLE, Jhon, Universidad Tecnológica de Pereira, tecnología química, Pereira, Colombia 2012.
- Constitución política de Colombia
- Diseño de Elementos de Máquinas I. Segunda Edición. Fortunato Alva Dávila. Primera Edición 2002
- Diseño en ingeniería Mecánica. Tercera Edición. Joseph Edward Shigley.
- DOROTEO, Juan, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U.Z, tesis en maestro en Ingeniería Civil, Mexico, 2012
- FERNÁNDEZ J. Energía de la Biomasa (En línea). (Consultado: 10 de Octubre, 2008). Disponible en: http://www.energiasrenovables.com/Productos/pdf/cuaderno_BIOMASA.pdf
- GARCIA, Harold. Universidad Nacional de Colombia, tesis de maestría en ingeniería, ingeniería mecánica, Bogotá, Colombia. 2011
- GUEVARA, Antonio, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, tesis de maestría en Saneamiento Ambiental, lima, Perú 1996.
- HERNANDEZ, Roberto. Metodología de la investigación, 5ta ed
- HIDALGO, Alfredo, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, tesis de ingeniero mecánico, Salvador 2010.
- LARA, Edwin, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, tesis en Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Riobamba, Ecuador, 2011.
- MEGYESY, E. Manual de Recipientes a presión: Diseño y calculo, Editor Limusa, 2002.
- OLAYA, Arboleda, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, modulo para la asignatura de construcciones Agrícolas, Palmira, Colombia, 2009.
- PERALTA J. (2005). Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina. (En Línea). (Consultado el: 4 de Noviembre, 2008). Disponible

en:http://www.sag.gob.cl/pls/portal/docs/PAGE/PG_SAG_BIBLIOTECA/BIBL_MEDAMB/BIBLIO_MA_GAMB/BIBLIO_MA_GAMB_DOCS/MANEJO_PURINES_PORCINOS.PDF.

PEREZ, Javier, Universidad Carlos III de Madrid, tesis en ingeniería Química, Leganes, 2011.

ROMULO RUÍZ S. (2006). Producción de biogás empleando biomasa Agropecuaria. (En Línea). (Consultado el: 20 de Octubre, 2008). Disponible en: http://www.sendas.org.ec/docs/utilizacion_del_biogas.pdf.

SANTIAGO J. SÁNCHEZ MIÑO. (2003). Energías Renovables, Conceptos y Aplicaciones. (En Línea). (Consultado el: 4 de Noviembre, 2008). Disponible en:http://www.unioldenburg.de/ppre/download/Downloads/ENERG%CDAS_RENOVABL

Unidad de Planeación Minero Energética UPME: Potencialidades de los cultivos energéticos y cultivos agrícolas en Colombia. UPME, 2002.








VERA, Ivan, Universidad Nacional Autónoma de Mexico, tesis de maestría en Energía-Procesos y Uso Eficiente de la Energía, Mexico, 2011.

VINASCO J. Tecnología del biogás. (En Línea). (Consultado el 21 de Octubre, 2008). Disponible en:<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>.


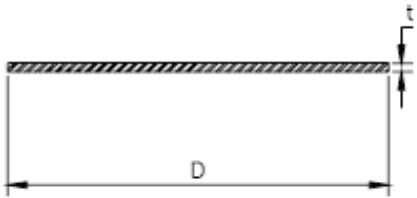
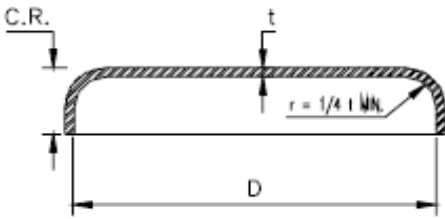
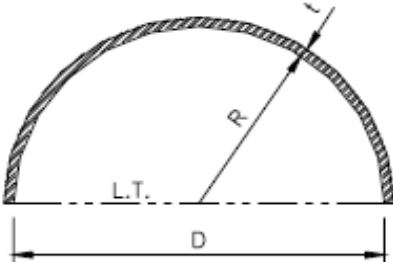
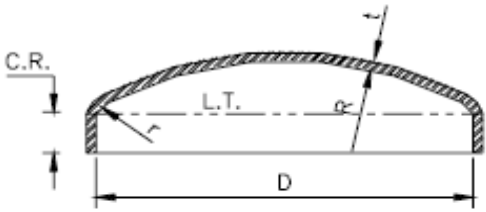
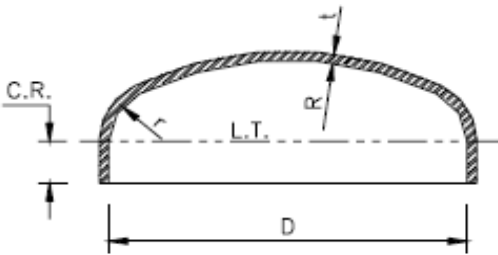
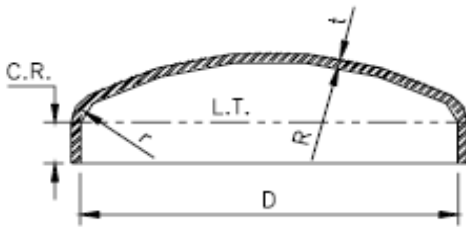
XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XIX-SPES), Puno, 14-17.11.2012.

ANEXOS

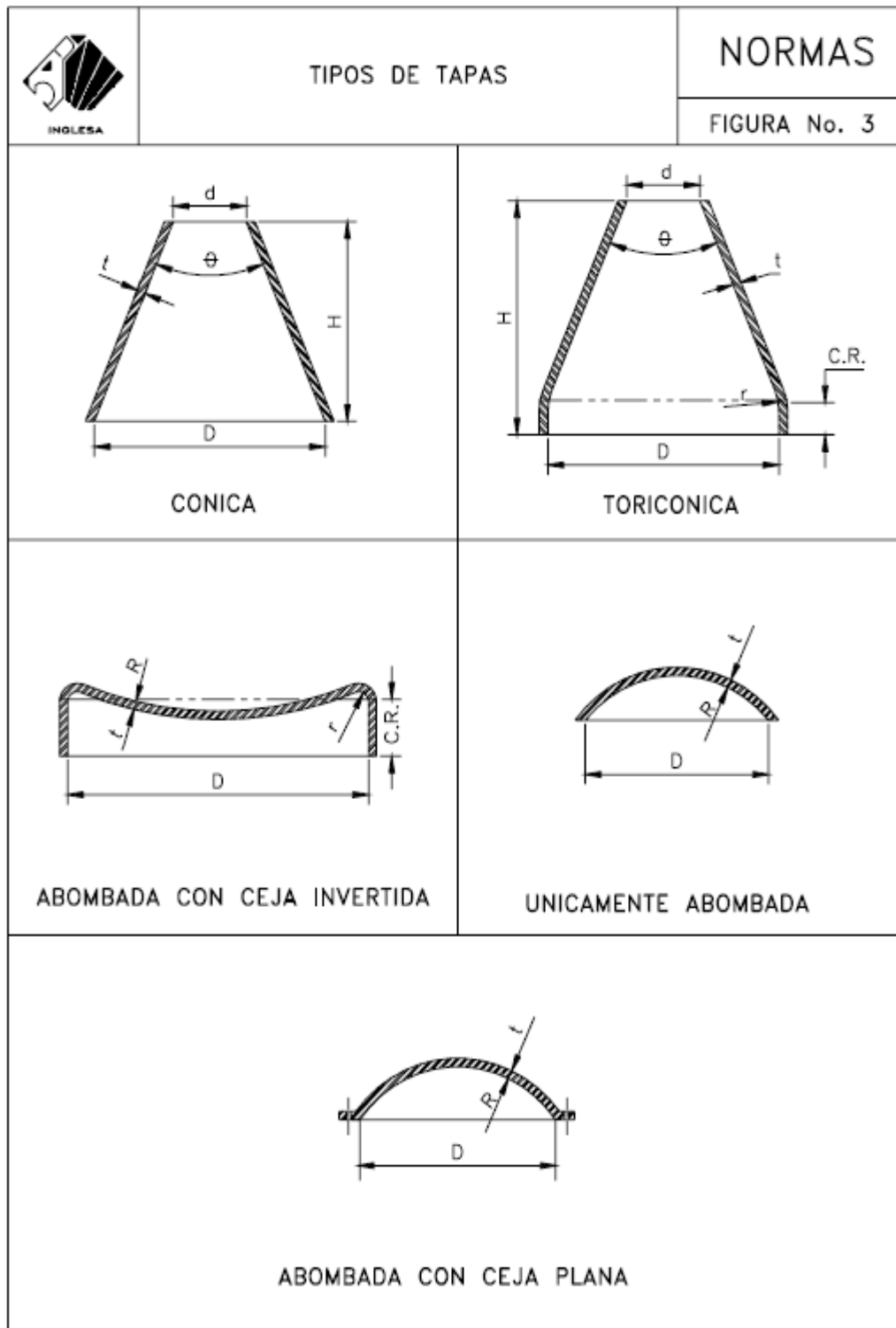
ANEXO 1 Eficiencia de las soldaduras

	EFICIENCIA DE SOLDADURAS VALORES DE "E"	NORMAS		
		FIGURA No. 1		
TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.65
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.45

ANEXO 2 Selecciones de tipo de cabeza para recipientes a presión.

	TIPOS DE TAPAS	NORMAS
	FIGURA No. 2	
 <p data-bbox="526 814 618 842">PLANA</p>	 <p data-bbox="997 814 1255 842">PLANA CON CEJA</p>	
 <p data-bbox="496 1266 695 1293">SEMIESFERICA</p>	 <p data-bbox="1092 1266 1214 1293">80 : 10</p>	
 <p data-bbox="513 1692 699 1719">SEMIELIPTICA</p>	 <p data-bbox="1040 1692 1235 1719">TORIESFERICA</p>	

ANEXO 3. Selecciones de tipo de cabeza para recipientes a presión

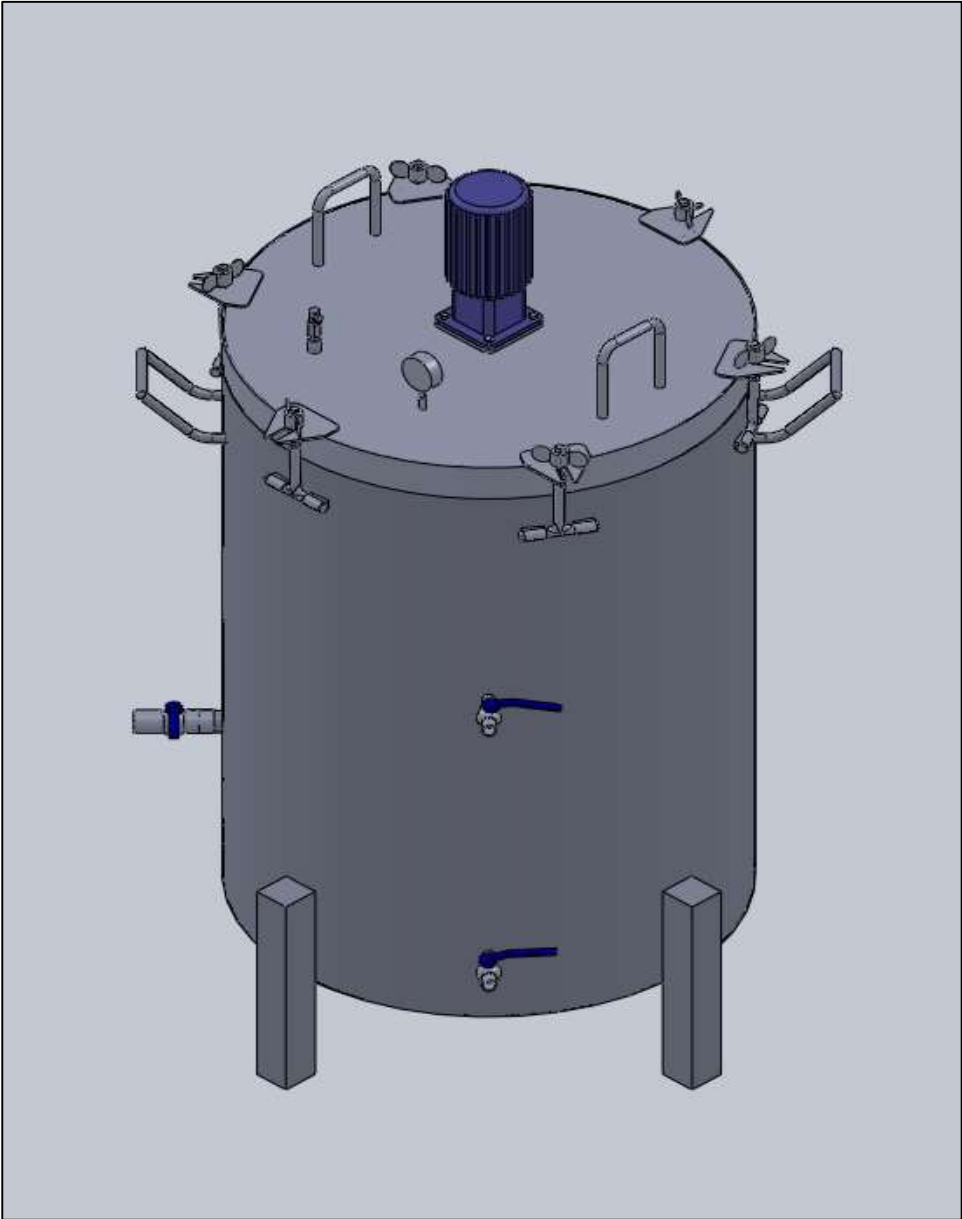


ANEXO 4. Selecciones de tipo de cabeza para recipientes a presión

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES - ACERO INOXIDABLE													
P-No. 8 Grupo No. 1													
TABLA 1							TABLA 3						
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni	Cedencia min. 30 000 lb/pulg ² Tensión min. 75 000 lb/pulg ²	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo.	Cedencia min. 30 000 lb/pulg ² Tensión min. 75 000 lb/pulg ²	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	
		Placa	SA-240	304	2 3	Placa			SA-240	316	2 3		
		Tubo s/c	SA-213	TP304	2	Placa			SA-240	317	2 3		
		Tubo s/c	SA-213	TP304H	—	Tubo s/c			SA-213	TP316	2		
		Tubo /sc	SA-312	TP304	2	Tubo s/c			SA-213	TP316H	—		
		Tubo s/c	SA-312	TP304H	—	Tubo s/c			SA-312	TP316	2		
		Tubo s/c	SA-376	TP304	2	Tubo s/c			SA-312	TP316H	—		
		Tubo s/c	SA-376	TP304H	—	Tubo s/c			SA-312	317	2		
		Tubo vaciado	SA-452	TP304H	—	Tubo s/c			SA-376	TP316	2		
		Forj.	SA-182	F304	2	Tubo s/c			SA-376	TP316H	—		
Forj.	SA-182	F304H	—	Tubo vaciado	SA-452	TP316H	—						
Barra	SA-479	304	2 3 5	Forj.	SA-182	F316	2						
TABLA 2							TABLA 4						
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni	Cedencia 25 000 Tensión 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo.	Cedencia 25 000 Tensión 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	
		Placa	SA-240	304L	—	Placa			SA-240	316L	—		
		Tubo s/c	SA-213	TP304L	—	Tubo s/c			SA-213	TP316L	—		
		Tubo s/c	SA-312	TP304L	—	Tubo s/c			SA-312	TP316L	—		
		Forj.	SA-182	F304L	—	Forj.			SA-182	F316L	4		
Barra	SA-479	304L	5	Barra	SA-479	316L	5						
VALORES MAXIMOS DE ESFUERZO PERMITIDO, 1 000 lb/pulg ²													
MATERIALES DE LA TABLA	PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F												
	-20-100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	NOTAS
1	18.8	17.8	16.6	16.2	15.9	15.9	15.9	15.9	15.5	15.2	14.9	14.7	1
	18.8	15.7	14.1	12.9	12.1	11.4	11.2	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	
2	15.7	15.7	15.3	14.7	14.4	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	—	—	1
	15.7	13.4	12.0	11.0	10.3	9.7	9.5	9.4	9.2	9.1	—	—	
3	18.8	18.8	18.4	18.1	18.0	17.0	16.7	16.3	16.1	15.9	15.7	15.5	1
	18.8	16.2	14.6	13.4	12.5	11.8	11.6	11.3	11.2	11.0	10.9	10.8	
4	15.7	15.7	15.7	15.5	14.4	13.5	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	—	1
	15.7	13.3	11.9	10.8	10.0	9.4	9.2	9.0	8.8	8.6	8.4	—	
MATERIALES DE LA TABLA	PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F												
	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	
1	14.4	13.8	12.2	9.8	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	1
	10.0	9.8	9.5	8.9	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	
3	15.4	15.3	14.5	12.4	9.8	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.3	1
	10.7	10.6	10.5	10.3	9.3	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.2	

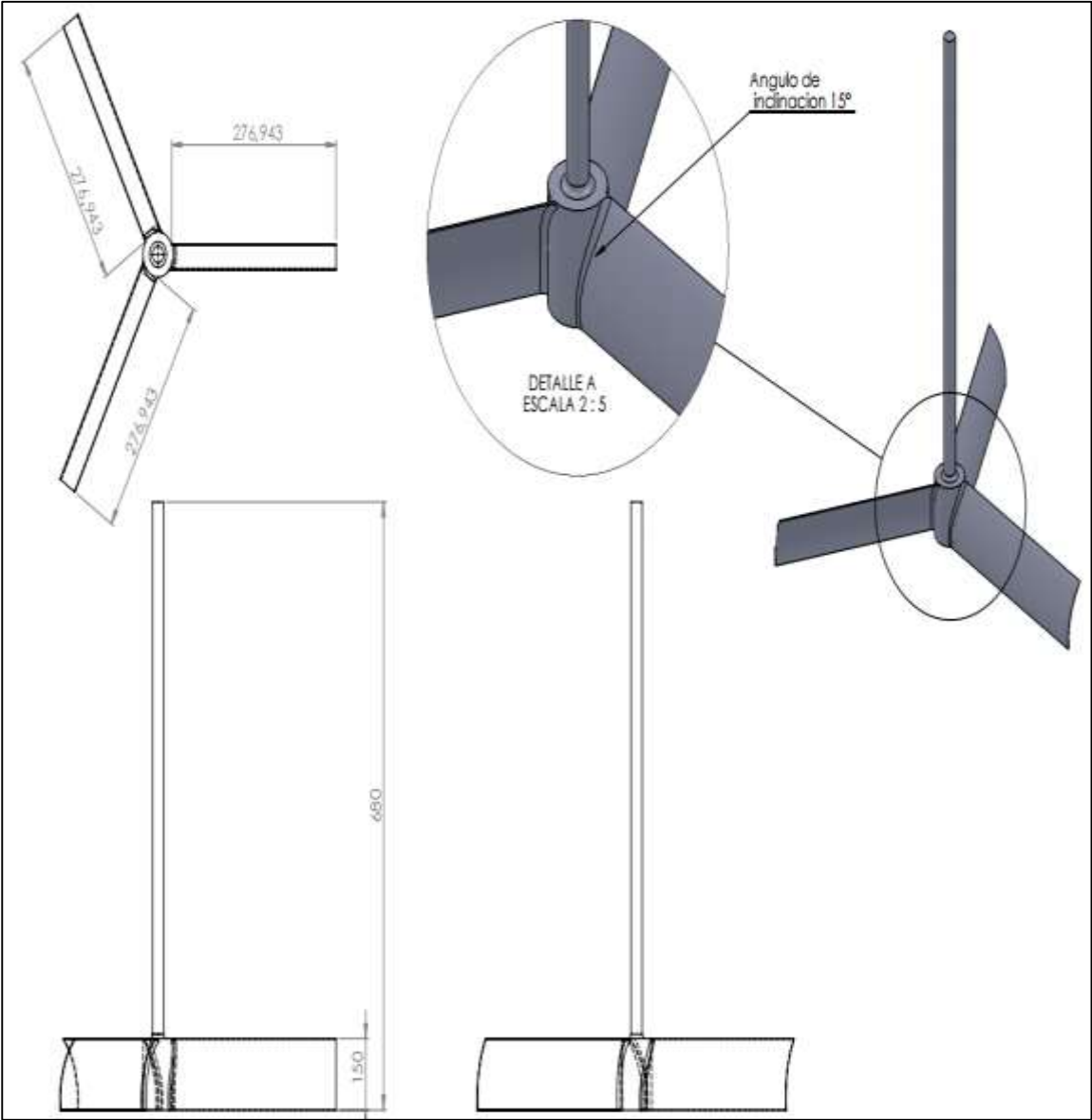
Fuente: Manual de recipientes a presión, Eugene, F, Megyesy 1992

ANEXO 5. Prototipo del biodigestor



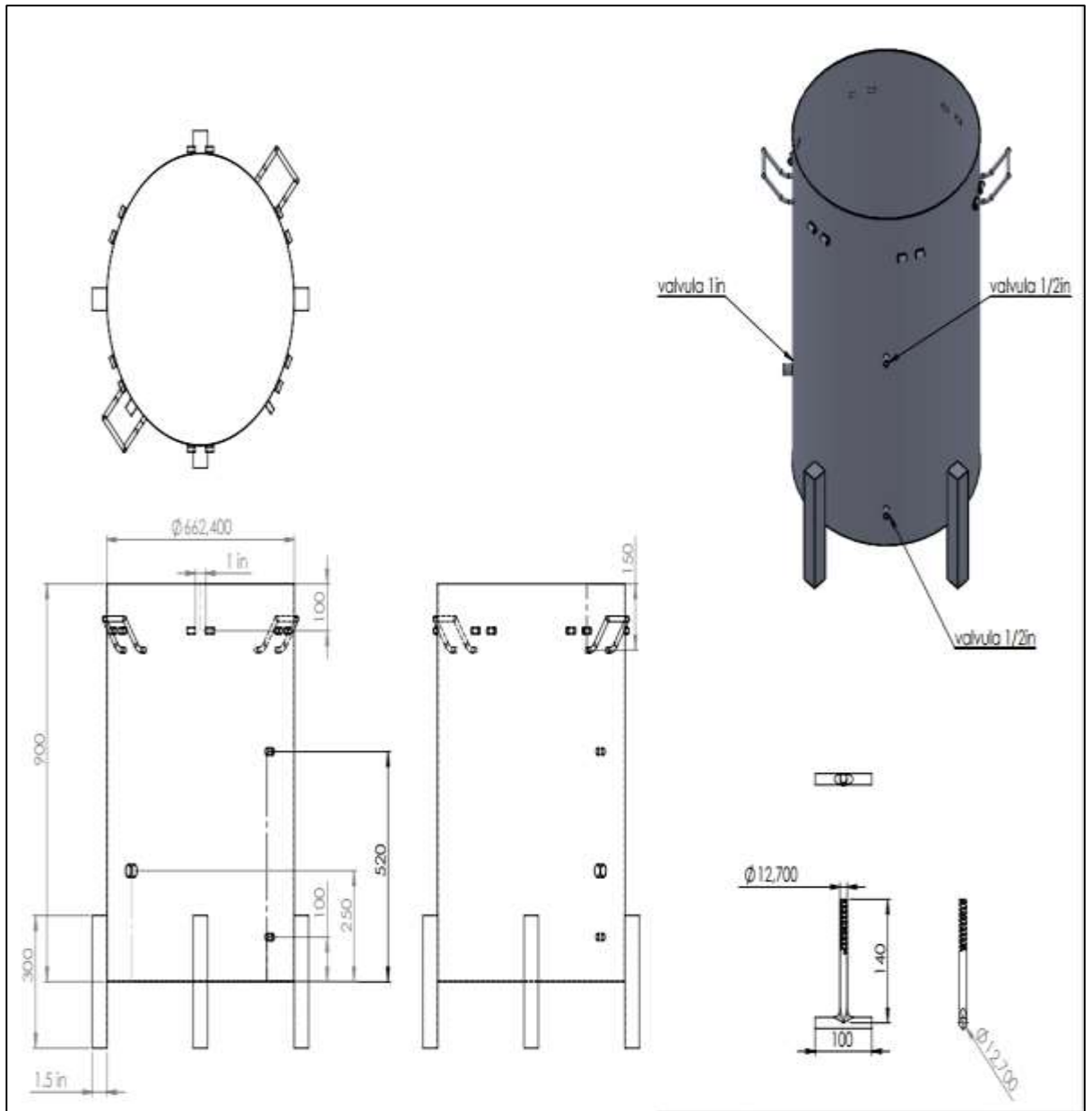
Fuente: Navarro, A. Luis. 2015

ANEXO 6. Diseño de las paletas



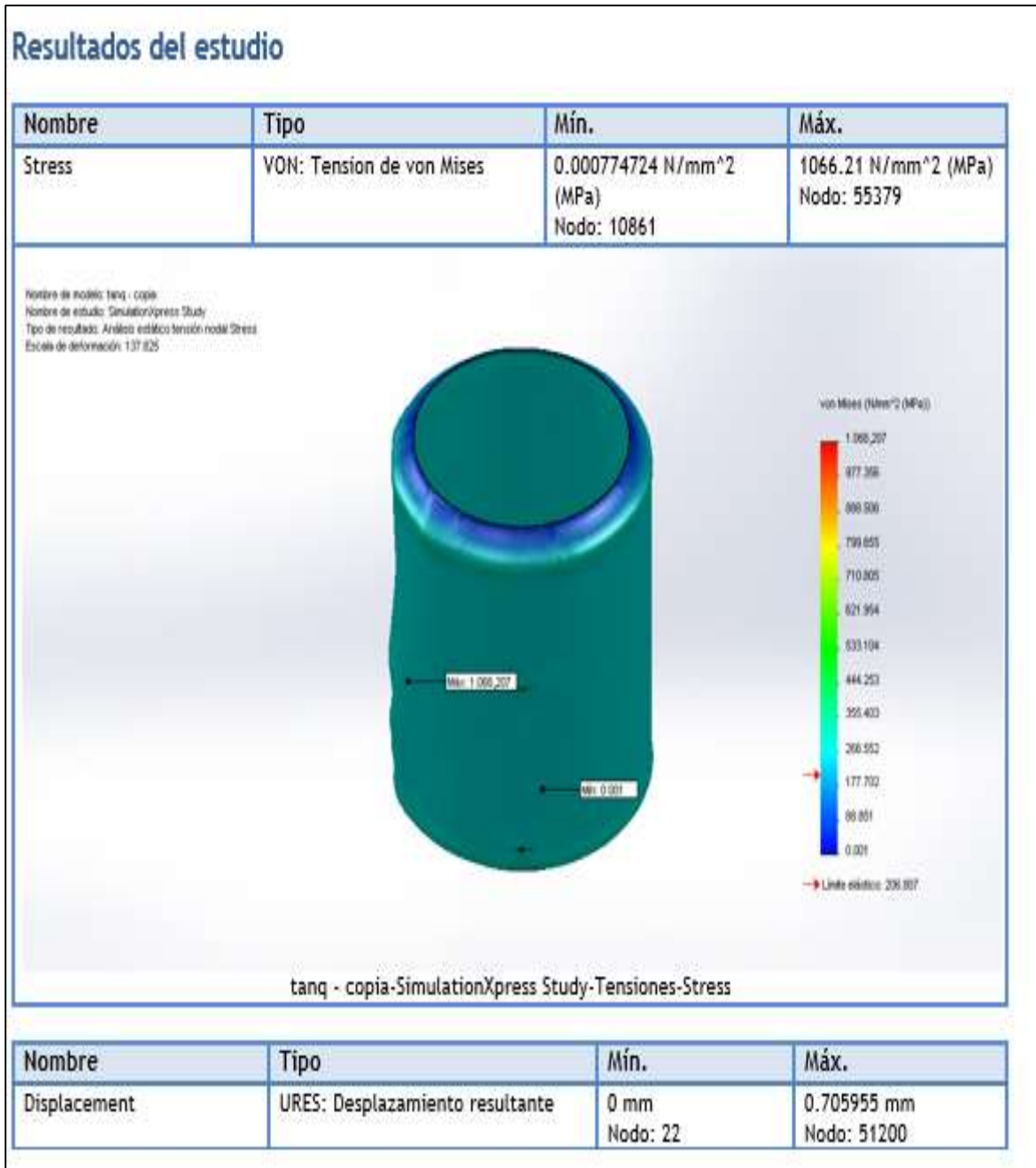
Fuente: Navarro, A. Luis. 2015

ANEXO 7. Planos de Construcción



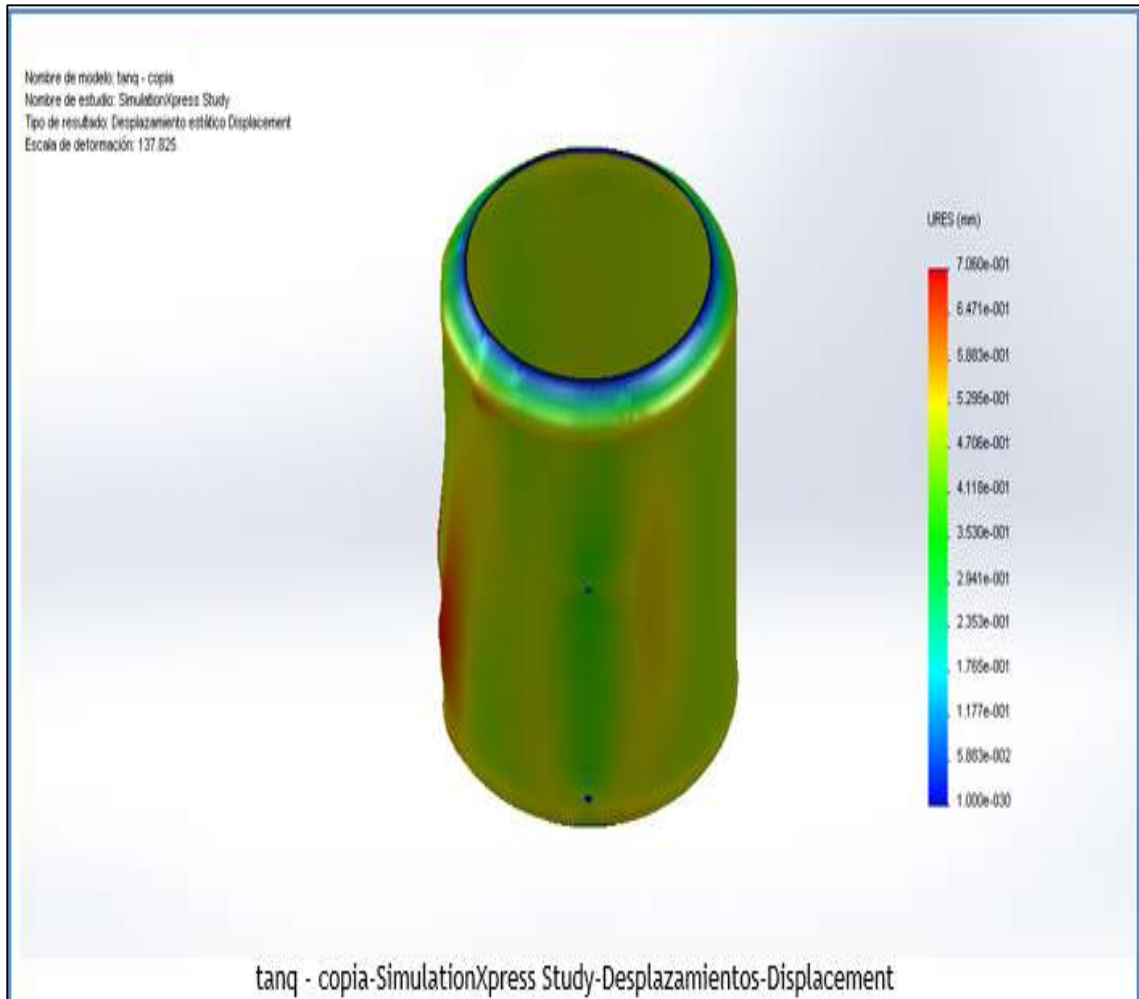
Fuente: Navarro, A. Luis. 2015

ANEXO 8 Análisis de tensión von Mises



Fuente: Navarro, A, Luis 2015.

ANEXO 9. Deformación del cilindro



Fuente: Navarro, A, Luis 2015.

ANEXO 10. Presupuesto

PRESUPUESTO BIODIGESTOR		
PRODUCTO	DESCRIPCION	VALOR
Tanque Acero Inoxodable 300 Lts	Acero AISI 304 2B	2.800.000
Motorreductor Dixus	1/2 hp reduccion 20:1	970.000
pH-metro Hanna	pH-temperatura	560.000
piezas acero inoxidable	uniones y salidas	500.000
valvulas galvanizadas	2 *1/2" y 1* 1 "	90.000
mecanizado de piezas	Torno y Fresadora	400.000
Manometro winters	300 psi glicerina	100.000
Tornilleria y sujecciones	1/2" acero carbono	200.000
valvula de seguridad	150 psi	70.000
	valor total	5.600.000