

## RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO MECATRÓNICO.
2. **TÍTULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO BIODIGESTOR TIPO MIXTO PARA LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE GAS METANO.
3. **AUTORES:** Norma Constanza Vásquez Garavito y Daniel Ricardo Riveros Jiménez.
4. **LUGAR:** Bogotá, D.C.
5. **FECHA:** Enero de 2013.
6. **PALABRAS CLAVE:** Biodigestor, Biogás, Estiércol, Producción de Gas Metano, Almacenamiento de Gas, Energías renovables, Abono, Tanques.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** El documento presenta el desarrollo respectivo al Diseño y Construcción de un Prototipo Tipo Mixto para la Producción y Almacenamiento de Gas Metano, el cual se desarrolla con el fin de avanzar en los procesos de utilización de Energías Renovables, gracias a la implementación del sistema Tipo Mixto en el Biodigestor, se encarga de producir y almacenar correctamente la producción de Gas Metano a base de estiércol vacuno, mediante la fermentación de bacterias en fase anaerobia; esta producción de Gas Metano, es para el beneficio de sectores agrícolas, puesto que tiene muchas aplicaciones para el uso sostenible del sector donde este aplicado.
8. **LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** El campo temático del proyecto: Diseño, instrumentación y construcción de procesos de manufactura. Sub línea de la facultad: Instrumentación de procesos. Línea de investigación de la Universidad: Tecnologías actuales y sociedad.
9. **FUENTES CONSULTADAS:** Abbott, PH. D. Michael M. "Teoría y Problemas de Termodinámica", McGraw Hill, Poligráfica S.A., México. 1972. ANDREWS, J. F. "A Mathematical Model for the Continuous Culture of Microorganisms Utilizing Inhibitory Substrates". Biotechnology Bioengineering. Volumen 10, 707. 1968. AYUSO MARTÍNEZ, Luis Evaristo, "Termodinámica", Editorial UNISUR, Primera Edición. Santafé de Bogotá, D.C., 1995. BARNETT, A. et al., "Biogas Technology in the third world: A multidisciplinary Review", IDRC (International Development Research Centre), Ottawa, 1978. BEER Ferdinand, JOHNSTON Russell, DEWOLF John "Mecánica de Materiales", Editorial Mc Graw Hill Cuarta Edición. 2006.
10. **CONTENIDOS:** Los Biodigestores son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás por medio de desechos orgánicos, lo que permite obtener energía limpia, renovable y de bajo costo. En el diseño del Biodigestor Tipo Mixto se tiene en cuenta la carga, tiempo de retención, volumen, presión y producción del biogás. Se calcularon las cargas y los esfuerzos a los que el Biodigestor estaría expuesto de acuerdo con el material escogido. La capacidad de almacenamiento del gas es un punto importante para cualquier aplicación que se le quiera dar al Biodigestor, por esto se debe tener en cuenta la producción diaria y el gasto diario para poder hallar el volumen total que debe tener el tanque de almacenamiento. Otra parte fundamental fue el diseño para el control de las variables de temperatura, volumen y presión, con las cuales se quiere aumentar la producción de biogás y poder llegar a una gran eficiencia.
11. **METODOLOGÍA:** El enfoque a emplear en este trabajo de grado es analítico y experimental.
12. **CONCLUSIONES:** Se evaluaron las variables de un sistema Biodigestor, de tal forma que permitieron determinar las dimensiones y necesidades del sistema de Biodigestión; por lo tanto las variables como: relación C/N, pH y temperatura fueron tenidas en cuenta en la formación para enfatizar sobre las necesidades de la digestión anaerobia, es por esto que después de las pruebas realizadas arrojaron resultados concretos. Se describió el proceso de un Biodigestor Tipo Mixto, considerando sus fases de llenado, producción y almacenamiento de Gas Metano. Se construyeron los tanques contenedores para mezcla, reacción y descarga de efluentes de acuerdo con los diseños obtenidos. Se concluye que al aumentar el porcentaje de sólidos en el efluente se aumenta la producción de gas por metro cubico de volumen líquido.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO BIODIGESTOR TIPO MIXTO  
PARA LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE GAS METANO

NORMA CONSTANZA VÁSQUEZ GARAVITO  
DANIEL RICARDO RIVEROS JIMÉNEZ

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2013

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO BIODIGESTOR TIPO MIXTO  
PARA LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE GAS METANO

NORMA CONSTANZA VÁSQUEZ GARAVITO  
DANIEL RICARDO RIVEROS JIMÉNEZ

Trabajo de grado presentado como prerrequisito final para optar al título de  
Ingeniero Mecatrónico

DIRECTOR

PEDRO NEL MARTÍNEZ

Ingeniero Mecánico. CPhd. Msc.

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2013

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma de Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá D.C. enero de 2013

## AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que directa o indirectamente nos colaboraron en la realización de este proyecto.

Al Ingeniero Pedro Nel Martínez, asesor de proyecto, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua del mismo, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos años.

A la universidad de San Buenaventura, al Padre Rector y cada uno de los profesores por el conocimiento transmitido y la formación inculcada durante todo este tiempo, por su ayuda y sus asesorías en nuestro proceso de formación como ingenieros.

### NORMA CONSTANZA VÁSQUEZ GARAVITO

A Dios por darme fuerzas para sacar mi carrera adelante, a mis padres; Clara Elsa Garavito Garzón (Q.E.P.D) y Luis Antonio Vásquez Díaz, por brindarme todo su apoyo incondicional, a mi hermano Luis Gabriel Vásquez, por su afecto y su forma de mostrarme la vida de una manera diferente, gracias por ser parte fundamental en mi formación profesional. Gracias a mi compañero de tesis por sus enseñanzas.

### DANIEL RICARDO RIVEROS JIMÉNEZ

A mis padres Rosalba Jiménez y Mauricio Riveros por darme la vida, creer en mí y siempre brindarme apoyo incondicional, gracias a ellos estoy presentando este proyecto y por esto les estoy expresando mi máximo agradecimiento.

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón, iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	1
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1 GENERALIDADES.....	3
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.4 OBJETIVOS.....	7
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	7
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES .....	8
1.5.1 ALCANCES.....	8
1.5.2 LIMITACIONES.....	8
2 MARCO DE REFERENCIA .....	9
2.1 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL .....	9
2.1.1 MATERIAL DE CARGA PARA LA FERMENTACIÓN. ....	9
2.1.2 BIOGÁS .....	9
2.1.3 PROCESO DE BIODIGESTIÓN.....	10
2.1.4 BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	12
2.1.4.1 Etapas en el Proceso de Biodigestión Anaeróbica. ....	13
2.1.4.1.1 Hidrólisis o licuefacción.....	13
2.1.4.1.2 Fermentación y Producción de Ácidos. ....	13
2.1.4.1.3 Etapa Acetogénicas. ....	13
2.1.4.1.4 Fase Metanogénica.....	14
2.1.5 Efluente.....	15
2.1.6 Líneas de Conducción de Estiércol y Biogás.....	16
2.1.6.1 Válvulas de Flujo de Mezcla y Gas.....	16
2.1.7 PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL PROCESO DE BIODIGESTIÓN. ...	17
2.1.7.1 Concentración de Carga. ....	17
2.1.7.2 Temperatura. ....	18
2.1.7.2.1 Toma de Muestras de Temperatura. ....	19
2.1.7.3 Valor de pH.....	19
2.1.7.3.1 Toma de Muestras de pH.....	20
2.1.7.4 Materiales Tóxicos. ....	20
2.1.7.5 Contenido de Sólidos Totales.....	21
2.1.8 Proceso Isotérmico .....	22
2.1.9 Estructuración, implementación y programación del modelo.....	25
2.1.10 Balance de Materia. ....	26
2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO .....	26

3	DISEÑO INGENIERIL .....	30
3.1	DETERMINACIÓN DEL TIPO DE BIODIGESTOR.....	30
3.1.1	Requerimientos Iniciales de Diseño. ....	30
3.1.2	Despliegue de la función de Calidad. ....	31
3.1.3	Alternativas. ....	33
3.1.3.1	Discontinuos o Tipo Batch.....	33
3.1.3.2	Biodigestores Semi-Continuos. ....	33
3.1.3.2.1	Modelo Chino.....	34
3.1.3.2.2	Modelo Hindú.....	34
3.1.3.3	Sistemas Continuos .....	35
3.1.3.4	Biodigestor Tipo Mixto.....	35
3.2	ANÁLISIS FUNCIONAL DEL BIODIGESTOR TIPO MIXTO.....	37
3.2.1	Descomposición Funcional. ....	38
3.2.2	Plano de Concepto.....	39
3.3	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	40
3.4	ANÁLISIS DE MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES. ....	42
3.4.1	Lámina de Acero Galvanizada. ....	42
3.4.2	Especificaciones Técnicas de la Lámina de Acero Galvanizada .....	43
3.5	DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR TIPO MIXTO.....	44
3.5.1	Cálculo de Tiempo de Retención Aproximado.....	44
3.5.2	Volumen del Tanque Reactor.....	45
3.5.3	Volumen del Tanque de Almacenamiento de Gas.....	47
3.6	DISEÑO Y CÁLCULOS DE TANQUE REACTOR.....	47
3.6.1	Cálculo de dimensiones para el tanque reactor.....	48
3.6.2	Cálculo de Presión en el Tanque Reactor. ....	51
3.6.3	Valores del Esfuerzo Máximo Permitido. ....	53
3.6.4	Cálculo de Esfuerzos en Vigas (Tanque Reactor). ....	56
3.6.4.1	Esfuerzos Máximos de Tensión y Compresión.....	58
3.6.5	Soldadura de las Vigas_ Tanque Reactor. ....	60
3.7	DISEÑO Y CÁLCULOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GAS. ...	63
3.7.1	Cálculo de Dimensionamiento para el tanque de almacenamiento de gas. ....	63
3.7.2	Cálculo de Presión en el Tanque de Almacenamiento. ....	65
3.7.3	Esfuerzo normal y Cortante máximo en la Cabeza Elipsoidal.....	66
3.7.3.1	Esfuerzo normal.....	66
3.7.3.2	Esfuerzo cortante máximo.....	66
3.7.4	Esfuerzo Tangencial y Longitudinal en el Cuerpo del Tanque. ....	66
3.7.5	Tensiones Tangenciales en la pared del cilindro. ....	67
3.7.6	Cálculo De Esfuerzo En Vigas (Tanque Almacenamiento Gas). ....	68
3.8	CÁLCULOS DE SOLDADURA DE RECIPIENTES A PRESIÓN. ....	71
3.8.1	Cálculo de Soldadura en el Tanque Reactor. ....	71
3.8.1.1	Esfuerzo en la Soldadura a través del Cuerpo del Tanque.....	72

3.8.2	Cálculo de Soldadura en el Tanque de Almacenamiento de Gas.....	73
3.8.2.1	Esfuerzo de Soldadura a través del Cuerpo del Tanque. ....	74
4	MEDICIONES DEL SISTEMA EXPERIMENTAL.....	75
4.1	DATOS DE PRESIÓN.....	75
4.1.1	Linealización de Datos de Presión .....	77
4.1.1.1	Linealización de tercer orden .....	77
4.1.2	Linealización de los datos de presión de Quinto Orden.....	80
4.1.2.1	Error Promedio para la Aproximación Lineal de Quinto Orden. ....	81
4.2	DATOS TEMPERATURA.....	82
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	84
5.1	Síntesis de la Información. ....	84
5.2	Paralelo entre Porcentajes de Materia Primaria. ....	85
5.3	Generación y Equivalencia Energética.....	86
5.4	Consumos y Requerimientos. ....	88
6	OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR. ....	90
6.1	Alimentación Periódica del Biodigestor. ....	91
6.2	Renovación Total del Material.....	92
7	MANTENIMIENTO DEL BIODIGESTOR.....	92
8	PRECAUCIONES.....	93
9	PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO Y SOLUCIONES.....	94
9.1	No hay Producción de Biogás .....	94
9.2	Hay Biogás, pero los equipos no funcionan.....	95
9.3	El Biogás no Arde .....	95
9.4	El efluente con Mal Olor.....	95
10	CONCLUSIONES.....	96
11	RECOMENDACIONES .....	99
	BIBLIOGRAFÍA.....	100
	ANEXOS .....	106

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores de Generación de Biogás según diferentes sustratos. ....	9
Tabla 2. Composición del Biogás. ....	10
Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del biogás.....	11
Tabla 4. Contenido porcentual de elementos Nutritivos en efluente (Base seca) .....	16
Tabla 5. Rangos de Temperatura y tiempo de fermentación anaerobia .....	19
Tabla 6. Rango de valores de PH en la generación de biogás.....	20
Tabla 7. Criterios ponderados en base a la matriz QFD.....	36
Tabla 8. Caracterización del reactor. ....	40
Tabla 9. Referencia de la Lámina de Acero Galvanizada. ....	43
Tabla 10. Propiedades de la Lámina de Acero Galvanizada. ....	43
Tabla 11. Especificaciones Ángulo 1" x 1/8". ....	59
Tabla 12. Cálculos para el centroide de la viga. ....	59
Tabla 13. Propiedades mecánicas de la soldadura.....	62
Tabla 14. Propiedades de la soldadura Lineal. ....	71
Tabla 15. Datos obtenidos_ Presión. ....	75
Tabla 16. Datos Para obtener el Error. ....	78
Tabla 17. Datos Obtenidos_ Temperatura.....	82
Tabla 18. Síntesis del Biodigestor.....	84
<b>Tabla 19.</b> Equivalente energético diario.....	87
Tabla 20. Consecuencias de exceso de carbono y nitrógeno. ....	90
Tabla 21. Proporciones Adecuadas para Diferentes Tipos de Desechos.....	91
Tabla 22. Causa y solución de no producción de biogás .....	94

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ciclo en el Biodigestor.....	6
Figura 2. Esquema de Reacciones. ....	14
Figura 3. Esquema de Línea de Conducción de Gas. ....	17
Figura 4. Matriz de Calidad. ....	32
Figura 5. Biodigestor Tipo Chino. ....	34
Figura 6. Biodigestor Tipo Hindú. ....	35
Figura 7. Diagrama Biodigestor Tipo Mixto.....	36
Figura 8. Modelo de Caja Gris. ....	37
Figura 9. Descomposición Funcional del Modelo. ....	38
Figura 10. Generación de Conceptos_ Plano Biodigestor. ....	39
Figura 11. Producción de Biogás en función de la Temperatura, fuente 1.....	45
Figura 12. Producción de Biogás en función de la Temperatura. ....	46
Figura 13. Volumen de un Cilindro.....	49
Figura 14. Volumen Casquete Esférico.....	50
<b>Figura 15.</b> Incremento de la presión con aumento de la profundidad. ....	51
Figura 16. Casco Cilíndrico (Costura Longitudinal).....	54
Figura 17. Cabeza Elipsoidal. ....	54
Figura 18. Plano Tanque Reactor. ....	55
Figura 19. Vista Superior_ Vigas Tanque Reactor. ....	56
Figura 20. Vista Frontal_ Vigas Tanque Reactor.....	56
Figura 21. Diagrama de Esfuerzos Cortantes. ....	58
Figura 22. Centroides de Viga. ....	59
Figura 23. Diagrama de Centroides de Ángulo.....	59
Figura 24. Diagrama de Soldadura. ....	60
Figura 25. Volumen de un Cilindro.....	63
Figura 26. Volumen Casquete Esférico.....	64
Figura 27. Plano Tanque de Almacenamiento de Gas. ....	68
Figura 28. Vista Superior_ Vigas Tanque Reactor. ....	68
Figura 29. Vista Frontal_ Vigas Tanque Reactor.....	69
Figura 30. Cálculo Esfuerzo en Vigas_ Tanque Almacenamiento de Gas.....	70
Figura 31. Datos Obtenidos_ Presión.....	76
Figura 32. Datos Linealizados tercer orden. ....	77
Figura 33. Datos Obtenidos_ Presión.....	80
Figura 34. Datos Obtenidos_ Temperatura. ....	83
<b>Figura 35.</b> Paralelo entre porcentajes promedio y óptimo.....	85
Figura 36. Equivalencias del biogás con otros combustibles.....	86

Figura 37. Producción Equivalente Total. ....	87
Figura 38. Consumo promedio, según metros cúbicos .....	88
Figura 39. Requerimiento diario y producción diaria, en metros cúbicos. ....	89

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Especificaciones del Acero Galvanizado. ....	107
Anexo B. Especificaciones Técnicas Válvulas de Bola. ....	109
Anexo C. Especificaciones Soldadura WA 86 MIG. ....	111
Anexo D. Especificaciones Soldadura Estructural West Arco E6013. ....	113
Anexo E. Especificaciones Pintura Anticorrosiva. ....	115
Anexo F. Especificaciones Wash Primer.....	117
Anexo G. Presión de los Fluidos_ Carga Estática.....	119
Anexo H. Análisis Estructural_ Solid Edge V18. ....	121
Anexo I. Simulación en el Software Aspen Plus.....	133
Anexo J. Registro de Toma de Datos. ....	136
Anexo K. Elementos Finitos_ Tanque Reactor.....	140
Anexo L. Elementos Finitos_ Tanque de Almacenamiento de Gas.....	146
Anexo M. Programa para Determinar la Producción de Gas.....	152
Anexo N. Ampliación de la Matriz QFD.....	155
Anexo O. Planos del Prototipo Biodigestor Tipo Mixto. ....	162
Anexo P. Manual de Operación. ....	117
Anexo Q. Un metro Cubico de gas es mucho o es poco. ....	185
Anexo R. Normativa de Seguridad Industrial para el Gas Metano. ....	197

## SIMBOLOGÍA

A	Área
C/N	Relación Carbono Nitrógeno
D	Diámetro
D	Distancia
E	Estiércol
E	Módulo de elasticidad
F	Fuerza
F.S.	Factor de seguridad
G	Módulo de rigidez
H	Altura
L	Longitud
M	Masa
n	Número de moles
p	Presión
P <sub>atm</sub>	Presión Atmosférica
P.E.	Producción de Estiércol
P.V.P	Peso vivo Promedio por animal.
r	Radio
R	Constante de los Gases
S.T.	Sólidos Totales
S.V.	Sólidos Volátiles
t	Espesor
T	Temperatura (°C)
V	Volumen
x, y, z	Coordenadas rectangulares
$\alpha, \beta$	Ángulos
$\epsilon$	Deformación unitaria
$\theta$	Ángulo
$\rho$	Densidad
$\delta$	Esfuerzo normal

## GLOSARIO

**Abono Foliar:** Como su nombre mismo lo indica, es un producto que se aplica directamente sobre las hojas y tallos, es decir que penetrará directamente por las hojas y partes verdes de la planta. En general, dependiendo de las marcas, puede ser aplicado sobre todo tipo de plantas<sup>1</sup>.

**Ácido sulfúrico:** Es un compuesto químico muy corrosivo. Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizantes. También se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica<sup>2</sup>.

**Amoníaco:** es un compuesto químico cuya molécula consiste en un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H) de acuerdo a la fórmula  $\text{NH}_3$ . El amoníaco, a temperatura ambiente, es un gas incoloro de olor muy penetrante y nauseabundo. Se produce naturalmente por descomposición de la materia orgánica y también se fabrica industrialmente. Se disuelve fácilmente en el agua y se evapora rápidamente.

**Biodigestor:** Es en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.

**Biocombustible:** Son cualquiera de los combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que se derivan de los materiales orgánicos que forman parte de la Biomasa.

---

<sup>1</sup> Definición extraída de <http://www.jardineria.pro>.

<sup>2</sup> Definición extraída de <http://es.Diccionario.org>.

Pueden provenir directamente del reino vegetal, o, indirectamente de desechos industriales, comerciales, domésticos o agrícolas.

**Bio-fertilizante:** Abono orgánico que proviene de animales, humanos, restos vegetales de alimentos u otra fuente orgánica y natural.

**Biogás:** Es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de micro-organismos, y otros factores, en ausencia de oxígeno. El producto resultante está formado por metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y otros gases en menor proporción<sup>3</sup>.

**Biomasa:** Es toda la masa viviente que existe sobre la Tierra. La Biomasa constituye un sistema que la Naturaleza utiliza para almacenar energía.

**Carga del digestor:** Esta indica el volumen de biomasa que se alimenta al sistema o el material que debe ser procesado y la frecuencia.

**Cieno:** Barro blando que queda como residuo en el fondo del Biodigestor luego del proceso de fermentación.

**Concentración de Carga:** En química, la concentración es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el disolvente la sustancia que disuelve al soluto, y la disolución es el resultado de la mezcla homogénea de las dos anteriores. A menor proporción de soluto disuelto en el disolvente, menos concentrada está la disolución, y a mayor proporción más concentrada está.

**Contenido total de sólidos:** Usualmente expresado en porcentaje, indica la fracción del peso total de los sólidos orgánicos en la mezcla acuosa.

---

<sup>3</sup> Diccionario.org. "Biogás", <http://es.Diccionario.org>.

**Corrosión:** Erosión química causada por agentes con o sin movimiento. Es la destrucción gradual de un metal o aleación debido a procesos químicos como la oxidación o a la acción de un agente químico.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Es la medida del oxígeno requerido por las bacterias para la oxidación de la materia orgánica presente en las aguas.

**Digestión anaerobia:** Es oxidación de la materia orgánica y transformación en gas y lodos, en ausencia de aire, que se realiza en la naturaleza como parte de la cadena alimenticia de ciertos micro-organismos (bacterias anaerobias). El gas resultante en este proceso se conoce como biogás. El proceso de digestión tiene lugar en un digestor sellado el cual crea las condiciones ideales para que las bacterias metano génicas fermenten el material orgánico en condiciones libres de oxígeno. Durante este proceso el 30 a 60% de la materia orgánica es convertida en biogás.

**Digestión Psicrófila:** Es la digestión anaerobia que se realiza a temperaturas entre 10 °C y 20 °C. A estas temperaturas la carga debe permanecer en el digestor más de 100 días.

**Digestión Mesófila:** Es la digestión anaerobia que se realiza a temperaturas entre 30 °C y 36 °C. La carga debe permanecer en el digestor 15 a 30 días. Este tipo de proceso tiende a ser más confiable y tolerante que el proceso Termofílico, pero la producción de gas es menor y se requieren digestores de gran tamaño.

**Digestión Termofílica:** Es la digestión anaerobia que se realiza a temperaturas mayores de 55 °C. Estos sistemas ofrecen una producción de metano más alta, caudales más rápidos, mejor eliminación de patógenos y virus. Estos sistemas requieren tecnología más costosa, consumen más energía y requieren mayor asistencia y monitoreo.

**Efluente:** Subproducto de la digestión anaerobia el cual es una solución orgánica estabilizada que puede ser utilizada como fertilizante, para riego y piscicultura.

**Energías Renovables:** Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

**Estiércol.** Son las heces fecales de los animales. En general el estiércol posee un contenido de sólidos de 8% a 25%, dependiendo del tipo de animal.

**Estiércol líquido.** Es el orín de los animales que tiene un contenido de sólidos de menos de 3%. El orín se "lava" utilizando agua fresca o reciclada. Estos residuos también pueden utilizarse para la obtención de biogás en climas cálidos.

**Gas Metano:** Es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es  $\text{CH}_4$ . es un gas de efecto invernadero relativamente potente que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra ya que tiene un potencial de calentamiento global.

**Grado de digestión.** Este indica cuánto gas se obtiene en comparación con la producción potencial. La diferencia con el 100% indica qué cantidad de materia orgánica no ha sido procesada. En plantas de biogás sencillas, el grado de digestión alcanza alrededor del 50%. Esto significa que la mitad de residuos orgánicos queda sin aprovechar y salen como fertilizantes en el efluente.

**Líquidos Criogénicos.** Son gases que se mantienen en su estado líquido a temperaturas muy bajas. La palabra "criogénico" significa "que produce, o se relaciona a, bajas temperaturas," y todos los líquidos criogénicos están extremadamente fríos.

**Masa de agua.** Cantidad de agua necesaria para mezclar con la materia prima con el fin de obtener la carga diaria al digestor.

**Masa orgánica seca (SO).** Es el contenido de materia orgánica de un estiércol expresado como masa orgánica seca. Para el proceso de digestión son importantes sólo los componentes orgánicos o volátiles de los residuos orgánicos, por lo tanto se trabaja solamente con la parte orgánica del estiércol.

**Materia prima.** Es la totalidad de residuos orgánicos que pueden recolectarse y que pueden ser utilizados para cargar el Biodigestor. Esta guía utiliza los términos residuos orgánicos y materia prima para destacar la importancia de considerar este material como un recurso renovable (biomasa).

**Nivel de pH.** Concentración de iones hidrógeno ( $H^+$ ) o hidróxidos ( $OH^-$ ) que determinan la acidez o basicidad de una sustancia. El pH se mide de 0 a 14 siendo 7 una solución neutra, de 0 a menor de 7 ácida y mayor de 7 a 14 básica. La concentración de  $CO_2$  en la carga, la concentración de ácidos volátiles y la propia alcalinidad de la materia prima hacen variar el pH del Biodigestor.

**Niveles de Amoníaco.** Concentración de iones  $NH_4$  en la mezcla acuosa (agua más estiércol) utilizada para cargar el Biodigestor, este parámetro cobra importancia cuando se utilizan determinados materiales que contienen un alto porcentaje de nitrógeno, como es el caso del estiércol de aves, el cual acidifica la carga del Biodigestor e inhibe el proceso de gasificación.

**Organopónico.** Es una especie de huerta en la que se siembran y cultivan las plantas sobre un sustrato formado por suelo y materia orgánica mezclados en un contenedor y que se basa en los principios de una agricultura orgánica.

**Pasteurización.** Es el proceso térmico realizado a líquidos (generalmente alimentos) con el objeto de reducir los agentes patógenos que puedan contener: bacterias, protozoos, mohos y levaduras, etc.

**Pirolisis.** Proceso en la descomposición térmica de la biomasa en ausencia total de oxígeno.

**Potencial de producción de biogás.** Se refiere al volumen de gas teóricamente obtenible de una materia prima, en función de la producción específica y de la cantidad disponible de materia orgánica seca. Aunque el producido no puede juzgarse independientemente de otras variables del proceso.

**Producción específica de gas.** Es la cantidad de gas medido en m<sup>3</sup> que se obtiene de un Biodigestor por unidad de masa orgánica seca alimentada al mismo. En la práctica ella indica la producción de gas que se obtiene de una determinada materia prima durante un tiempo de retención dado y a la temperatura de operación del digestor.

**Relación carbono nitrógeno (C/N):** Proporción entre el carbono y nitrógeno presentes en la mezcla de carga. La literatura reporta que la relación Carbono/Nitrógeno está ligada directamente a la producción, entre mayor sea esta relación y su ajuste al intervalo recomendado (20 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno) mayor será la producción de gas por unidad de materia útil. Esta es una de las razones por las cuales el estiércol animal constituye la materia prima de mayor difusión.

**Sólidos totales (ST):** Es el contenido de sólidos totales presentes en un estiércol, orín o material orgánico que se alimenta a un Biodigestor, se expresa en porcentaje o peso de sólidos secos.

**Solubilidad:** Es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en otra. Puede expresarse en moles por litro, en gramos por litro, o en porcentaje de soluto; en algunas condiciones la solubilidad se puede sobrepasar, denominándose a estas soluciones sobresaturadas. El método preferido para hacer que el soluto se disuelva en esta clase de soluciones es calentar la muestra.

**Temperatura de Auto ignición:** Se denomina temperatura de auto ignición a la temperatura mínima, a presión de una atmósfera, a la que un gas inflamable o mezcla de aire-vapor en contacto con el aire arde espontáneamente o es calentado en su superficie sin necesidad de una fuente de ignición.

**Tiempo de retención (TR):** Es el lapso (en días) durante el cual la carga alimentada permanece en el digestor y es el tiempo necesario para la digestión del material orgánico a la temperatura de operación del digestor. El TR es inversamente proporcional a la temperatura.

## INTRODUCCIÓN

El uso de la energía global está basada en suposiciones sobre la expansión de la economía, el crecimiento de la población, el grado de avance tecnológico, medidas de conservación y la adopción de tecnologías energéticamente eficientes; en donde la energía comercial del mundo y el uso de energías renovables comenzará a jugar un rol que irá creciendo a través de los años.

Dentro de las energías renovables esta la Biomasa que es un recurso renovable cuya utilización presenta características singulares y beneficios notables. Se trata de una fuente prácticamente inagotable, producida cíclica y continuamente por los reinos vegetal y animal y los sistemas urbano e industrial, y existe por lo menos en alguna de sus formas en todos los espacios geográficos<sup>4</sup>.

El uso de la Biomasa aporta grandes beneficios puesto que se convierte en rentable y necesaria para el entorno. Es un sistema idóneo de eliminación de residuos, con la subsiguiente mejora del ambiente rural, urbano e industrial. Puede ser además, un modo de equilibrar determinados excedentes agrícolas. En el sector agropecuario y específicamente en los organopónicos la opción del uso del Biofertilizante generado por esta tecnología permite responder a una demanda de la sociedad, y de esta forma se es más respetuoso del medio ambiente, y en particular se promueve la reducción de posibles fuentes de contaminación. En este contexto el presente trabajo presentará el diseño, construcción y beneficios del procesamiento de los desechos animales para producir gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de residuos agropecuarios (estiércol vacuno).

El Ministerio de Minas y Energía, adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás

---

<sup>4</sup>C. Filippín. "Diseño de un Biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras". Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. Pág. 67.

Formas de Energía No Convencionales, PROURE, se definen sus objetivos, subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto., considerando que la Constitución Política de Colombia en su artículo 80, establece que el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución; se expide la Resolución 180919 DE 2010<sup>5</sup>.

Considerando que el objetivo fundamental de la ley antes mencionada y de su Decreto Reglamentario 3683 de 2003<sup>6</sup>, es promover el uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana y la protección al consumidor y la promoción de fuentes de energía no convencionales, de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.

De acuerdo a lo anterior, el presente proyecto se encuentra dentro de este marco de Ley; en donde el fin es establecer los estímulos que permitan desarrollar en el país el uso racional y eficiente de la energía y las fuentes energéticas no convencionales; ayudando a familias que residan en áreas rurales para autoabastecerse de energía y gas, reduciendo sus costos de vida y bajando los niveles de contaminación que tanto maltrata al planeta.

---

<sup>5</sup>Ministerio de Minas y Energía. “Resolución 180919 DE 2010”.<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=39780>.

<sup>6</sup> Ministerio de Minas y Energía. Decreto reglamentario 3683 de 2003.

# 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 GENERALIDADES

La descomposición anaerobia (en ausencia total de oxígeno) de la materia orgánica produce un gas combustible. Este gas contiene una alta proporción en metano ( $\text{CH}_4$  en concentración superior al 60% en el gas), con una potencia calorífica del orden de  $5.500 \text{ Kcal/m}^3$ , y se designa usualmente como biogás. Todo proceso de digestión anaerobia lleva parejo una eliminación de la carga orgánica con producción de gas metano. Las instalaciones especialmente diseñadas para optimizar este proceso se designan como “digestores de metano”, “plantas de biogás” o simplemente “reactores anaerobios”<sup>7</sup>.

Este tipo de fermentación anaerobia con producción de metano, no es más que un tipo de fermentación catalizada por bacterias específicas y de la cual se tienen primeras noticias por Volta (1776), quien descubrió la formación de un gas combustible sobre pantanos, lagos y aguas estancadas, y que relaciono con la cantidad de materia orgánica depositada en su fondo. No fue hasta 1868 que Bechamp definió las reacciones como constituyentes de un proceso microbiológico<sup>8</sup>.

En 1890, Donald Cameron diseñó una gran fosa séptica para la ciudad de Exeter, en Gran Bretaña y con el gas obtenido alimentó la red de alumbrado público. Durante la Segunda Guerra Mundial, muchos granjeros de Inglaterra, Francia, e incluso Alemania, construyeron digestores para producir gas combustible y con el

---

<sup>7</sup> CAMPOS BORDA, Yenny Marcela y DÍAZ, ANDRADE, Giovanni Francisco, “Estudio de perfectibilidad para el diseño de un digestor anaeróbico para la producción de gas metano y masa ruminal del sacrificio de vacunos y porcinos del frigorífico Guadalupe”. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., 2003

<sup>8</sup> Flotats, X., Campos, E., Bonmatí, A. “Aprovechamiento Energético de Residuos Ganaderos” Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo, Universidad de Lleida, Rovira Route 177, 25198 Lleida, p. 4.

alimentar tractores y producir electricidad. Estas instalaciones cayeron en desuso a finales de los años 1950<sup>9</sup>.

La primera instalación de la que se tiene noticias se construyó en Bombay, en 1859, y desde entonces en la India se han promovido pequeñas plantas, a nivel familiar o local, tratando estiércol de ganado vacuno con el objetivo de producir gas para cocinar y obtener a su vez, un producto fertilizante.

Según datos del Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), “algunos países pobres obtienen el 90% de su energía de la leña y otros biocombustibles”. En África, Asia y Latinoamérica representa la tercera parte de consumo energético y para 2.000 millones de personas es la principal fuente de energía en el ámbito doméstico. La propia FAO reconoce que “la mejora del uso eficiente de los recursos de la energía de la biomasa, incluidos los residuos agrícolas y las plantaciones de materiales energéticos, ofrece oportunidades de empleo, beneficios ambientales y una mejor infraestructura rural”. Incluso va más allá al considerar que el uso eficiente de estas fuentes de energía ayudarían a alcanzar dos de los objetivos de desarrollo del milenio: “erradicar la pobreza y el hambre y garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”.

La biomasa podría ser el vector energético que permitiera el desarrollo de los países pobres, evitando que el aumento del consumo energético asociado a este desarrollo pusiera en peligro el medio ambiente y la seguridad de abastecimiento energético de nuestra sociedad.

En Colombia existen varios estudios de pre-factibilidad<sup>10</sup> para el aprovechamiento del biogás generado en rellenos sanitarios. También existen Biodigestores que

---

<sup>9</sup>Flotats, X., Campos, E., Bonmatí, A. “Aprovechamiento Energético de Residuos Ganaderos” p. 4.

<sup>10</sup>Bioagrícola del Llano. “Estudio de pre-factibilidad para el aprovechamiento del Biogás generado en el relleno sanitario “Don Juanito””, [www.bioagricoladellano.com.co](http://www.bioagricoladellano.com.co), Municipio de Villavicencio, Colombia.

producen gas para diferentes aplicaciones de acuerdo a las necesidades del consumidor, pero no cuentan con una producción controlada del gas metano.

Conscientes de la importancia de estos sistemas de generación de energía, hemos propuesto el diseño y desarrollo ingenieril de este sistema para la generación y control de la producción y almacenamiento de gas metano.

## 1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Un digester de desechos orgánicos o Biodigester es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos biológicos y desechos vegetales en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos)<sup>11</sup>. Ver Figura 1.

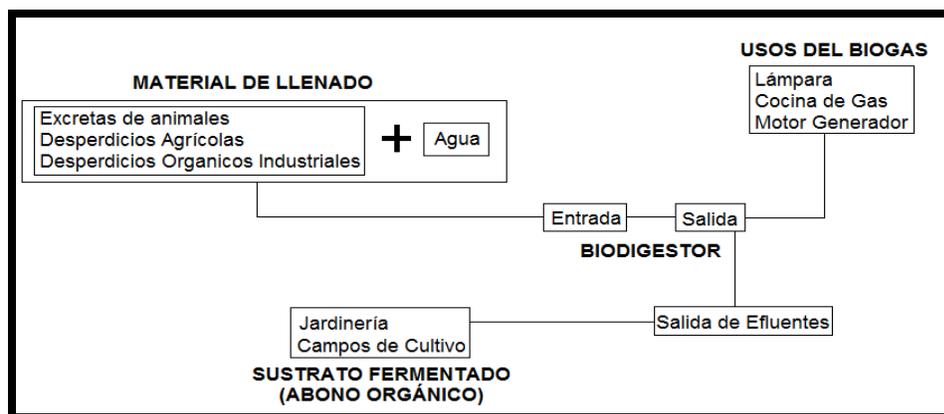
Para una buena operación, es necesario que el digester reúna las siguientes características:

- Hermeticidad, para evitar fugas del biogás o entradas de aire.
- Térmicamente aislado, para evitar cambios bruscos de temperatura.
- Los tanques de mezcla, reactor, almacenamiento y descarga, deberán tener fácil acceso para su respectivo mantenimiento.

---

<sup>11</sup> Página Web: [www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingeniería](http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingeniería). Guía para estudios de pre factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos.

Figura 1. Ciclo en el Biodigestor.



Fuente: Autores.

Hipótesis:

¿Se podrá mediante una metodología de diseño de selección, cálculos y pruebas experimentales, generar un prototipo eficiente para la generación de gas metano mediante el control de presión?

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Dado que el deterioro del medio ambiente ha venido creciendo cada vez más, urge buscar alternativas para aprovechar el estiércol de los animales.

El proceso de Biodigestión es un método eficiente y de bajo costo para la producción de energía renovable y limpia.

A través de esta tecnología que procesa el estiércol de los animales, se puede producir combustible (biogás) y abono orgánico (efluente).

Este proyecto mejora el manejo que se le da a los desechos orgánicos y contribuye a reducir las emisiones de gas metano a la atmosfera; implica la importancia de producir energías alternativas.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un prototipo Biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las variables de un sistema Biodigestor.
2. Describir el proceso de un sistema Biodigestor tipo mixto.
3. Realizar y evaluar el modelo matemático según variables involucradas en el prototipo.
4. Diseñar, evaluar y construir los tanques contenedores para reacción y almacenamiento de efluentes.
5. Analizar y caracterizar el comportamiento del prototipo mediante un proceso manual de carga y descarga del sistema.

## 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

### 1.5.1 ALCANCES

- La utilización de Biodigestores ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, además de disminuir la carga contaminante de los mismos, extrae gran parte de la energía contenida en el material mejorando su valor fertilizante y controlando, de manera considerable, los malos olores. A este propósito se desarrolla el diseño y construcción de un prototipo para procesar 6 Kilogramos/día de estiércol vacuno.
- La meta del proyecto es lograr una producción de energía por un método autosustentable.

### 1.5.2 LIMITACIONES

- Debido a su dimensionamiento y a su proceso de producción, el prototipo de Biodigestor se construirá en un ambiente amplio y donde haya suficiente ventilación (entrada de aire).
- Debe mantenerse una temperatura constante entre 15-45 °C, rangos establecidos en la fermentación anaerobia (Ver Tabla 5); puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.
- Los datos mencionados sobre la producción de gas, dependen del sustrato, solo para estiércol vacuno.

## 2 MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

#### 2.1.1 MATERIAL DE CARGA PARA LA FERMENTACIÓN.

Llamado así a todos los desechos orgánicos que se introducen dentro de un Biodigestor para su degradación. Para la fermentación de los microorganismos metanogénicos necesitan nutrientes para producir biogás, por ello es necesario contar con suficiente material de carga para que el proceso de digestión no se interrumpa. Para el Biodigestor tipo mixto se utiliza estiércol vacuno (Ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Valores de Generación de Biogás según diferentes sustratos.

SUSTRATO	GENERACIÓN DE GAS (L/Kg. Biomasa)	PROMEDIO (L/Kg. Biomasa)
Excreta de Porcino	340 - 550	450
Excreta de Vacuno	150 - 350	250
Excreta de Aves	310 - 620	460

**Fuente:** Página Web: <http://www.emison.com/>

#### 2.1.2 BIOGÁS

El biogás es el gas producido durante el proceso de fermentación anaerobia (sin presencia de oxígeno) de la fracción orgánica de los residuos. Está compuesto principalmente por Metano (CH<sub>4</sub>) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), además de otros gases en cantidades menores<sup>12</sup>, como se muestra en la Tabla 2.

Cuando los desechos orgánicos inician el proceso químico de fermentación (pudrimiento), liberan una cantidad de gases llamados biogás. Con tecnologías apropiadas, el biogás se puede transformar en otros tipos de energía, como calor, electricidad o energía mecánica.

<sup>12</sup>Ciemat (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). 2010.

### 2.1.3 PROCESO DE BIODIGESTIÓN

El proceso de digestión que ocurre en el interior del Biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás.

La duración de la reducción del material biológico depende de los microorganismos especiales y de sus temperaturas óptimas del crecimiento.

Los principales componentes del biogás son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación, Ver Tabla 2:

**Tabla 2.** Composición del Biogás.

Gas	Fórmula Química	Volumen (%)
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	30- 40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1.0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Sulfuro de hidrógeno	H <sub>2</sub> S	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1
Monóxido de carbono	CO	0.1

**Fuente:** Procesos Biológicos: La digestión anaerobia y el compostaje. Elena Campos, Xavier Elías y Xavier Flotats. Ediciones Díaz Santos. Madrid. 2012.

El metano, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo, un combustible bastante limpio y eficiente que puede ser utilizado directamente.

Los residuos de la fermentación (efluentes), contienen una alta concentración de nutrientes y materia orgánica, lo cual los hace susceptibles de ser utilizados como un excelente fertilizante que puede ser aplicado en fresco, ya que el proceso de digestión anaerobia elimina los malos olores y la proliferación de moscas. Otra ventaja es la eliminación de agentes patógenos presentes en las heces, lo cual significa que el efluente líquido puede ser utilizado para regadío de cualquier tipo de cultivos<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> FAO. Reciclaje de materiales orgánicos y biogás. Una experiencia en china. Santiago de Chile. Curso de capacitación. Estudio potencial bioenergético de desechos agroindustriales y agrícolas. Cali, Colombia. Seminario taller sobre biogás y otras fuentes de energía en el medio rural. <http://www.fao.org/docrep/006/AD098S/AD098S08.htm>.

Un buen parámetro para determinar la calidad del biogás producido y como un indicador más de la estabilidad del proceso es el contenido de CO<sub>2</sub>. Cuando este empieza a incrementarse más allá del 40% el proceso empieza a disturbarse. De la Tabla 3, puede inferirse que una planta de biogás bien balanceada, produce biogás con un contenido de CH<sub>4</sub>, entre el 60 y el 70% y hasta un 40% de CO<sub>2</sub> y trazas de otros elementos.

**Tabla 3.** Propiedades físicas y químicas del biogás.

Propiedad	Metano CH <sub>4</sub>	Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub>	Sulfuro de Hidrógeno H <sub>2</sub> S	Hidrógeno H <sub>2</sub>
Porcentaje en volumen	55-70	25-45	0.1	1-5
Valor energético $\frac{Kcal}{L}$	9.0	-	-	2.9
Intervalo explosivo (% en V con aire)	5-15	-	4-46	6-71
Densidad (760 mmhg)	0.72	1-98	1.54	0.09
Gravedad específica (relativo al aire)	0.55	1.50	1.20	0.07
Temperatura crítica °C	82.5	31.1	100.4	239.9
Presión para licuefacción (PSI)	2000	-	-	-
Olor	Incoloro	-	Huevos podridos	-
Aire requerido en la combustión $\left(\frac{m^3}{m^3}\right)$	9.53	-	-	-
Razón de octano	130	-	-	-
Temperatura de ignición °C	650	-	-	-

**Fuente:** PIEDRAHITA VELÁZQUEZ, Daniel Rodrigo, "Elementos para una Tecnología sobre la Producción de Biogás". Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos.

#### 2.1.4 BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA.

Es un proceso degradante el cual parte de la materia orgánica, la cual sufre varias etapas biológicas hasta convertirse en biogás. En el interior de los recipientes, la digestión es intervenida por un grupo de macro organismos o bacterias que son las productoras de ácidos y las productoras de metano.

Para que el proceso de fermentación se realice en forma normal, es preciso contar con la acción conjunta y combinada de los dos tipos de bacterias (acidogénicas-metanogénicas), el exceso o falta de cualquier tipo de bacteria, así como la actividad menor o mayor de cualquiera de estas, darán como resultado el desequilibrio cinético lo que lleva a la anormalidad o incluso el fracaso del proceso de fermentación.

Los microorganismos que no producen metano se encargan de convertir productos orgánicos, como carbohidratos, proteínas y lípidos, en compuestos de moléculas más sencillos y más pequeños, que sean asimilables para las bacterias de metano.

Hasta el presente, se reconocen cuatro grupos de bacterias que poseen diferentes funciones catabólicas sobre el carbono, en el proceso de degradación de la materia hasta llegar al metano, estos grupos son:

- a) Bacterias Hidrolíticas: Catabolizan sacáridos, proteínas, lípidos y otros contribuyentes menores de biomasa.
- b) Bacterias acetogénicas: Productoras de hidrógeno, Catabolizan ciertos ácidos grasos y productos finales neutros.
- c) Bacterias homoacetogénicas: Catabolizan compuestos mono carbonados y/o hidrolizan compuestos multicarbonos hacia la producción de ácidos acéticos.
- d) Bacterias metanogénicas: Catabolizan acetatos compuestos mono carbonados para producir metano, contemplándose solo cuatro géneros.

#### 2.1.4.1 Etapas en el Proceso de Biodigestión Anaeróbica.

##### 2.1.4.1.1 Hidrólisis o licuefacción.

Es el primer paso de la degradación anaeróbica, esta etapa se lleva a cabo por grupos enzimáticos extracelulares excretadas por las bacterias fermentativas. Esta etapa puede ser una limitante de la velocidad del proceso global, sobre todo tratando residuos con alto contenido de sólidos<sup>14</sup>.

##### 2.1.4.1.2 Fermentación y Producción de Ácidos.

Los compuestos disueltos, generados en la etapa anterior son absorbidos por las células de las bacterias fermentativas y después por las acidogénicas, excretadas como sustancias orgánicas simples como ácidos grasos volátiles, alcoholes, ácidos lácticos y compuestos minerales.

Las moléculas orgánicas solubles son fermentadas por varios organismos fermentativos creando compuestos que pueden utilizar las bacterias metanogénicas. Las proporciones entre los productos de la fermentación varían en función del consumo de H<sub>2</sub> por parte de las bacterias que utilizan hidrógeno.

##### 2.1.4.1.3 Etapa Acetogénicas.

Esta etapa depende del estado de oxidación del material orgánico a ser digerido, y la formación de ácido acético puede ser acompañada por el surgimiento de CO<sub>2</sub> o H<sub>2</sub>. Algunas bacterias fermentativas y acetogénicas dependen de la concentración de H<sub>2</sub>, siendo posibles solo a valores muy bajos de presión parcial. La eliminación continua de H<sub>2</sub> mediante oxidación de CO<sub>2</sub> estimula la acción de las bacterias fermentativas.

---

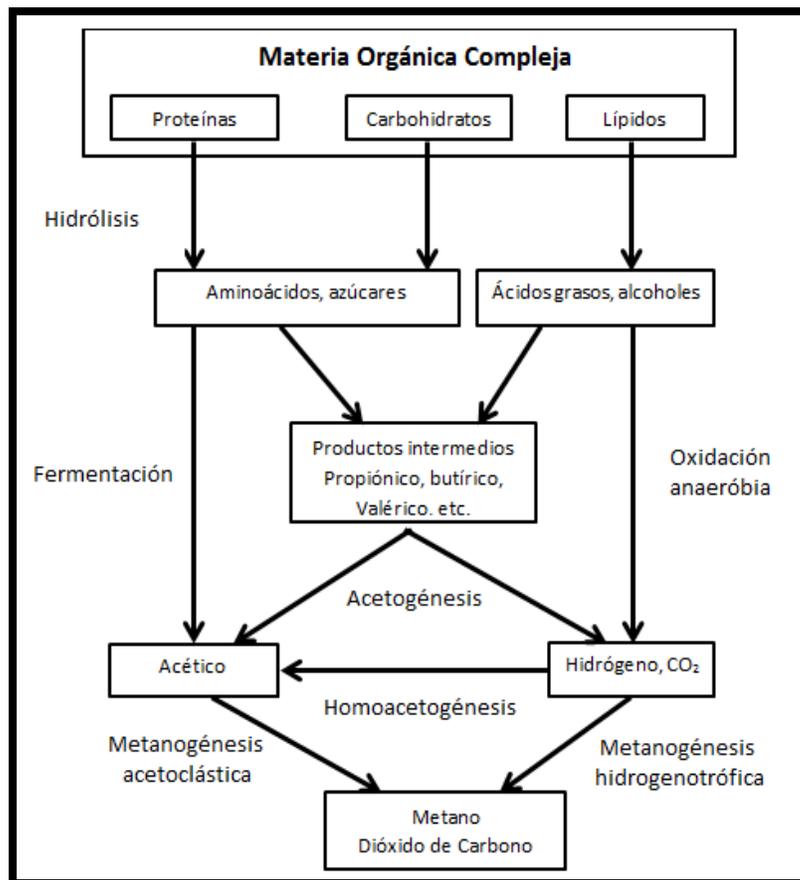
<sup>14</sup> RIQUELME PÉREZ J. "Problemas de Estimación/Observación en Procesos de Biodigestión Anaeróbico". Tesis de licenciatura 2011. Pp. 1-10.

#### 2.1.4.1.4 Fase Metanogénica.

En esta etapa se produce metano ( $\text{CH}_4$ ) y otros productos finales gracias a la acción de bacterias metanogénicas que son anaerobias y que poseen tasas de crecimiento inferiores a las bacterias hidrolíticas y acidogénicas.

Las bacterias metanogénicas utilizan ácido acético, metanol o dióxido de carbono e hidrógeno para producir gas metano, pero el ácido acético es el substrato más importante, responsable de la producción de aproximadamente el 70% de este gas<sup>15</sup>. En la Figura 2, se presenta el esquema de digestión anaerobia.

Figura 2. Esquema de Reacciones.



Fuente: Página Web: <http://www.3tres3.com/medioambiente/digestión-Anaerobia>.

<sup>15</sup> Instituto de Investigaciones Eléctricas. Digestores de Desechos Orgánicos. Boletín Energético N° 14, Organización Latinoamericana de Energía (México).

### 2.1.5 Efluente.

Su uso ha sido probado en varios países y en diferentes cultivos, mostrando incrementos en las cosechas y mejoramientos en las propiedades del suelo, a diferencia de los fertilizantes químicos que reducen la productividad de la tierra. También se utiliza para la acuicultura y se investiga en la alimentación de cerdos como suplemento.

Dependiendo de la cantidad de materiales no digeribles de la materia prima, se metaboliza hasta un 60% de la materia orgánica colocada en el digestor.

El efluente es estable biológicamente, por el hecho de que no presenta malos olores ni atracción de moscas. La mayor parte de la materia orgánica que queda sin digerir se transforma lentamente por acción de las bacterias aerobias del suelo o del agua y así no constituyen alimento para insectos u otras plagas dañinas para la agricultura.

El nitrógeno, el fósforo, y el potasio son considerados los nutrientes más importantes dentro de un programa de fertilización.

La cantidad de nutrientes en un efluente dado es el resultado de la variación y el comportamiento de factores tales como:

- La especie animal que provee la materia prima
- La clase y cantidad de la alimentación de los animales
- El efecto del tiempo sobre el grado de maduración de la materia prima (excretas animales o desechos vegetales).

En la Tabla 4 se expresa la concentración de nutrientes encontrados en efluentes de Biodigestores con distintos tipos de excretas<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> FUNDACIÓN PESENA. Biogás y sus aplicaciones. Programa Especial de Energía de la Costa Atlántica. Energías Alternativas. Barranquilla. Colombia. 1992. P. 40.

**Tabla 4.** Contenido porcentual de elementos Nutritivos en efluente (Base seca)

<b>TIPO DE EXCRETAS</b>	<b>N Total</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Óxido de Fósforo)</b>	<b>K<sub>2</sub>O (Óxido de Potasio)</b>	<b>CaO (Óxido de Calcio)</b>	<b>MgO (Óxido de Magnesio)</b>
<b>Vacuna</b>	2.3-4.7	0.9-2.1	4.2-7.6	1.0-4.2	0.6-1.1
<b>Porcina</b>	4.1-8.4	2.6-6.9	1.6-5.1	2.5-5.7	0.8-1.1
<b>Avícola</b>	4.3-9.5	2.8-8.1	2.1-5.3	7.3-13.2	1.1-1.6

**Fuente:** Sanchstands Berich Zufragen, citado por Pesenca, Pág. 40.

### 2.1.6 Líneas de Conducción de Estiércol y Biogás<sup>17</sup>.

La planta utiliza tubería de PVC, desde el contenedor de mezcla hacia el tanque reactor, y en la zona de descargue de efluentes.

Desde el reactor hacia el tanque de almacenamiento de gas, se utiliza tubería de cobre para gas, debido a que este material no es afectado por la acción del ácido sulfhídrico<sup>18</sup>.

#### 2.1.6.1 Válvulas de Flujo de Mezcla y Gas.

Estas son las encargadas de regular el flujo en el sistema.

Se utilizan dos válvulas de bola, ubicadas en la salida del contenedor de mezcla hacia el tanque reactor, la otra ubicada en la salida inferior del reactor para el desagüe.

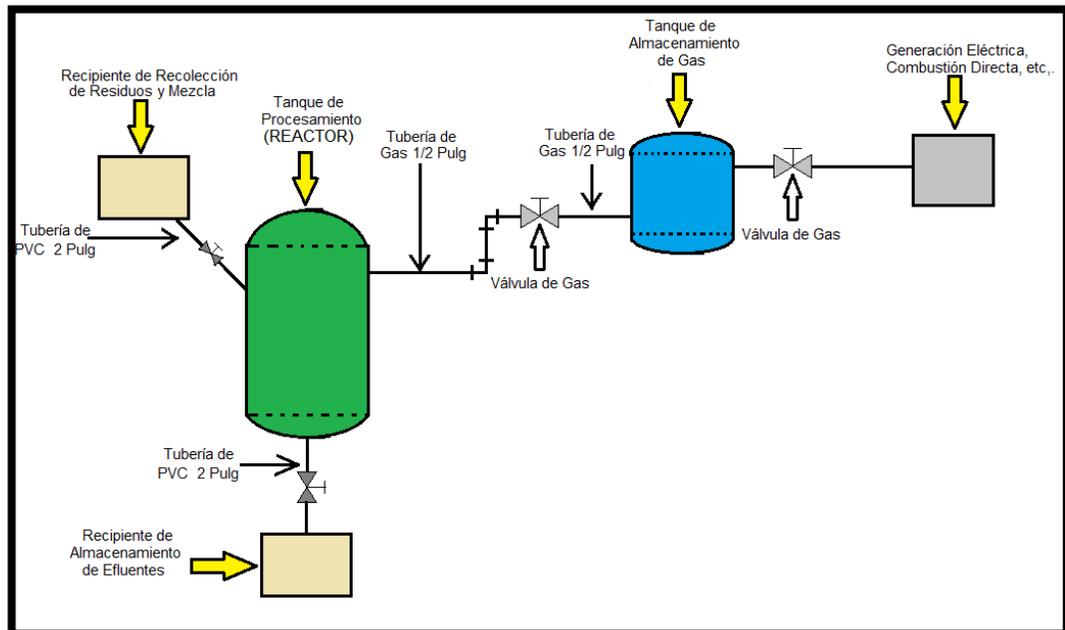
Además se utilizan dos válvulas de gas; la primera se instala después del tanque reactor, al comienzo de la conducción y sobre el niple de salida. La segunda se monta al final de la línea, en el lugar de uso. Estas válvulas, cuyo tamaño es compatible con el diámetro de la tubería, están construidas en PVC para evitar la corrosión por el ácido sulfhídrico. Ver anexo B.

<sup>17</sup>Instituto de investigaciones tecnológicas; PLANTAS DE BIOGÁS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN; Bogotá; 1990.

<sup>18</sup>La norma NTC 1746 especifica los materiales aceptados para el transporte de gas.

A continuación en la Figura 3, se presenta el esquema de la línea de conducción de gas:

**Figura 3.** Esquema de Línea de Conducción de Gas.



**Fuente:** Herrero, Jaime Martín, "Biodigestores Familiares: Guía de diseño y manual de Instalación" Bolivia, 2008. Pág. 82.

### 2.1.7 PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL PROCESO DE BIODIGESTIÓN.

Factores que influyen directamente en la formación Metanogénica y son capaces de modificar la rapidez de la descomposición, entre ellos tenemos<sup>19</sup>:

#### 2.1.7.1 Concentración de Carga.

Para la producción de gas, tratamiento de efluentes y operación del reactor, no es conveniente que la carga a degradar este muy concentrada ni muy diluida.

<sup>19</sup> Biodigestor de Polietileno: Construcción y Diseño CEDECAP abril 2007. Artículo.

Teniendo en cuenta el proceso de digestión anaeróbica, la proporción es 1:1, es decir, la mezcla de 1 kilogramo de estiércol fresco con un litro de agua, es la más aconsejable<sup>20</sup> Ver (Contenido de Sólidos).

#### 2.1.7.2 Temperatura.

Es uno de los factores que tiene mayor relevancia en el proceso anaeróbico, ya que define las zonas en que el proceso puede llevarse a cabo ya sea por la latitud y/o altura. También la temperatura es vista como el factor en potencia para aumentar la eficiencia de los sistemas<sup>21</sup>.

La temperatura afecta el tiempo de retención para la digestión del material dentro del digester, es un factor determinante en la velocidad de degradación de la materia orgánica, las altas temperaturas aceleran las tasas de reacción química y biológica. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos responsables, que a su vez es dependiente de la temperatura.

Dentro del tratamiento anaeróbico se pueden distinguir tres rangos de temperaturas definidos:

- a) Una digestión Psicrófila: La producción de gas varía de una estación a otra dependiendo de la temperatura atmosférica, tiene las ventajas de que sus estructuras son simples y de baja inversión.
- b) Digestión Mesófila: La descomposición de la carga es más lenta que la Termófila pero con menos consumo de energía.
- c) Digestión Termófila: Se caracteriza por una digestión rápida, alto rendimiento de gas y corto tiempo de retención, tiene buenas características de desinfección.

---

<sup>20</sup> Jairo Chaúr Bernal. "EL BIOGÁS" Boletín Didáctico N° 32. Bogotá, DC, abril de 2001.

<sup>21</sup> CONTRERAS L; DOMÍNGUEZ P. "Producción de Biogás con fines Energéticos. De lo histórico a lo Energético. Revista Futuros Volumen VI".

En la tabla 5 se muestran los distintos rangos de temperaturas a los que se puede trabajar en la fermentación anaerobia.

**Tabla 5.** Rangos de Temperatura y tiempo de fermentación anaerobia

FERMENTACIÓN	MÍNIMO	ÓPTIMO	MÁXIMO
<b>Psicrofílica</b>	4-10 °C	15-18 °C	25-30 °C
<b>Mesofílica</b>	15-20 °C	34-38 °C	40-45 °C
<b>Promedio</b>	17,5 °C	36 °C	42,5 °C
<b>Termofílico</b>	25-45 °C	50-60 °C	75-80 °C

**Fuente:** Anil K Dhussa, Designing biogas distribution system Bio-energy, Renewes 2, 1983.

Esta temperatura es registrada diariamente con un termómetro digital, ubicado en el tanque reactor.

#### 2.1.7.2.1 Toma de Muestras de Temperatura.

Se realizaron durante el periodo de carga y descarga del Biodigestor, para un tiempo de retención de 15 días.

Se carga el Biodigestor como se señaló inicialmente, se mide la temperatura de la mezcla dentro del reactor y se procede a tomar medidas de esta variable.

#### 2.1.7.3 Valor de pH.

El valor óptimo para la digestión Metanogénica es de 6.5-7.5, cuando baja de 6.4 o sube de 7.6, puede inhibir el proceso de fermentación o incluso detenerlo (Ver tabla 5.). El pH se puede corregir en forma práctica, de la siguiente manera<sup>22</sup>.

Sacando frecuentemente una pequeña cantidad de efluente y agregando materias primas frescas en la misma cantidad y en forma simultánea.

Cuando el pH es bajo se puede agregar fertilizante, cenizas, agua amoniacal diluida, hidróxido de calcio o una mezcla de ambos y licor fermentado.

---

<sup>22</sup>SASSE LUDWING. "La planta de Biogás. Bosquejo y Detalle de Plantas Sencillas". Artículo.

Y si el pH es alto de puede agregar algunos de los siguientes elementos:

Azufre en polvo: 150 a 250 g/m<sup>3</sup>

Sulfato de Hierro 1 a 3 g/m<sup>3</sup>.

La aspirina, (ácido acetilsalicílico)

**Tabla 6.** Rango de valores de PH en la generación de biogás

Valor pH	Característica
6.5 – 7.5	Óptimo
Menor de 6.4	Retardo por ácidos
Mayor a 7.6	Retardo por amonios

**Fuente:** Anil K Dhussa, Designing Biogas distribution system Bio-energy, Renew 2, 1983.

#### 2.1.7.3.1 Toma de Muestras de pH.

Esta toma de muestra se hizo cuatro veces en el proceso de la descomposición anaeróbica hasta la etapa de la extracción del gas del tanque de almacenamiento, la lectura inicial del pH fue 6.89 de acidez el cual se encuentra dentro de los parámetros.

#### 2.1.7.4 Materiales Tóxicos.

Frecuentemente, los sistemas biológicos se ven afectados cuando la concentración de los componentes rebasa los niveles normales. Las bacterias metanogénicas son afectadas por la elevación de la cantidad de NH<sub>3</sub> (Amoníaco), particularmente cuando el pH es inferior a 6.5. También la presencia de iones de sodio y potasio en concentraciones altas puede afectar, y por esto se usa el hidróxido de calcio para elevar el pH de los digestores.

Las sales de metales pesados pueden ocasionar problemas, pero en condiciones alcalinas y en presencia de sulfito, precipitan y tienen poco efecto sobre el sistema.

Los materiales sintéticos tóxicos (detergentes o hidrocarburos clorados como cloroformo) y los detergentes, pueden causar dificultades. También son tóxicos los antibióticos, desinfectantes que pueden provocar disminuciones en la producción hasta del 90% a bajas concentraciones y los pesticidas<sup>23</sup>.

Se ha comprobado que concentraciones de espiramicina de  $50 \frac{mg}{l}$  en los residuos puede provocar una disminución de 56% en la producción de gas.

#### 2.1.7.5 Contenido de Sólidos Totales.

Toda la materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida llamada sólidos totales (S.T). El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digester es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y la producción de gas.

Un intervalo adecuado en el contenido de sólidos en peso dentro del digester está entre el 3% y 9%. Aun cuando muchos estudios indican que el proceso de digestión anaeróbica es posible hasta un rango de 10% al 16% de sólidos, una concentración de sólidos entre el 3% y el 10% es necesaria y óptima<sup>24</sup>.

Las bajas concentraciones de contenidos sólidos hacen que los requerimientos de calor sean mayores y que las velocidades de carga sean bajas para lograr un sistema en equilibrio; con concentraciones altas, la digestión necesita prolongados

---

<sup>23</sup> HILPER, et al., 1982 citado por FLOTATS, et al., p. 5.

<sup>24</sup> PIEDRAHÍTA, Op cit., p. 40.

tiempos de retención, lo cual permite un aumento de ácidos volátiles en el reactor y de CO<sub>2</sub> en el gas.

### 2.1.8 Proceso Isotérmico

Se denomina proceso isotérmico o proceso isoterma al cambio reversible en un sistema termodinámico, siendo dicho cambio a temperatura constante en todo el sistema. La compresión o expansión de un gas ideal en contacto permanente con un termostato es un ejemplo de proceso isoterma, y puede llevarse a cabo colocando el gas en contacto térmico con otro sistema de capacidad calorífica muy grande y a la misma temperatura que el gas; este otro sistema se conoce como *foco caliente*. De esta manera, el calor se transfiere muy lentamente, permitiendo que el gas se expanda realizando trabajo<sup>25</sup>.

Para el desarrollo del modelo de fermentación de la mezcla se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Modelación de la cinética de consumo de sustrato (sin inhibición)
- Estequiometría de las reacciones
- Balance de la materia

Las ecuaciones usadas en este modelo son:

Tasa de Glucosa:

$$\frac{dP_0}{dt} = pHI_0 \times R_0 \quad \text{Ecuación 1}^{26}.$$

$pHI_0 = \text{constante adimensional de reacción}$

$R_0 = \text{Reacciones en este caso de la Glucosa.}$

$$\frac{dP_0}{dt} = \text{Variación de la presión en el tiempo}$$

Tasa de Acetato:

---

<sup>25</sup> Página Web: <http://es.wikipedia.org>.

<sup>26</sup> GIRALDO, Eugenio y otros (1993) "Simulación numérica del comportamiento dinámico de un reactor anaerobio", presentado en el Primer Congreso Colombiano de elementos finitos y modelación numérica. Ecuaciones (11) a la (27).

$$\frac{dP_1}{dt} = pHI_0 \times R_0 - R_1 + R_2 + R_3 + 2R_5 \quad \text{Ecuación 2.}$$

Tasa de Propionato:

$$\frac{dP_2}{dt} = pHI_2 \times R_0 - R_2 \quad \text{Ecuación 3.}$$

Tasa de Etanol:

$$\frac{dP_3}{dt} = pHI_3 \times R_0 - R_3 \quad \text{Ecuación 4.}$$

Tasa de Hidrógeno:

$$\frac{dP_4}{dt} = (pHI_4 \times R_0 + 3 \times R_2) \times \frac{V_{liquido}}{V_{gas}} + (2 \times R_0 - R_4 + 2 \times R_5) \times \frac{V_{liquido}}{V_{gas}} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Tasa de Butirato:

$$\frac{dP_5}{dt} = pHI_5 \times R_0 - R_5 \quad \text{Ecuación 6.}$$

Tasa de CO<sub>2</sub>:

$$\frac{dP_6}{dt} = (pHI_6 \times R_0 + R_1 + R_2 - R_4) \times \frac{V_{liquido}}{V_{gas}} \times \left( \frac{dP_1}{dt} + \frac{dP_2}{dt} + \frac{dP_5}{dt} - \frac{dP_z}{dt} \right) \times \frac{V_{liquido}}{V_{gas}} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Tasa de Metano:

$$\frac{dP_7}{dt} = (R_1 + 0.25 \times R_4) \times \frac{V_{liquido}}{V_{gas}} \quad \text{Ecuación 8.}$$

Para la variación z:

$$z = \frac{P_i}{P_T} \quad \text{Ecuación 9.}$$

$z =$  La producción de los compuestos

$P_i =$  Presión Parcial del compuesto

$P_T =$  Presión total que se maneja en el sistema

$$\frac{dP_8}{dt} = Q \times \frac{\left( \frac{P_i}{P_T} - P_7 \right)}{V_L} \quad \text{Ecuación 10.}$$

$V_L =$  Volumen del liquido

$Q =$  Flujo de total que entra al Reactor.

Producción de Gas Metano:

$$Q_g = (pHI_6 \times R_0 + R_1 + R_2 - R_4) \times V_{liquido} \times R \times \frac{T}{P_{atm}} + \left( \frac{dP_1}{dt} + \frac{dP_2}{dt} + \frac{dP_5}{dt} - \frac{dP_6}{dt} \right) V_{liquido} \times R \times \frac{T}{P_{atm}} + (R_1 + 0.25 \times R_4) \times V_{liquido} \times R \times \frac{T}{P_{atm}} \quad \text{Ecuación 11.}$$

Donde,

$$Q_g = \text{Flujo de gas}$$

$$T = \text{Temperatura en el reactor}$$

$$P_{atm} = \text{Presión Atmosférica}$$

$$R = \text{Constante de los gases}$$

Para la cinética de consumo de sustrato, como primera aproximación, se utilizó una función hiperbólica del tipo:

$$R_i = \frac{K_{max} \times P}{(K_p + P)} \quad \text{Ecuación 12.}$$

Donde,

$$R_i = \text{tasa de consumo de sustrato [min}^{-1}\text{]}$$

$$K_{max} = \text{tasa máxima de consumo de sustrato [mmol/l/min]}$$

$$S = \text{concentración limitante de sustrato v. gr. acetato, propianato [mmol/l]}$$

$$K_s = \text{contante de afinidad de sustrato [mmol/l]}$$

Ahora se plantean las velocidades de reacción de cada compuesto:

Fermentación de la Glucosa:

$$R_0 = INH_0 \times K_0 \times \frac{\frac{P_0^0}{P_T^0} \times P_0}{K_P + P_0} \quad \text{Ecuación 13.}$$

Donde,

$$P_i^0 = \text{Presión de vapor de cada elemento}$$

$$P_T^0 = \text{Presión de vapor total}$$

Metanogénesis acetoclástica:

$$R_1 = INH_1 \times K_1 \times \frac{\frac{P_1^0}{P_T^0} \times S_1}{K_{S_1} + S_1} \quad \text{Ecuación 14.}$$

Degradación del Propionato:

$$R_2 = INH_2 \times K_2 \times \frac{\frac{P_2^0}{P_T^0} \times S_2}{KS_2 + S_2} \quad \text{Ecuación 15.}$$

Degradación del Etanol:

$$R_3 = INH_3 \times K_3 \times \frac{\frac{P_3^0}{P_T^0} \times S_3}{KS_3 + S_3} \quad \text{Ecuación 16.}$$

Oxidación del Hidrógeno:

$$R_4 = INH_4 \times K_4 \times \frac{\frac{P_4^0}{P_T^0} \times S_4}{KS_4 + S_4} \quad \text{Ecuación 17.}$$

Degradación del Butirato:

$$R_5 = INH_5 \times K_5 \times \frac{\frac{P_5^0}{P_T^0} \times S_5}{KS_5 + S_5} \quad \text{Ecuación 18.}$$

Donde,  $INH_i = \text{Constante de inhibición (adimensional)}$ .

$$K_i = \text{Tasa de consumo del sustrato} \left( \frac{\text{Mmol}}{(\text{mg SSV} \times \text{min})} \right)$$

### 2.1.9 Estructuración, implementación y programación del modelo.

Se reemplaza en las ecuaciones de producción de los compuestos las velocidades de reacción:

$$X_i = \frac{\text{Relación entre la concentración del compuesto}}{\text{concentración total de la mezcla}}$$

$$Q_g = \left( pHI_6 \times INH_0 \times K_0 \times \frac{\frac{P_0^0}{P_T^0} \times S_0}{KS_0 + S_0} + INH_1 \times K_1 \times \frac{\frac{P_1^0}{P_T^0} \times S_1}{KS_1 + S_1} + INH_2 \times K_2 \times \frac{\frac{P_2^0}{P_T^0} \times S_2}{KS_2 + S_2} - INH_4 \times K_4 \times \frac{\frac{P_4^0}{P_T^0} \times S_4}{KS_4 + S_4} \right) \times V_L \times R \times \frac{T}{P_{atm}} + \left( INH_1 \times K_1 \times \frac{\frac{P_1^0}{P_T^0} \times S_1}{KS_1 + S_1} + 0.25 \times INH_4 \times K_4 \times \frac{\frac{P_4^0}{P_T^0} \times S_4}{KS_4 + S_4} \right) \times V_L \times R \times \frac{T}{P_{atm}}$$

Ecuación 19.

En donde,

$Q_g$ : Producción total de gas [l/min]

$V_L$ : Volumen del líquido en el reactor [l]

$R = \text{Constante universal de los gases [at} \times 1/(\text{mmol} \times \text{°K})]$

$T = \text{Temperatura del agua } [^{\circ}K]$

$P_{atm} = \text{Presión atmosférica}$

#### 2.1.10 Balance de Materia.

El mayor porcentaje de compuesto en el estiércol es la glucosa por lo cual la reacción que se tendrá en cuenta es la metalogénesis de la glucosa:

$$S_0 \xrightarrow{\leftarrow} S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 = 0 \quad \text{Ecuación 20.}$$

$$S_0 - S_1 - S_2 - S_3 - S_4 - S_5 - S_6 - S_7 = 0$$

## 2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO

El presente proyecto pretende convertirse en una herramienta para fomentar el uso de energías renovables, y contribuir con el medio ambiente. A continuación se describen las principales normas y decretos relacionados con el presente proyecto.

LEY 697 DE 2001 (octubre 3). Diario Oficial No. 44.573, de 05 de octubre de 2001, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

El Congreso de Colombia, DECRETA:

ARTÍCULO 1. Declárase el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para 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 medio ambiente y los recursos naturales.

ARTÍCULO 2. El Estado debe establecer las normas e infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de la presente ley, creando la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos,

URE, a corto, mediano y largo plazo, económica y ambientalmente viables asegurando el desarrollo sostenible, al tiempo que generen la conciencia URE y el conocimiento y utilización de formas alternativas de energía.

## REPÚBLICA DE COLOMBIA

Ministerio de agricultura y desarrollo rural.

Dirección de desarrollo tecnológico y protección sanitaria.

Programa nacional de agricultura ecológica.

“Reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaçado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de Productos Agropecuarios Ecológicos”

El presente documento se desarrolló teniendo en cuenta que los sistemas de producción ecológica tienen como objetivo garantizar la sostenibilidad de la base natural, mejorar la calidad del ambiente mediante limitaciones en la utilización de tecnologías, fertilizantes o plaguicidas, antibióticos y otros de origen químico sintético, que puedan tener efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana. Así mismo, y teniendo presente que existe una demanda nacional e internacional cada vez mayor de productos agropecuarios primarios y elaborados, obtenidos por sistemas de producción ecológica, se desarrolló el presente marco reglamentario, con la participación de representantes de productores, entidades del estado, el sector académico, las entidades certificadoras, cooperación internacional y en general con el sector productivo ecológico, con el fin de obtener un documento equivalente con las normas internacionales sobre la materia y a la vez aplicable a nuestras condiciones de país.

## Colombia\_ Prospectiva Ambienta Nacional

La Carta Constitucional define el carácter social del Estado y en este marco reconoce la protección del medio ambiente como principio fundamental y derecho colectivo. Allí, se establecen y sintetizan los elementos claves que hoy orientan el manejo ambiental de país: protección del ambiente; compromiso con la

sostenibilidad y la eficiencia económica; control fiscal; participación ciudadana y respeto por la cultura.

La ley 99 de 1993- Ley del Medio Ambiente, crea el Ministerio del Medio Ambiente, reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.

La ley 1450 de 2011, mediante la cual se formula el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, indica que “durante el cuatrienio 2010-2014 se incorporarán los siguientes ejes transversales en todas las esferas del quehacer nacional con el fin de obtener la Prosperidad para todos: una sociedad a la cual la sostenibilidad ambiental, la adaptación al cambio climático, el acceso a las tecnologías Renovables”.

Decreto 2811 de 1974, Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente\_ PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA:

Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, en ejercicio de las facultades extraordinarias conferidas por la Ley 23 de 1973 y previa consulta con las comisiones designadas por las Cámaras Legislativas y el consejo de Estado, respectivamente,

DECRETA:

El siguiente será el texto del código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente

ARTÍCULO 1. El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social.

La preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social.

ARTÍCULO 2. Fundado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este Código tiene por objeto:

1. Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de éstos y la máxima participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional.
2. Prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos.
3. Regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la Administración Pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales renovables y las relaciones que surgen del aprovechamiento y conservación de tales recursos y de ambiente.

### 3 DISEÑO INGENIERIL

#### 3.1 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE BIODIGESTOR

Cuando se presentan varias alternativas entre las cuales se debe seleccionar, es necesario establecer el patrón común contra el cual medirlas, a fin de poder compararlas y optar por una de ellas; en este caso mediante un despliegue de funciones de calidad (QFD), se analiza entre los tipos de Biodigestores para indicar el porqué de nuestra decisión acerca de un tipo de Biodigestor mixto.

##### 3.1.1 Requerimientos Iniciales de Diseño.

Los principales requerimientos para un buen diseño de este sistema incluyen<sup>27</sup>:

- El diseño debe ser simple tanto para la construcción como para la operación y mantenimiento.
- Los recursos para su producción deben estar disponibles (materia prima, equipos y habilidades de los operarios)
- Se debe emplear un tipo de material resistente a la corrosión, con propiedades de aislamiento efectivas. Este requerimiento afecta en el precio, por lo tanto se busca un material que sea resistente y se recubre para evitar la corrosión.
- Larga vida útil.
- Fácil de desmontar y montar todas sus partes sin posibilidad de error.
- Se debe tener accesibilidad a cada una de sus partes.
- Se deben implementar dispositivos de seguridad.
- Debe cumplir con las especificaciones de producción de Biogás.

---

<sup>27</sup> Adaptado de British Biogen, Anaerobic Digestion of farm and food processing residues, Good Practice Guidelines, Pág. 30 - 31.

### 3.1.2 Despliegue de la función de Calidad.

Teniendo en cuenta los requerimientos iniciales de diseño, se asigna los valores objetivos deseados y marginales, mediante el método de despliegue de función de calidad (QFD), el cual facilita y organiza los procesos de adquisición y análisis de la información de la siguiente manera<sup>28</sup>.

En la matriz de calidad se escriben los requerimientos establecidos en la columna “DemandedQuality”, posteriormente se asigna un peso de importancia en la columna “Weight / Importance”, de acuerdo a estos datos ingresados, la matriz se encarga por default de calcular los “RelativeWeight” y los “Max RelationshipValue in Row”, como se muestra en la Figura 4.

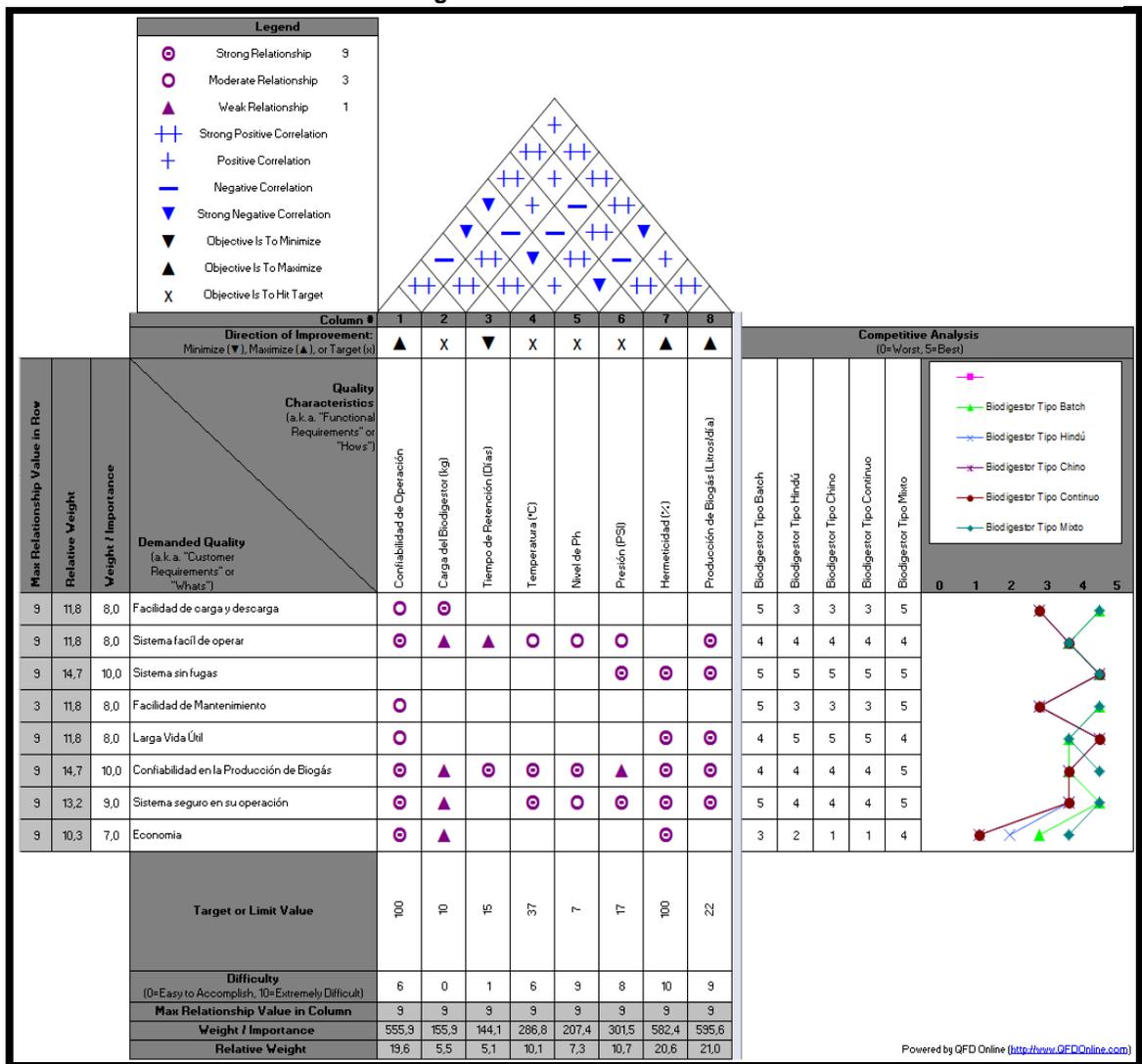
- ✓ Facilidad de carga y descarga: Se asigna un peso de 8,0, debido a que es un proceso de carga y descarga manual.
- ✓ Sistema fácil de operar: Se asigna un peso de 8,0. Es necesario tomar en cuenta que el prototipo pueda utilizarse con mayor facilidad para evitar problemas al operario u operarios.
- ✓ Sistema sin fugas: Se asigna un peso de 10,0, debido a que si el sistema posee fugas no sirve.
- ✓ Facilidad de Mantenimiento: Se asigna un peso de 8,0. El criterio “mantenimiento” implica el tener un prototipo que funcione constantemente y sin tener que pensar continuamente en su reparación.
- ✓ Larga vida Útil: Se asigna un peso de 8,0, debido a que se debe justificar la inversión.
- ✓ Confiabilidad en la producción de gas: Se asigna un peso de 10,0, tiene que producir gas.
- ✓ Sistema seguro en su operación: Se asigna un peso de 9,0, debido a que no se tiene que correr ningún riesgo al operar.

---

<sup>28</sup> Plantilla de Matriz de calidad. Sitio <http://www.qfdonline.com/templates/qfd-and-house-of-quality-templates/>. Visitado (Abril 2012).

- ✓ Economía (Precio): Se asigna un peso de 7,0. El menor costo es, desde luego, un primer criterio, aunque no es necesariamente ni el único ni el más importante.

Figura 4. Matriz de Calidad.



Fuente: PoweredbyQFDonline. www.qfdonline.com.Ver anexo K ampliado.

### 3.1.3 Alternativas.

A continuación se describen las alternativas de diseño presentadas en el despliegue de funciones de la matriz QFD; en donde se exponen sus especificaciones para posteriormente hacer un paralelo entre las ponderaciones de los resultados, identificando la mejor alternativa.

#### 3.1.3.1 Discontinuos o Tipo Batch.

Este tipo de Biodigestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir biogás, pero no se descarga completamente, se retira solo cierta cantidad, esto con el fin de producir el biogás de las cargas subsecuentes en menos tiempo, debido a la presencia de la mezcla ya fermentada y por consecuencia se acelera la obtención del biogás, a esta mezcla fermentada se le llama inoculante o Bioabono.

Normalmente este tipo de Biodigestores consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a una bolsa donde se almacena el biogás.

Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente.

Son fáciles de construir y son también ideales a nivel de laboratorio por si se desea evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla.

#### 3.1.3.2 Biodigestores Semi-Continuos.

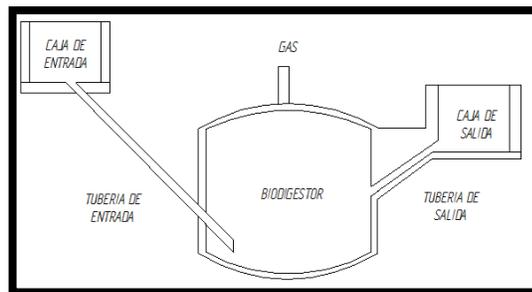
Estos Biodigestores son alimentados diariamente con una carga relativamente pequeña en comparación con el contenido total. Esta se deposita en la cámara de carga, e igualmente se debe extraer de la cámara de descarga un volumen igual del efluente líquido para así mantener el volumen constante. Generalmente producen biogás casi permanentemente, gracias al suministro constante de nuevos nutrientes para las comunidades de bacterias.

Los digestores semi- continuos se clasifican en dos: modelo tipo Chino y modelo tipo Hindú, los cuales se describen a continuación:

#### 3.1.3.2.1 Modelo Chino.

Se originó en China y consiste en una estructura cerrada con cámaras de carga y descarga construidos de concreto o ladrillos debido a la alta presión que pueden alcanzar en su interior y a la constante variación de la misma. Tiene una larga vida útil (mayor de 15 años) con un adecuado mantenimiento. Sin embargo, el costo es relativamente alto.

**Figura 5.** Biodigestor Tipo Chino.

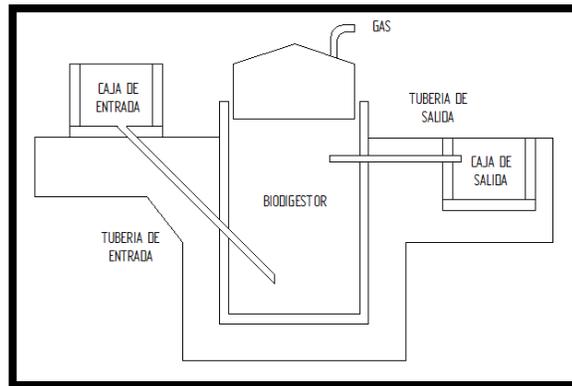


**Fuente:** Investigación y Experiencias de Multiplicación en Países Tropicales

#### 3.1.3.2.2 Modelo Hindú

También llamado de domo flotante, en su parte superior presenta una campana o domo que mantiene flotando a causa del biogás que retiene en su interior. El domo puede ser de metal o preferiblemente de un material resistente a la corrosión.

**Figura 6.** Biodigestor Tipo Hindú.



**Fuente:** Investigación y Experiencias de Multiplicación en Países Tropicales.

### 3.1.3.3 Sistemas Continuos

Este tipo de digestores se desarrollan principalmente para tratamiento de aguas residuales. En general son plantas muy grandes, de tipo industrial, donde se genera una gran cantidad de biogás.

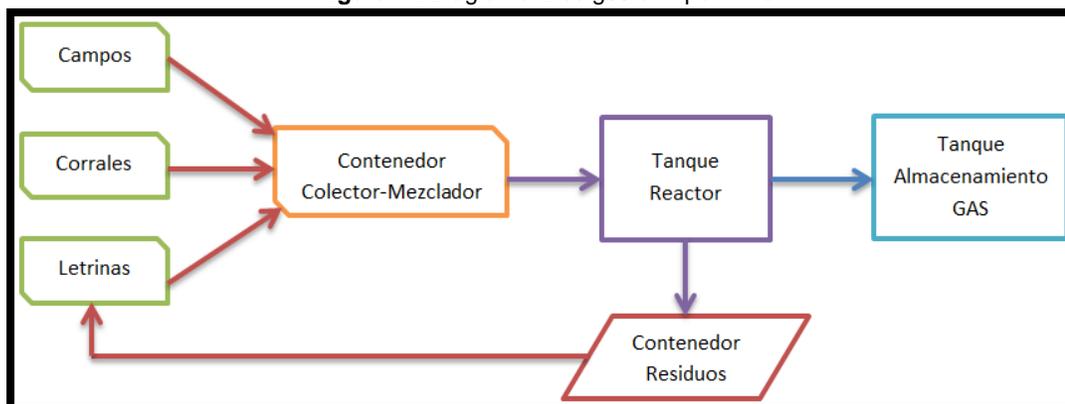
### 3.1.3.4 Biodigestor Tipo Mixto.

El Biodigestor Tipo Mixto es una fusión del Biodigestor Tipo Chino y Tipo Hindú; el cual tiene ventaja de alta durabilidad y permite un buen mantenimiento, se puede saber la cantidad de biogás que se está generando y qué cantidad de biogás hay, además la extracción del sustrato será eficiente (Ver Figura 7).

La planta tipo mixto consta de:

- Un tanque colector, donde se hace la etapa de llenado del sustrato.
- Un cilindro de volumen  $V$  ( $m^3$ ) (Biodigestor), en donde se realiza el proceso de digestión.
- Dos conductos que transportaran el gas y el fertilizante respectivamente.
- Un cilindro donde el biogás es almacenado.
- Un tanque de recolección de residuos que serán utilizados para la fertilización.

Figura 7. Diagrama Biodigestor Tipo Mixto.



Fuente: Autores.

Se analizan las alternativas de diseño del Biodigestor teniendo en cuenta la Matriz QFD elaborada previamente; para lo cual tomando las calificaciones obtenidas para cada alternativa se tiene la siguiente sumatoria.

Tabla 7. Criterios ponderados en base a la matriz QFD.

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")									
					Biodigestor Tipo Batch	Q1	Biodigestor Tipo Hindú	Q2	Biodigestor Tipo Chino	Q3	Biodigestor Tipo Continuo	Q4	Biodigestor Tipo Mixto	Q5
1	9	11,8	8,0	Facilidad de carga y descarga	5	59	3	35,4	3	35,4	3	35,4	5	59
2	9	11,8	8,0	Sistema fácil de operar	4	47,2	4	47,2	4	47,2	4	47,2	4	47,2
3	9	14,7	10,0	Sistema sin fugas	5	73,5	5	73,5	5	73,5	5	73,5	5	73,5
4	3	11,8	8,0	Facilidad de Mantenimiento	5	59	3	35,4	3	35,4	3	35,4	5	59
5	9	11,8	8,0	Larga Vida Útil	4	47,2	5	59	5	59	5	59	4	47,2
6	9	14,7	10,0	Confiabilidad en la Producción de Biogás	4	58,8	4	58,8	4	58,8	4	58,8	5	73,5
7	9	13,2	9,0	Sistema seguro en su operación	5	66	4	52,8	4	52,8	4	52,8	5	66
8	9	10,3	7,0	Economía	3	30,9	2	20,6	1	10,3	1	10,3	4	41,2
$\sum q$						441,6		382,7		372,4		372,4		466,6

Fuente: Autores.

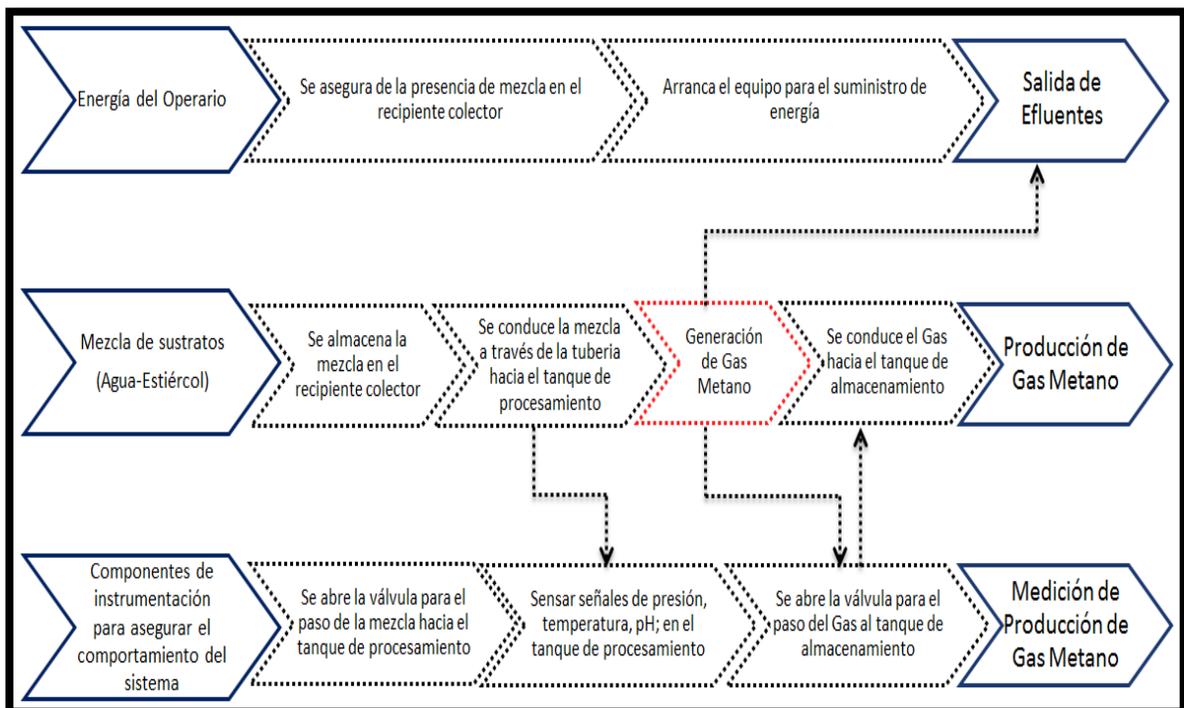
En la tabla 7 de criterios ponderados siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta; se toman los valores obtenidos en la sección de análisis competitivo, al lado de las gráficas lineales y se multiplican por el peso relativo; el cual se obtuvo en el despliegue de funciones de calidad QFD. Con los valores ponderados Q de las opciones presentadas, se efectúa una sumatoria y de esta se observa cual posee una mayor calificación.

Como se puede observar la 5 alternativa con una sumatoria igual a 466,6 es la que representa el Biodigestor Tipo Mixto, calificada para un buen diseño, teniendo en cuenta los factores de calidad requeridos.

### 3.2 ANÁLISIS FUNCIONAL DEL BIODIGESTOR TIPO MIXTO.

A continuación se presenta el modelo de caja gris que nos ayuda a establecer de manera general las funciones del Biodigestor Tipo Mixto.

**Figura 8.** Modelo de Caja Gris.

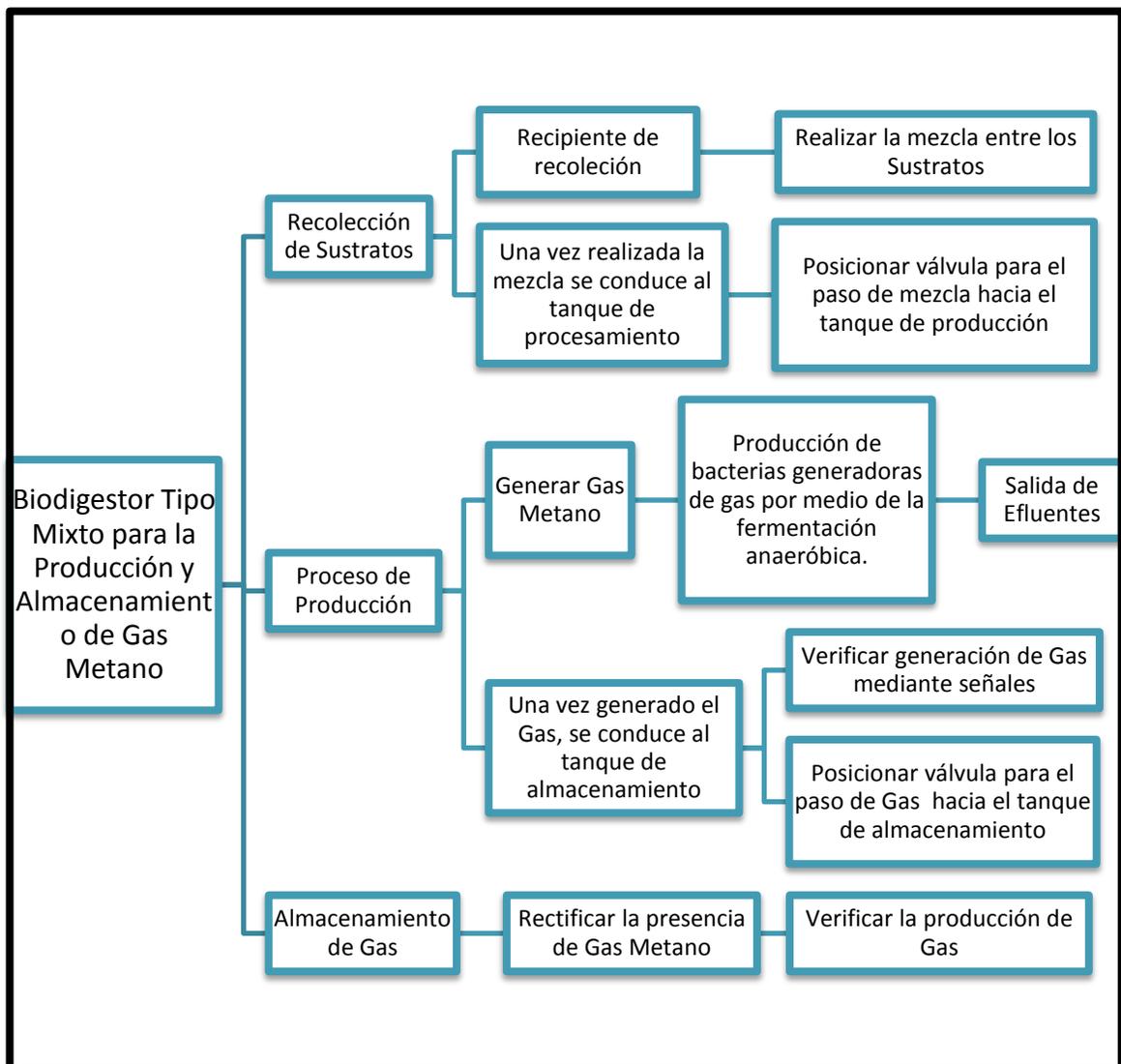


**Fuente:** Autores.

### 3.2.1 Descomposición Funcional.

Se realiza el diagrama de descomposición funcional, el cual nos permite organizar estructuralmente y por categorías las distintas funciones a realizar en el Diseño y Construcción de un Prototipo Biodigestor Tipo Mixto, como se muestra a continuación:

**Figura 9.** Descomposición Funcional del Modelo.

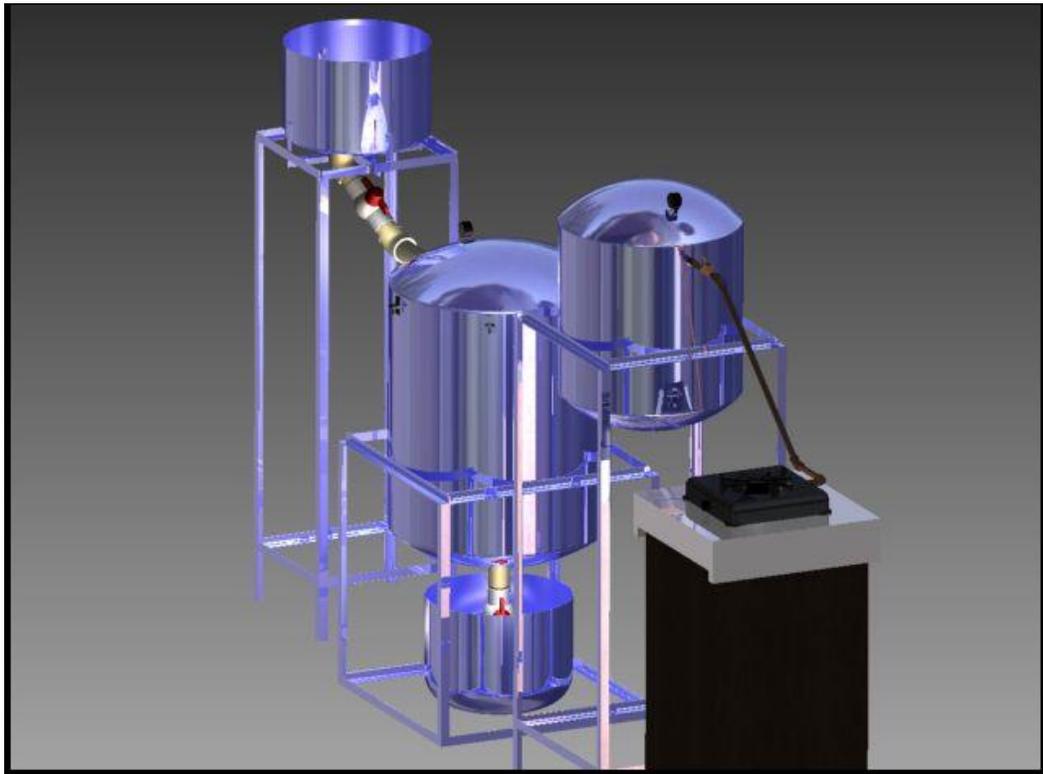


Fuente: Autores.

### 3.2.2 Plano de Concepto.

Después de realizar el análisis funcional se obtiene un diseño estructural el cual está entre los criterios de diseño previamente establecidos.

**Figura 10.** Generación de Conceptos\_ Plano Biodigestor.



**Fuente:** Autores\_ Solid Edge V18.

### 3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

Para determinar las características de la materia prima del estiércol a utilizar, se tomaron tres muestras respectivas del estiércol del animal y se analizaron en Laboratorios de química Universidad Nacional. La Tabla 8, muestra los resultados obtenidos:

**Tabla 8.** Caracterización del reactor.

MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
Sólidos Totales %	7.1	6.8	8.2	7.36
Sólidos Orgánicos %	12.5	13	13.2	12.9
Nitrógeno %	2.35	1.17	0.71	1.41
Potasio %	2.59	0.89	1.80	1.76
Fósforo %	5.95	2.22	1.97	3.38
Carbono%	26.1	23.6	17.8	22.5
pH	7.5	6.9	7.2	7.2
C/N	16.1	20.2	18.4	18.23

**Fuente:** Autores. Laboratorios de química Universidad Nacional.

- PH.

Producción satisfactoria:

$$6,4 \leq pH \leq 7,6$$

Si {pH < 6,4}, entonces las bacterias se inhiben apreciablemente y hay que agregar un alcalino.

Si {pH > 7,6}, entonces el medio es tóxico para las bacterias.

Utilizando el valor promedio de PH = 7,2, se evidencia que respecto a esta condición, su uso es óptimo.

- Relación Carbono Nitrógeno.

Intervalo Aceptado

$$20:1 \leq \frac{C}{N} \leq 30:1$$

Si  $\{C/N > 30\}$ , entonces el proceso está limitado por la disponibilidad de nitrógeno.

Si  $\{C/N < 20\}$ , entonces puede haber mucho  $NH_3$  (amoníaco) y esto es tóxico para las bacterias. Para contrarrestar el  $NH_3$ , se debe agregar agua.

Utilizando el valor promedio de 18,23, se evidencia la necesidad de la utilización de agua para la mezcla.

- Contenido de Sólidos Totales S.T.

Intervalo adecuado en el reactor.

$$6\% \leq S.T. \leq 10\%$$

Si  $\{\%S.T. > 10\%$ , entonces la digestión necesitaría un tiempo de retención más prolongado y habría más generación de A.G.V., (Ácidos Grasos Volátiles), entonces se usaría más cantidad de reactivos para regular el pH, es decir, se incrementarían costos.

Si  $\{\%S.T. < 6\%$ , entonces los requerimientos de calor para mantener la temperatura van a ser mayores.

Utilizando el valor promedio de  $S.T = 7,36\%$  se evidencia que respecto a esta condición, su uso es óptimo.

### 3.4 ANÁLISIS DE MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES.

En el proceso de fermentación en el tanque de producción y en el proceso de almacenamiento de gas se produce una sustancia altamente corrosiva como es el ácido sulfhídrico, lo cual nos orienta a seleccionar un material que cumpla un factor importante para el control de la corrosión y la seguridad del Biodigestor.

La selección de material es la Lámina de Acero Galvanizada, pero debido a que esta no cumple con las protecciones para el ácido sulfhídrico, primero se aplica una capa de WashPrimer (Ver Anexo F), posteriormente se aplican capas de pintura especial para evitar el daño de los tanques (Ver Anexo E).

#### 3.4.1 Lámina de Acero Galvanizada.

El acero galvanizado es aquel que se obtiene luego de un proceso de recubrimiento de varias capas de la aleación de hierro y zinc. Por lo general se trata de tres capas de la aleación, las que se denominan “gamma”, “delta” y “zeta”. Finalmente se aplica una última y cuarta capa externa que sólo contiene zinc, a la que se le llama “eta”, y es la que le da aquel típico aspecto gris brillante al acero.

El recubrimiento galvanizado le otorga al acero una excelente protección, entregándole propiedades fabulosas entre las que se encuentra su gran resistencia a la abrasión, así como también a la corrosión. Esta última característica produce tres excelentes efectos. El primero, denominado “protección por efecto de barrera” consta de aislación frente a un medio ambiente que podría ser bastante agresivo. En segundo lugar, la “protección catódica o de sacrificio” es aquella en la que el zinc se comporta como la parte anódica de la corrosión, de este modo, mientras haya recubrimiento de zinc, entonces el acero estará protegido. Por último, la “restauración de zonas desnudas” se refiere a que la corrosión del zinc logra tapar aquellas discontinuidades que pueden existir en el recubrimiento a causa de la corrosión u otro tipo de daños.

### 3.4.2 Especificaciones Técnicas de la Lámina de Acero Galvanizada

En la Tabla 9, se puede observar los diferentes calibres de la lámina de acero galvanizada con algunas especificaciones, entre ellos los calibres utilizados en la fabricación de los tanques.

**Tabla 9.** Referencia de la Lámina de Acero Galvanizada.

Calibre	Espesor (mm)		Peso					
	Negro	Galvanizado	Lámina Negra			Lámina Galvanizada [180 g/m <sup>2</sup> ]		
			1000 x 2000	1200 x 2400	1220 x 2440	1000 x 2000	1200 x 2400	1220 x 2440
Cal. 16	1,52	1,54	23,85	34,34	35,49	24,21	34,86	36,03
Cal. 18	1,21	1,24	19,06	27,45	28,37	19,42	27,97	28,91

Fuente: Página web: <http://www.corpacero.com>.

**Tabla 10.** Propiedades de la Lámina de Acero Galvanizada.

NOMBRE DE LA PROPIEDAD	VALOR
Densidad	7.833 g/cm <sup>3</sup>
Conductividad Térmica	32.000 W/m-C
Calor específico	481.000 J/kg-C
Módulo de Elasticidad	199947.953 MPa
Coefficiente de Poisson	0.29
Límite Elástico	262.001 MPa
Tensión de rotura	358.527 MPa

Fuente: Tabla de Materiales en Solid Edge V18.

### 3.5 DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR TIPO MIXTO

Para poder calcular el tamaño del Biodigestor tipo mixto, se utilizan determinados valores característicos.

Cantidad de material de fermentación por día ( $E_D$ )= 6 Kg/día

Proporción de estiércol y agua: 1:1

Cantidad de cieno de fermentación ( $C_F$ )= 6 kilogramos de estiércol más 6 litros de agua =12 Litros/día

#### 3.5.1 Cálculo de Tiempo de Retención Aproximado.

El tamaño del digestor (volumen del digestor) es determinado por el tiempo de retención (TR) y por la carga. Se recomienda escoger el TR apropiado de acuerdo a la temperatura promedio del sitio en el cual va a operar, utilizando la relación generada en la siguiente ecuación:

$$TR = (-53.239 \times \ln(T^{\circ}C) + 205.72) \quad \text{Ecuación 21}^{29}.$$

Donde,

$TR$  = Tiempo de retención en días.

$\ln$  = Logaritmo natural.

$T^{\circ}C$  = Tem. promedio óptima de la fermentación Mesoflica (Ver Tabla 5)

Remplazando los valores en la ecuación obtenemos los siguientes datos:

$$TR = (-53.239 \times \ln(36^{\circ}C) + 205.72)$$

$$TR = 14.93 \approx 15 \text{ Días.}$$

---

<sup>29</sup> Icontec - Aene, Unidad De Planeación Minero Energética (Upme), "Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión", Bogotá, D.C., Marzo de 2003, Pág. 36.

### 3.5.2 Volumen del Tanque Reactor.

$$V_d = (C \times TR \times 1,2) \quad \text{Ecuación 22.}^{30}$$

Donde,

$V_d$  = Volumen del digestor, en litros.

$C$  = Carga para alimentar el digestor en  $\frac{\text{litros}}{\text{día}}$ .

$TR$  = Tiempo de retención en días.

1,2 = Volumen adicional para el almacenamiento de gas.

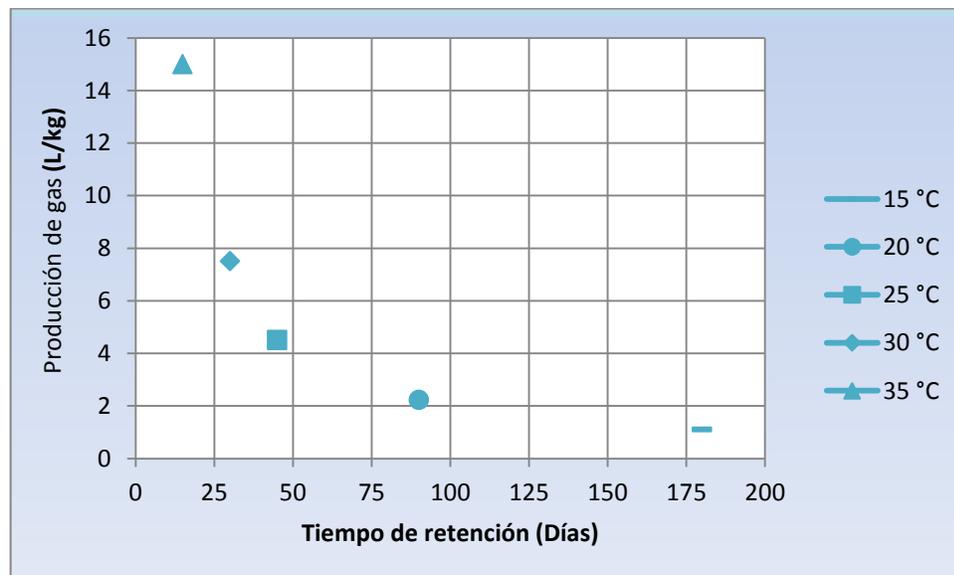
Remplazando los valores en la ecuación se obtiene lo siguiente:

$$V_d = 12 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times 15 \text{ días} \times 1,2$$

$$V_d = 216 \text{ Litros} = 0,216 \text{ m}^3$$

Producción específica de gas:

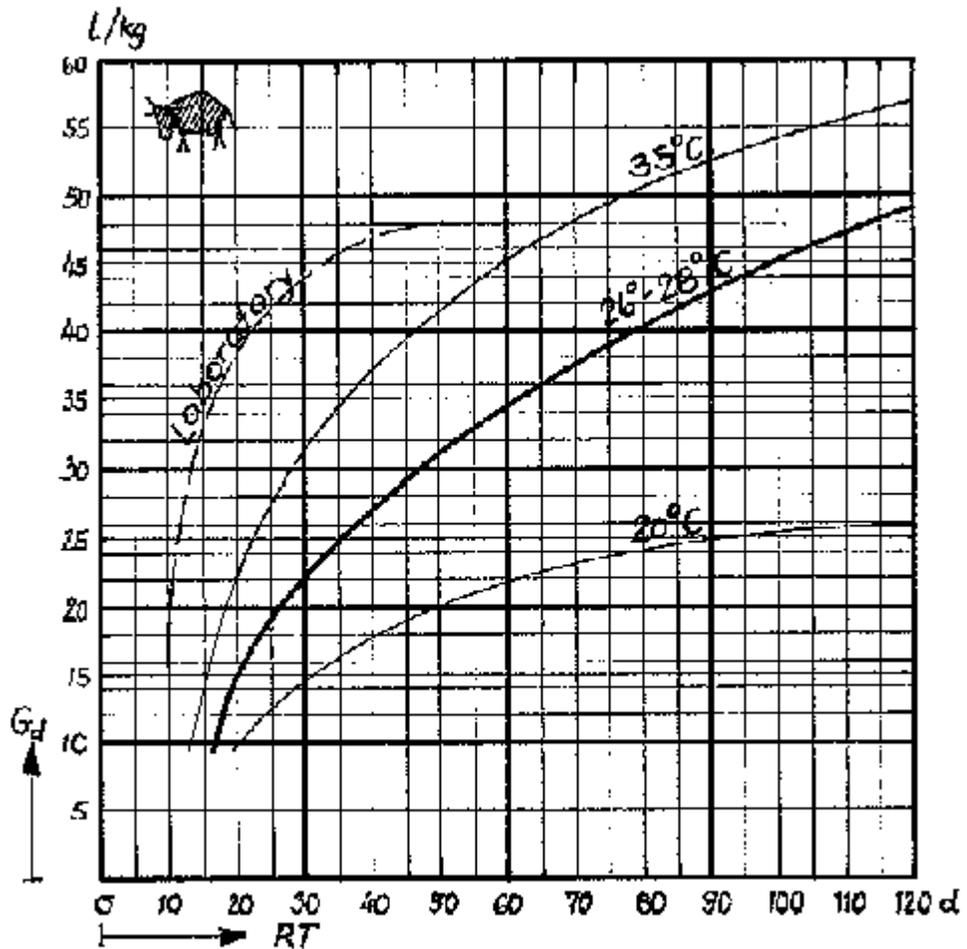
**Figura 11.** Producción de Biogás en función de la Temperatura.



**Fuente:** Universidad Nacional de Ingeniería UNI "Influencia de las condiciones ambientales en el funcionamiento de Biodigestor". Lima Perú 2002.

<sup>30</sup>Icontec, Unidad De Planeación Minero Energética (Upme), "Formulación De Un Programa Básico De Normalización Para Aplicaciones De Energías Alternativas Y Difusión", Bogotá, D.C., Marzo de 2003, Pág. 36.

Figura 12. Producción de Biogás en función de la Temperatura.



Fuente: Speece, R. "Anaerobic biotechnology for industrial. USA. . 1996

En las figuras 11 y 12 se pueden visualizar las gráficas de producción de biogás en función de la temperatura, por dos fuentes. Teniendo un tiempo de retención de 15 días a una temperatura de 36 °C aproximado de 35° C, se obtiene:

Según Figura 11 →  $15 \text{ L/kg} \times (1 \text{ M}^3 / 1000 \text{ L}) = 0,015 \text{ M}^3/\text{Kg}$

Según Figura 12 →  $14 \text{ L/kg} \times (1 \text{ M}^3 / 1000 \text{ L}) = 0,014 \text{ M}^3/\text{Kg}$

### 3.5.3 Volumen del Tanque de Almacenamiento de Gas.

El tanque de almacenamiento de gas debe estar dimensionado de tal manera que pueda almacenar el gas que se va a usar de una vez y además, debe acumular todo el gas que se produzca entre las horas de consumo, por lo cual se utilizara el mayor valor de producción de biogás entre las dos fuentes de las figuras 11 y 12, adicionalmente se debe tener en un factor seguridad mínimo del 27% adicional.

Según Figura 11  $\rightarrow 15 \text{ L/kg} \times (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ L}) = 0,015 \text{ m}^3/\text{Kg}$

La cantidad de material de fermentación ( $E_D$ )= 6 Kg, por lo cual el volumen del tanque es:

$$V = 0,015 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} \times 6 \text{ Kg}$$

$$V = 0,09 \text{ m}^3 + 27\%$$

$$V = 0,114 \text{ m}^3$$

### 3.6 DISEÑO Y CÁLCULOS DE TANQUE REACTOR

Los recipientes a presión están sujetos a diversas cargas, que causan esfuerzos de diferentes intensidades en los componentes del recipiente. El tipo e intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción.

Para los esfuerzos en cascos cilíndricos, la presión uniforme, interna o externa, induce en la costura longitudinal un esfuerzo unitario igual al doble del que obra en la costura circunferencial, por la geometría misma del cilindro<sup>31</sup>.

Cuando otras fuerzas (de viento, sísmicas, etc.) no son factores importantes, un recipiente sujeto a presión externa, debe diseñarse para resistir solo la deformación circunferencial. Las normas establecen el método de diseño para

---

<sup>31</sup>EUGENE F. MEGYESY "Manual de Recipientes a Presión", Editorial Limusa, S.A., 1998. Pág. 14.

llenar tal requisito. Cuando actúan además otras cargas, la combinación de las mismas puede ser la que rija, y podrá requerirse una placa de mayor espesor que el necesario para resistir únicamente la deformación circunferencial.

El esfuerzo a la compresión debido a la presión externa y el esfuerzo a la presión interna se determinan mediante las siguientes formulas:

a) JUNTA CIRCUNFERENCIAL

$$S_1 = \frac{PD}{4t} \quad \text{Ecuación 23.}$$

b) JUNTA LONGITUDINAL

$$S_2 = \frac{PD}{2t} \quad \text{Ecuación 24.}$$

Donde, D= Diámetro medio del recipiente, pulgadas.

P= Presión interna o externa, lb/pulg<sup>2</sup>

S<sub>1</sub>= Esfuerzo longitudinal, lb/pulg<sup>2</sup>

S<sub>2</sub>= Esfuerzo circunferencial (o de zuncho), lb/pulg<sup>2</sup>

t= Espesor del casco, sin margen por corrosión, pulgadas.

### 3.6.1 Cálculo de dimensiones para el tanque reactor.

Se calcula la altura y el radio del tanque, con el objetivo de alcanzar el volumen deseado.

El volumen de un cilindro de base circular, es:

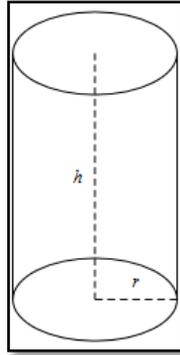
$$V_{Cilindro} = \pi \times r^2 \times H \quad \text{Ecuación 25.}^{32}$$

Dónde:  $r = 0,45 H$

---

<sup>32</sup>Megyesy Eugene F. "Manual de Recipientes a Presión", LIMUSA NORIEGA EDICIONES, México 1998. Pág. 232.

**Figura 13.** Volumen de un Cilindro.



**Fuente:** Página web: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cylinder\\_geometry.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cylinder_geometry.svg).

Siendo la altura (h) del cilindro la distancia entre las bases y (r) su radio.

De acuerdo a la solución de la ecuación 22, tenemos que el volumen del Tanque Reactor es  $0,216 \text{ m}^3$ .

El volumen de un casquete esférico es:

$$V_{\text{Casquete esférico}} = \frac{1}{3}\pi \times h_{\text{cas}}^2 \times (3R - h_{\text{cas}}) \quad \text{Ecuación 26.}^{33}$$

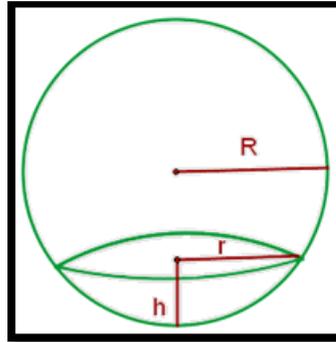
Dónde:  $h_{\text{cas}} = 0,15 H$

$$R_{\text{cas}} = 0,75 H$$

---

<sup>33</sup> James Stewart. "Cálculo: Conceptos y Contextos 3 Edición", International Thomson Editores, México D.F. 2006. Pág. 458.

Figura 14. Volumen Casquete Esférico.



Fuente: Página web: [http://www.vitutor.com/geo/esp/v\\_9.html](http://www.vitutor.com/geo/esp/v_9.html).

Donde  $h$  es la altura, y  $R$  es el radio. De acuerdo con las anteriores ecuaciones se aplican de la siguiente manera:

$$V_{Total} = V_{cilindro} + 2 V_{Casquete\ esférico} \quad \text{Ecuación 27.}$$

$$0,216 = (\pi \times r^2 \times H) + \left(\frac{2}{3}\pi \times h_{cas}^2 \times (3R - h_{cas})\right) \quad \text{Ecuación 28.}$$

Remplazando en la ecuación 26, las condiciones de la ecuación 23 y 24, obtenemos lo siguiente:

$$0,216 = \left(\pi \times (0,45 H)^2 \times H\right) + \left(\frac{2}{3}\pi \times (0,15 H)^2 \times ((3 \times 0,75 H) - 0,15 H)\right)$$

$$0,216 = (0,636 H^3) + (0,047 H^2 \times (2,1 H))$$

$$0,216 = (0,636 H^3) + (0,098 H^3)$$

$$0,216 = (0,738 H^3)$$

$$H = 0,663 \text{ m}$$

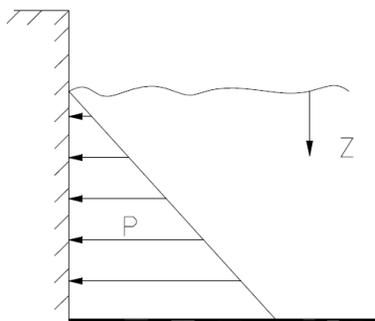
### 3.6.2 Cálculo de Presión en el Tanque Reactor.

Para seleccionar el espesor de la lámina de Acero Galvanizada es necesario conocer el valor de la presión interna que ejerce sobre las paredes del digestor, tomando en cuenta que un 80% aloja la parte líquida y el 20% la parte gaseosa.

En un fluido en reposo, la presión de un punto determinado es la misma en todas las direcciones. La presión en fluido aumenta con la profundidad como resultado del peso del fluido. Este aumento se debe a que el fluido a niveles bajos soporta más peso que el fluido a niveles altos. La presión varía en dirección vertical como consecuencia de los efectos gravitacionales, pero no existe variación en la dirección horizontal. La presión en un tanque que contiene gas se considera uniforme, puesto que el peso del gas es demasiado pequeño para hacer una diferencia apreciable.

Para el cálculo, se considera que la densidad del sustrato es equivalente a la densidad del agua.

**Figura 15.** Incremento de la presión con aumento de la profundidad.



**Fuente:** YUNUS y BOLES; Termodinámica

$$V_L = 0,216 \text{ m}^3 \text{H}_2\text{O} \quad \text{Ecuación 29.}$$

$$m_L = \rho_{\text{H}_2\text{O}} \times V_L \quad \text{Ecuación 30.}$$

Dónde:

$m_L$  = Masa líquida del sustrato [Kg].

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  = Densidad del sustrato  $\approx$  [1000 Kg/m<sup>3</sup>].

$V_L$  = Volumen del sustrato calculado anteriormente [m<sup>3</sup>].

Remplazando valores se tiene:

$$m_L = \left(1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right) \times 0,216 \text{m}^3$$

$$m_L = 216 \text{ Kg}$$

Para el cálculo de la máxima presión se utiliza la ecuación 29.

$$P_1 = P_0 + \Delta P \quad \text{Ecuación 31.}$$

Dónde:

$P_1$  = Presión hidrostática en el fondo del recipiente [KPa]

$P_0$  = Presión inicial  $\approx$  Presión de gas en la campana = 100 [mm H<sub>2</sub>O] = 980 [Pa]

$\Delta P$  = Variación de presión respecto a la altura del fluido [Pa]

$$\Delta P = \rho g h \quad \text{Ecuación 32.}$$

Dónde:

$\rho$  = Densidad del sustrato  $\approx$  [1000 Kg/m<sup>3</sup>].

$g$  = Gravedad = 9.81 [m/s<sup>2</sup>].

$h_L$  = Altura del líquido = 75% de altura total recipiente 0,763 m = 0,57m

Desarrollando la fórmula.

$$P_1 = P_o + \rho gh \quad \text{Ecuación 33.}$$

$$P_1 = 980 \text{ pa} + \left( 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,57\text{m} \right)$$

$$P_1 = 980\text{Pa} + 5,5 \text{ KPa}$$

$$P_1 = 6,4 \text{ KPa} = 0,93 \text{ PSI}$$

$$\text{Presión absoluta} = P_1 + p_{atm} = 15,63 \text{ PSI}$$

### 3.6.3 Valores del Esfuerzo Máximo Permitido.

Los valores del esfuerzo de tensión máximo permitido ya viene predeterminado para diferentes materiales, las constantes de eficiencias de juntas y el porcentaje para la presión de trabajo se extraen del Manual de Recipientes a Presión EUGENE F. MEGYESY.

Para la presión de diseño se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes para una presión mayor que la de operación. Este requisito se satisface utilizando un 10% más que la presión de trabajo, se utilizara la mayor presión hallada en la sección de cálculos de presión, así:  $15,63 \text{ lb/pulg}^2 \times 1,1 = 17,1 \text{ (lb/pulg}^2)$

P= Presión de diseño:  $17,1 \text{ lb/pulg}^2$ .

S= Valor del esfuerzo de la lámina de acero galvanizada  $391,6 \text{ lb/pulg}^2$

E= 0.85, eficiencia de las juntas del casco y la cabeza hemisférica.

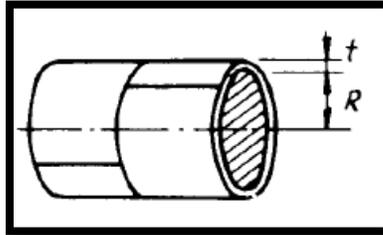
E= 1.0, eficiencia de las juntas de las cabezas

R= 11.811 pulgadas, radio interior

D= 23.622 pulgadas, diámetro Interior

t= Espesor de pared requerido, pulgadas

**Figura 16.** Casco Cilíndrico (Costura Longitudinal).



Fuente: Presión Interna<sup>34</sup>.

Determinar el espesor requerido,  $t$ , del casco:

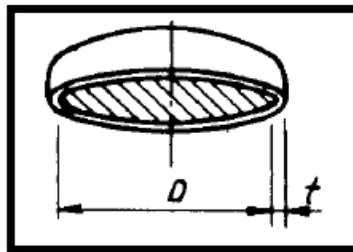
$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad \text{Ecuación 34.}$$

Remplazando los valores,

$$t = \frac{17,1 \times 11.8}{391,6 \times 0.85 - 0,6 \times 17,1}$$

$$t = 0.62 \text{ pulg} \equiv \text{Lamina de acero galvanizada Calibre 16}$$

**Figura 17.** Cabeza Elipsoidal.



Fuente: Presión Interna<sup>35</sup>

$$t = \frac{PD}{2SE + 1.8P} \quad \text{Ecuación 35.}$$

Remplazando los valores se obtiene:

$$t = \frac{17,1 \times 23.62}{2 \times 391,6 \times 1.0 + 1.8 \times 17,1}$$

$$t = 0.49 \text{ pulg} \equiv \text{Lámina de acero galvanizada Calibre 18}$$

<sup>34</sup>Eugene F. Megyesy. "Manual de Recipientes a Presión", Editorial Limusa, S.A., 1998. Pág. 56.

<sup>35</sup>Ibíd., Pág. 38.

Ahora se determina el esfuerzo longitudinal y el esfuerzo circunferencial, de la siguiente manera:

$$D = 23.62 \text{ pulgadas}$$

$$P = 17,1 \text{ lb/pulg}^2$$

$$T = 0.62 \text{ pulg}$$

$$S_1 = \frac{PD}{4t} = \frac{17,1 \times 23.62}{4 \times 0.035} = 2885 \text{ lb/pulg}^2$$

$$S_2 = \frac{PD}{2t} = \frac{17,5 \times 23.62}{2 \times 0.035} = 5770 \text{ lb/pulg}^2$$

El esfuerzo cortante máximo absoluto en la superficie interior del cilindro es:

$$t_{ma} = \frac{(S_2 - S_1)}{2} = \frac{[5770 - 2885]}{2} = 1442,5 \text{ lb/pulg}^2$$

**Figura 18.** Plano Tanque Reactor.

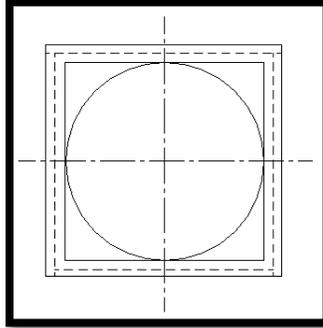


**Fuente:** Autores\_ Solid EdgeV18.

### 3.6.4 Cálculo de Esfuerzos en Vigas (Tanque Reactor).

El peso del Tanque es 335,6 kg= 739 lb (lleno), la longitud es de 60 cm=23,4 pulg.

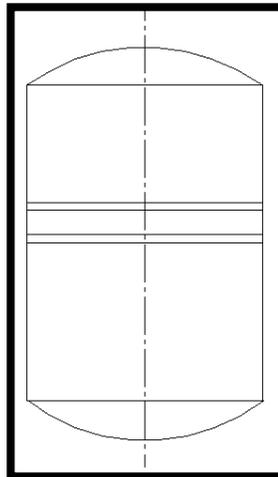
**Figura 19.** Vista Superior\_ Vigas Tanque Reactor.



**Fuente:** Autores\_ Solid Edge V18.

La carga que actúa en una viga es:

**Figura 20.** Vista Frontal\_ Vigas Tanque Reactor.



**Fuente:** Autores\_ Solid Edge V18.

Momento:

$$M = \left(\frac{P \times l}{4}\right)^{36} \text{ Ecuación 36.}$$

$$M = \frac{33.06 \times 23,4}{4} = 193,4 \text{ lb} - \text{pulg}$$

Módulo de sección requerido:

$$Z = \frac{M}{S_A} \quad \text{Ecuación 37.}$$

Suponiendo para el esfuerzo permitido  $S_A$ , el valor de 132.27 lb/ pulg<sup>2</sup>

Módulo de la sección:

$$Z = \frac{193,4 \text{ lb} - \text{pulg}}{132.27 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}} = 1,46 \text{ pulg}^3$$

Deflexión:

$$\Delta = \left(\frac{P \times l^3}{48EI}\right)^{37} \quad \text{Ecuación 38.}$$

Donde,

$$P = \text{Fuerza de carga concentrada} = 739 \div 4 = 184,75 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

$$l = \text{Longitud} = 23,4 \text{ pulg}$$

$$E = \text{Módulo de elasticidad} = 17,500,000 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \text{ (Ver Tabla 12.)}$$

$$I = \text{Momento de inercia} = 0,4 \text{ pulg}^4 \text{ (Ver Tabla 12.)}$$

Se reemplaza los datos en la Ecuación 38:

$$\Delta = \left(\frac{184,75 \times 23,4^3}{48 \times 17,500,000 \times 0,4}\right) = 0.0070 \text{ pulg}$$

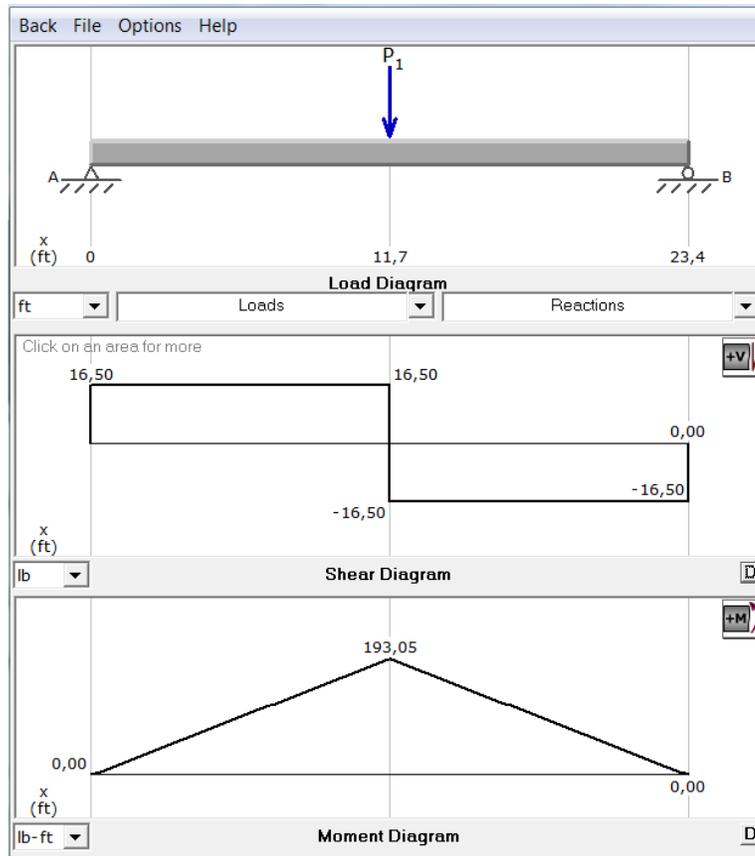
Este dato determina que la estructura es resistente para soportar el tanque reactor completamente lleno.

---

<sup>36</sup>Eugene F. Megyesy. "Manual de Recipientes a Presión", Editorial Limusa, S.A., 1998. Pág. 443.

<sup>37</sup>Ibíd., Pág. 443.

**Figura 21.** Diagrama de Esfuerzos Cortantes.



Fuente: Autores\_ MDSolid 3.5.

Ver anexo H (Análisis de Estructuras).

### 3.6.4.1 Esfuerzos Máximos de Tensión y Compresión.

Para analizar los esfuerzos máximos de tensión y compresión en las vigas se debe analizar el centroide de las vigas, es decir de los ángulos:

Los Ángulos Estructurales L, son productos cuyas alas son iguales y forman un ángulo de  $90^\circ$  entre sí.

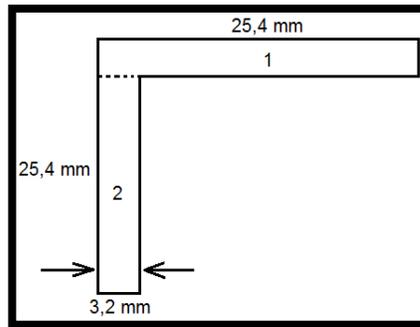
La base del Biodigestor está hecha en ángulo de  $1/8'' \times 1''$ ; consta de las siguientes especificaciones:

**Tabla 11.** Especificaciones Ángulo 1" x 1/8".

Ángulo	Dimensiones			Sección	Peso	Valores Estáticos			Módulo de Elasticidad
	a	e	e <sub>x</sub> =e <sub>y</sub>			F	G	J <sub>x</sub> =J <sub>y</sub>	
	mm	mm	Mm	cm <sup>2</sup>	Kg/m	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	Lb/ pulg <sup>2</sup>
1" x 1/8"	25,4	3,2	0,75	1,51	1,2	0,91	0,38	1,44	17,500,000

Fuente: Página web: <http://www.hierrostront.com.ar/tablas/an.htm>.

**Figura 22.** Centroide de Viga.



Fuente: Autores.

Se divide en dos rectángulos:

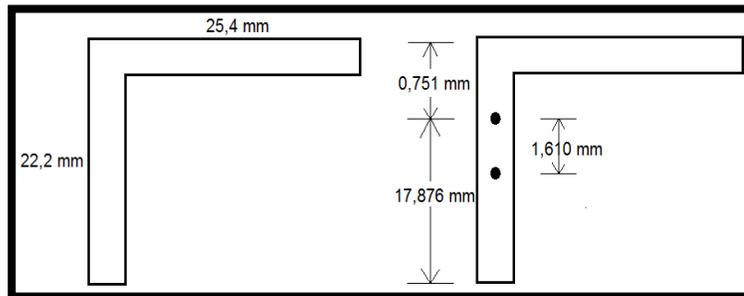
**Tabla 12.** Cálculos para el centroide de la viga.

	Área, mm <sup>2</sup>	Y, mm	A × Y, mm <sup>3</sup>
1	(25,4) × (3,2)=81,28	23,8	1934,4
2	(22,2) × (3,2)=71,04	11,1	788,5
	$\sum A = 152,32$		$\sum A \times Y = 2722,9$

Fuente: Autores.

$$Y = \frac{\sum A \times Y}{\sum A} = \frac{2722,9}{152,32} = 17,876 \text{ mm} \quad \text{Ecuación 39.}$$

**Figura 23.** Diagrama de Centroide de Ángulo.

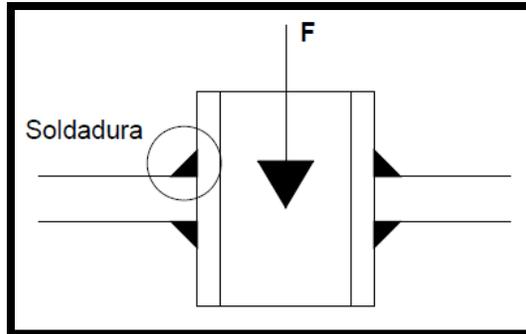


Fuente: Autores.

### 3.6.5 Soldadura de las Vigas\_ Tanque Reactor.

Los tanques se sujetan de una soldadura de doble filete como se muestra en la Figura 24.

Figura 24. Diagrama de Soldadura.



Fuente: Hecho por los autores en Autocad 2008.

La fuerza que recibe la soldadura es la del mismo tanque Reactor por lo tanto:

Donde  $P = 17,1 \text{ psi} = 117.9 \text{ KPa}$ .

$$F = P \times A \quad \text{Ecuación 40.}$$

$$F = 117.9 \text{ KPa} \times \frac{\pi}{4} (0.6)^2 = 33.33 \text{ KN}$$

Como la soldadura se coloca por los dos lados la fuerza se distribuye a cada soldadura, por lo tanto la fuerza que aplica cada punto es:

$$F_a = F_m = 16.66 \text{ KN}$$

La fuerza aplica un esfuerzo cortante por carga axial, y la ecuación para el esfuerzo cortante según Shigley para cilindros huecos es:

$$\tau = \frac{2V}{A} \quad \text{Ecuación 41.}$$

Donde  $V$  es la fuerza cortante y  $A$  es el área de la soldadura. La ecuación para determinar el área es:

$$A = 1.414\pi r h \quad \text{Ecuación 42.}$$

Donde  $h$  es la altura de la soldadura. Para un cordón de soldadura de 1 cm de alto, el esfuerzo cortante que presenta la soldadura es igual a:

$$A = 1.414\pi \times 0.1m \times 0.013m = 5.774 \times 10^{-3}m^2$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{2 \times 16.56 KN}{5.774 \times 10^{-3}m^2} = 57.36 MPa$$

Se utiliza una soldadura tipo E6013, en donde la escoria es fácil de limpiar y el arco se mantiene más fácilmente, sobre todo con los diámetros pequeños, y tiene una resistencia de 144.92 MPa, con este dato, el factor de seguridad es:

$$\tau_{per} = 144.92 MPa$$

$$\eta = \frac{\tau_{per}}{\tau_a} \quad \text{Ecuación 43.}$$

$$\eta = \frac{144.92 MPa}{57.36 MPa} = 2,52$$

El valor del factor de seguridad por carga estática es apto, ahora se comprobará por fatiga.

Utilizando una resistencia última de 490 MPa, y siguiendo las fórmulas para carga por fatiga, los valores de los factores son:

$$k_a = 56.1 \times 490^{-0.719} = 0.6526$$

$$k_b = 1, \quad \text{para carga axial no hay efecto de tamaño}$$

Los valores de  $k_c$  para carga axial son:

$$k_c = 1.43 \times 490^{-0.078} = 0.8820$$

El valor de  $k_d$  es el mismo debido a que soporta la misma temperatura, por lo tanto:

$$k_d = 1.01$$

El tipo de soldadura es de filete transversal por lo tanto  $k_e$  es:

$$k_e = \frac{1}{k_f} = \frac{1}{1.5} = 0.6667 \quad \text{Ecuación 44.}$$

Con todos los datos despejados la carga por fatiga es:

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S'_e \quad \text{Ecuación 45.}$$

$$S_e = 0.6526 \times 1 \times 0.8820 \times 1.01 \times 0.667 \times 0.506 \times 490 \text{MPa} = 96.1411 \text{MPa}$$

El factor de seguridad por fatiga según la energía de distorsión de Gerder está dado por:

$$\eta = \frac{1}{2} \left[ \frac{0.67 S_{ut}}{\tau_m} \right]^2 \frac{\tau_a}{S_e} \left[ -1 + \sqrt{1 + \left( \frac{2 \tau_m S_e}{0.67 S_{ut} \tau_a} \right)^2} \right] \quad \text{Ecuación 46.}$$

Siendo  $\tau_a = \tau_m$  entonces:

$$\eta = \frac{1}{2} \frac{(0.67 S_{ut})^2}{\tau_a S_e} \left[ -1 + \sqrt{1 + \left( \frac{2 S_e}{0.67 S_{ut}} \right)^2} \right]$$

$$\eta = \frac{1}{2} \frac{(0.67 \times 490)^2}{51.5676 \times 96.1411} \left[ -1 + \sqrt{1 + \left( \frac{2 \times 96.1411}{0.67 \times 490} \right)^2} \right] = 2.7271$$

El factor de seguridad por fatiga nos indica que la soldadura no fallará.

Las uniones son de sujeción de los tanques, son de hierro con una soldadura E6013. La soldadura West arco E6013, tiene un revestimiento a base de rutilo y potasio, lo cual le da muy buena estabilidad, inclusive al trabajar con corriente alterna en equipos de bajo voltaje de circuito abierto.

**Tabla 13.** Propiedades mecánicas de la soldadura.

Resistencia a la tracción:	42 – 52 Kg/mm <sup>2</sup> (60-74 Ksi)
Límite de fluencia:	42 – 45 Kg/mm <sup>2</sup> (48-65 Ksi)
Elongación:	22 – 29 %
Resistencia al impacto Charpy en V a 20 °C:	50 – 110 jouls.

Fuente: Página web: [www.westarco.com/Catálogo](http://www.westarco.com/Catálogo).

### 3.7 DISEÑO Y CÁLCULOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GAS.

El tamaño del tanque de almacenamiento de gas – el volumen del depósito de gas – depende de la producción de gas y la cantidad que se utilice.

La producción de gas depende de la cantidad y propiedades de la materia de fermentación, de la temperatura del digestor y del tiempo de retención (Ver Fig. 11 y 12).

#### 3.7.1 Cálculo de Dimensionamiento para el tanque de almacenamiento de gas.

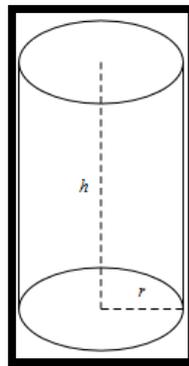
El volumen del tanque de almacenamiento de gas es =  $0,114 m^3$  (Ver numeral 3.5.3.).

El volumen de un cilindro de base circular, es:

$$V_{Cilindro} = \pi \times r^2 \times H \quad \text{Ecuación 47.}^{38}$$

Dónde:  $r = 0,52 H$

**Figura 25.** Volumen de un Cilindro.



**Fuente:** Página web: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cylinder\\_geometry.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cylinder_geometry.svg).

Siendo la altura (H) del cilindro la distancia entre las bases y (r) su radio.

<sup>38</sup>Megyesy Eugene F. "Manual de Recipientes a Presión", LIMUSA NORIEGA EDICIONES, México 1998. Pág. 232.

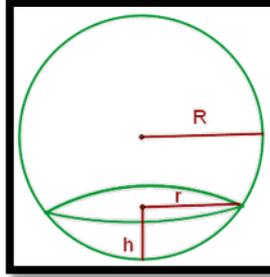
El volumen de un casquete esférico es:

$$V_{\text{Casquete esférico}} = \frac{1}{3}\pi \times h_{\text{cas}}^2 \times (3R - h_{\text{cas}}) \quad \text{Ecuación 48.}^{39}$$

Dónde:  $h_{\text{cas}} = 0,2 H$

$$R_{\text{cas}} = 0,7 H$$

**Figura 26.** Volumen Casquete Esférico.



**Fuente:** Página web: [http://www.vitutor.com/geo/esp/v\\_9.html](http://www.vitutor.com/geo/esp/v_9.html).

Donde h es la altura, y R es el radio. De acuerdo con las anteriores ecuaciones se aplican de la siguiente manera:

$$V_{\text{Total}} = V_{\text{Cilindro}} + 2 V_{\text{Casquete esférico}} \quad \text{Ecuación 49.}$$

$$0,171 = (\pi \times r^2 \times H) + \left(\frac{2}{3}\pi \times h_{\text{cas}}^2 \times (3R - h_{\text{cas}})\right) \quad \text{Ecuación 50.}$$

Remplazando en la ecuación 49, las condiciones de la ecuación 47 y 48, obtenemos lo siguiente:

$$0,114 = (\pi \times (0,5 H)^2 \times H) + \left(\frac{2}{3}\pi \times (0,2 H)^2 \times ((3 \times 0,7 H) - 0,2 H)\right)$$

$$0,114 = (0,849 H^3) + (0,083 H^2 \times (1,9 H))$$

$$0,114 = (0,849 H^3) + (0,157 H^3)$$

$$0,114 = (1,006 H^3)$$

$$H = 0,48 m$$

<sup>39</sup> James Stewart. "Cálculo: Conceptos y Contextos 3 Edición", International Thomson Editores, México D.F. 2006. Pág. 458.

La capacidad de almacenamiento de gas requerida y con esto, el tamaño que debe tener el tanque de almacenamiento de gas, son factores muy importantes en la planificación. Si la capacidad de almacenamiento no es suficiente, se pierde parte del gas producido. El gas sobrante que queda almacenado en el depósito no es suficiente.

### 3.7.2 Cálculo de Presión en el Tanque de Almacenamiento.

En el tanque de almacenamiento a diferencia del tanque reactor, únicamente existe gas, por lo que para el cálculo de presiones únicamente se tiene en cuenta la presión ejercida por el gas generado sobre las paredes del tanque. Este cálculo se realiza teniendo en cuenta la ecuación de gas ideal.

$$P = \frac{nRT}{V} \quad \text{Ecuación 51.}$$

$P = \text{presión}$

$V = \text{volumen del tanque de almacenamiento} = 0,114 \text{ m}^3$

$T = \text{temperatura} = 36^\circ\text{C} = 309 \text{ }^\circ\text{K}$

$R = \text{constante de proporcionalidad} = 0.0821 \frac{\text{L} \times \text{atm}}{\text{K} \times \text{mol}}$

$n = \text{número de moles} = \text{mol}$

$\text{Masa} = \text{Densidad} \times \text{volumen}$

$M = 0.717 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,114 \text{ m}^3 = 0.082 \text{ kg} = 82 \text{ g}$

$\text{Masa molar del metano} = (\text{C})12.01 \text{ g} ; (\text{H}_4)4 \times 1.008$

$\text{Masa molar del metano} = 16.04 \text{ g}$

A partir del factor unitario (1 mol de metano/16.04 g de metano), el número de moles de metano se calcula como sigue:

$$82 \text{ g de } \text{CH}_4 \times \frac{1 \text{ mol } \text{CH}_4}{16.04 \text{ g } \text{CH}_4} = 5,11 \text{ mol } \text{CH}_4$$

La presión del gas aproximada es:

$$P = \frac{5,11 \text{ mol } CH_4 \times 0.0821 \frac{\text{L.atm}}{\text{K.mol}} \times 309 \text{ }^\circ\text{K}}{114 \text{ L}}$$

$$P = 1.13 \text{ atm} = 16,61 \text{ psi}$$

### 3.7.3 Esfuerzo normal y Cortante máximo en la Cabeza Elipsoidal.

Determinamos el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante máximo en los extremos esféricos así:

#### 3.7.3.1 Esfuerzo normal.

$$P_{interior} = 16.61 \text{ psi}$$

$$r_{interno} = 0.25 \text{ m} = 9.8 \text{ in}$$

$$t \text{ (espesor de pared)} = 1.54 \text{ mm} = 0.060 \text{ in}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{pr}{2t} = \frac{(16.61 \text{ psi})(9.8 \text{ in})}{2(0.060 \text{ in})} \quad \text{Ecuación 52.}$$

$$\sigma = 1.3 \text{ kpsi}$$

#### 3.7.3.2 Esfuerzo cortante máximo.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2}(\sigma_1) = \frac{pr}{4t} = \frac{1}{2}(1.3 \text{ kpsi}) \quad \text{Ecuación 53.}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 657.4 \text{ psi}$$

### 3.7.4 Esfuerzo Tangencial y Longitudinal en el Cuerpo del Tanque.

Determinamos los esfuerzos de la siguiente manera:

- Esfuerzo tangencial.

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t} = \frac{(16.61 \text{ psi})(9.8 \text{ in})}{0.060 \text{ in}} \quad \text{Ecuación 54.}$$

$$\sigma_1 = 2.71 \text{ kpsi}$$

- Esfuerzo longitudinal.

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}\sigma_1 = \frac{1}{2}(2.71 \text{ kpsi}) \quad \text{Ecuación 55.}$$

$$\sigma_2 = 1.35 \text{ kpsi}$$

$$\sigma_{prom} = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) = 2,03 \text{ kpsi}$$

$$R_{(Modulo \ de \ ruptura)} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) = 0.68 \text{ kpsi}$$

### 3.7.5 Tensiones Tangenciales en la pared del cilindro.

El esfuerzo cortante máximo absoluto en la superficie exterior de un recipiente a presión cilíndrico cerrado se produce en una dirección fuera del plano. Este esfuerzo cortante está dado por:

$$\tau_{max} = \frac{pr}{4t} = \frac{(16,1 \text{ psi}) \times (9.8000 \text{ in})}{(4 \times 0,0600 \text{ in})} = 657.41 \text{ psi} \quad \text{Ecuación 56.}$$

En la superficie interior de un recipiente cilíndrico cerrado sometido a presión, el máximo esfuerzo cortante absoluto debe tener en cuenta el esfuerzo radial creado directamente por la presión.

El esfuerzo principal más positivo es la tensión circunferencial y el esfuerzo principal más negativo es el esfuerzo radial. Por lo tanto, el esfuerzo cortante máximo absoluto en la superficie interior del cilindro es:

$$\tau_{max} = \frac{(S_1 - S_3)}{2} = \frac{[2,450 \text{ psi} - (-15,00 \text{ psi})]}{2} \quad \text{Ecuación 57.}$$

$$\tau_{max} = 1,232.50 \text{ psi} = 1.2 \text{ Kpsi}$$

**Figura 27.** Plano Tanque de Almacenamiento de Gas.

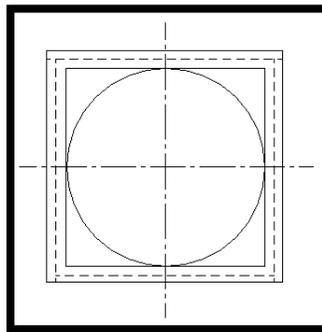


**Fuente:** Autores\_ Solid EdgeV18.

### 3.7.6 Cálculo De Esfuerzo En Vigas (Tanque Almacenamiento Gas).

El peso del Tanque es 25 kg=55.11 lb, la longitud es de 50 cm=19,5 pulg.

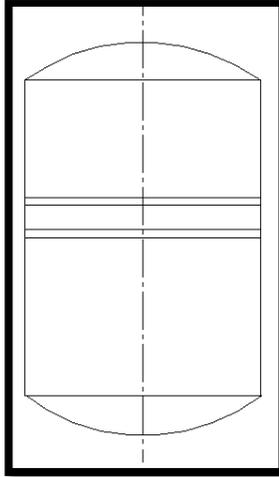
**Figura 28.** Vista Superior\_ Vigas Tanque Reactor.



**Fuente:** Autores\_ Solid EdgeV18.

La carga que actúa en una viga es:

**Figura 29.** Vista Frontal\_ Vigas Tanque Reactor.



**Fuente:** Autores\_ Solid Edge V18.

Momento:

$$M = \left(\frac{P \times l}{4}\right)^{40} \text{ Ecuación 58.}$$

$$M = \frac{13.77 \times 19.5}{4} = 67.13 \text{ lb} - \text{pulg}$$

Módulo de sección requerido:

$$Z = \frac{M}{S_A} \quad \text{Ecuación 59.}$$

Suponiendo para el esfuerzo permitido  $S_A$ , el valor de 55.11 lb/ pulg<sup>2</sup>

Módulo de la sección:

$$Z = \frac{67.12 \text{ lb} - \text{pulg}}{55.11 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}} = 1,21 \text{ pulg}^3$$

---

<sup>40</sup>EUGENE F. MEGYESY "Manual de Recipientes a Presión", Editorial Limusa, S.A., 1998. Pág. 443.

Deflexión:

$$\Delta = \left( \frac{P \times l^3}{48EI} \right)^{41} \quad \text{Ecuación 60.}$$

Donde,  $P = \text{Fuerza de carga concentrada} = 55,11 \div 4 = 13,77 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$

$l = \text{Longitud} = 19,5 \text{ pulg}$

$E = \text{Módulo de elasticidad} = 17,500,000 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$

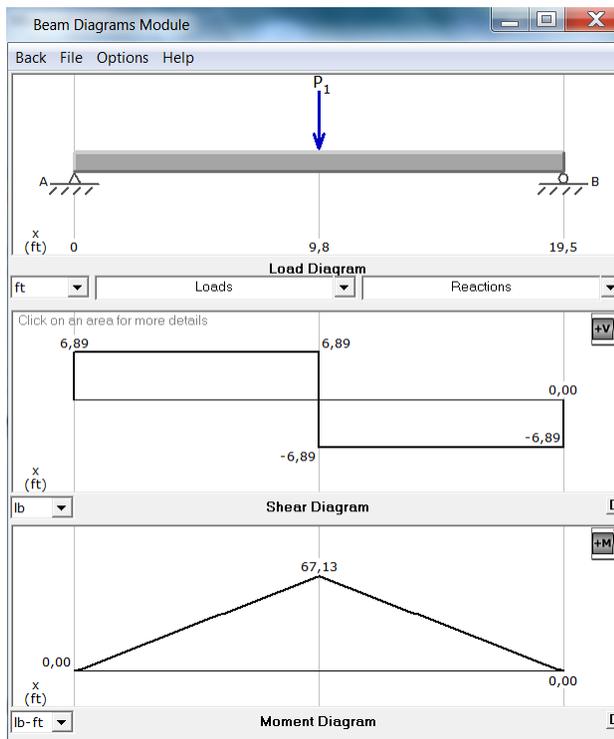
$I = \text{Momento de inercia} = 0,4 \text{ pulg}^4$

Se reemplaza los datos en la Ecuación 64:

$$\Delta = \left( \frac{13,77 \times 19,5^3}{48 \times 17,500,000 \times 0,4} \right) = 0,00030 \text{ pulg}$$

Este dato determina que la estructura es resistente para soportar el tanque de almacenamiento de gas.

**Figura 30.** Cálculo Esfuerzo en Vigas\_ Tanque Almacenamiento de Gas.



Fuente: Autores\_ MDSolid 3.5.

<sup>41</sup>EUGENE F. MEGYESY "Manual de Recipientes a Presión", Editorial Limusa, S.A., 1998. Pág. 443.

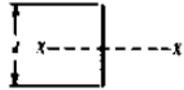
### 3.8 CÁLCULOS DE SOLDADURA DE RECIPIENTES A PRESIÓN.

Hay muchos aspectos importantes de la soldadura que se deben considerar en el diseño. El problema inmediato es determinar la dimensión adecuada de la soldadura de una parte específica, lo cual implica un análisis de esfuerzos de las diferentes partes, en los puntos sometidos a cargas estáticas o fluctuantes. Se utilizarán los procedimientos recomendados por la American Welding Society (AWS)<sup>42</sup>.

#### 3.8.1 Cálculo de Soldadura en el Tanque Reactor.

La siguiente tabla muestra las propiedades de una soldadura lineal.

Tabla 14. Propiedades de la soldadura Lineal.

Propiedades de una soldadura considerada como una línea		
Bosquejo de la junta soldada <i>b</i> = anchura <i>d</i> = altura	Flexión alrededor del eje X-X	Torsión
	$Z_w = \frac{d^2}{6}$	$J_w = \frac{d^3}{12}$
	$Z_w = \frac{\pi d^2}{4}$	$J_w = \frac{\pi d^3}{4}$

Fuente: Diseño de máquinas. Shaum, Mc Graw Hill.

Datos:

Diámetro = 60 cm

Largo = 87 cm

Como el elemento está a tracción utilizamos la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 61.}$$

<sup>42</sup> SHAUM. "Diseño de Maquinas", Editorial McGraw Hill.

Donde  $P = 120 \text{ lbf/pulg}$ , el área se determina de la siguiente manera:

$$A = \frac{60}{25.4} \times \pi = 7.42$$

$$A = \frac{87}{25.4} \times 7.42 = 25.414$$

Entonces,

$$F = P \times A$$

Remplazando los valores obtenemos:

$$F = 120 \times 25.414 = 3049.68 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}}$$

La dimensión de la Soldadura  $w$  es:

$$w = \frac{f_{real}}{f_{permisible}} \quad \text{Ecuación 62.}$$

$$w = \frac{3049.68 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}}}{9600 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}} = 0.32 \text{ pulg} \approx \frac{5}{16} \text{ pulg}$$

### 3.8.1.1 Esfuerzo en la Soldadura a través del Cuerpo del Tanque.

La tensión normal y cortante que actúan perpendicularmente a la articulación específica de la soldadura son:

$$\sigma_n = 3325 \text{ psi}$$

Y la Fuerza transmitida a través de la costura es:

Presión interna de  $P = 18,30 \text{ psi}$

Fuerza distribuida a través de la costura longitudinal es igual a:

$$\sigma_n \times t = (3325 \text{ lb/pulg}^2)(0.065 \text{ pulg}) = 31,121.71 \text{ lb / ft} \quad \text{Ecuación 63.}$$

### 3.8.2 Cálculo de Soldadura en el Tanque de Almacenamiento de Gas.

Datos:

Diámetro = 50 cm

Largo = 44 cm

Como el elemento está a tracción utilizamos la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 64.}$$

$$P = \textit{Presión de diseño}$$

$$A = \textit{Área de Soldadura}$$

Donde  $P = 120 \text{ lbf/pulg}$ , el área de determina de la siguiente manera:

$$A = \frac{50}{25.4} \times \pi = 6.1842$$

$$A = \frac{44}{25.4} \times 7.42 = 10.712$$

Entonces,

$$F = P \times A$$

Remplazando los valores obtenemos:

$$F = 120 \times 10.712 = 1285.542 \frac{\textit{lb}}{\textit{pulg}}$$

La dimensión de la soldadura es:

$$w = \frac{f_{\textit{real}}}{f_{\textit{permisible}}} \quad \text{Ecuación 65.}$$

$$w = \frac{1285.542}{9600} = 0,18 \textit{ pulg} \approx \frac{3}{16} \textit{ pulg}$$

Una soldadura de 3/16pulg será satisfactoria.

### 3.8.2.1 Esfuerzo de Soldadura a través del Cuerpo del Tanque.

Las tensiones normales y tangenciales que actúan perpendicular a la articulación especificada soldada son:

$$\sigma_n = 2,450.00 \text{ psi}$$

Las tensiones normales y cortantes que actúan en paralelo a la articulación especificada soldada (es decir, en el t-dirección) son

$$\sigma_t = 1,225.00 \text{ psi}$$

Fuerza Transmitida a través de la costura.

Con una presión interna de  $p = 16,6$  psi, la fuerza distribuida es de:

$$\text{Fuerza distribuida} = (2,450.00 \text{ psi}) \times (0.0600 \text{ in}) = 25,743.64 \text{ N / m Ecuación 66.}$$

Que actúa a través de una costura longitudinal, y una fuerza distribuida de:

$$\text{Fuerza distribuida} = (1,225.00 \text{ psi}) \times (0.0600 \text{ in}) = 12,871.82 \text{ N/m Ecuación 67.}$$

## 4 MEDICIONES DEL SISTEMA EXPERIMENTAL

A continuación se hace una descripción del comportamiento de los parámetros presión (PSI), temperatura (°C) y medición de gas (m<sup>3</sup>) en determinadas en el montaje real. El Biodigestor es llenado con 20 kg de mezcla (agua – estiércol vacuno); se analiza el comportamiento del Biodigestor; se monitorea durante 15 días, que es el tiempo de retención aproximado, se realizó una toma de datos de 340 horas se registran los siguientes resultados.

### 4.1 DATOS DE PRESIÓN

A continuación se presentan los datos de presión:

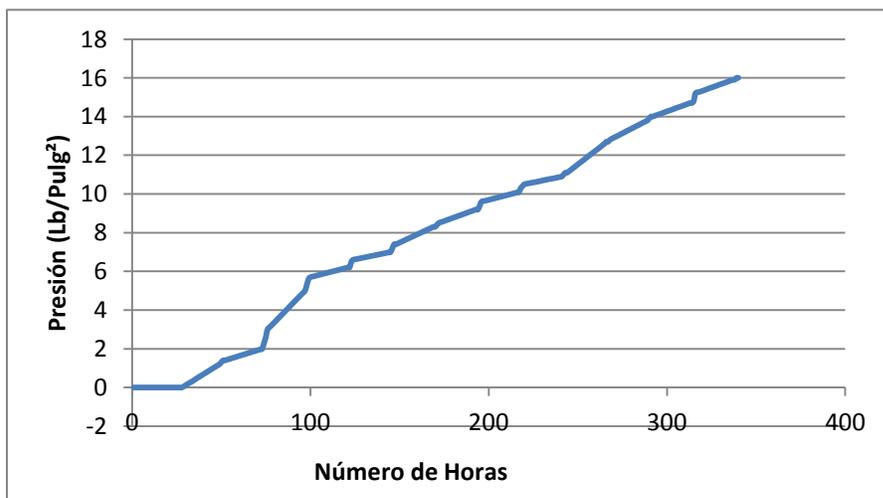
**Tabla 15.** Datos obtenidos\_ Presión.

Referencia		Reactor	Almacenamiento	
Hora	Número de Hora	Presión (Lb/Pulg <sup>2</sup> )	Presión (Lb/Pulg <sup>2</sup> )	Biogás ( m <sup>3</sup> )
10:00	1	0	0	0
15:00	6	0	0	0
21:00	12	0	0	0
10:00	25	0	0	0
15:00	30	0,02	0,02	0
21:00	36	0,11	0,11	0,01
10:00	49	0,24	0,24	0,02
15:00	54	0,29	0,29	0,02
21:00	60	0,33	0,33	0,02
10:00	73	0,40	0,40	0,03
15:00	78	0,64	0,64	0,05
21:00	84	0,76	0,76	0,06
10:00	97	1,01	1,01	0,08
15:00	102	1,16	1,16	0,09
21:00	108	1,19	1,19	0,09
10:00	121	1,25	1,25	0,09
15:00	126	1,34	1,34	0,10
21:00	132	1,36	1,36	0,10
10:00	145	1,41	1,41	0,11
15:00	150	1,51	1,51	0,11

21:00	156	1,56	1,56	0,12
10:00	169	1,67	1,67	0,13
15:00	174	1,72	1,72	0,13
21:00	180	1,76	1,76	0,13
10:00	193	1,85	1,85	0,14
15:00	198	1,94	1,94	0,15
21:00	204	1,97	1,97	0,15
10:00	217	2,03	2,03	0,15
15:00	222	2,12	2,12	0,16
21:00	228	2,14	2,14	0,16
10:00	241	2,19	2,19	0,17
15:00	246	2,26	2,26	0,17
21:00	252	2,35	2,35	0,18
10:00	265	2,54	2,54	0,19
15:00	270	2,60	2,60	0,20
21:00	276	2,65	2,65	0,20
10:00	289	2,78	2,78	0,21
15:00	294	2,83	2,83	0,22
21:00	300	2,87	2,87	0,22
10:00	313	2,96	2,96	0,22
15:00	318	3,07	3,07	0,23
21:00	324	3,11	3,11	0,24
10:00	337	3,20	3,20	0,24

Fuente: Autores\_ Excel 2010.

Figura 31. Datos Obtenidos\_Presión.



Fuente: Autores\_ Excel 2010.

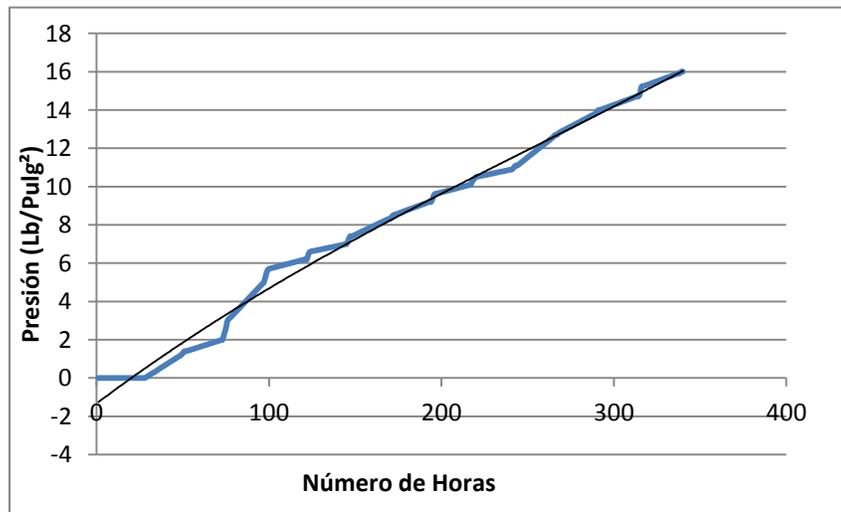
#### 4.1.1 Linealización de Datos de Presión

Para poder tener una predicción de los datos en función del tiempo (Horas), es necesaria la Linealización de los datos aproximando la función de la mejor forma al comportamiento de los datos de muestra; produciendo el menor error de desviación.

##### 4.1.1.1 Linealización de tercer orden

Como primera medida se realiza una aproximación de tercer orden para evaluar los datos de muestreo como se ilustra en la siguiente figura:

**Figura 32.** Datos Linealizados tercer orden.



**Fuente:** Autores\_ Excel 2010.

Como se observa en la figura 32, hay datos que la Linealización no alcanza a cubrir, como por ejemplo en los rango de 0 a 80 aproximadamente y de 100 a 150, se procede a calcular el error de acuerdo a la función establecida obteniendo lo siguiente:

$$\sum_{i=1}^n \frac{(f(x_i) - F'(x_i))}{n} \quad \text{Ecuación 68.}$$

Donde,

$f(x)$  = Función linealizada

$x_i$  = corresponde al valor de cada hora en la medición

$F'(x)$  = Resultados de la medición en cada hora

**Tabla 16.** Datos Para obtener el Error.

F'(x)	f(x)	Error
0	-1,264,534,341	1,264,534,341
0	-0,929296296	0,929296296
0	-0,53257728	0,53257728
0	0,306805875	-0,306805875
0,114	0,6225342	-0,5085342
0,457	0,996369024	-0,539369024
1,2	1,788,143,787	-0,588143787
1,457	2,086,280,472	-0,629280472
1,629	24,395,328	-0,8105328
2	3,188,686,179	-1,188,686,179
3,191	3,471,149,304	-0,280149304
3,762	3,806,120,832	-0,044120832
5	4,517,639,835	0,482360165
5,747	478,634,748	0,96065252
5,891	5,105,339,904	0,785660096
6,2	5,784,211,539	0,415788461
6,638	6,041,081,784	0,596918216
6,752	63,463,968	0,4056032
7	6,997,608,075	0,002391925
7,485	7,244,559	0,240441
7,743	7,538,498,304	0,204501696
8,3	8,167,036,227	0,132963773
8,565	8,405,985,912	0,159014088
8,766	86,908,512	0,0751488

9,2	9,301,702,779	-0,101702779
9,648	9,534,569,304	0,113430696
9,791	9,812,662,272	-0,021662272
10,1	1,041,081,452	-0,310814515
10,54	1,063,951,596	-0,09951596
10,65	109,131,383	-0,263138304
10,9	1,150,357,822	-0,603578219
11,24	1,173,003,266	-0,490032664
11,67	1,200,148,608	-0,33148608
12,6	1,258,920,068	0,010799325
12,9	128,153,262	0,0846738
13,18	1,308,691,238	0,093087616
13,8	1,367,688,867	0,123111333
14,07	1,390,460,335	0,165396648
14,27	14,178,624	0,091376
14,7	1,477,584,898	-0,075848979
15,27	150,070,709	0,262929096
15,47	1,528,582,771	0,184172288
15,9	158,952,884	0,004711605
	DESVIACIÓN MEDIA	0,001189576

**Fuente:** Autores\_ Excel 2010.

Como se puede observar en la tabla el promedio de la desviación media es de 0.001189576, el error promedio es pequeño pero entre los rangos de tiempo de la hora 1- 28 hay presiones negativas en al Linealización lo cual no es cierto en la medición del sistema.

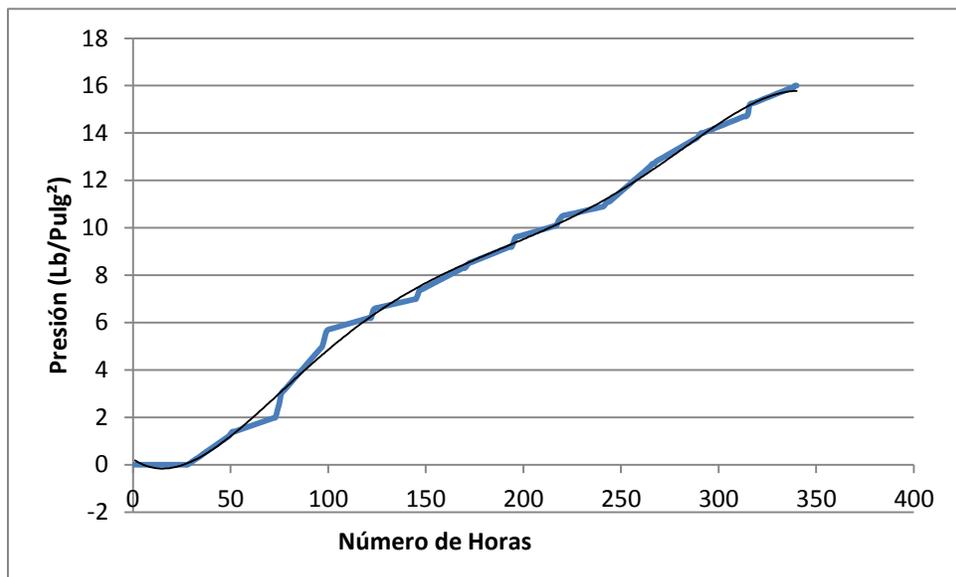
#### 4.1.2 Linealización de los datos de presión de Quinto Orden.

Se aclara que las ecuaciones están linealizadas para la entrada de tiempo en horas.

$$g(t) = -5.2463E^{-11}t^5 + 4.8009E^{-8}t^4 - 1.5694E^{-5}t^3 + 0.00211t^2 - 0.0497t + 0.094897$$

Como se puede observar en la siguiente figura 33, esta Linealización de quinto orden da más exacta que la de tercer orden, se procede a hacer los cálculos del error.

**Figura 33.** Datos Obtenidos\_ Presión.



Fuente: Autores\_ Excel 2010.

#### 4.1.2.1 Error Promedio para la Aproximación Lineal de Quinto Orden.

Para determinar el error promedio se utiliza el siguiente código en Matlab:

```
p=[0 0 0 0 0 0 0 1.2 1.3 1.4 1.4 2 2.3 2.6 3 5 5.3 5.6 5.7 6.2 6.2 6.5 6.6 7 7.2 7.4 7.4 8.3 8.3 8.4  
8.5 9.2 9.2 9.4 9.6 10.1 10.3 10.4 10.5 10.9 11 11.1 11.1 12.6 12.7 12.7 12.8 13.8 13.9 14 14 14.7  
14.7 14.8 15.2 15.9 15.9 16 16];  
t=[1 2 3 4 25 26 27 28 49 50 51 52 73 74 75 76 97 98 99 100 121 122 123 124 145 146 147 148  
169 170 171 172 193 194 195 196 217 218 219 220 241 242 243 244 265 266 267 268 289 290  
291 292 313 314 315 316 337 338 339 340];  
nums=polyfit(t,p,5);  
P2=nums(1)*t.^5+nums(2)*t.^4+nums(3)*t.^3+nums(4)*t.^2+nums(5)*t+nums(6);  
E=sum(P2-p)/60
```

Con el anterior código se obtiene que el error es igual a  $5.3557 \times 10^{-14}$ , lo que nos indica que la Linealización de quinto orden se acomoda a la medición del sistema.

## 4.2 DATOS TEMPERATURA

Como se puede observar en la tabla 17, se realiza la toma de datos de 340 horas, se registran cambios de temperatura interna en el Reactor, la oscilación de la temperatura externa que era la temperatura ambiente en los momentos en los que se instaló el tanque, tenía una oscilación de  $\pm 3$  °C, dependiendo de las horas del día, el sistema hace una transferencia de calor del exterior hacia el interior para generar una temperatura adecuada para el proceso de fermentación, después de Linealizados los datos se procede a hacer los cálculos por aproximación matemática para mirar la función de transferencia en el plano de Laplace.

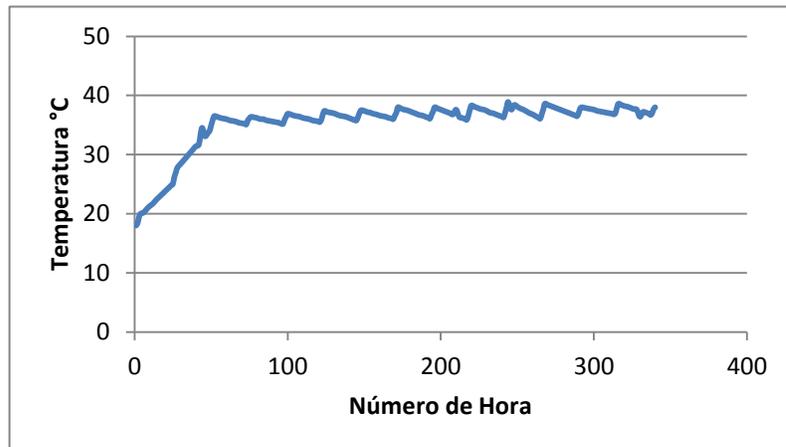
**Tabla 17.** Datos Obtenidos\_ Temperatura.

Hora	Número de Hora	Temperatura °C
10:00	1	18
15:00	6	20,2
21:00	12	21,7
10:00	25	25
15:00	30	28,4
21:00	36	30,2
10:00	49	34
15:00	54	36,4
21:00	60	36
10:00	73	35,1
15:00	78	36,3
21:00	84	36
10:00	97	35,2
15:00	102	36,8
21:00	108	36,4
10:00	121	35,5
15:00	126	37,2
21:00	132	36,8
10:00	145	35,8
15:00	150	37,4

21:00	156	36,9
10:00	169	36
15:00	174	37,8
21:00	180	37,3
10:00	193	36,1
15:00	198	37,8
21:00	204	37,2
10:00	217	35,9
15:00	222	38,1
21:00	228	37,6
10:00	241	36,3
15:00	246	37,6
21:00	252	37,8
10:00	265	36,1
15:00	270	38,4
21:00	276	37,8
10:00	289	36,5
15:00	294	37,9
21:00	300	37,6
10:00	313	36,8
15:00	318	38,4
21:00	324	37,9
10:00	337	36,7

Fuente: Autores\_ Excel 2010.

Figura 34. Datos Obtenidos\_ Temperatura.



Fuente: Autores\_ Excel 2010.

## 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Síntesis de la Información.

A continuación en la tabla 18, se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos, al igual que las características más importantes del funcionamiento del Biodigestor, para la presión máxima y generación máxima de volumen, se calculó con base a los valores experimentales obtenidos durante el tiempo de retención, 15 días, donde con 20 kg de mezcla se obtuvo una presión máxima de 3,2 PSI y 0.24 m<sup>3</sup> de gas, así entonces por tendencia lineal se obtiene para una carga de 180 kg una presión máxima aproximada de 14,4 PSI y 2,16 m<sup>3</sup>.

Tabla 18. Síntesis del Biodigestor.

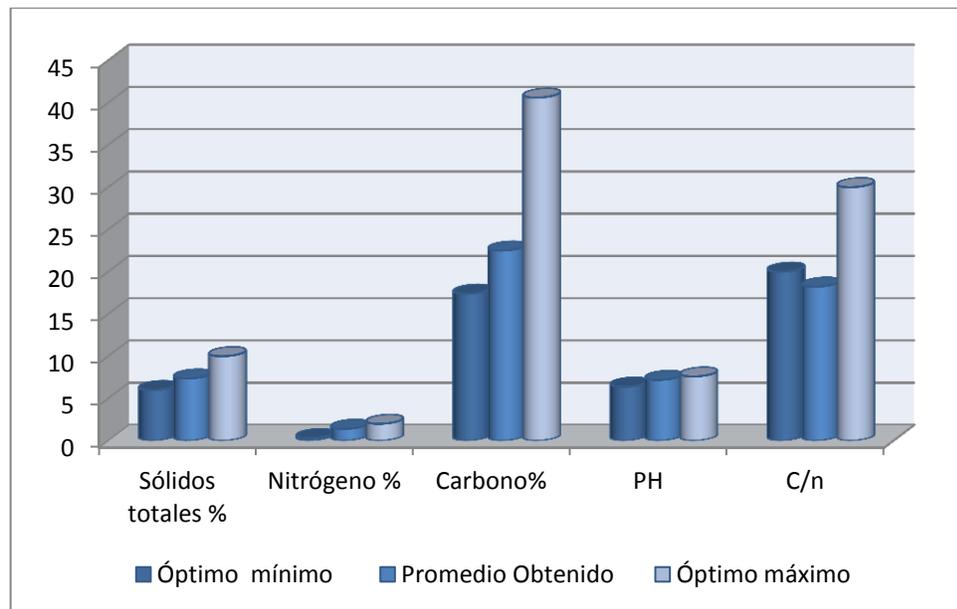
<b>BIODIGESTOR TIPO MIXTO.</b>		
<i>Caracterización de la materia prima</i>		
<i>Muestra</i>	<i>Promedio</i>	
Sólidos totales %	7.36	
Sólidos orgánicos %	12.9	
Nitrógeno %	1.41	
Potasio %	1.76	
Fósforo %	3.38	
Carbono%	22.5	
PH	7.2	
C/n	18.23	
<i>Tiempo de Retención=14.93≈15 días</i>		
<i>Cantidad de material de fermentación</i>	<i>Diario</i>	<i>Durante TR</i>
	12 Kg	180 Kg
<i>Volumen de tanque</i>	<i>Reactor</i>	<i>Almacenamiento</i>
	0,216 m <sup>3</sup>	0,114 m <sup>3</sup>
<i>Presión Máx. (PSI) teórico</i>	<i>T Max teórico (°C)</i>	<i>Volumen Gas Teórico Máx.</i>
15.63	36	2,16 m <sup>3</sup>
<i>Presión Máx. (PSI) teórico</i>	<i>T Max (°C)</i>	<i>Volumen Gas Máx.</i>
14,4	36,7	2,025 m <sup>3</sup>

Fuente: Los autores.

## 5.2 Paralelo entre Porcentajes de Materia Primaria.

En la figura 35, se puede observar varias características de la materia prima, su respectivo paralelo entre el porcentaje promedio obtenido y el porcentaje óptimo máximo y mínimo.

**Figura 35.** Paralelo entre porcentajes promedio y óptimo



**Fuente:** Los autores

Para el caso de los sólidos totales, el óptimo mínimo es igual 6% y el máximo es 10%, el promedio obtenido es de 7,36% siendo un valor favorable.

El porcentaje promedio del nitrógeno es 1,41% siendo un valor propicio pues el óptimo mínimo es igual 0,3% y el máximo es 2%.

El porcentaje máximo del carbono es 40,6%, el promedio obtenido es de 22,5% y el óptimo mínimo es igual 17,4%, por tanto el valor promedio está en el rango óptimo.

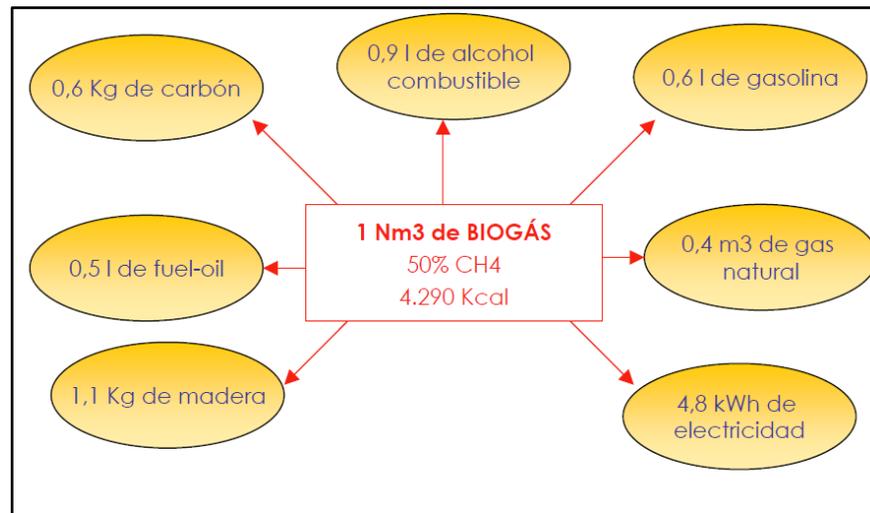
El PH, el óptimo mínimo es igual 6.4 y el máximo es 7.6, el promedio obtenido es de 7,2% estando este en la zona óptima.

La relación C/n, tiene como valor optimo mínimo 20 y el máximo es 30, el promedio obtenido es de 18,23%, en este caso se evidencia la necesidad de agregar agua a la mezcla.

### 5.3 Generación y Equivalencia Energética.

Como se puede apreciar en la figura 35, (1 N/m<sup>3</sup>) (El normal metro cúbico es un volumen traído en condiciones normales de temperatura y presión); puede generar 4290 Kcal, lo que equivale a 17,96 MJ. Para el presente proyecto se logran recopilar una máxima de 2,16 m<sup>3</sup> de Biogás en el total del tiempo de retención 15 días, un equivalente a 0,146 m<sup>3</sup> diario.

**Figura 36.** Equivalencias del biogás con otros combustibles



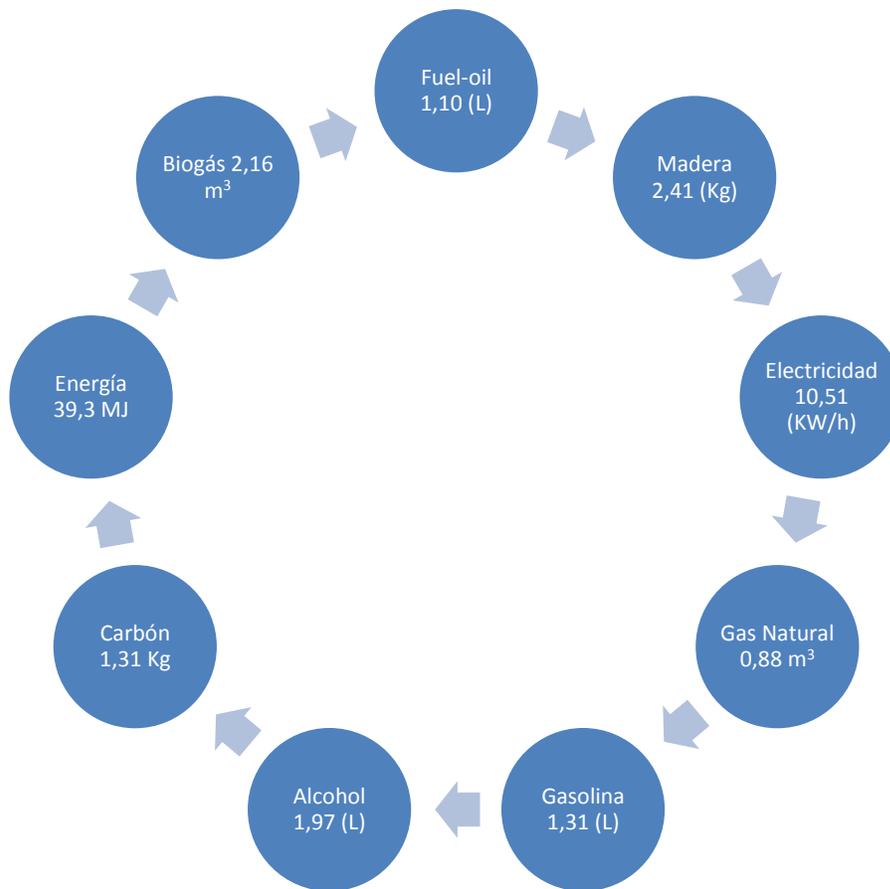
**Fuente:** CESP. Anna A. Llorens, "2ª Jornada Anual del Foro pro clima". Madrid. 2009

Tabla 19. Equivalente energético diario.

	Diario
Biogás (m <sup>3</sup> )	0.14
Carbón (kg)	0.08
Alcohol (L)	0.13
Gasolina (L)	0.08
Gas natural (m <sup>3</sup> )	0.06
Electricidad (KW/h)	0.67
Madera (kg)	0.15
Fuel-oil (L)	0.07

Fuente: Los autores

Figura 37. Producción Equivalente Total.

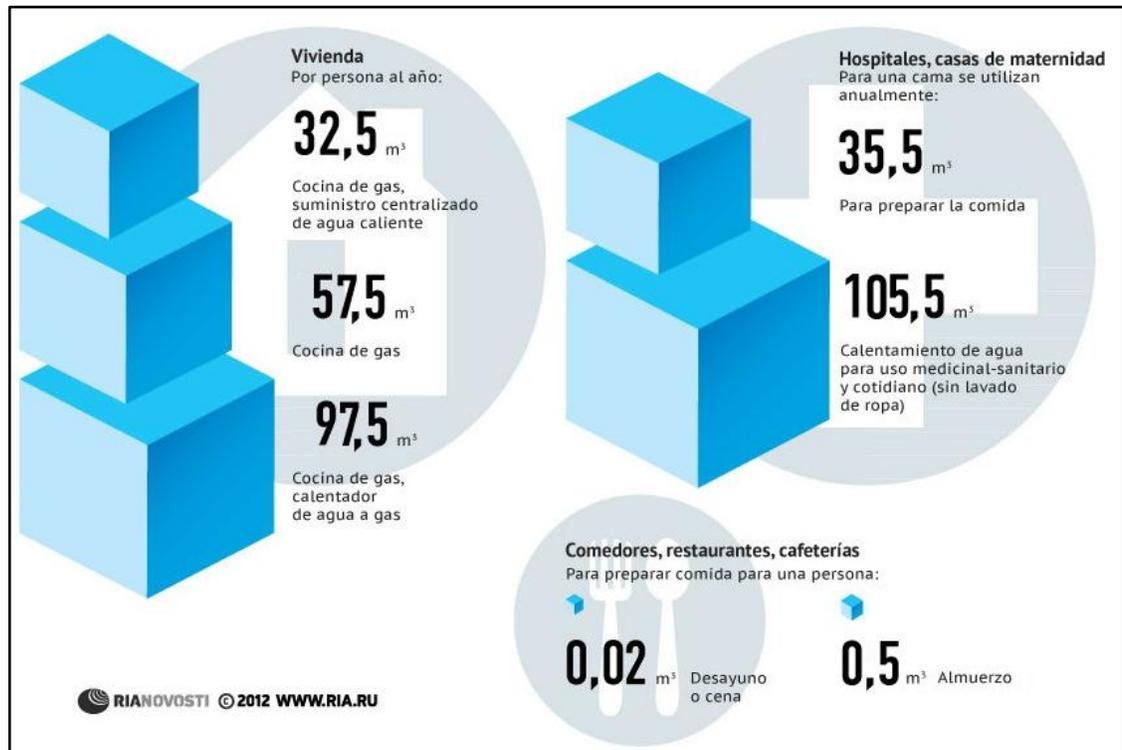


Fuente: Autores

#### 5.4 Consumos y Requerimientos.

En la figura 38, se observa los consumos por año, para los hogares, hospitales y restaurante.

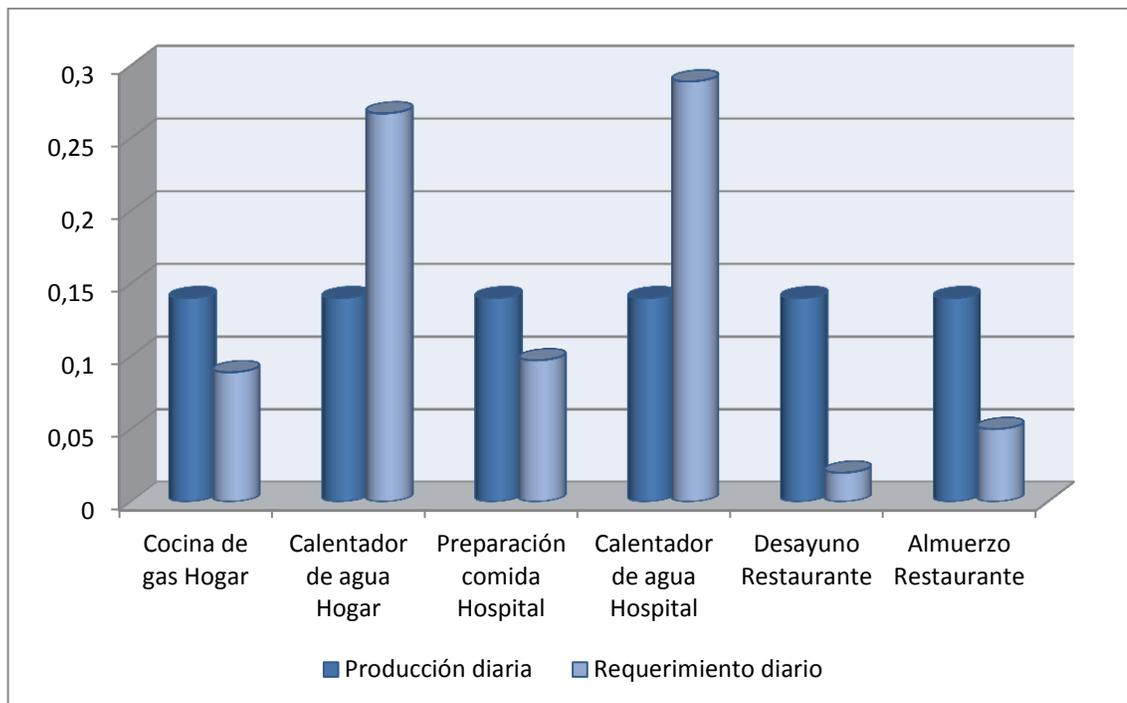
Figura 38. Consumo promedio, según metros cúbicos



Fuente: Página de internet. © 2013 RIA Novosti.

A partir de la figura 38, se genera la figura 39, se puede observar, cuales requerimientos se pueden suplir con la implementación del sistema de biogás propuesto en el presente proyecto en  $m^3$ , de color claro los requerimientos y de color oscuro la producción de biogás.

**Figura 39.** Requerimiento diario y producción diaria, en metros cúbicos.



**Fuente:** Los autores

Con base a los valores obtenidos del prototipo, se hace el paralelo de producción diario y los requerimientos diarios. Esta producción está calculada en 0,14  $m^3$  diarios, (ver tabla 15) para el caso del hogar se tiene dos valores de requerimientos, el de la cocina 0,089 y el del calentador 0,26, se observa que la producción puede satisfacer los requerimientos de la cocina, más no los del calentador.

Para el hospital sucede de manera similar, pues el volumen producido  $0,14 \text{ m}^3$  satisface el requerimiento de preparación de alimentos  $0.097 \text{ m}^3$  pero no el del calentador  $0,28 \text{ m}^3$ .

En los dos últimos cilindros se observa los requerimientos diarios promedio para la elaboración del desayuno y el almuerzo para una persona,  $0.02 \text{ m}^3$  y  $0.05 \text{ m}^3$  respectivamente.

## 6 OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR.

Para poner en funcionamiento el Biodigestor, es necesario alimentarlo con desechos orgánicos.

Para la primera carga (solo para esta) se debe mezclar estiércol vacuno con desechos vegetales, en las proporciones convenientes para obtener una relación carbono-nitrógeno (C/N) adecuada. (Ver Tabla 21).

Todos los desechos contienen dentro de su composición carbono y nitrógeno. Estos elementos son el alimento que las bacterias utilizan para crecer y reproducirse. Durante el proceso de fermentación el carbono es consumido más pronto que el nitrógeno.

Cuando los materiales entran en el Biodigestor deben contener 25 a 30 veces más carbono que nitrógeno (relación C/N = 25 a 30) para una mejor fermentación.

**Tabla 20.** Consecuencias de exceso de carbono y nitrógeno.

EXCESO DE	CONSECUENCIA
Carbono	Proceso lento.
Nitrógeno	Bajo poder fertilizante del Bioabono.

**Fuente:** Como Construir un Biodigestor. ITINTEC. Manual 4.

Esta relación óptima se obtiene al combinar desechos pobres en nitrógeno con desechos ricos en nitrógeno.

A continuación se muestra en la Tabla 21, las proporciones adecuadas para diferentes tipos de desechos.

Se observará que en las zonas de clima frío se requiere mayor cantidad de desechos que en las de clima templado.

**Tabla 21.** Proporciones Adecuadas para Diferentes Tipos de Desechos.

FORMULACIONES (KG)	
Estiércol Vacuno	21
Hoja de maíz	3
Estiércol Vacuno	22
Pajas de arroz	3
Estiércol Vacuno	20
Pajas de cebada	3
Estiércol Vacuno	26
Pajas de trigo	2
Estiércol Vacuno	17
Hierbas y hojas secas	8

**Fuente:** Como Construir un Biodigestor. ITINTEC. Manual 4.

Durante los primeros días el gas no es combustible, y se recomienda dejarlo salir hacia el ambiente, hasta comprobar su combustibilidad, por lo general se presenta entre los primeros 4 a 7 días después del cargado.

### 6.1 Alimentación Periódica del Biodigestor.

Debido a que la mezcla de materiales dentro del Biodigestor sufre un desgaste por acción de las bacterias fermentativas, es necesario reemplazar el material desgastado por un nuevo material orgánico.

La nueva alimentación deberá realizarse 15 días después del cargado inicial retirando al mismo tiempo una cantidad similar de Bioabono. Posteriormente, el reemplazo y la remoción deberán hacerse diaria o semanalmente.

Para la alimentación periódica deberá utilizarse solo estiércol fresco, procediéndose a:

- Cerrar la válvula que se encuentra a la salida del Biodigestor.
- Retirar el Bioabono.
- Agregar una mezcla de estiércol con agua en la misma cantidad que el Bioabono retirado en el tanque de alimentación.

## 6.2 Renovación Total del Material.

Levántese la tapa del Biodigestor, dejando escapar todo el biogás o lo que quede de este y luego retírese todo el Bioabono líquido por la salida.

Luego se procede a retirar el Bioabono sólido del interior de la mara de digestión asegurándose antes de que no exista peligro de biogás remanente dentro de ella.

Concluida la descarga, se procese a realizar la nueva carga.

## 7 MANTENIMIENTO DEL BIODIGESTOR.

El mantenimiento del prototipo diseñado requiere labores muy sencillas que pueden ser ejecutadas por cualquier usuario, todos los repuestos que se puedan necesitar son comerciales.

Al finalizar cada producción de gas metano, se debe hacer el mantenimiento de la siguiente manera:

- Hacer un lavado general de los tanques
- Hacer un lavado de los componentes de instrumentación.
- Limpieza de tubería

Esto debido a que con el tiempo si no se hace el lavado de cada uno de los componentes del Biodigestor, puede llegar a producir obstrucción y no generar gas adecuadamente.

## 8 PRECAUCIONES.

Debido a que el biogás tiene en su composición metano (explosivo) como principal componente, se debe manejar con la misma precaución que cualquier gas combustible.

El biogás que se produzca en el proceso debe tener un especial cuidado, con el fin de evitar explosiones o intoxicaciones, ya que este mezclado con aire en proporciones de 5 a 15% en volumen es explosivo.

Se debe tener en cuenta también que el biogás es asfixiante cuando su acumulación causa que el oxígeno del aire baje a 17 %. Es por esto que se deben tener en cuenta las siguientes precauciones:

- Realizar pruebas de fugas en la línea de conducción del biogás con agua jabonosa.
- Prever que no existan flamas o brasas cerca de las líneas de conducción del biogás.
- Para prender la estufa, se debe encender primero el fosforo, antes de abrir la válvula de salida del biogás.
- Las habitaciones donde se use el biogás deben ser de preferencia ventiladas.
- El biogás posee un olor característico, debido a la presencia del sulfuro de hidrogeno, y cuando es detectado hay que evitar el encender llamas. Proceder a ventilar la habitación y detectar la fuga.
- Al finalizar el uso del gas, revisar las llaves para comprobar que se encuentren perfectamente cerradas.

Se deben usar contrapesos en el Biodigestor, con el objetivo de estimular la producción de gas, ya que a presiones más bajas que la atmosférica se incrementa la producción de biogás.

Se debe evitar los cambios bruscos de temperatura, puesto que son un factor que también afecta la producción, ya que crean un desbalance entre las bacterias productoras de metano y de ácido, pues las primeras son muy susceptibles a estas variaciones, no siendo así las segundas. De esta forma se crea un ambiente ácido en el digestor, decayendo su producción.

Se debe tener precaución con el estiércol que va a entrar al Biodigestor, debido a que se tienen que evitar ciertos iones metálicos, sales, bactericidas y sustancias químicas sintéticas, puesto que está comprobado que se genera una reducción de gas cuando son utilizadas excretas de animales tratados con antibióticos.

## 9 PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO Y SOLUCIONES

A continuación, se presentan los problemas más comunes en el funcionamiento del prototipo Biodigestor y se formulan las recomendaciones más indicadas para solucionarlos.

### 9.1 No hay Producción de Biogás

Cuando la producción de biogás es muy reducida o definitivamente nula, la causa está relacionada, por lo general, con la carga o substrato del digestor, así:

**Tabla 22.** Causa y solución de no producción de biogás

CAUSA	SOLUCIÓN
<i>El estiércol está muy diluido en agua.</i>	<i>Preparar la carga con la proporción correcta de agua-estiércol.</i>
<i>El estiércol proviene de animales en tratamiento con antibiótico u otros medicamentos.</i>	<i>No se debe cargar por algún tiempo, sino esperar a que el poder del medicamento disminuya. En caso crítico, cambiar todo el substrato del digestor.</i>

**Fuente:** Página Web: [http://galicia.isf.es/files/pfc/pfc\\_agustin\\_prado.pdf](http://galicia.isf.es/files/pfc/pfc_agustin_prado.pdf)

## 9.2 Hay Biogás, pero los equipos no funcionan.

En caso de que el biogás producido en el digestor no llegue a los equipos, se deben examinar todos los conductos de gas desde la salida del digestor.

Otra causa posible de este problema es la falta de presión, es necesario esperar a que se acumule mayor cantidad de biogás.

## 9.3 El Biogás no Arde

Es normal que en plantas nuevas ocurra este problema, pero no debe durar más de dos o tres días. En aquellas instalaciones que tienen una conducción de biogás bastante larga se puede acumular aire en las tuberías. Es necesario permitir que este aire salga para que comience a circular el biogás.

## 9.4 El efluente con Mal Olor.

El mal olor en el efluente de una planta de biogás se debe a que el substrato no se ha digerido totalmente. Para solucionar este inconveniente, es necesario aumentar el tiempo de retención y elevar la temperatura en el digestor.

## 10 CONCLUSIONES

Se evaluaron las variables de un sistema Biodigestor, de tal forma que permitieron determinar las dimensiones y necesidades del sistema de Biodigestión; por lo tanto las variables como: relación C/N, pH y temperatura fueron tenidas en cuenta en la formación para enfatizar sobre las necesidades de la digestión anaerobia, es por esto que después de las pruebas realizadas arrojaron resultados concretos.

Se describió el proceso de un Biodigestor Tipo Mixto, considerando sus fases de llenado, producción y almacenamiento de Gas Metano.

Se construyeron los tanques contenedores para mezcla, reacción y descarga de efluentes de acuerdo con los diseños obtenidos.

Se concluye que al aumentar el porcentaje de sólidos en el efluente se aumenta la producción de gas por metro cubico de volumen líquido. El digestor es más productivo, pero disminuye su eficiencia.

En relación con el tiempo de producción de 10 a 40 días, la producción de gas por unidad de volumen líquido no se modifica con el tiempo de retención pero si aumenta la eficiencia.

Se realizó un proceso de carga y descarga del sistema manualmente, con el cual se obtuvo una adecuada producción de Gas Metano, siendo esta la indicadora de que el prototipo en su primera prueba cumple con los parámetros establecidos de diseño.

La simulación del diseño de los tanques se realizó mediante una herramienta computacional conocida como Solid Edge V18. Donde se simuló el sistema lo más parecido posible al modelo físico; se realizó una representación geométrica del

Biodigestor y se definieron condiciones y restricciones. Una vez realizado lo anterior se siguieron los pasos necesarios para validar el modelo y obtener resultados confiables.

Para los diferentes lugares en donde se instaló el Biodigestor, se buscó que el lugar facilite la carga de material orgánica y optimice el transporte del gas hasta el área de aprovechamiento, teniendo en cuenta además que no se cuenta con un sistema de control de temperatura.

El área específica destinada a la instalación del Prototipo varía en función a la realidad climatológica.

La calidad de la carga inicial del Biodigestor, es un aspecto que influye notablemente en la actividad bacteriana antes, durante y después del estado funcional del Biodigestor (*El periodo posterior al inicio de la etapa funcional del Biodigestor es notablemente variable y depende de la calidad de la carga*), es la disponibilidad de un medio adecuado para su desarrollo. Las características iniciales de este medio se reflejan en el tiempo que se toma en alcanzar el equilibrio en la producción. Existen otros factores que tienen una influencia complementaria sobre la carga inicial, pero la experiencia demostró que esta última tiene mucha importancia sobre la actividad bacteriana.

Cuando el Biodigestor tipo mixto inicia la producción de biogás, significa que ingreso a la etapa de funcionalidad, lo que implica necesariamente que la comunidad bacteriana ha alcanzado el equilibrio dinámico y armónico de la que depende su funcionalidad; pero si al ingreso a la etapa de funcionalidad asume valores fuera del parámetro establecido (atrasos), significa que los procesos ligados a la actividad bacteriana hasta alcanzar el estado de equilibrio, tuvieron un comportamiento diferente al normal, dando lugar a la influencia de otros factores en un momento determinado, por esto se concluye que este parámetro permite

relacionar la actividad bacteriana con factores del medio ambiente, y que estos factores afectan la funcionalidad del Biodigestor ya sea en la etapa inicial o posteriormente.

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

El uso del biogás para la generación de electricidad y de energía térmica da un valor adicional al empleo de Biodigestores en grandes industrias que deseen aprovechar sus desechos orgánicos.

El Biodigestor se convierte en un aprovechamiento íntegro del material orgánico, tanto en el biogás generado como en los residuos de excelente propiedades fertilizantes, convirtiéndose en una magnífica alternativa energética en centros rurales de difícil integración a las redes de energía, o donde existan explotaciones agropecuarias intensivas con el fin de sustituir combustibles y electricidad.

## 11 RECOMENDACIONES

- En lugares fríos donde se encuentre el Biodigestor es necesario el uso de fuentes auxiliares de calor para acelerar el proceso de fermentación para aumentar la producción de biogás.
- Recomendable que dentro del Biodigestor la mezcla contenga de 6 a 10 % de sólidos secos. Un exceso de agua reduce la producción de biogás, y una insuficiencia de agua produce un lodo denso de difícil manipulación.
- Si el biogás da una llama amarilla, será necesario agregar agua con cal por el tanque de alimentación del Biodigestor para neutralizar su acidez.
- El sellado de todas las uniones y juntas a rosca debe garantizarse aplicando una película sintética de material específico para este fin.
- Tener en cuenta la calidad de los insumos y accesorios utilizados y demás componentes del sistema, respetando las especificaciones técnicas requeridas para el proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

ABBOTT, PH. D. Michael M. **“Teoría y Problemas de Termodinámica”**, McGraw Hill, Poligráfica S.A., México. 1972.

ANDREWS, J.F. **“A Mathematical Model for the Continuous Culture of Microorganisms Utilizing Inhibitory Substrates”**. Biotechnology Bioengineering. Volumen 10, 707. 1968.

AYUSO MARTÍNEZ, Luis Evaristo, **“Termodinámica”**, Editorial UNISUR, Primera Edición. Santafé de Bogotá, D.C., 1995.

BARNETT, A. et al., **“Biogas Technology in the third world: A multidisciplinary Review”**, IDRC (International Development Research Centre), Ottawa, 1978.

BEER Ferdinand, JOHNSTON Russell, DEWOLF John **“Mecánica de Materiales”**, Editorial Mc Graw Hill Cuarta Edición. 2006.

CAMPOS, Elena, ELÍAS, Xavier y FLOTATS, Xavier. **“Procesos Biológicos: la digestión anaerobia y el compostaje”**. Monografía, Serie: Energía, Medioambiente, Tratamiento de Residuos, Ediciones Díaz Santos, 2012.

CHARÁ Julián David **“Biodigestores Plásticos de Flujo Continuo”**, Editorial CIPAV (Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria) Cali, Colombia. 2002.

CHAÚR BERNAL, Jairo, **“El Biogás”**. ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). Boletín Didáctico N. 32, Bogotá D.C., Abril de 2001.

Congreso, **LEY 697 DE 2001**. Bogotá, Octubre 3, 2001.

CONTRERAS L; DOMÍNGUEZ P. **“Producción de Biogás con fines Energéticos. De lo histórico a lo Estratégico”**. Revista Futuros Volumen VI. 2006.

DAJUD, C. **“Modelación Matemática del Proceso de Digestión Anaeróbica para Aguas Residuales Industriales”**. Proyecto de Grado. Universidad de los Andes. IC-92-2-08.1991.

DUARTE, A.C. y ANDERSON, G.K. **“IgnitionModelling in AerobicDigestion”**. Sci. Tech.Volumen 14. 1982.

EDWARDS, V.H. **“The Influence of High Substrate Concentrations on Microbial Kinetics”**. Biotechnology Bioengineering, 1970.

EGGELING, G; GULDAGER, R. **“Biogas plants building instructions”**.German AgencyforTechnicalCooperation, GTZ, Alemania. 1980.

EUGENE F. MEGYESY **“Manual de Recipientes a Presión”**, Editorial Limusa, S.A., 1998.

FERNÁNDEZ SALGADO José M<sup>a</sup>**“Guía Completa de la Biomasa y los Biocombustibles”**, Editorial AMV EDICIONES, Primera Edición. 2006.

FAO. Reciclaje de materiales orgánicos y biogás. Seminario taller, Cali, Colombia. 2000.

FLOTATS, X. Campos, E y BONMATI, A. **“Aprovechamiento Energético de los Residuos Ganaderos”**. Trabajo de Grado. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lérida. Lérida. 1997.

Fundación de Energía Alterna Presencia “**El biogás y sus Aplicaciones**”. Edición 1. 2008.

GARCÍA GIL Gregorio “**Energías del Siglo XXI De las Energías Fósiles a las Alternativas**”. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid (España), 2008.

HERRERA MEZA, Ernesto y TORRES ORJUELA, Wilson, “**Diseño y Fabricación de un Biodigestor Anaeróbico Experimental para la Universidad Libre**”, Trabajo de Grado. Universidad Libre de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica, Área de Investigación, Bogotá D.C. 2008.

HOHLFELD J, L Sasse “**Production and utilization of biogas in rural areas of industrialized and developing countries**”. Eschborn. Federal Republic of Germany. 1986.

IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Biomasa. “**Manuales de energías renovables**”. Ministerio de Industria y Comercio. 1992.

Instituto de Investigaciones Eléctricas. “**Digestores de Desechos Orgánicos**”. Boletín Energético N° 14, Organización Latinoamericana de Energía (México) 2004.

Instituto de Investigaciones Tecnológicas. “**Plantas de Biogás. Diseño, Construcción y Operación**”. Editora Guadalupe Ltda. Bogotá, D.C. 1990.

Instituto de Investigaciones Tecnológicas “**Estudio sobre la Obtención de Biogás a partir de Desechos Orgánicos**”, Informe final. Bogotá, (Colombia). 1983.

ITINTEC (Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas) “**Como construir un Biodigestor**”, Serie 5273, Manual N° 4. 1983.

LANDAZABAL MORA, Sandra y NAVARRO SÁNCHEZ, Jesús Alberto, “**Automatización de un Generador de Biogás AGB 99**”, Trabajo de Grado. Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica, 1999.

LANDINEZ, German y PULIDO, Mauricio, “**Diseño de un sistema integral de Aprovechamiento de los Residuos Agropecuarios del centro Agropecuario Marengo**”, Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santafé de Bogotá. 1993.

MANDUJANO, María Isabel. “**Biogás, Energía y Fertilizantes a partir de Desechos Orgánicos**”. OLADE, IIE. Cuernavaca, México. 1981.

M. Castro Gil. “**Biocombustibles**”. Monografías Técnicas de Energías Renovables 3. ETSII-UNED. 2004.

METCALF and EDY. “**Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización**”. Volumen 2. McGraw Hill, 1995.

MICHELENA CAMPS Manuel, MARTÍN MARCOS Francisco “**Los biocombustibles**”, Ediciones Mundi- Prensa. 2002.

Ministerio de Minas y Energía (Colombia), **DECRETO 3683 DE 2003**, Bogotá, Ministerio de Minas y Energía; 2003.

Ministerio de Minas y Energía (Colombia), **RESOLUCIÓN 180919 DE 2010**. Bogotá, Ministerio de Minas y Energía; 2010.

MORENA Jesús, MARTÍNEZ Elena, A. Carlos Alonso “**Manual para la Gestión de los Residuos Urbanos**”. Editorial La Ley, Las Rosas \_ Madrid, 2003.

MONROY ESGUERRA, Julio Roberto y SÁNCHEZ MÉNDEZ, Mauricio, “**Dimensionamiento de un digestor para el tratamiento de Estiércol de cerdo en la granja Casablanca de Pacho (Cundinamarca)**”, Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química, Santafé de Bogotá D.C., 1993.

MOTT, Robert L., “**Diseños de elementos de máquinas.**” México. Cuarta edición 2006.

PIEDRAHITA VELÁZQUEZ, Daniel Rodrigo, “**Elementos para una Tecnología sobre la Producción de Biogás**”. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. 1990.

RIQUELME PÉREZ J. “**Problemas de Estimación y Observación en Procesos de Biodigestión Anaeróbica**”. Tesis de licenciatura 2011.

SALGADO FERNÁNDEZ José M<sup>a</sup>. “**Tecnología de las Energías Renovables**”. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid (España), 2009.

SASSELUDWING “**La planta de Biogás. Bosquejo y Detalle de Plantas Sencillas**”. Artículo. 1984.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENERGÍA SOLAR Y ENERGÍAS NO CONVENCIONALES. “**VI Simposio de Energía Solar y fuentes Nuevas y Renovables**”, Memorias del Simposio, Bogotá, 1988.

SHIGLEY Joseph, MISCHKE Charles “**Diseño en Ingeniería Mecánica**”, Editorial Mc Graw Hill Sexta Edición. 1997.

SHULER, M. L., “**Utilization and Recycle or Agricultural waters and Residues**”, CRC Press Corporation, Boca Raton, 1980.

VELASCO GONZALES Jaime “**Energías Renovables**”. Editorial REVERTÉ, Barcelona, 2009

Varnero, M.T. **Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás**. Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile, 1991.

## **ANEXOS**

## **Anexo A. Especificaciones del Acero Galvanizado.**

## ACERO GALVANIZADO / ASTM A 653 -A 924

COMPOSICION QUIMICA EN % (Máx)				PROPIEDADES MECANICAS		
C	Mn	P	S	TRACCIÓN		DUREZA (HRB)
				LE(MPa) (YP)	Elongación %	
0,15	0,60	0,030	0,035	205-380	20 mín	65 Máx

TOLERANCIAS ESPESOR						
Ancho especificado hasta (mm)	Tolerancia superior e inferior (-)					
	Espesor nominal (mm)					
	Hasta 0,40	Más de 0,40 a 1,0 inc	Más de 1,0 a 1,5 inc	Más de 1,5 a 2,0 inc	Más de 2,0 a 2,5 inc	Más de 2,5 hasta 5,0 inc
Hasta 1500	0,08	0,1	0,13	0,15	0,2	0,23
Mayor de 1500	-	0,1	0,13	0,15	0,23	0,23

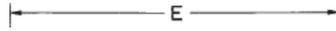
TOLERANCIA EN EL ANCHO DE LA LAMINA			
De 300 hasta 600 inc	De 600 hasta 1200 inc	De 1200 a 1500 inc	De 1500 a 1800 inc
+3	+5	+6	+8

Tolerancia Longitud (+)				
Largo (mm)				
Ancho mm	De 300 hasta 1500 Inc	De 1500 hasta 3000 Inc	De 3000 hasta 6000 Inc	Mayor de 6000
Mayor de 300 mm	6	20	35	45

PLANITUD			
Espesor (mm)	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Tolerancia planitud, mm punto de fluencia mínimo (Mpa)
De 0.35 a 0.8 incl.	Hasta 900	Hasta 3000	8
	Más ancho	Más largo	10
Más de 0.8	Hasta 1200	Hasta 3000	5
	Más ancho	Más largo	8

TOLERANCIA EN EL CAMBER			
Largo (mm)	Tolerancia (mm)	Largo (mm)	Tolerancia (mm)
Hasta 1200	4	4300 - 4900 inc	16
1200 - 1800 inc	5	4900 - 5500 inc	19
1800 - 2400 inc	6	5500 - 6000 inc	22
2400 - 3000 inc	8	6000 - 9000 inc	32
3000 - 3700 inc	10	9000 - 12200 inc	38
3700 - 4300 inc	13		

**Anexo B. Especificaciones Técnicas Válvulas de Bola.**



## Dimensiones, Pesos y Valores de $C_v$

Dimensión Nominal	Referencia de la Dimensión (pulgadas, $\pm 1/16$ )					Peso Aprox. (Lbs.)		Valores de $C_v^2$
	A	B <sup>1</sup>	C	D	E	PVC	CPVC	
1/2	1-9/16	1-5/16	2-3/4	1-9/16	2-11/16	.17	.20	46
3/4	1-15/16	1-9/16	3-1/16	2	3-3/16	.28	.31	91
1	2-3/16	1-15/16	3-9/16	2-5/16	3-1/2	.40	.43	160
1-1/4	2-5/8	2-1/8	4-1/32	2-11/16	3-3/4	.60	.63	306
1-1/2	3-1/32	2-1/2	4-11/16	3-1/8	4-1/4	.93	.95	429
2	3-7/8	3-3/32	5-3/8	3-3/4	4-11/16	1.87	1.90	755
3	6	5-1/8	8-5/8	5-3/4	9-7/8	5.92	---	1660
4	7-3/8	6-5/32	10-5/32	6-5/8	10-27/32	9.50	---	3129
6	9-29/32	8-3/32	14-3/16	6-15/32	10-13/16	21.48	---	7942

1: Longitud neta de la válvula.

2: Galones por minuto en 1 PSI de pérdida de la presión. Los valores fueron calculados usando la longitud neta de la válvula, basada en el derivado de la ecuación de Hazen-Williams con el factor de dureza de superficie de  $C=150$ .

## Clasificación de Presión de la Temperatura

Temperatura de Funcionamiento del Sistema °F (°C)		73 (23)	100 (38)	110 (43)	120 (49)	130 (54)	140 (60)	150 (66)	160 (71)	170 (77)	180 (82)	190 (88)
Clasificación de Presión de la Válvula psi (MPa)	PVC	150 (1.03)	124 (.85)	100 (.69)	75 (.52)	-0- (-0-)	-0- (-0-)	-0- (-0-)	-0- (-0-)	-0- (-0-)	-0- (-0-)	-0- (-0-)
	CPVC	150 (1.03)	140 (.97)	130 (.90)	120 (.83)	110 (.76)	100 (.69)	90 (.62)	80 (.55)	70 (.48)	60 (.41)	-0- (-0-)

**Anexo C. Especificaciones Soldadura WA 86 MIG.**

# WA 86



IDENTIFICACIÓN : WEST ARCO WA 86  
CLASIFICACIÓN : AWS ER70S-6  
ESPECIFICACIÓN : AWS A5.18, NTC 2632, ASME SFA5.18  
APROBADO : ABS (Grado 2)

## CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES

El WA 86 es un alambre macizo con niveles altos de silicio y manganeso que le brindan excelentes características de desoxidación especialmente cuando se va a soldar en láminas oxidadas o en aceros efervescentes y le permite trabajar con elevado amperaje. El silicio adicional produce un charco más fluido y por lo tanto un cordón más plano. Trabaja con CO<sub>2</sub>, mezcla de Argón-CO<sub>2</sub> o mezcla de Argón Oxígeno. Opera en todas las posiciones cuando se emplea transferencia por corto circuito.

## APLICACIONES TÍPICAS

Especialmente adecuada para soldar lámina delgada. Se utiliza en la reparación de ejes, fabricación de tanques, carrocerías implementos agrícolas, rines de automóviles, embarcaciones, estructuras, etc.

## PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

Resistencia a la tracción	:	50 - 60 Kg/mm <sup>2</sup> (72 - 86 Ksi)
Límite de Fluencia	:	42 - 52 Kg/mm <sup>2</sup> (60 - 74 Ksi)
Elongación	:	22 - 30%

**NOTA:** Ensayos realizados según AWS A.5.18

## COMPOSICIÓN QUÍMICA TÍPICA DEL ALAMBRE

Carbono	0.06 - 0.15%	Manganeso	1.40 - 1.85%
Silicio	0.80 - 1.15%	Fósforo	0.025% máx.
Azufre	0.035% máx.	Cobre	0.50% máx.

DIMENSIÓN	AMPERAJE RECOMENDADO	EMPAQUE
0.76mm (0.030")	60 - 160 A	Carrete de 5 o 15 Kg
0.90 mm (0.035")	80 - 220 A	Carrete de 15 kg
1.02 mm (0.040")	90 - 280 A	Carrete de 15 kg
1.14 mm (0.045")	100 - 340 A	Carrete de 15 kg
1.6mm (0.62")	250 - 500 A	Rollo de 30 Kg

**EMPAQUE:** Carrete de 5, 15 y 20 Kilogramos.

**NOTA:** El carrete de 5 Kgs. Se fabrica bajo pedido.

**Anexo D. Especificaciones Soldadura Estructural West Arco E6013.**

## ELECTRODOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBONO

IDENTIFICACIÓN : WEST ARCO E6013  
CLASIFICACIÓN : AWS E6013  
ESPECIFICACIÓN : AWS A5.1, NTC 2191, ASME SFA5.1  
APROBADO : ABS (Grado 1)

### CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES

El revestimiento es a base de rutilo y potasio, lo cual le da muy buena estabilidad, inclusive al trabajar con corriente alterna en quipos de bajo voltaje de circuito abierto.

### APLICACIONES TÍPICAS

Carrocerías, muebles metálicos, ductos de aire acondicionado, rejillas, ventanas y ornamentación en general. Puede usarse en tanques y estructuras teniendo en cuenta las limitaciones establecidas en los códigos de construcción aplicables.

### RECOMENDACIONES PARA SU APLICACIÓN

Se utiliza en corriente alterna o continua, polaridad negativa (-) o positiva (+). Lleve el arco corto y una velocidad de avance adecuada el tipo de junta y al diámetro que emplee. Al soldar en filete horizontal mantenga el electrodo con un ángulo de elevación de 50 a 70° con relación a la platina inferior y una inclinación de 10 a 20° en la dirección de avance. Entre más delgada la platina y mayor corriente, se debe usar un ángulo de elevación mayor para evitar recalentamiento de la platina vertical.

### PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

Resistencia a la tracción:	42 - 52Kg/mm <sup>2</sup> (60 - 74 Ksi)
Límite de fluencia:	34 - 45Kg/mm <sup>2</sup> (48 - 65 Ksi)
Elongación:	22 - 29%
Resistencia al impacto Charpy en V a 20°C:	50 - 110 joules.

**NOTA:** Ensayos realizados según AWS A5.1

DIMENSIÓN	AMPERAJES RECOMENDADOS
2.4 X 300 mm (3/32")	50 - 90 A
2.4 X 350 mm (3/32")	50 - 90 A
3.2 X 350 mm (1/8")	80 - 120 A
4.0 X 350 mm (5/32")	110 - 160 A
4.8 X 450 mm (3/16")	130 - 210 A
6.4 X 450 mm (1/4")	200 - 300 A

**EMPAQUE:** Caja de 20 Kg peso neto.

Ver recomendaciones de almacenamiento al final del catálogo.

**Anexo E. Especificaciones Pintura Anticorrosiva.**



## Anticorrosiva Oleorresinas

**USOS:** Como base Anticorrosiva económica para proteger rejas, puertas, ventanas, pasamanos en ambientes de clima templado o frío libres de contaminación industrial. Como protección temporal (shop primer) de estructuras, tanques, maquinarias y equipos durante su transporte y almacenamiento. No se recomienda para inmersión. En la industria esta anticorrosiva sólo se debe usar como protección temporal.

**CARACTERÍSTICAS:** Pintura anticorrosiva Oleorresinas, con óxido de zinc como inhibidor de la corrosión.

### ESPECIFICACIONES

•**Preparación de Superficie:** La superficie debe estar completamente libre de humedad, grasas y otros contaminantes. El óxido, pinturas deterioradas y partículas sueltas se deben eliminar. La preparación mínima del metal es la Manual ST2 (SSPC-SP2). Cuando se aplique la Anticorrosiva Oleorresinas ref. 110.039 como protección definitiva sobre galvanizado en frío y metales no ferrosos, se debe aplicar previamente acondicionador de superficie Wash-Primer ref. 110.027 / 110.028 ó 110.070/113.350, para obtener buena adherencia de la anticorrosiva.

•**Aplicación:** Se revuelve la Anticorrosiva con espátula para obtener su completa uniformidad. Para aplicación a pistola convencional o rodillo, se agrega a la anticorrosiva un 10%25 por volumen de Thinner Pintuco ref. 121.006 y se revuelve con espátula hasta obtener una mezcla uniforme. Para aplicación a brocha o pistola sin aire se agrega a la anticorrosiva un 5%25 máximo de Ajustador Pintuco ref. 121.132 y se revuelve bien. Se aplican una o dos manos para obtener el espesor recomendado. Para evitar la formación de película en el almacenamiento de envases mermados, se agrega un poco de Thinner Pintuco ref. 121.006 y sin revolverlo, se tapa bien el envase.

•**Tiempos de Secamiento:** Los tiempos de secamiento varían de acuerdo con la temperatura ambiental y el espesor de película aplicada. A mayor temperatura, menor tiempo de secamiento y viceversa, a mayor espesor, mayor tiempo de secamiento.

•**Presentación:** Cuarto de galón, galón y cinco galones.

**Anexo F. Especificaciones Wash Primer.**



## Wash Primer

### USOS

Para promover o mejorar la adherencia de las bases anticorrosivas sobre aluminio, antimonio, estaño, galvanizados en frío, hojalata y metales ferrosos muy pulidos. El Acondicionador Wash-Primer ref. 110.027/110.028 de PINTUCO, acepta todo tipo de anticorrosiva y se puede utilizar como protección temporal. La utilización de este acondicionador no reemplaza en ningún caso la aplicación de la pintura anticorrosiva.

### CARACTERÍSTICAS

Acondicionador de superficies metálicas en dos componentes, en envases separados: el componente A, un producto vinílico con cromato de zinc y el componente B, una solución ácida. La mezcla apropiada de los dos componentes, produce al aplicarse una capa donde se adhieren bien las bases anticorrosivas.

### ESPECIFICACIONES

•**Preparación de Superficie:** La superficie debe limpiarse cuidadosamente, hasta dejarla totalmente libre de polvo, grasas, óxidos, humedad y en general de todo tipo de contaminación.

•**Aplicación:** Se revuelven por separado y con espátulas limpias los componentes A y B hasta obtener su completa uniformidad. Se mezcla por volumen una parte del componente A, con una parte del componente B, y se revuelve con una espátula limpia hasta que la mezcla sea total y uniforme. Se deja en reposo la mezcla durante 15 minutos como tiempo de inducción. Se aplica sin diluir, a pistola o brocha una sola mano delgada, ligeramente transparente, que cubra uniformemente toda la superficie metálica. Se deja secar el tiempo recomendado y se aplica encima la Anticorrosiva apropiada (ver Anticorrosivas). Se debe preparar únicamente la cantidad de mezcla que se va a utilizar.

•**Presentación:**

Componente A: 884 gramos, 946 centímetros cúbicos, Galón (tarro).

Componente B: 766 gramos, 946 centímetros cúbicos, Galón (frasco).

**Anexo G. Presión de los Fluidos\_ Carga Estática.**

## PRESION DE LOS FLUIDOS CARGA ESTATICA

El fluido contenido en el recipiente ejerce presión sobre las paredes del mismo. Cuando el fluido está en reposo, la intensidad de la presión en un punto es igual en todas direcciones hacia los lados y el fondo del recipiente y varía según la altura del fluido respecto al punto en el que se esté considerando la presión.

Cuando sea aplicable, la carga estática deberá sumarse a la presión de diseño del recipiente.

Las tablas de esta página indican las relaciones entre la presión y la altura del agua.

Para determinar la presión de cualquier otro fluido que no sea agua, los valores de las tablas deberán multiplicarse por la densidad específica del fluido en cuestión.

### Presión en libras por pulgada cuadrada para diferentes cargas de agua

Carga, en pies	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		0.43	0.87	1.30	1.73	2.16	2.60	3.03	3.46	3.90
10	4.33	4.76	5.20	5.63	6.06	6.49	6.93	7.36	7.79	8.23
20	8.66	9.09	9.53	9.96	10.39	10.82	11.26	11.69	12.12	12.56
30	12.99	13.42	13.86	14.29	14.72	15.15	15.59	16.02	16.45	16.89
40	17.32	17.75	18.19	18.62	19.05	19.48	19.92	20.35	20.78	21.22
50	21.65	22.08	22.52	22.95	23.38	23.81	24.25	24.68	25.11	25.55
60	25.98	26.41	26.85	27.28	27.71	28.14	28.58	29.01	29.44	29.88
70	30.31	30.74	31.18	31.61	32.04	32.47	32.91	33.34	33.77	34.21
80	34.64	35.07	35.51	35.94	36.37	36.80	37.24	37.67	38.10	38.54
90	38.97	39.40	39.84	40.27	40.70	41.13	41.57	42.00	42.43	42.87

NOTA: Un pie de agua a 62° Fahrenheit produce una presión de 0.433 libras por pulgada cuadrada. Para hallar la presión por pulgada cuadrada para cualquier carga en pies no considerada en la tabla superior, multiplique la carga en pies por 0.433.

### Cargas de agua en pies que corresponden a una presión dada en libras por pulgada cuadrada

Presión, lb/pulg <sup>2</sup>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2.3	4.6	6.9	9.2	11.5	13.9	16.2	18.5	20.8
10	23.1	25.4	27.7	30.0	32.3	34.6	36.9	39.3	41.6	43.9
20	46.2	48.5	50.8	53.1	55.4	57.7	60.0	62.4	64.7	67.0
30	69.3	71.6	73.9	76.2	78.5	80.8	83.1	85.4	87.8	90.1
40	92.4	94.7	97.0	99.3	101.6	103.9	106.2	108.5	110.8	113.2
50	115.5	117.8	120.1	122.4	124.7	127.0	129.3	131.6	133.9	136.3
60	138.6	140.9	143.2	145.5	147.8	150.1	152.4	154.7	157.0	159.3
70	161.7	164.0	166.3	168.6	170.9	173.2	175.5	177.8	180.1	182.4
80	184.8	187.1	189.4	191.7	194.0	196.3	198.6	200.9	203.2	205.5
90	207.9	210.2	212.5	214.8	217.1	219.4	221.7	224.0	226.3	228.6

NOTA: Una presión de una libra por pulgada cuadrada equivale a 2.309 pies de agua a 62°F. Por lo tanto, para hallar la carga en pies de agua para cualquier presión que no aparezca en la tabla, multiplique por 2.309 la presión en libras por pulgada cuadrada.

**Anexo H. Análisis Estructural\_ Solid EdgeV18.**

## Informe de análisis de la estructura

Archivo analizado:	StructureTB2.iam
Versión:	2011 (Build 150239000, 239)
Fecha de creación:	01/10/2012, 16:44

## Información de proyecto

Nº de pieza	Estructura Tanque Reactor
Diseñador	Daniel Riveros, Norma Vásquez
Fecha de creación	25/09/2012

## Propiedades físicas

Masa	9,382 kg
Área	7773,349 mm <sup>2</sup>
Volumen	1193,691 mm <sup>3</sup>
Centro de gravedad	x=0,000 mm y=0,000 mm z=-339,576 mm

## Simulación: 1 Estático

### Objetivo general y configuración:

Tipo de simulación	Análisis estático
--------------------	-------------------

Fecha de la última modificación	01/10/2012, 16:43
---------------------------------	-------------------

## Material

Nombre	Hierro	
General	Densidad de masa	7,860 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	207,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345,000 MPa
	Coeficiente de Poisson	0,275 su
Tensión térmica	Coeficiente de expansión	0,0000120 su/c
	Conductividad térmica	56,000 W/( m K )
	Calor específico	0,460 J/( kg K )

## Sección o secciones transversales

Propiedades básicas	Área de sección (a)	152,552 mm <sup>2</sup>
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I <sub>x</sub> )	8907,769 mm <sup>4</sup>
	Momento de inercia (I <sub>y</sub> )	8907,769 mm <sup>4</sup>
	Módulo de rigidez de torsión (J)	543,775 mm <sup>4</sup>
	Módulo de sección de torsión (W <sub>z</sub> )	113,816 mm <sup>3</sup>

### Modelo de viga

Nodos	32
Ángulos	12

## Condiciones de funcionamiento

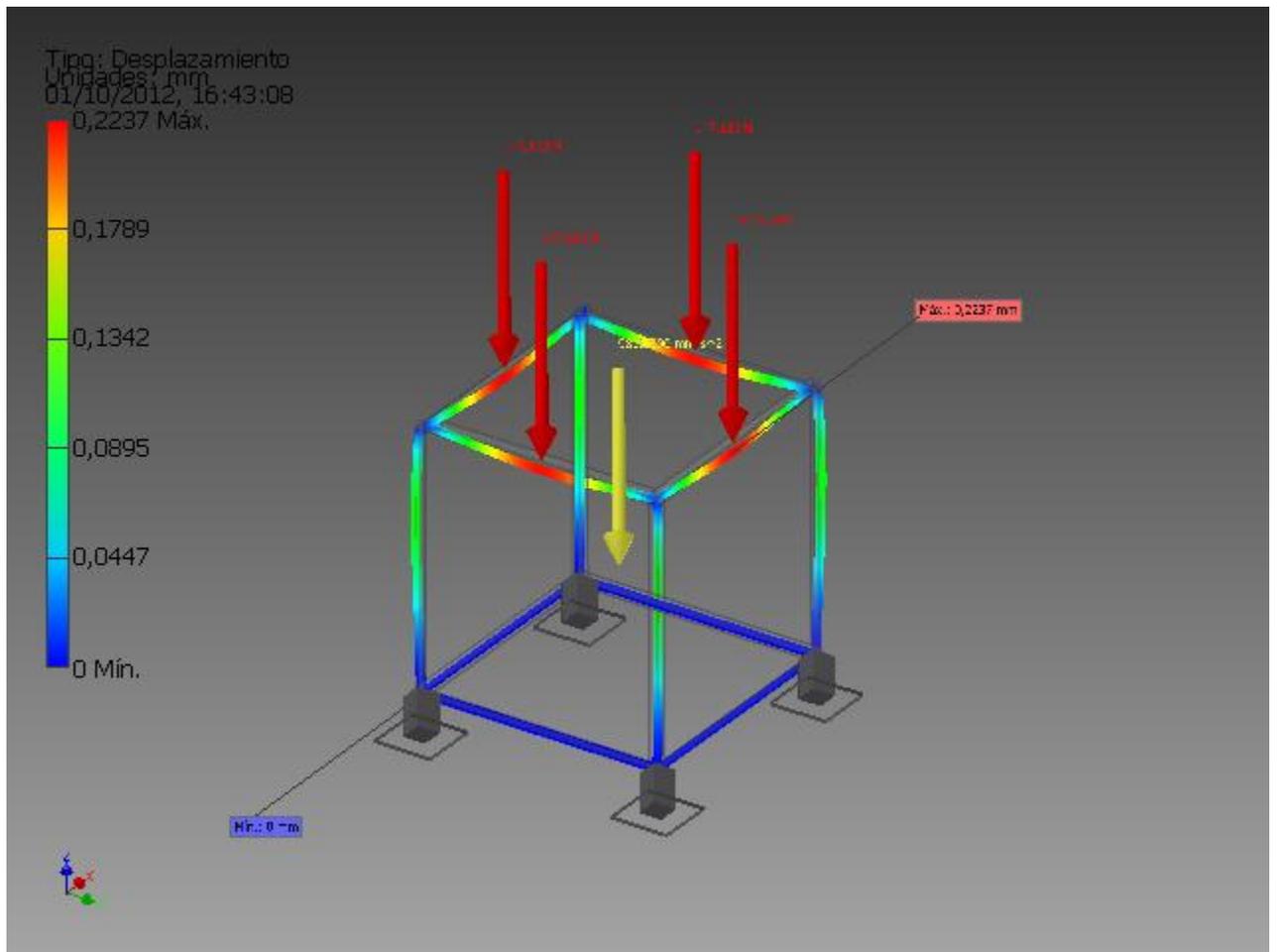
### Gravedad

Tipo de carga	Gravedad
Magnitud	9810,000 mm/s <sup>2</sup>

## Resultados

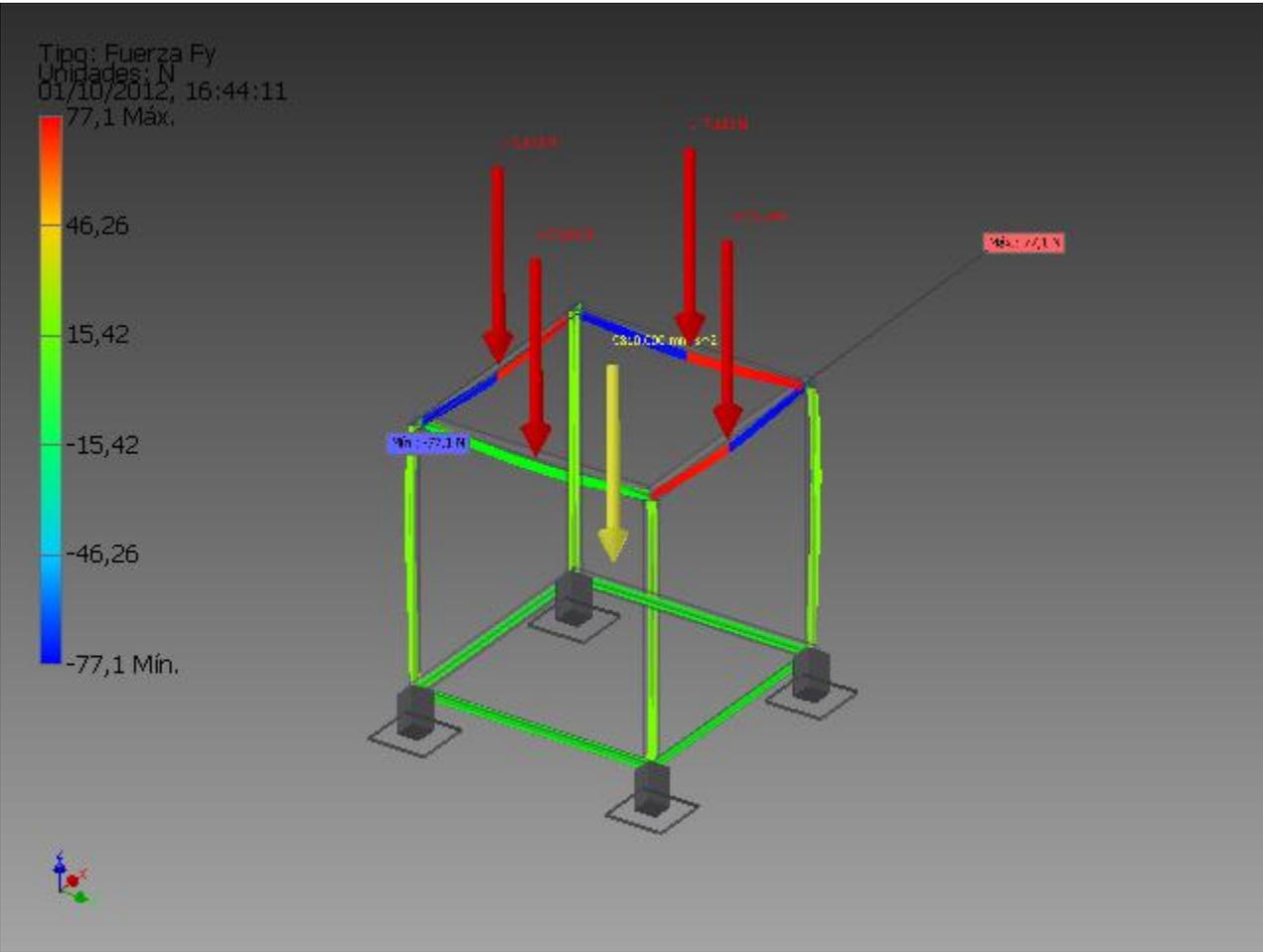
### Resumen de resultados estáticos

Nombre	Mínimo	Máximo
Fuerzas		
Fx	-77,104 N	77,104 N
Fy	-77,104 N	77,104 N
Fz	-5,692 N	170,160 N



**Fx**





**Fz**

## Informe de análisis de la estructura

Archivo analizado:	StructureTG3.iam
Versión:	2011 (Build 150239000, 239)
Fecha de creación:	01/10/2012, 16:47

### Información de proyecto

Nº de pieza	Tanque de Almacenamiento
Diseñador	Daniel Riveros, Norma Vásquez
Fecha de creación	26/09/2012

### Propiedades físicas

Masa	11,397 kg
Área	9434,441 mm <sup>2</sup>
Volumen	1449,979 mm <sup>3</sup>
Centro de gravedad	x=0,000 mm y=0,000 mm z=-618,819 mm

### Simulación: 2 Estático

Tipo de simulación	Análisis estático
Fecha de la última modificación	01/10/2012, 16:46

## Material(es)

Nombre	Hierro	
General	Densidad de masa	7,860 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	207,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345,000 MPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su
Tensión térmica	Coefficiente de expansión	0,0000120 su/c
	Conductividad térmica	56,000 W/( m K )
	Calor específico	0,460 J/( kg K )

## Sección o secciones transversales

Propiedades básicas	Área de sección (a)	152,552 mm <sup>2</sup>
Propiedades mecánicas	Momento de inercia (I <sub>x</sub> )	8907,769 mm <sup>4</sup>
	Momento de inercia (I <sub>y</sub> )	8907,769 mm <sup>4</sup>
	Módulo de rigidez de torsión (J)	543,775 mm <sup>4</sup>
	Módulo de sección de torsión (W <sub>z</sub> )	113,816 mm <sup>3</sup>

## Condiciones de funcionamiento

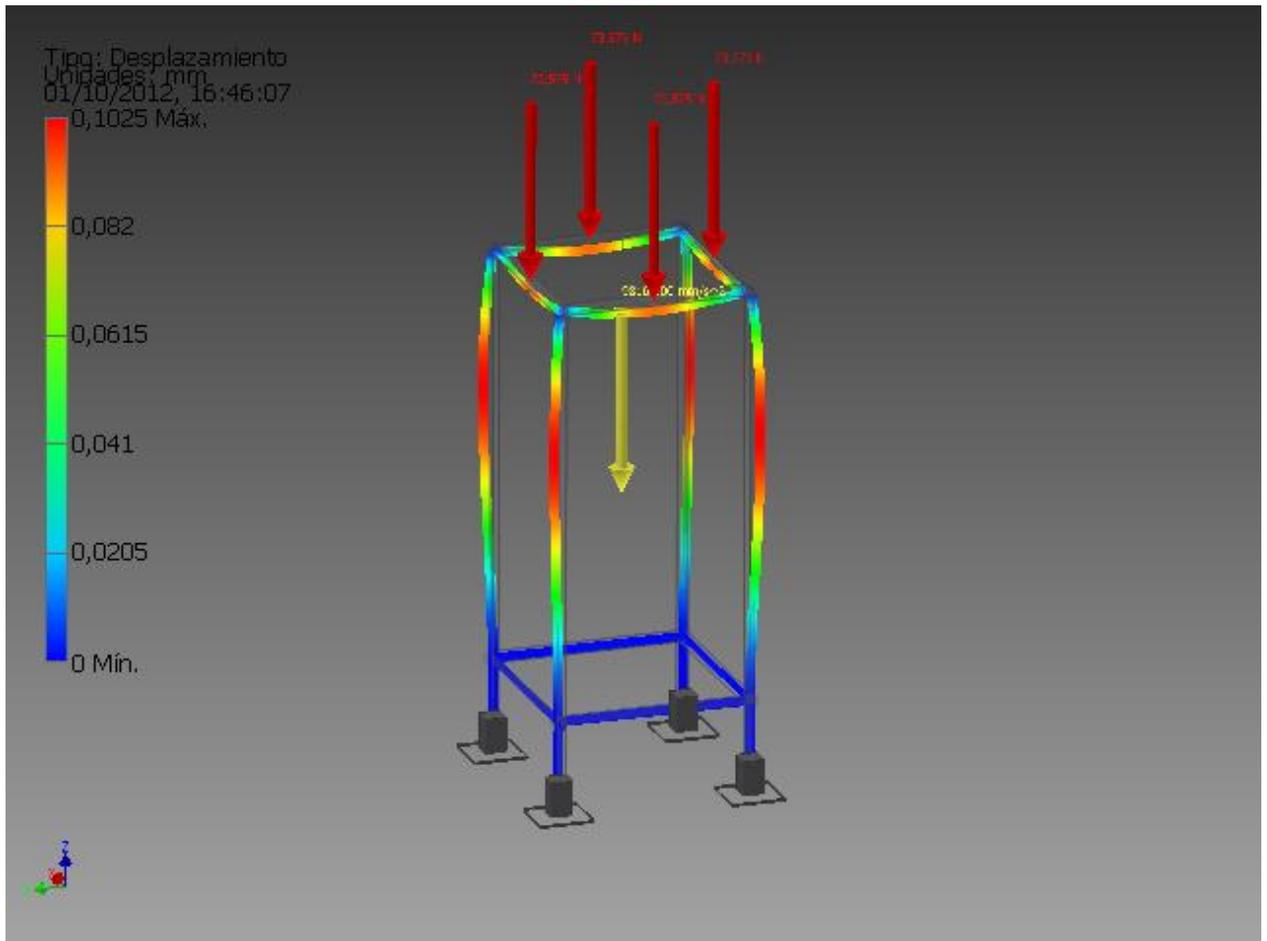
### Gravedad

Tipo de carga	Gravedad
Magnitud	9810,000 mm/s <sup>2</sup>

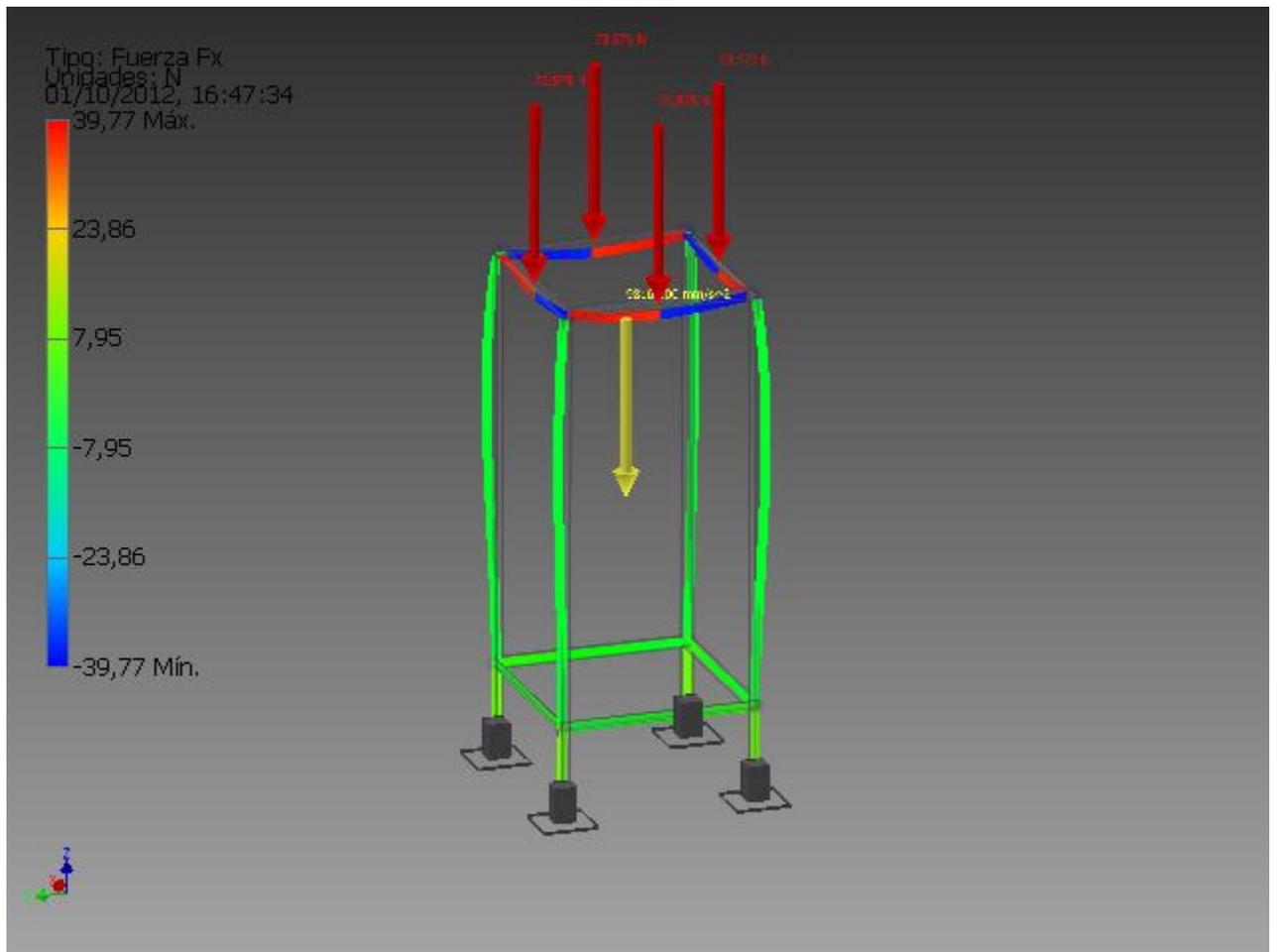
# Resultados

## Resumen de resultados estáticos

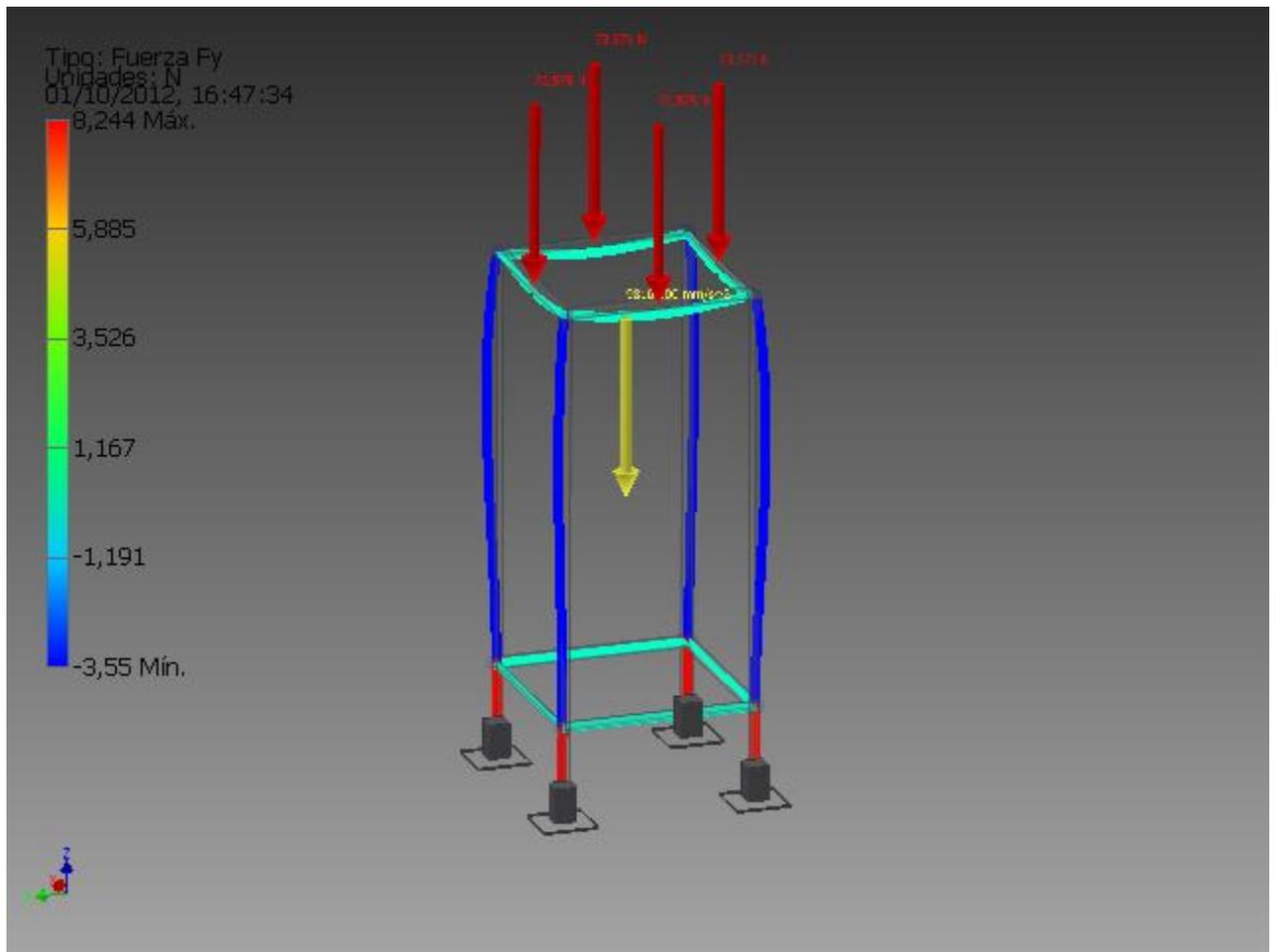
Nombre	Mínimo	Máximo
Fuerzas		
Fx	-39,768 N	39,768 N
Fy	-3,550 N	8,244 N
Fz	-11,794 N	101,526 N



**Fx**

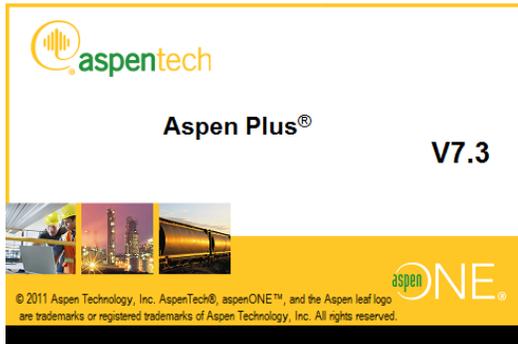


Fy



**Fz**

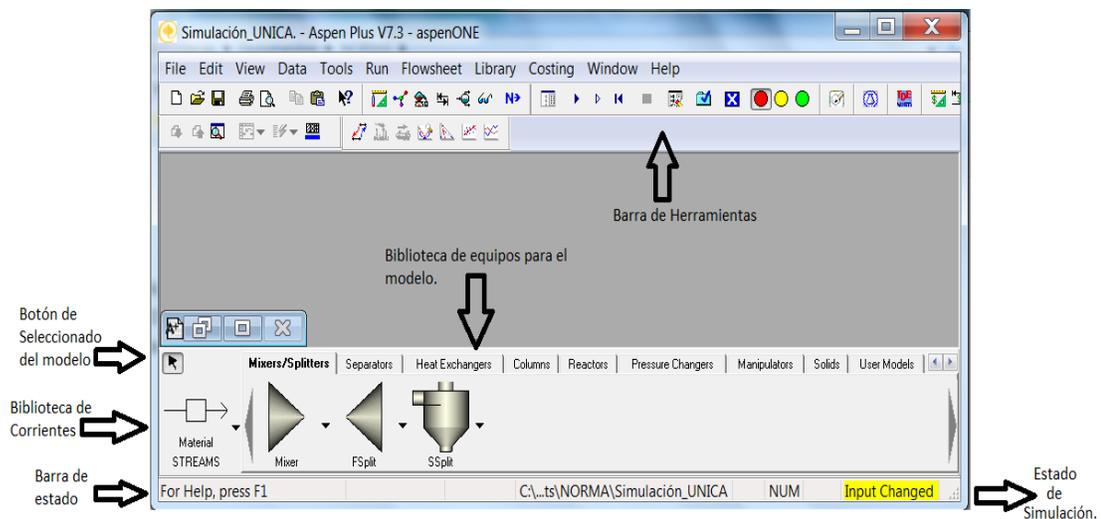
**Anexo I.** Simulación en el Software Aspen Plus.



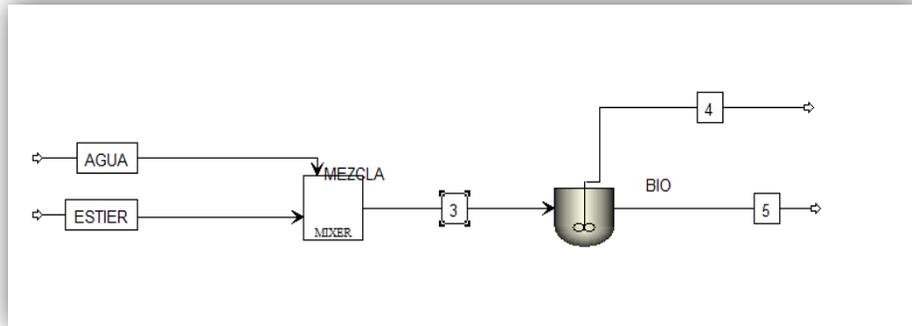
Aspen plus es una software de simulación virtual que recrea las operaciones unitarias y reactores principalmente de un proceso, pero para simular tu puedes escoger en qué tipo de software lo quieres hacer, regularmente mis maestros me dicen lo siguiente, ya con una simulación se puede

optimizar, cambiar, mejorar, cuantificar una situación posible en tu planta o parte del proceso de la misma. Recomendado para operaciones que manipulen sólidos, electrólitos y/o polímeros (también es recomendado para orgánicos, simula muy bien lo que es operaciones de separación de sólidos.

A continuación presentamos la ventana de trabajo de Aspen Plus.



## Diagrama de Flujo.



Después de haber montado cada una de las características necesarias para el funcionamiento del Software los resultados obtenidos son los siguientes:

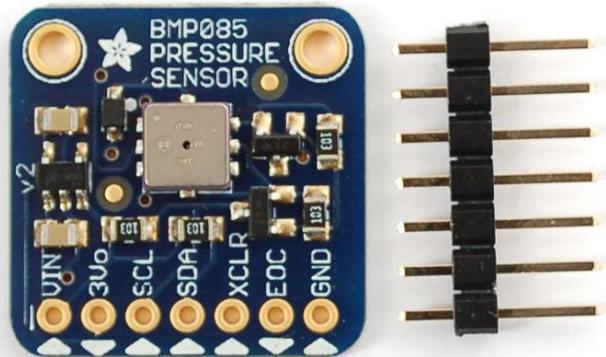
## Tabla de Resultados

RCSTR results		
Outlet temperature:	30,0000014	C
Heat duty:	-1,041E-06	Btu/hr
Net heat duty:	-1,041E-06	Btu/hr
Volume		
Reactor:	245,481216	l
Vapor phase:	0	cuft
Liquid phase:	245,481216	l
Liquid 1 phase:		
Salt phase:		
Condensed phase:	8,66908726	cuft
Residence time		
Reactor:	360	hr
Vapor phase:		
Condensed phase:	360	hr

La simulación se realizó para poder comprobar el modelamiento matemático; los resultados son favorables, ya que se cumple con el diseño y la producción.

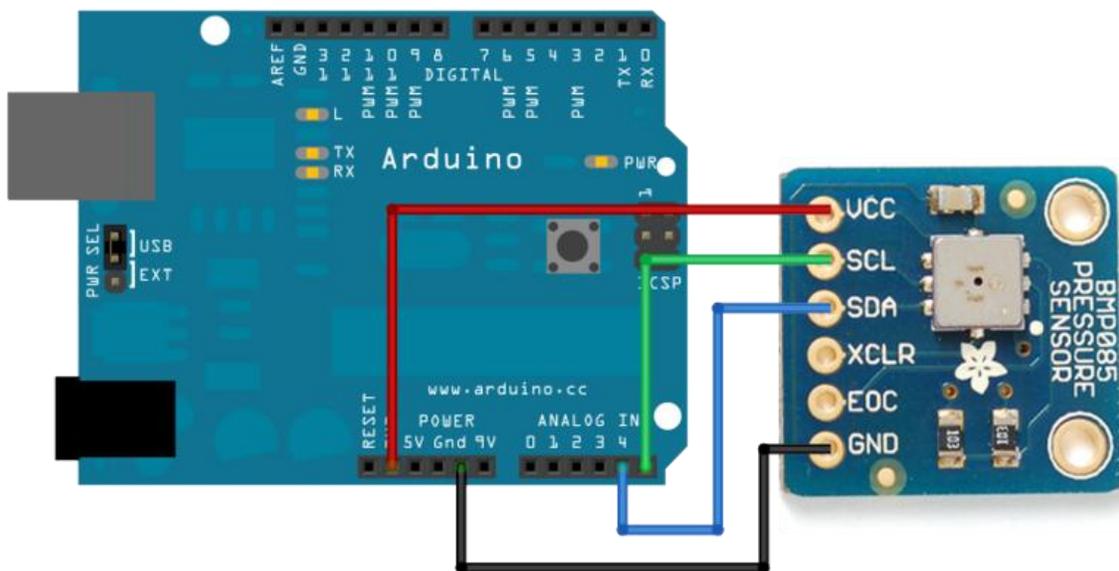
**Anexo J.** Registro de Toma de Datos.

Los datos obtenidos de medición, se tomaron por computador y fueron monitoreados con el programa TeamViewer,



Especificaciones:

- Presión de detección de rango: 0-20 PSI
  - -40 a +85 °C de rango operativo, con  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  de precisión de temperatura.
  - Interfaz 2-pin  $\text{I}^2\text{C}$  en el chip.
  - V1 de la ruptura utiliza la energía 3.3V y nivel lógico solo
  - V2 de la ruptura utiliza 3,3-5V de alimentación y nivel lógico para el uso más flexible.
- Se utiliza un Arduino donde se puede conectar el tablero hasta el micro-controlador.



El código que se utiliza es el siguiente:

```
#include "Wire.h"
#include "Adafruit_BMP085.h"
Adafruit_BMP085 bmp;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  bmp.begin();
}

void loop() {
  Serial.print("Temperature = ");
  Serial.print(bmp.readTemperature());
  Serial.println(" *C");
  Serial.print("Pressure = ");
  Serial.print((float)bmp.readPressure()*0.00014503773);
  Serial.println(" PSI");
  Serial.println();
  delay(3600000);
}
```



**Anexo K.** Elementos Finitos\_ Tanque Reactor.



Descripción  
TANQUE REACTOR

## Simulación de Pieza 1

Fecha: lunes, 05 de noviembre de  
2012

Diseñador: DANIEL RIVEROS -  
NORMA VÁSQUEZ

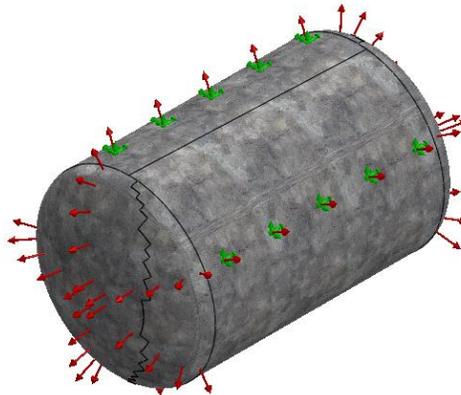
Nombre de estudio: Reactor

Tipo de análisis: Estático

### Tabla de contenido

Descripción	141
Información de modelo	142
Resultados del estudio	143

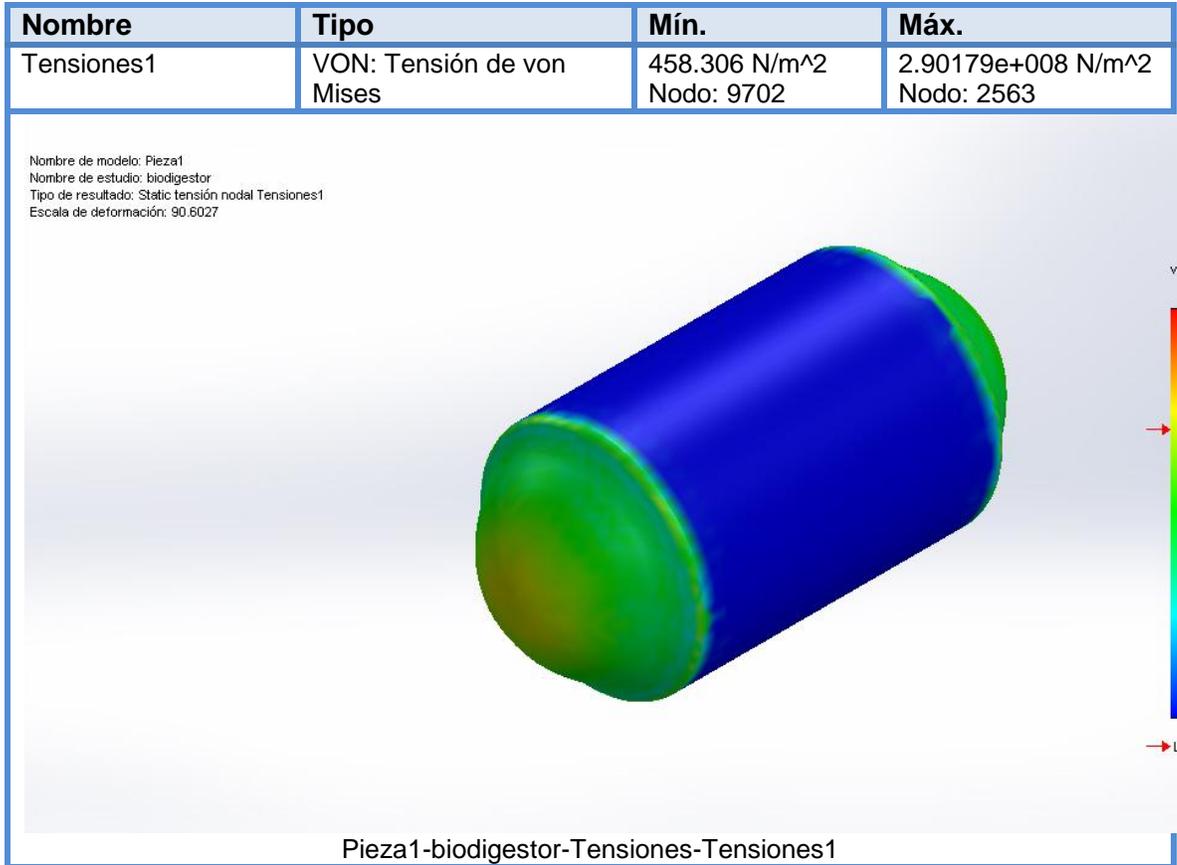
## Información de modelo



Nombre del modelo: Pieza1  
Configuración actual: Predeterminado

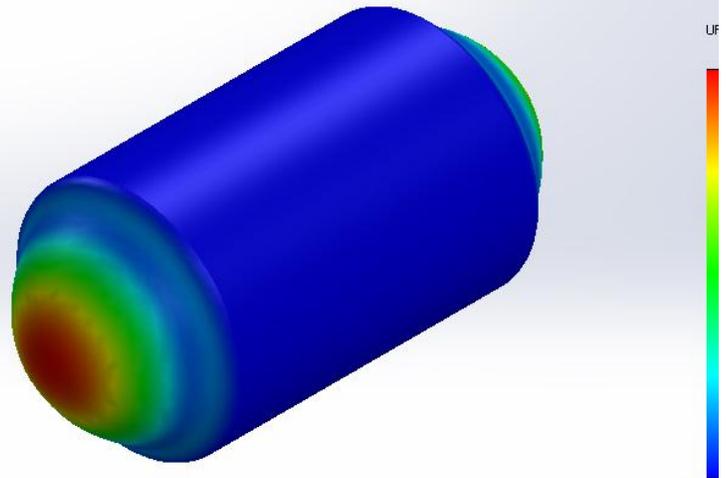
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Vaciado23 	Sólido	Masa:51.9312 kg Volumen:0.00659863 m <sup>3</sup> Densidad:7870 kg/m <sup>3</sup> Peso:508.926 N	

## 12 Resultados del estudio

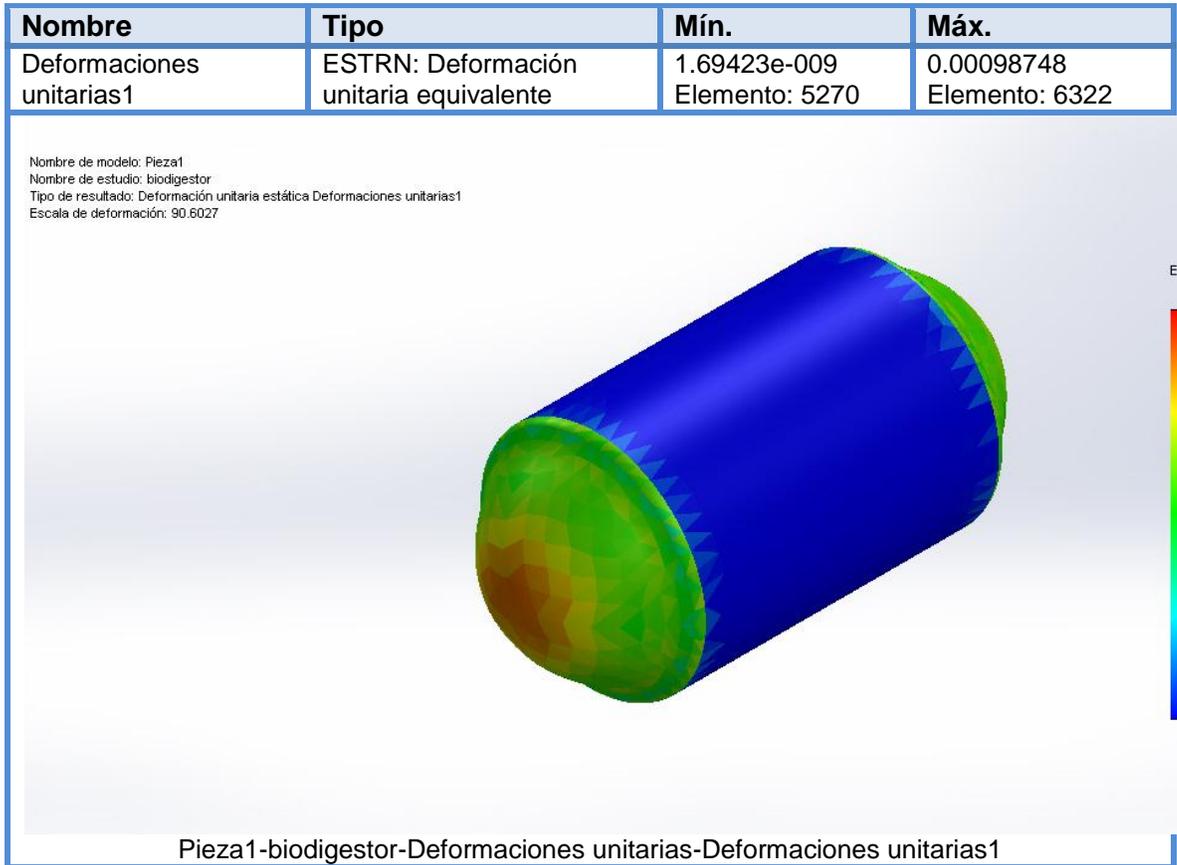


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.981794 mm Nodo: 1502

Nombre de modelo: Pieza1  
Nombre de estudio: biodigestor  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 90.6027



Pieza1-biodigestor-Desplazamientos-Desplazamientos1



**Anexo L. Elementos Finitos\_ Tanque de Almacenamiento de Gas.**



## Simulación de Pieza 2

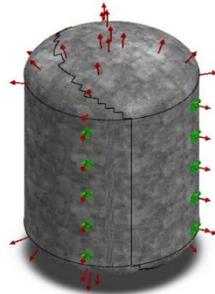
Fecha: lunes, 05 de noviembre de 2012  
Diseñador: DANIEL RIVEROS -  
NORMA VÁSQUEZ  
Nombre de estudio: TANQUE DE GAS  
Tipo de análisis: Estático

### Tabla de Contenido

Descripción	147
Información de modelo	148
Resultados del estudio	149

Descripción  
TANQUE ALMACENADOR DE GAS

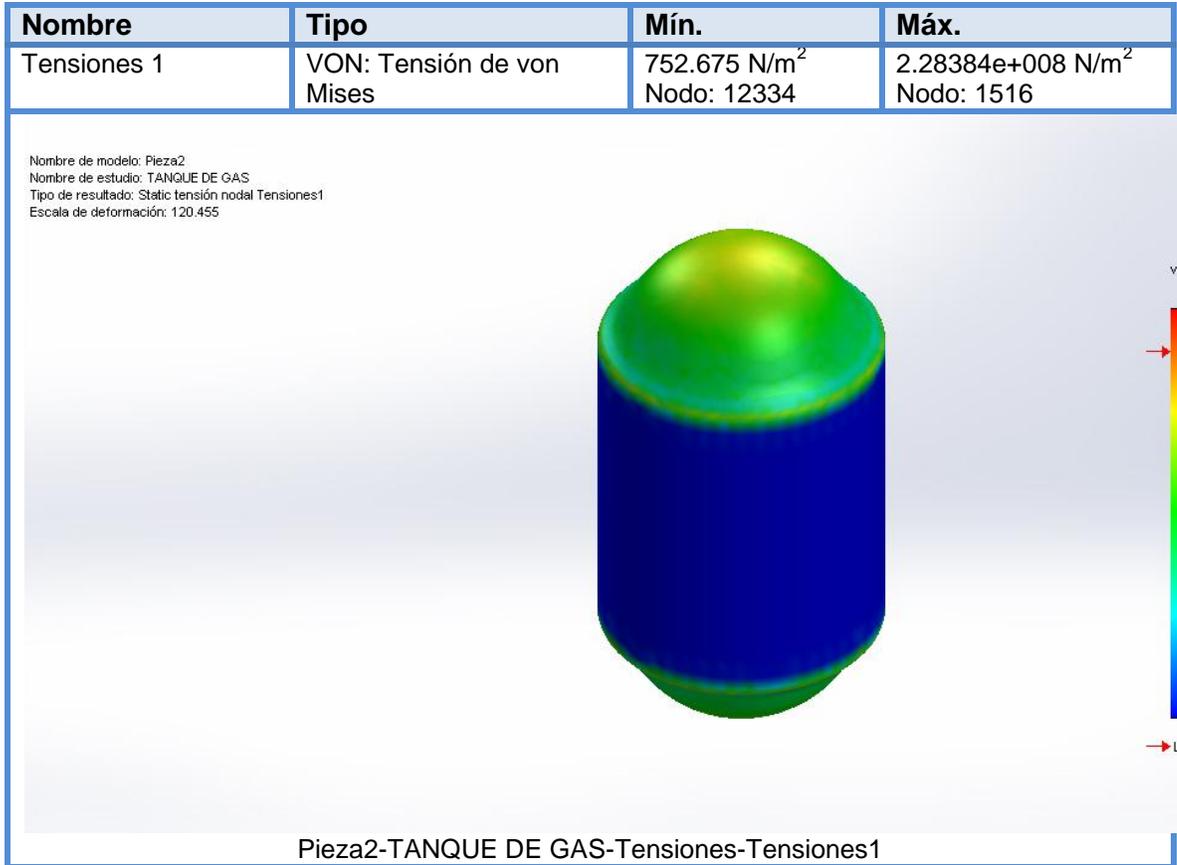
## Información de modelo



Nombre del modelo: Pieza2  
Configuración actual: Predeterminado

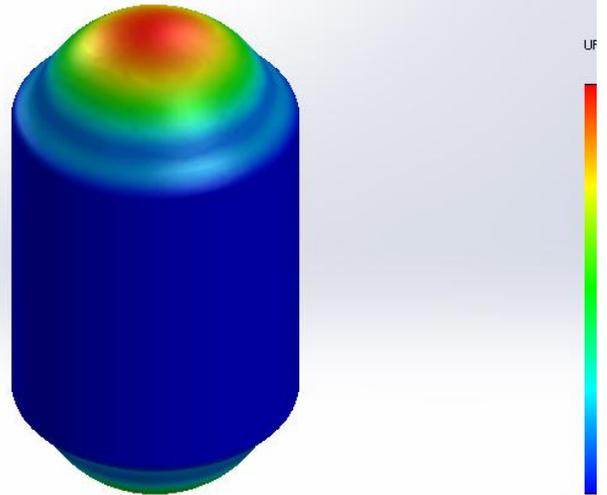
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Vaciado1 	Sólido	Masa:37.8896 kg Volumen:0.00481443 m <sup>3</sup> Densidad:7870 kg/m <sup>3</sup> Peso:371.318 N	

### 13 Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos 1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.604296 mm Nodo: 1509

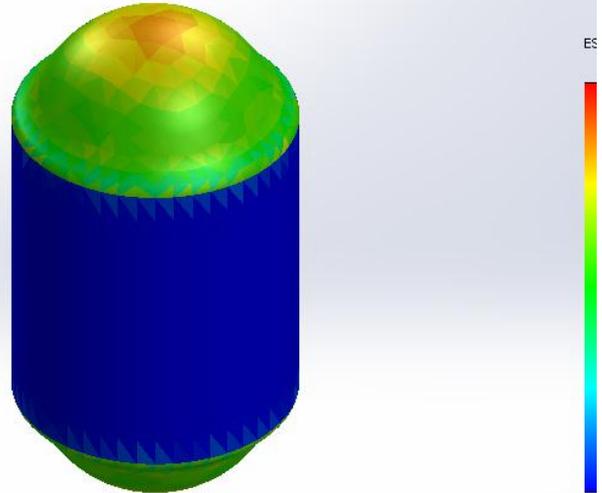
Nombre de modelo: Pieza2  
Nombre de estudio: TANQUE DE GAS  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 120.455



Pieza2-TANQUE DE GAS-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias 1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.86971e-009 Elemento: 4525	0.00080473 Elemento: 7065

Nombre de modelo: Pieza2  
Nombre de estudio: TANQUE DE GAS  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
Escala de deformación: 120.455



Pieza2-TANQUE DE GAS-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

**Anexo M.** Programa para Determinar la Producción de Gas.

```

clc
clear all
close all
while(1)
CANTIDADDEMEZCLA=-1;
ESCALON_WATTS=-1;
while((ESCALON_WATTS>46) || (ESCALON_WATTS<32))
ESCALON_WATTS=input('INGRESE EL VALOR DE LA CANTIDAD DE WATTS de 32 a 46 W=');
end
while((CANTIDADDEMEZCLA>20) || (CANTIDADDEMEZCLA<5))
CANTIDADDEMEZCLA=input('INGRESE EL VALOR DE LA CANTIDAD DE MEZCLA A TRATAR
(KG) =');
end
tiempo=-1;
while((tiempo>340) || (tiempo<1))
tiempo=input('HORAS DEL PROCESO de 1 a 340 =');
end
p=[0 0 0 0 0 0 0 0 1.2 1.3 1.4 1.4 2 2.3 2.6 3 5 5.3 5.6 5.7 6.2 6.2 6.5 6.6 7 7.2 7.4 7.4 8.3 8.3 8.4
8.5 9.2 9.4 9.6 10.1 10.3 10.4 10.5 10.9 11 11.1 11.1 12.6 12.7 12.7 12.8 13.8 13.9 14 14 14.7
14.7 14.8 15.2 15.9 15.9 16 16];
t=[1 2 3 4 25 26 27 28 49 50 51 52 73 74 75 76 97 98 99 100 121 122 123 124 145 146 147 148
169 170 171 172 193 194 195 196 217 218 219 220 241 242 243 244 265 266 267 268 289 290
291 292 313 314 315 316 337 338 339 340];
nums=polyfit(t,p,5);
T4=ESCALON_WATTS*((18.8)*(1-exp(-t./30)))/39.7133+18;

P4=ESCALON_WATTS*CANTIDADDEMEZCLA*(nums(1)*t.^5+nums(2)*t.^4+nums(3)*t.^3+nums(
4)*t.^2+nums(5)*t+nums(6))/(20*39.7133);

fori=1:60
ifP4(i)<=0
P4(i)=0;
else
P4(i)=P4(i);
end
end
subplot(1,3,1)
plot(t,T4,'g')
title('Gràfica Temperatura')
xlabel('tiempo(horas)')
ylabel('Temperatura(°C)')
subplot(1,3,2)
plot(t,P4,'r')
title('GràficaPresión')
xlabel('tiempo(horas)')
ylabel('Presion((l/plg^2)')

R=0.0821;
mmol=16.04;
V=360; % litros
m=V*mmol*(P4/14.6959)./(T4+273.15).*R);
t2=340;
T5=39.7133*((18.8)*(1-exp(-t2./30)))/39.7133+18;

```

```

P5=39.7133*CANTIDADDEMEZCLA*(nums(1)*t^5+nums(2)*t^4+nums(3)*t^3+nums(4)*t^2+n
ums(5)*t+nums(6))/(20*39.7133);
R=0.0821;
mmol=16.04;
V=360; % litros
m2=V*mmol*(P5/14.6959)./(T5+273.15).*R);

fori=1:60
if m(i)<=0
m(i)=0;
elseif m(i)>m2
m(i)=m2;
else
m(i)=m(i);
end
end

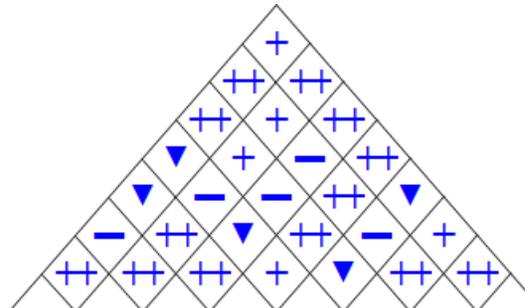
subplot(1,3,3)
plot(t,m)
title('Gràfica masa')
xlabel('tiempo(horas)')
ylabel('masa(g)')
t=tiempo;
T4=ESCALON_WATTS*((18.8)*(1-exp(-t./30)))/39.7133+18;

P4=ESCALON_WATTS*CANTIDADDEMEZCLA*(nums(1)*t^5+nums(2)*t^4+nums(3)*t^3+nums(4)
*t^2+nums(5)*t+nums(6))/(20*39.7133);
R=0.0821;
mmol=16.04;
V=360; % litros
m=V*mmol*(P4/14.6959)./(T4+273.15).*R);
if m<=0
m=0;
elseif m>m2
m=m2;
else
m=m;
end
fprintf('El sistema genera %3.2f gramos de gas metano en %3u horas\n',m,t);
end

```

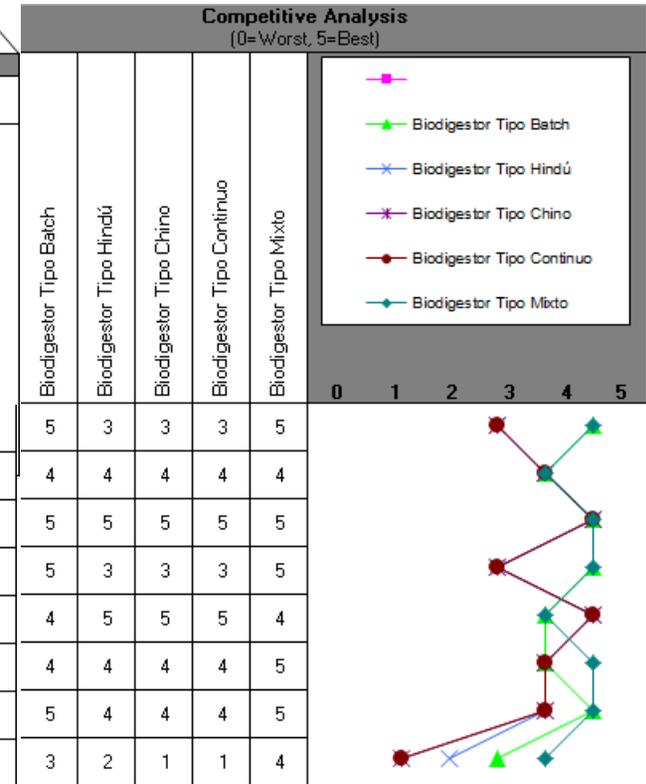
**Anexo N.** Ampliación de la Matriz QFD.

Legend		
○	Strong Relationship	9
○	Moderate Relationship	3
○	Weak Relationship	1
+	Strong Positive Correlation	
+	Positive Correlation	
-	Negative Correlation	
▼	Strong Negative Correlation	
▼	Objective Is To Minimize	
▲	Objective Is To Maximize	
X	Objective Is To Hit Target	

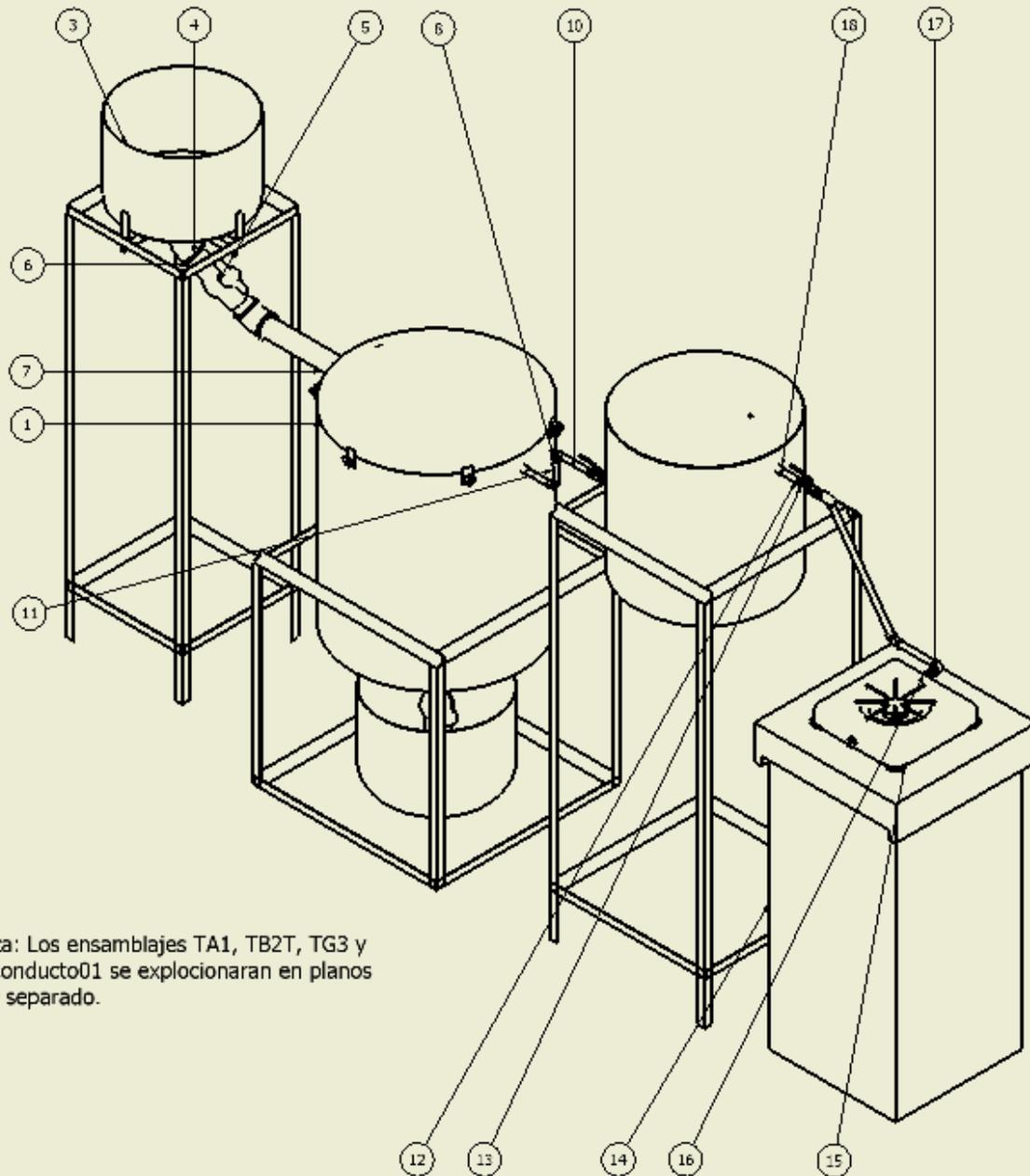


Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Relationship Value in Row	Relationship Weight	Importance	Demanded Quality	Column #							
					1	2	3	4	5	6	7	8
					Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (X)							
					Facilidad de Operación y Mantenimiento (%)	Capacidad del Biodigestor (kg)	Costo de Retención (Días)	Temperatura (°C)	pH	PSI	Productividad (%)	Producción de Biogás (Litros)
1	3	11,8	8,0	Facilidad de carga y descarga	○							
2	3	11,8	8,0	Sistema facil de operar	○	○	▲					▲
3	9	14,7	10,0	Sistema sin fugas		▲		▲		○	○	○
4	3	11,8	8,0	Facilidad de Mantenimiento	○							
5	9	11,8	8,0	Larga Vida Útil	○						○	○
6	9	14,7	10,0	Confiabilidad en la Producción de Biogás	○	▲	○	○	○	▲	○	○
7	9	13,2	9,0	Sistema seguro en su operación	○	▲		▲		○	○	
8	9	10,3	7,0	Economía	○	▲					○	○

Target or Limit Value	100	10	15	37	7	17	100	325
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	6	0	1	6	9	8	10	9
Max Relationship Value in Column	9	3	9	9	9	9	9	9
Weight / Importance	414,7	88,2	144,1	160,3	132,4	177,9	511,8	413,2
Relative Weight	20,3	4,3	7,1	7,8	6,5	8,7	25,1	20,2



**Anexo O.** Planos del Prototipo Biodigestor Tipo Mixto.



Nota: Los ensamblajes TA1, TB2T, TG3 y el conducto01 se explosionaran en planos por separado.

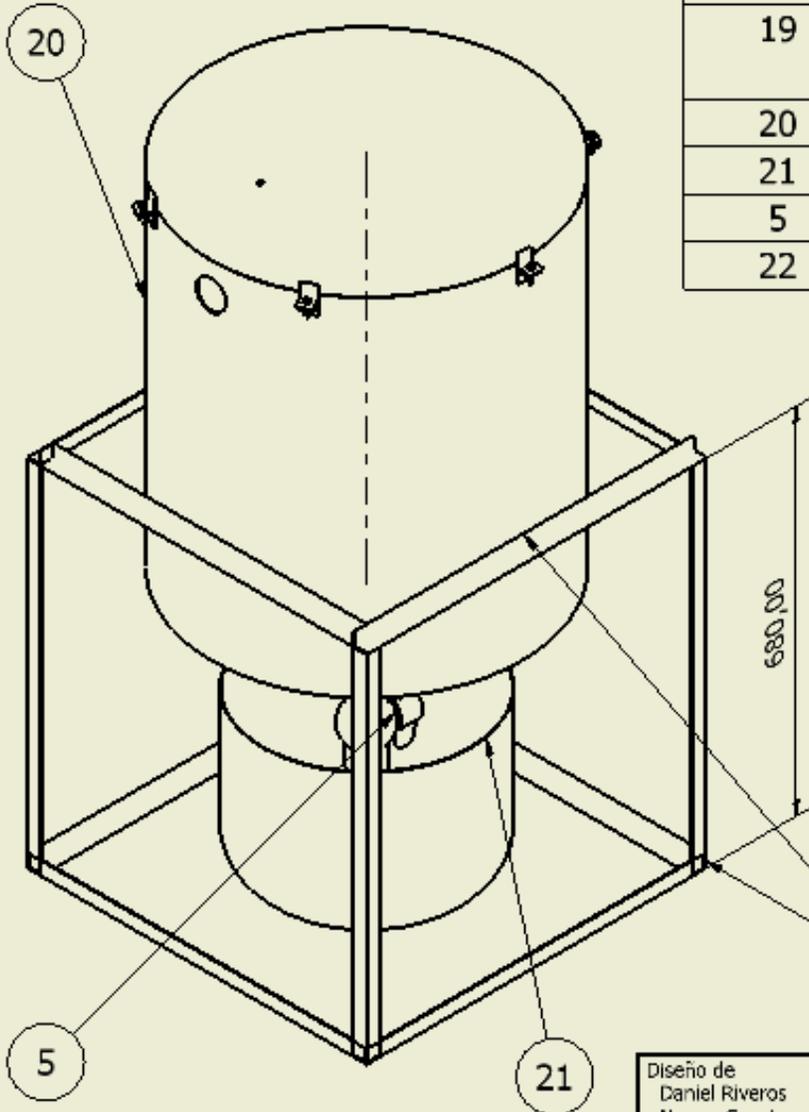
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	EnsambleTB2T	Es el ensamblaje del tanque Biodigestor con la estructura metálica, mas el tanque de desechos.
2	1	EnsambleTG3	Es el ensamblaje del tanque de almacenamiento de gas metado con la estructura metálica.
3	1	EnsambleTA1	Es el ensamblaje del tanque de alimentación con la estructura metálica.
4	2	JIS B 2301 Codo de 45 grad - Clase 1 2	Codo a 45º de material en (PVC)
5	2	Valvuladebola	Válvula hidráulica de bola de 2 in (estandar)
6	2	ConexionTAB	Tuberia en PVC de 2 in
7	1	ConexionTAB2	Tuberia en PVC de 2 in
8	2	ASME B16.22 Codo de 90 grad C x C 1/2	Codo a 90º de material en (Cobre)
10	3	ConexionTBGCobre100	Tuberia en cobre de 1/2 in
11	1	ConexionTBGCobre	Tuberia en cobre de 1/2 in
12	1	conexiong	Tuberia en cobre de 1/2 in para salida del tanque Biodigestor
13	2	valvulaç	válvula de 1/2 in para control de flujo de paso de gas
14	1	baseestufa	Base mesa para la estufa
15	1	Estufa	Estufa para gas de un puesto
15	1	entradaestufa	Conexión de entrada para la estufa de gas
17	1	Conducto01	Enrutamiento de accesorios que conectan el tanque de gas con la la estufa
18	3	Conexionsolda	Conexión soldada a a salida del tanque Biodigestor y entrada y salida del tanque de almacenamiento de gas

Proyecto: Tema: Fecha:	Autor: Nombre:	Fecha: Fecha:	Escala: 1:1	Estado: Diseñado	
Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.					Nombre: Biodigestor.
Hoja: 1					Total: 1 / 13



LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
19	1	StructureTB2	Estructura Base del tanque en acero dulce perfil ANSI L 1x1x1/8 de pulgada
20	1	EnsamblajeTB2	Tanque Biodigestor
21	1	Tdesechos	Tanque de Desechos
5	1	Valvuladebola	Válvula de 2 in
22	1	ConexionTBD	Tuberia de 2 in en PVC



Nota: Soldadura de empalme para unir el tanque Biogestor a la estructura en los cuatro puntos del perfil, a la distancia del tanque

680,00

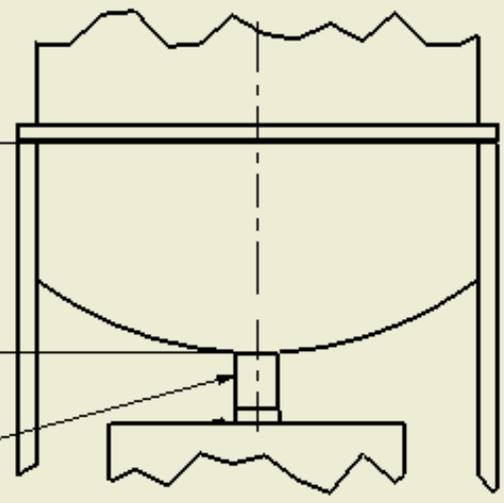
BMAW-MA

19

22

B ( 1 : 10 )

284,19



5

21

Diseño de Daniel Riveros Norma Constanza	Tolerancias: ±1 mm ± 1°	Medidas: Cotas en mm	Escala: 1:10	Fecha: 06 / 09 / 2012	Proyección:	
--	-------------------------	----------------------	--------------	-----------------------	-------------	--

Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.

Nombre: Ensamble tanque Biodigestor (Elemento 1)

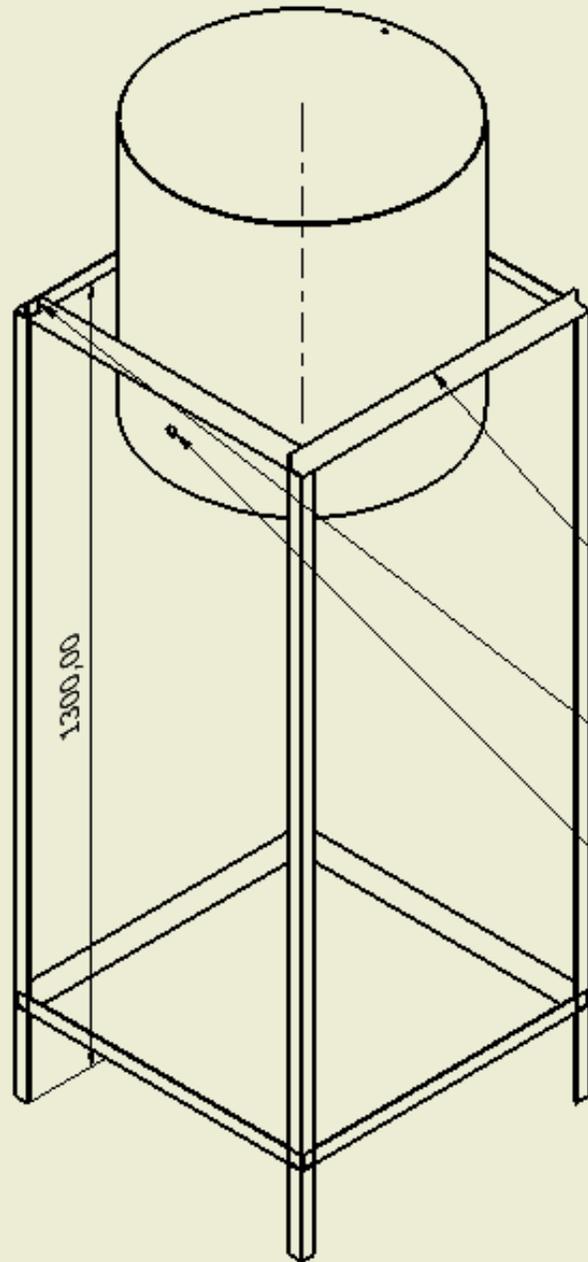
Biodigestor.	Edición: 1	Hoja: 2 / 13
--------------	------------	--------------



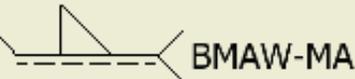


LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
23	1	StructureTG 3	Estructura Base del tanque en acero dulce perfil ANSI L 1x1x1/8 de pulgada
24	1	TG3	Tanque de almacenamiento de gas metano en acero galvanizado



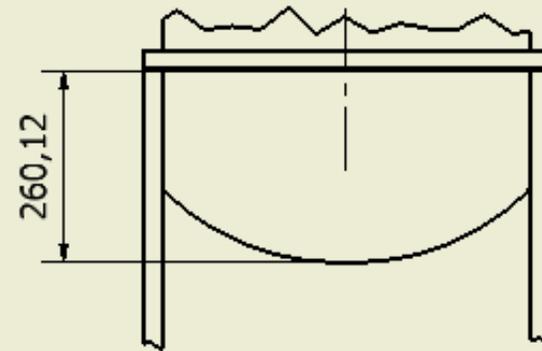
Nota: Soldadura de empalme para unir el tanque de almacenamiento de gas a la estructura en los cuatro puntos del perfil, a la distancia del tanque



23

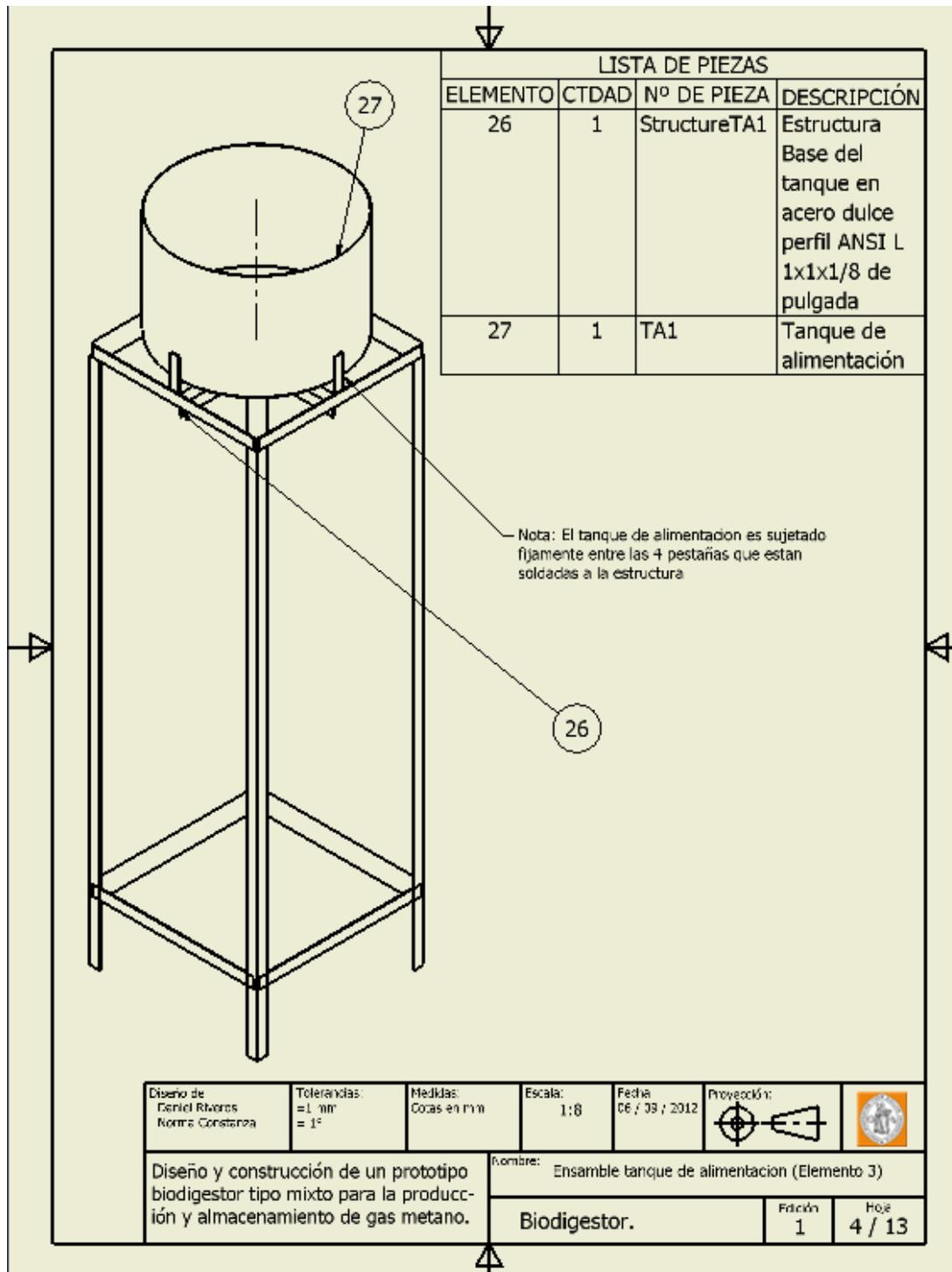
24

C ( 1 : 10 )

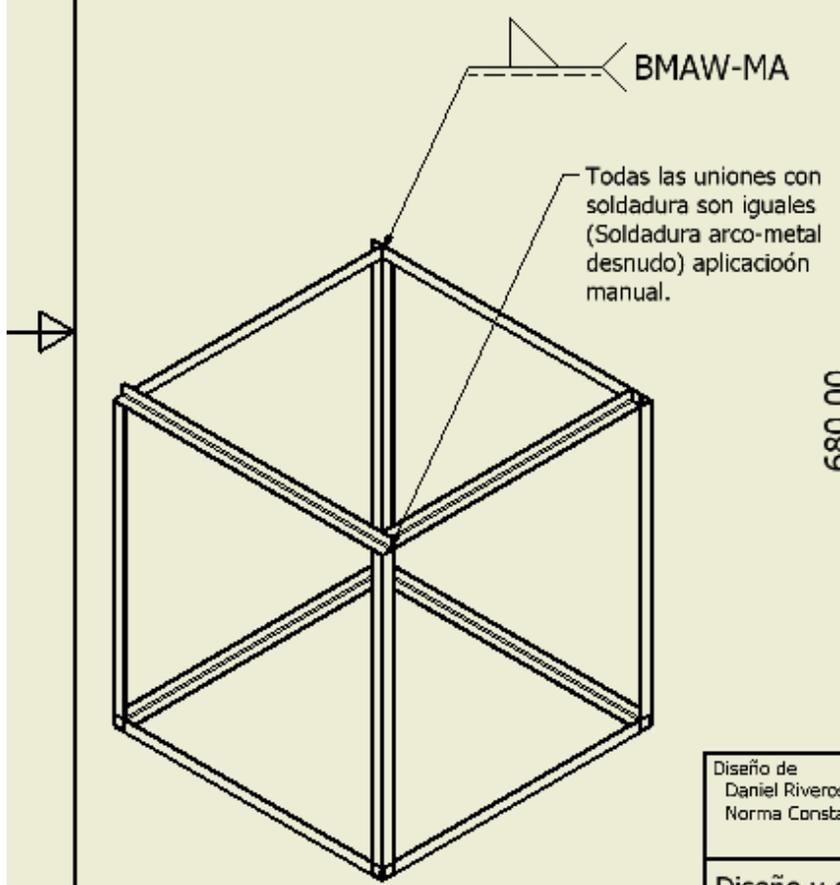
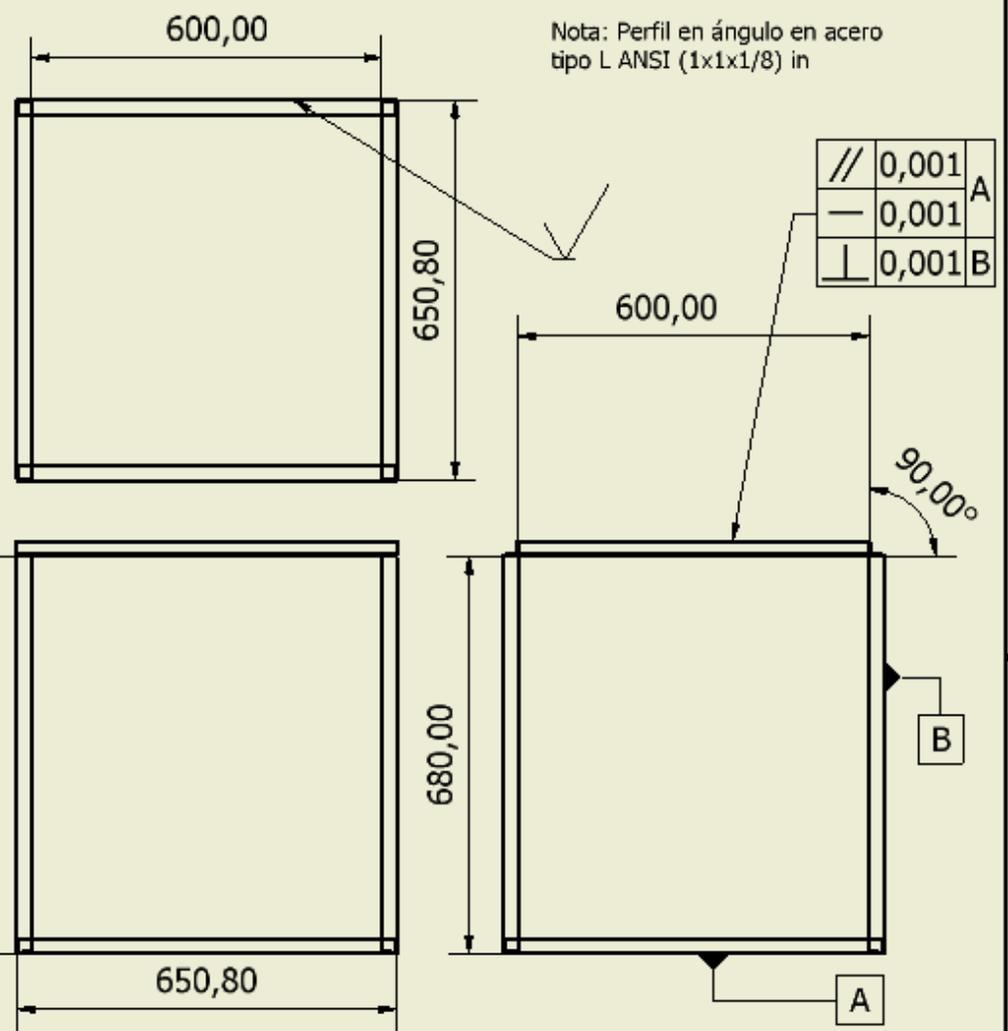


Diseño de Daniel Riveros Norma Constanza	Tolerancias: ±1 mm ± 1°	Medidas: Cotas en mm	Escala: 1:10	Fecha 06 / 09 / 2012	Proyección: 	
Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.			Nombre: Ensamble tanque almacenamiento gas metano (Elemento 2)			
			Biodigestor.	Edición 1	Hoja 3 / 13	





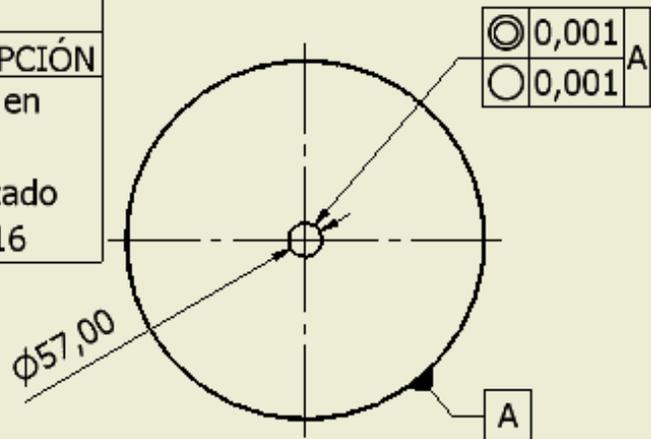
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
19	7824,800 mm	AISC - L 1 x 1 x 1/8	Estructura Base del tanque Biodigestor en perfil ANSI 1x1x1/8 in



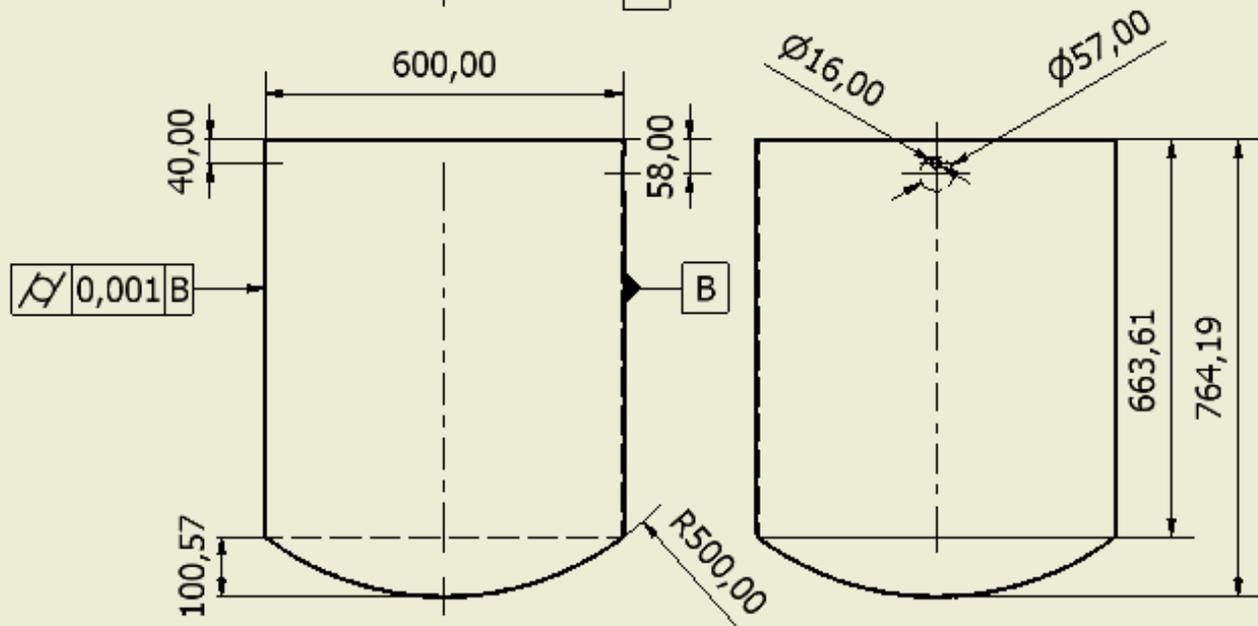
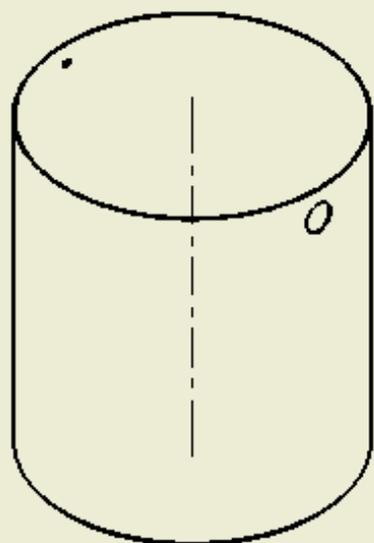
Diseño de Daniel Riveros Norma Constanza	Tolerancias: ±1 mm ± 1°	Medidas: Cotas en mm	Escala: 1:12	Fecha 06 / 09 / 2012	Proyección: 	
Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.			Nombre: Estructura Base tanque Biodigestor (Elemento 19)			
Biodigestor.			Edición 1	Hoja 5 / 13		

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
28	1	Tanque_Biogestor	Tanque en acero galvanizado calibre 16



Nota: Espesor de tanque calibre 16 en acero galvanizado



Diseño de Daniel Riveros Norma Constanza

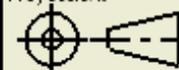
Tolerancias: ±1 mm ± 1°

Medidas: Cotas en mm

Escala: 1:12

Fecha 06 / 09 / 2012

Proyección:



Diseño y construcción de un prototipo biogestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.

Nombre: Tanque Biogestor

Biogestor.

Edición 1

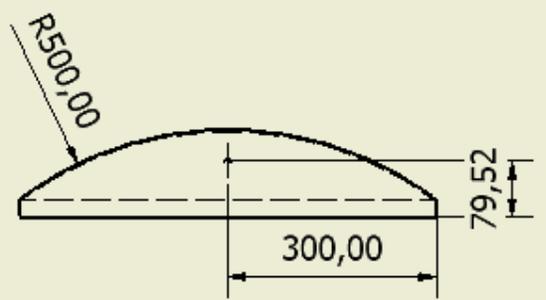
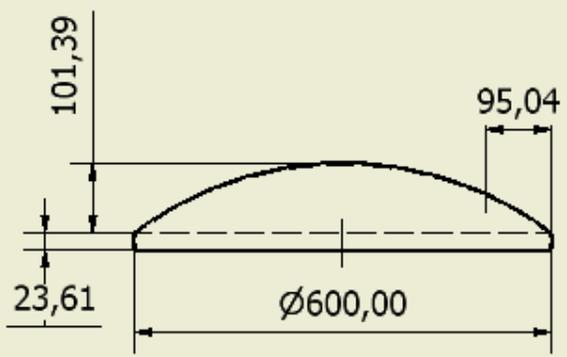
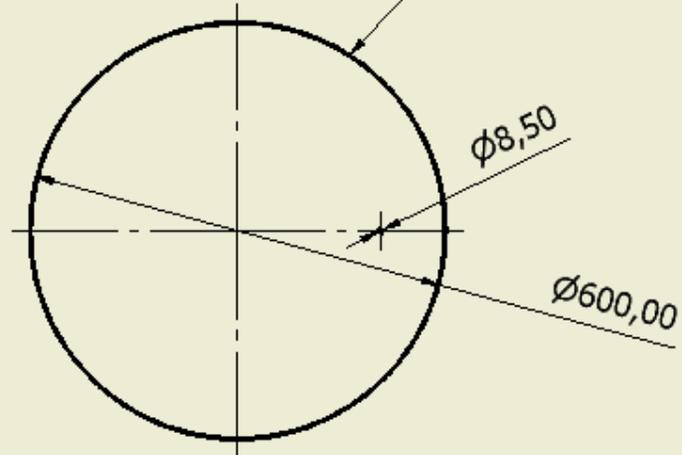
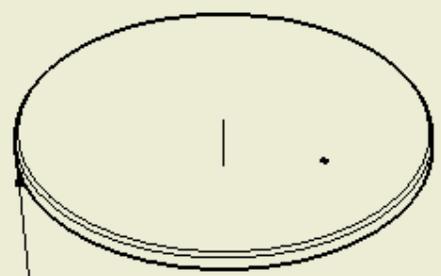
Hoja 6 / 13

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
29	1	Tapa_TBio	Tapa del tanque biodigestor en acero galvanizado calibre 16

⊙	0,001
○	0,001

Nota: Espesor de tapa, calibre 16 en acero galvanizado

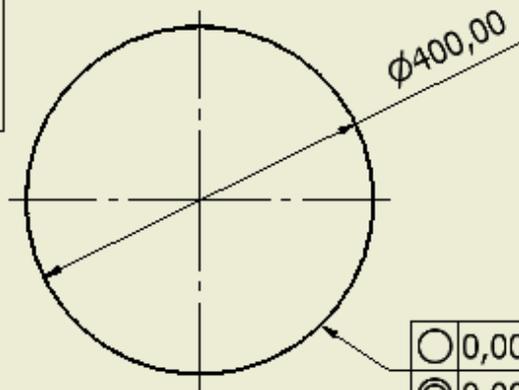


MIG WA 86

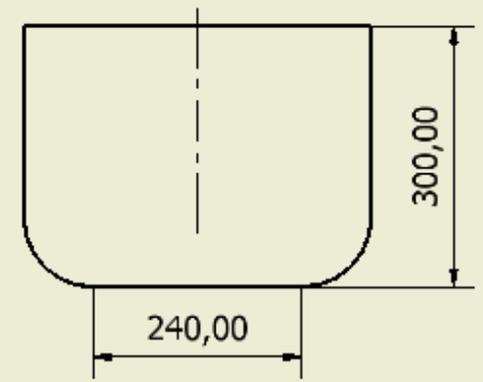
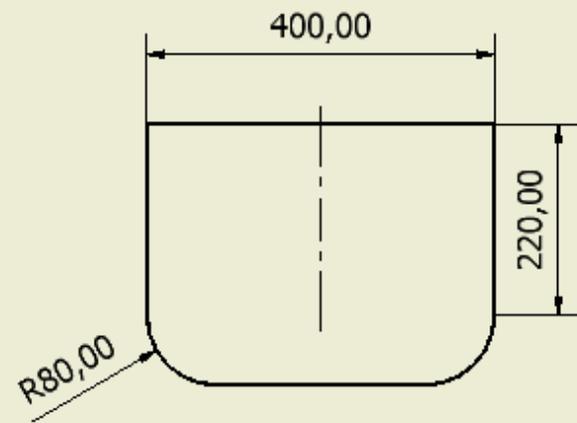
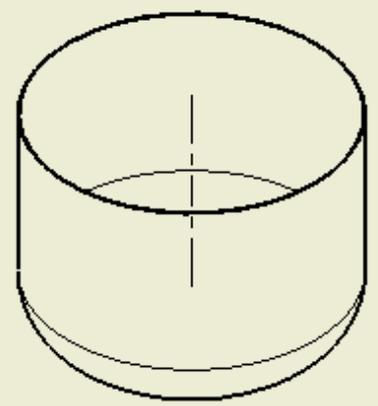
Diseño de Daniel Riveros Norma Constanza	Tolerancias: ±1 mm ± 1°	Medidas: Cotas en mm	Escala: 1:10	Fecha 06 / 09 / 2012	Proyección: 	
Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.			Nombre: Tapa del tanque Biodigestor			
Biodigestor.			Edición 1	Hoja 7 / 13		

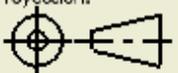
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
30	1	Tdesechos	Tanque de almacenamiento de desperdicios

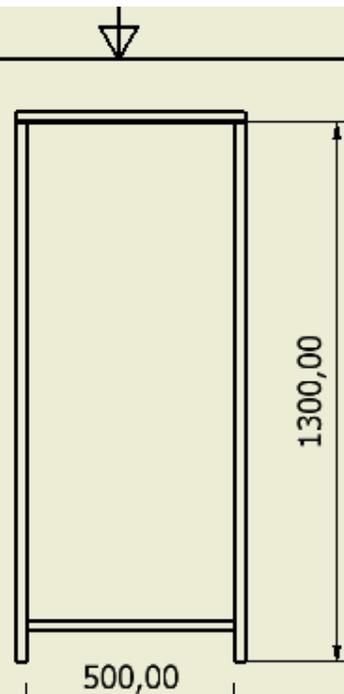


Nota: Grosor del Polimero calibre 18



Diseño de Daniel Riveros Norma Constanza	Tolerancias: ±1 mm ± 1°	Medidas: Cotas en mm	Escala: 1:8	Fecha 06 / 09 / 2012	Proyección: 	
Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.			Nombre: Tanque de desperdicios			
			Biodigestor.		Edición 1	Hoja 8 / 13

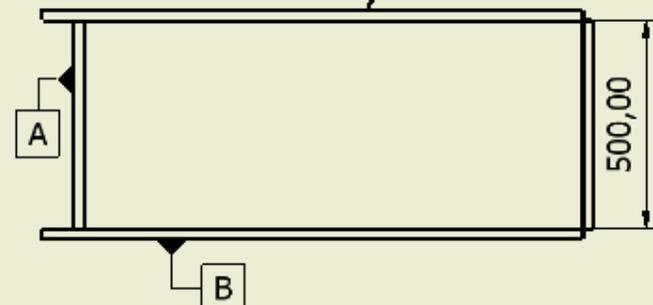
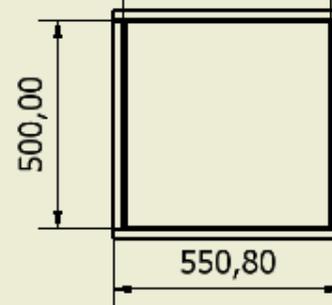
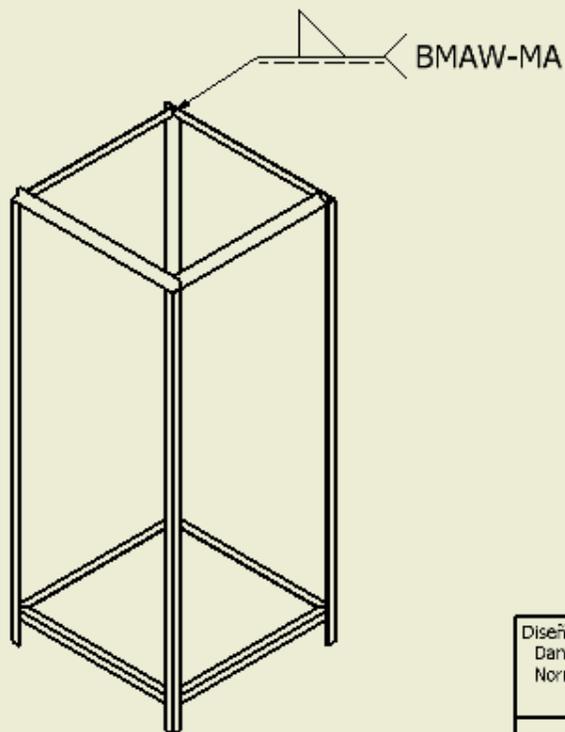
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
23	9479,360 mm	AISC - L 1 x 1 x 1/8	Estructura Base del tanque almacenador de gas en perfil ANSI 1x1x1/8 in



Nota: Perfil en ángulo en acero tipo L ANSI (1x1x1/8) in

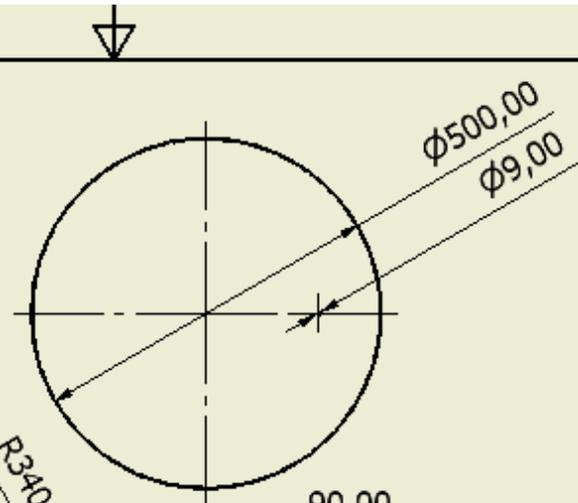
Todas las uniones con soldadura son iguales (Soldadura arco-metal desnudo) aplicación manual.

	0,001	
	0,001	A
	0,001	B

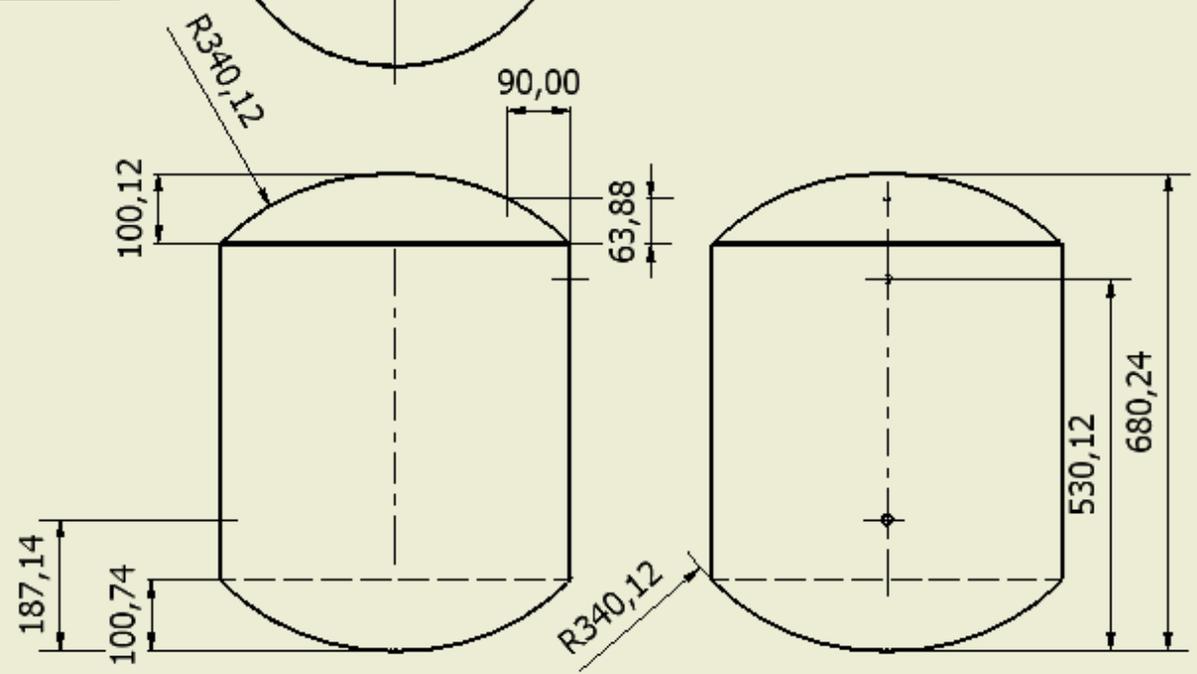
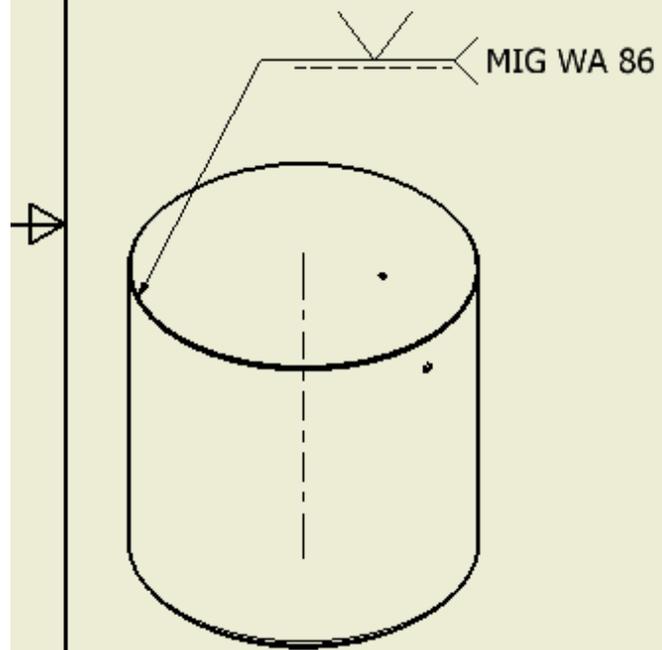


Diseño de Daniel Riveros Norma Constanza	Tolerancias: ±1 mm ± 1"	Medidas: Cotas en mm	Escala: 1:16	Fecha 06 / 09 / 2012	Proyección: 	
Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.			Nombre: Estructura base tanque almacenador de gas (Elemento 23)			
Biodigestor.			Edición 1	Hoja 9 / 13		

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
24	1	TG3	Tanque de almacenamiento de gas metano en acero galvanizado

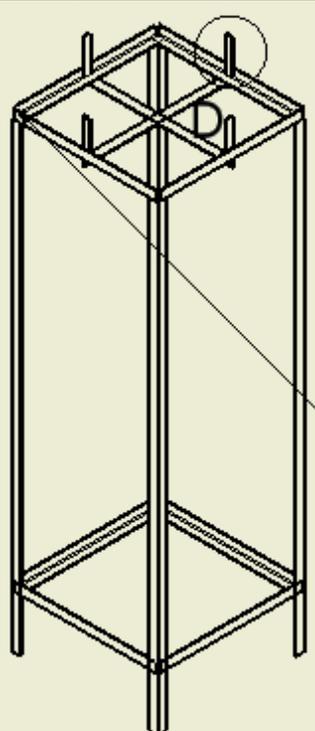
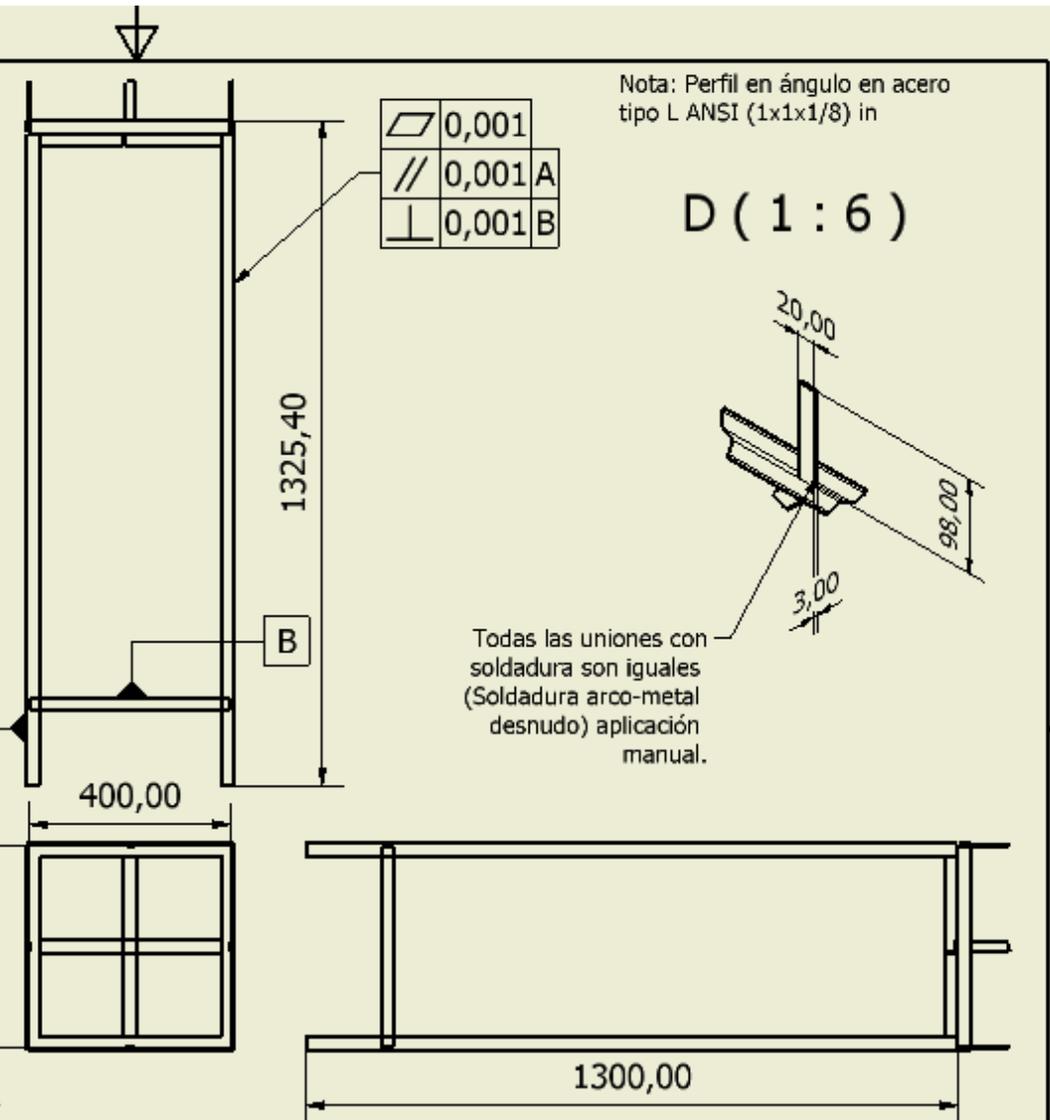


Nota: Espesor de tanque calibre 18 en acero galvanizado



Diseño de Daniel Riveros Norma Constanza	Tolerancias: ±1 mm ± 1°	Medidas: Cotas en mm	Escala: 1:10	Fecha 06 / 09 / 2012	Proyección: 	
Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.			Nombre: Tanque de almacenamiento gas metano (Elemento 24)			
			Biodigestor.	Edición 1	Hoja 10 / 13	

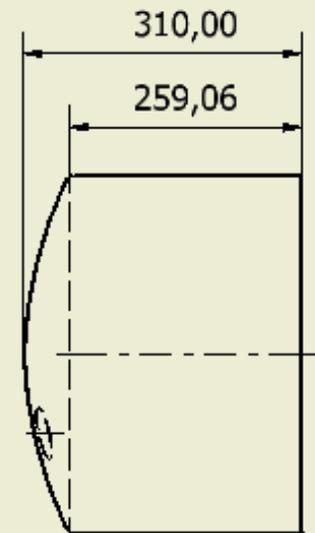
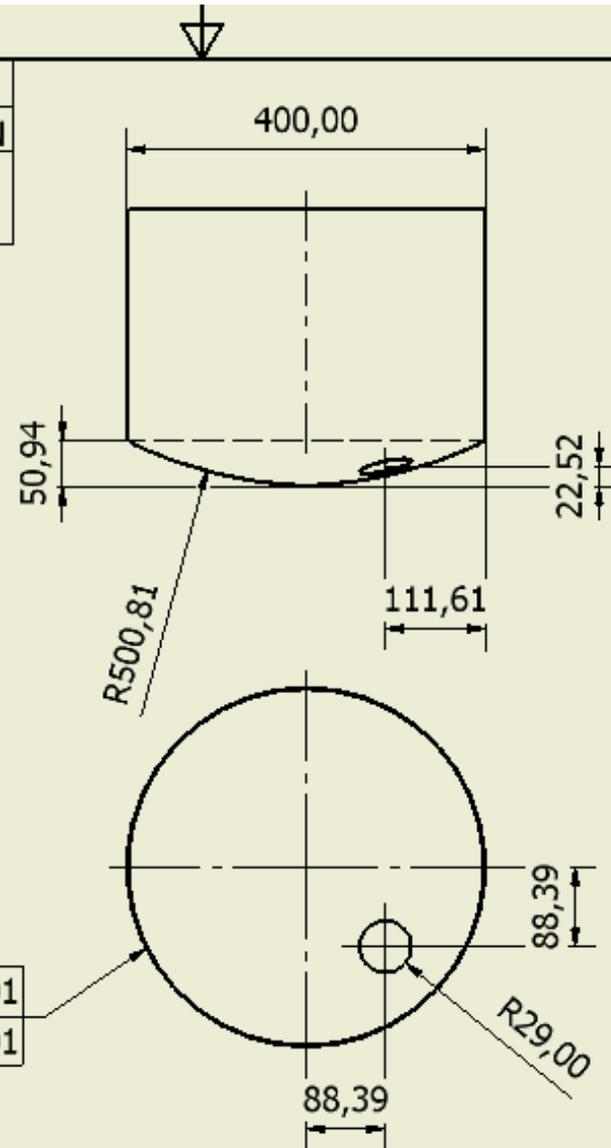
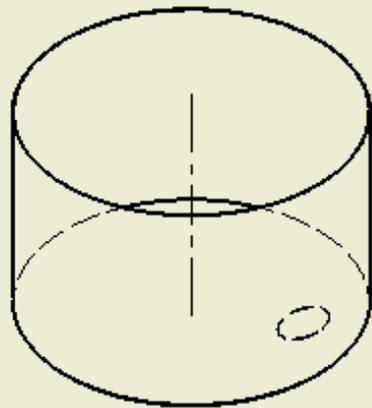
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
26	9200,00 mm	AISC - L 1 x 1/8	Estructura Base del tanque de alimentación en perfil ANSI 1x1x1/8 in
31	4	Platina	Platinas para fijación de tanque en acero



Diseño de Daniel Riveros Norma Constanza	Tolerancias: ±1 mm ± 1"	Medidas: Cotas en mm	Escala: 1:14	Fecha: 06 / 09 / 2012	Proyección:	
Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.			Nombre: Estructura base del tanque de alimentación (Elemento 26)			
Biodigestor.			Edición: 1	Hoja: 11 / 13		

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
27	1	TA1	Tanque de alimentación

Nota: Grosor del Polímero calibre 16



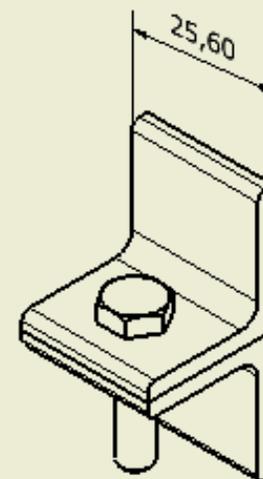
○	0,001
◎	0,001

Diseño de Daniel Riveros Norma Constanza	Tolerancias: ±1 mm ± 1°	Medidas: Cotas en mm	Escala: 1:8	Fecha 06 / 09 / 2012	Proyección: 	
Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.			Nombre: Tanque de alimentación (Elemento 27)			
Biodigestor.			Edición 1	Hoja 12 / 13		

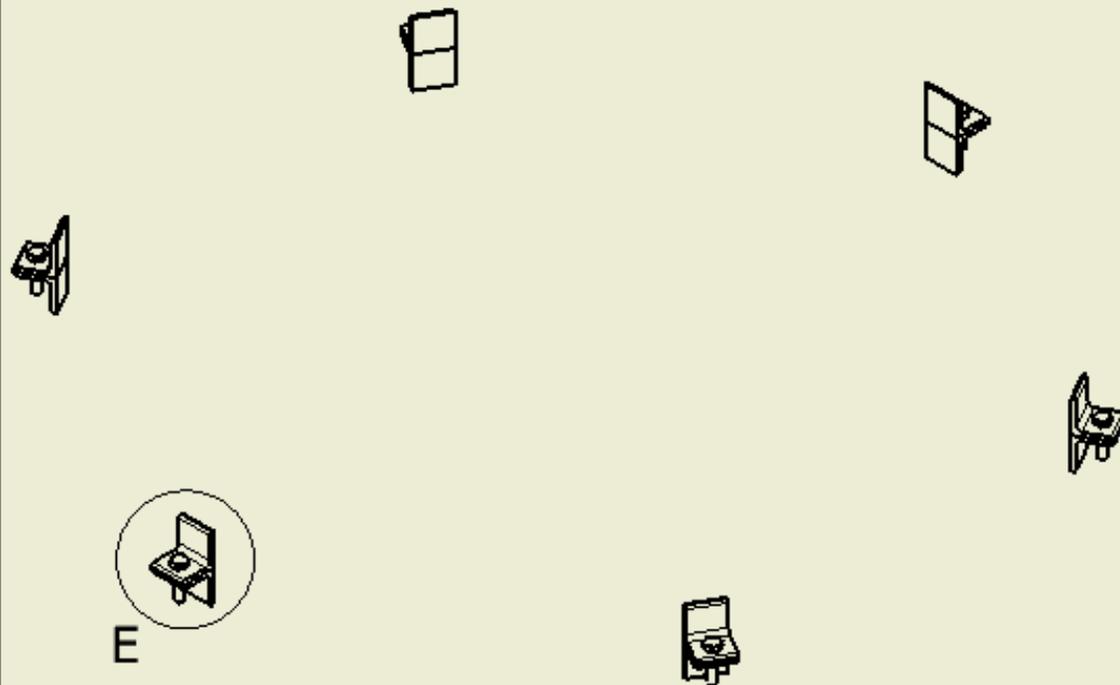


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
32	304,800 mm	AISC - L 1 x 1 x 1/8 - 1	Sección angular de acero
33	6	ISO 4017 - M6 x 25	Perno de cabeza-hex
34	6	ISO 4036 - M6	Tuerca hexagonal

E ( 1 : 1 )

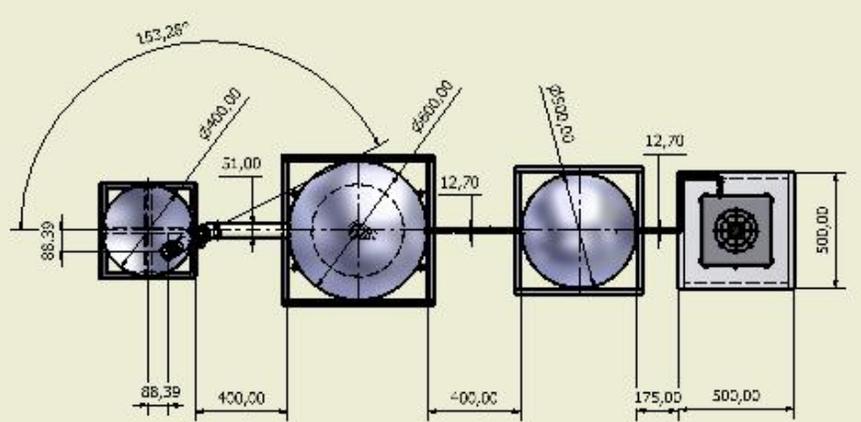
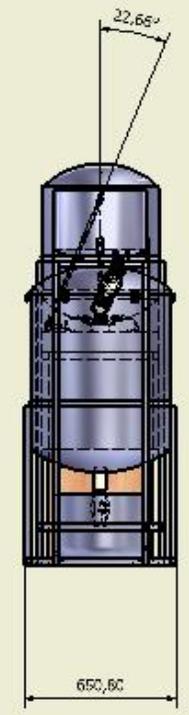
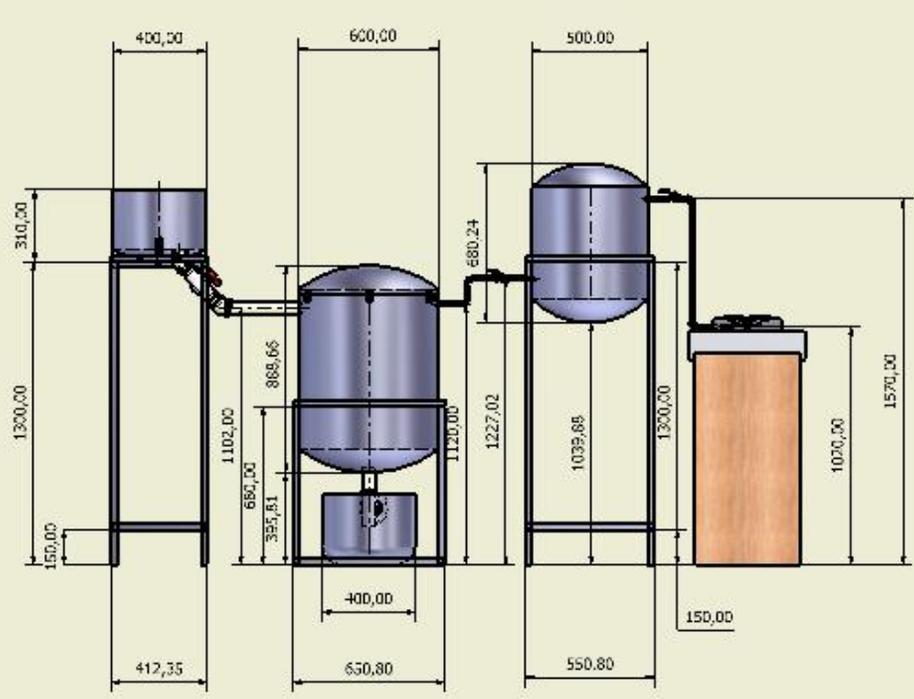


Perfil en L de 1x1 in.  
6 piezas identicas  
simetricas  
a 60 grados.



Diseño de Daniel Riveros Norma Constanza	Tolerancias: ±1 mm ± 1°	Medidas: Cotas en mm	Escala: 1:4	Fecha 06 / 09 / 2012	Proyección: 	
Diseño y construcción de un prototipo biodigestor tipo mixto para la produc- ción y almacenamiento de gas metano.			Nombre: Seguros			
			Biodigestor.		Edición 1	Hoja 13 / 13





Proyecto: 02781400 Nombre Cliente: M. S.	Área: M. S.	Fecha: 14/07/2014	Hoja: 14	Proyecto: 02781400	Estado: 	
Diseño y construcción de un prototipo biogestor tipo mixto para la producción y almacenamiento de gas metano.						
BETAW - Ingeniería de Proyectos para Medios Sólidos						
Biogestor.					Hoja: 14 / 13	

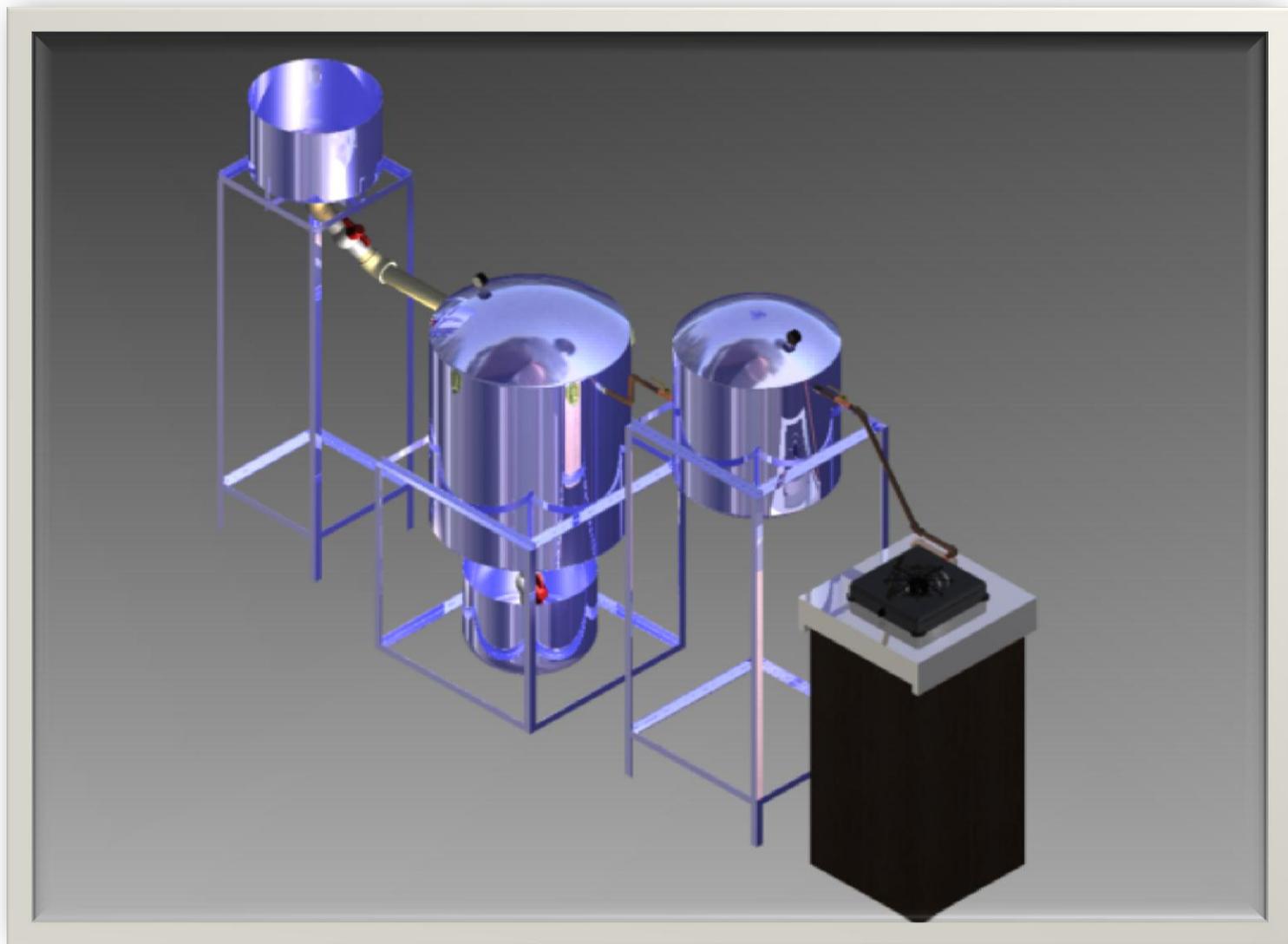
**Anexo P. Manual de Operación.**

## Tabla de contenido

Pág.

1	BIODIGESTOR TIPO MIXTO PARA LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE GAS METANO <sup>2</sup>	
2	PRECAUCIONES .....	1
3	MEDIDAS DE SEGURIDAD .....	1
4	TANQUE REACTOR .....	2
5	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GAS.....	3
6	DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL PROTOTIPO BIODIGESTOR TIPO MIXTO .....	1
7	MEDIDAS .....	2
8	OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR .....	1
8.1	Carga.....	1
8.2	Apertura de válvula.....	2
8.3	Generación de Gas Metano .....	3
9	RECOMENDACIONES.....	4

# 14 BIODIGESTOR TIPO MIXTO PARA LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE GAS METANO



## 15 PRECAUCIONES



Este manual contiene información importante para evitar daños y un mal funcionamiento del prototipo, un mal uso puede ocasionar daños irreparables en sus componentes y en lo que lo rodea.



Cuando el prototipo esté en funcionamiento, alejar objetos que puedan generar llama (fósforos, briquets, velas, etc.,)



**¡Cuidado! No es un juego, se puede ocasionar un desastre.**

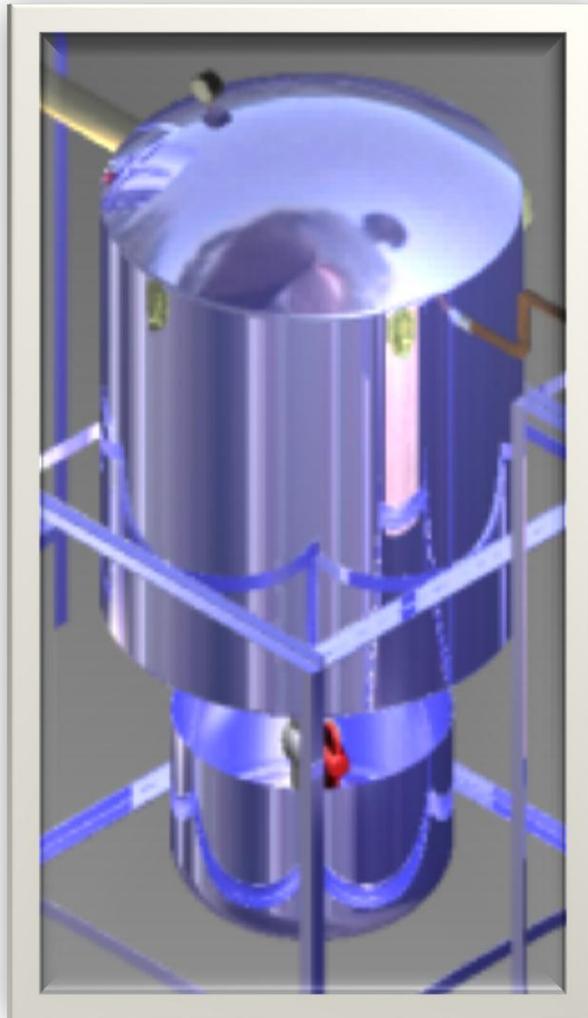
## 16 MEDIDAS DE SEGURIDAD

Si usted es usuario del prototipo Biodigestor Tipo Mixto, tome en cuenta las siguientes medidas de seguridad:

- ❖ El Biodigestor debe estar ensamblado a todos sus componentes.
- ❖ También debe tener las tapas acopladas así como los sistemas de evacuación de Biogás.
- ❖ Antes de realizar la primera carga del reactor se debe verificar que las tuberías y mangueras están correctamente conectadas, sin existir fugas.
- ❖ El cuerpo del cilindro y todas sus válvulas deberán de estar cerradas
- ❖ El cilindro deberá estar ubicado en un lugar ventilado, nivelado y alejado por lo menos 3 metros de distancia de flama, apagadores eléctricos, etc.
- ❖ Se deberá contar con fácil acceso al cilindro.

## 17 TANQUE REACTOR

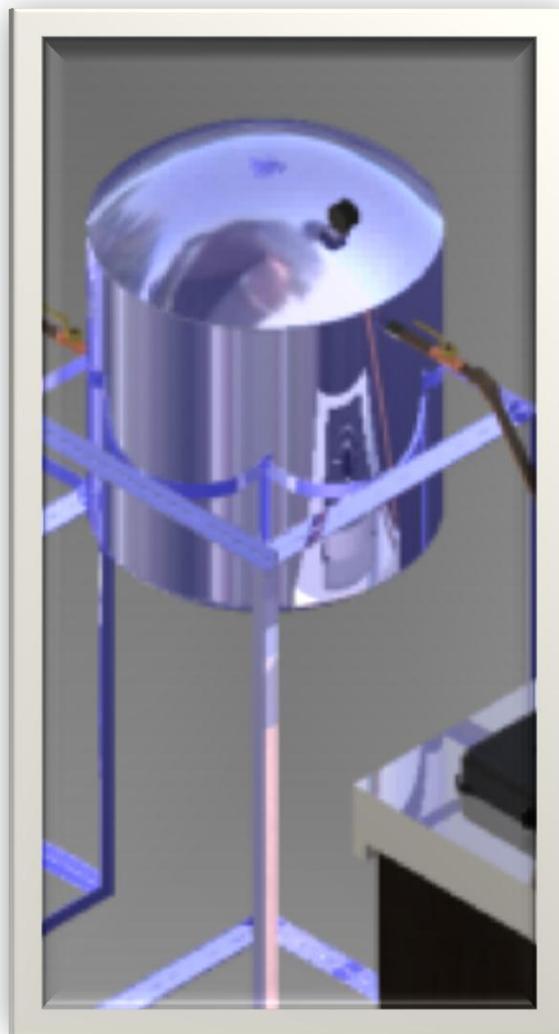
Tiene que estar en un lugar perfectamente ventilado; también es imperativo no colocar objetos encima del tanque, ya que esto entorpecerá la tarea del surtido cotidiano y en una emergencia se perdería tiempo valioso para liberar el tanque de los objetos que lo cubren.



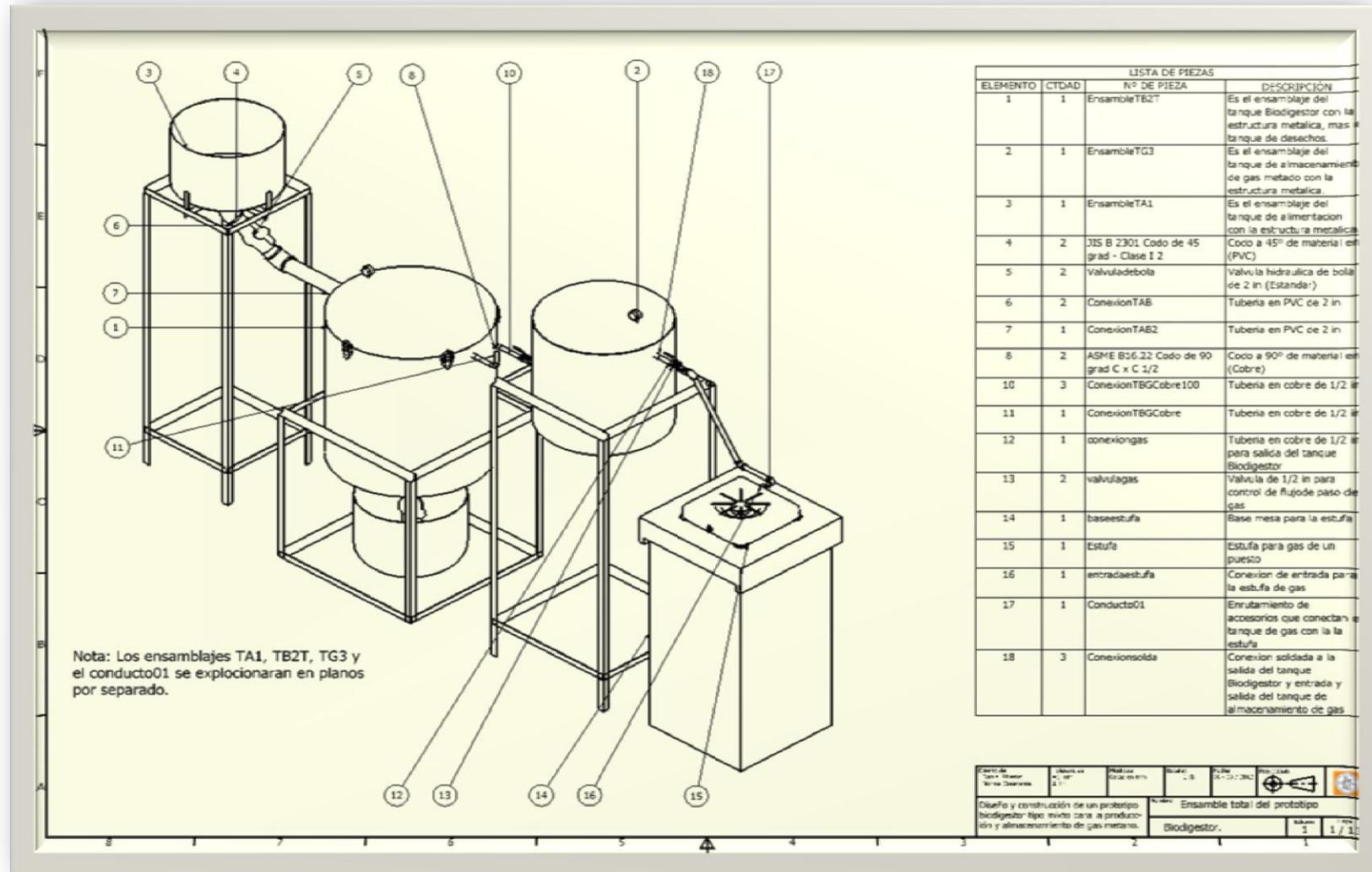
## 18 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GAS

Tiene que estar en un lugar perfectamente ventilado, ensamblado con el tanque Reactor; todas las partes del tanque estacionario deben estar bien cuidadas, la pintura y la base libres de raspaduras u oxidación para evitar grietas y fugas.

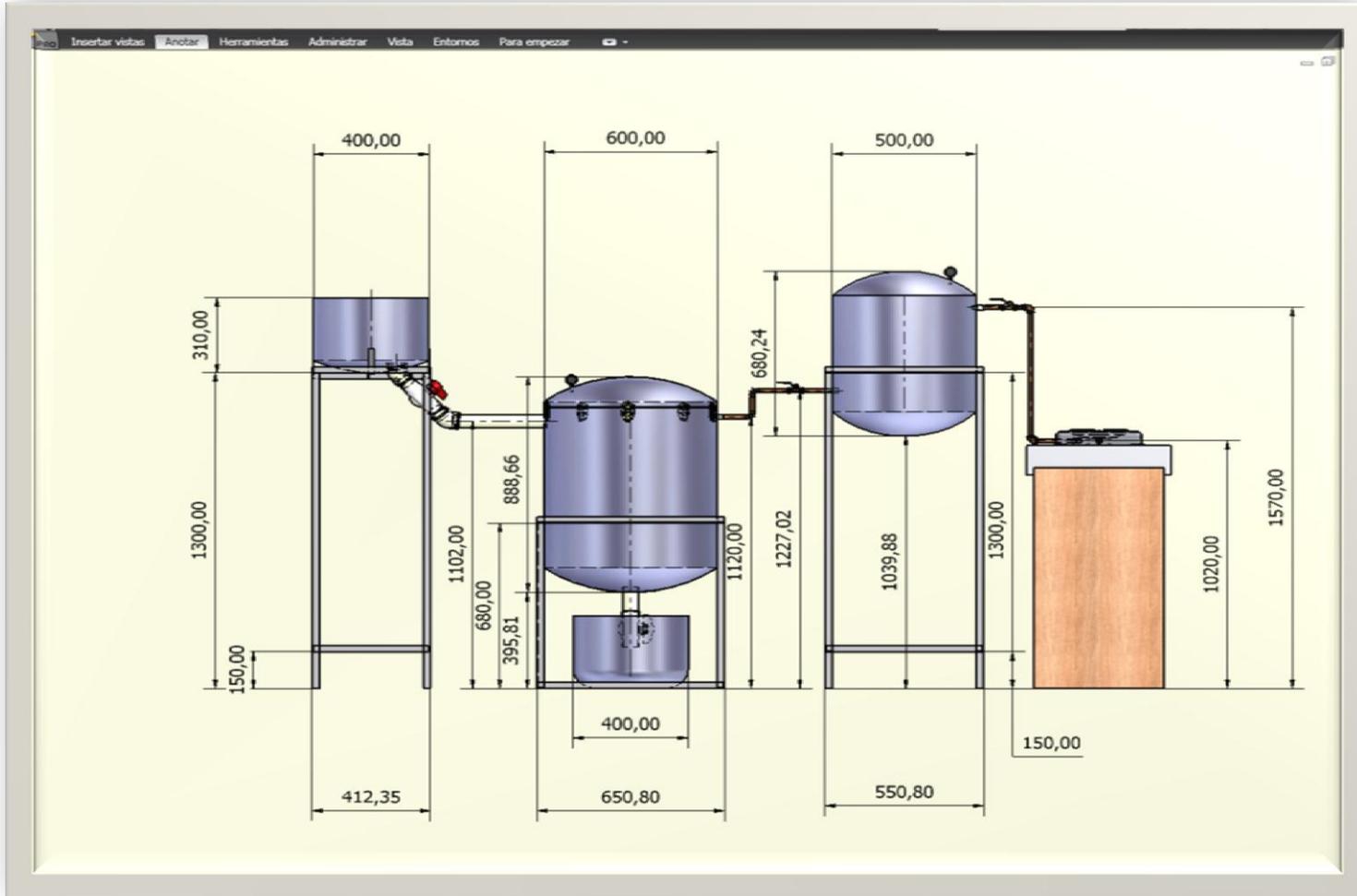
No colocar objetos encima del tanque, ya que esto entorpecerá la tarea del surtido cotidiano y en una emergencia se perdería tiempo valioso para liberar el tanque de los objetos que lo cubren.



## 19 DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL PROTOTIPO BIODIGESTOR TIPO MIXTO



# 20 MEDIDAS



## 21 OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR

### 21.1 Carga

El digester debe ser cargado por el ducto más alto (*carga*). La carga debe hacerse de acuerdo a la cantidad de Biomasa y agua que se ha calculado como carga del reactor (6 KILOGRAMOS DE MASA Y 6 LITROS DE AGUA).

El Biodigester comienza a funcionar, pero se debe tener en cuenta que el proceso de Digestión Anaeróbica solo produce Biogás días después de la primera carga, este tiempo depende de la temperatura del sistema, a plena carga se estime que el digester ya esté produciendo el Biogás para el que es diseñado unos quince días después de que sea cargado por completo, así que los procesos de carga deben ser hechos lo más rápido posible, para evitar pérdidas.



## 21.2 Apertura de válvula

Cuando el tanque colector contenga la carga, se abre la válvula para dar paso a la mezcla por la tubería hacia el tanque Reactor.



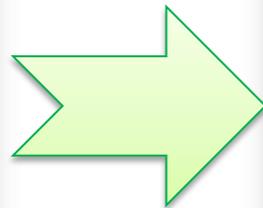
Cuando la mezcla haya pasado en su totalidad, se cierra la válvula para evitar la entrada de oxígeno, dando paso a la fermentación anaerobia; el tiempo de retención calculado para la carga es de 15 días aproximadamente.

### 21.3 Generación de Gas Metano

A medida que transcurre el tiempo de retención y teniendo en cuenta el monitoreo de la instrumentación, se puede observar el aumento de la presión, lo que indica que se está produciendo gas y es necesario llevarlo hacia el tanque de Almacenamiento de Gas. Se abre la válvula de gas.

De acuerdo al tiempo de retención aproximado para la carga, es necesario cerrar la válvula de gas, para evitar que se devuelva y así poderlo almacenar en el tanque de almacenamiento.

Cuando el gas producido se encuentre en el tanque de almacenamiento, ya es posible utilizarlo.



## 22 RECOMENDACIONES

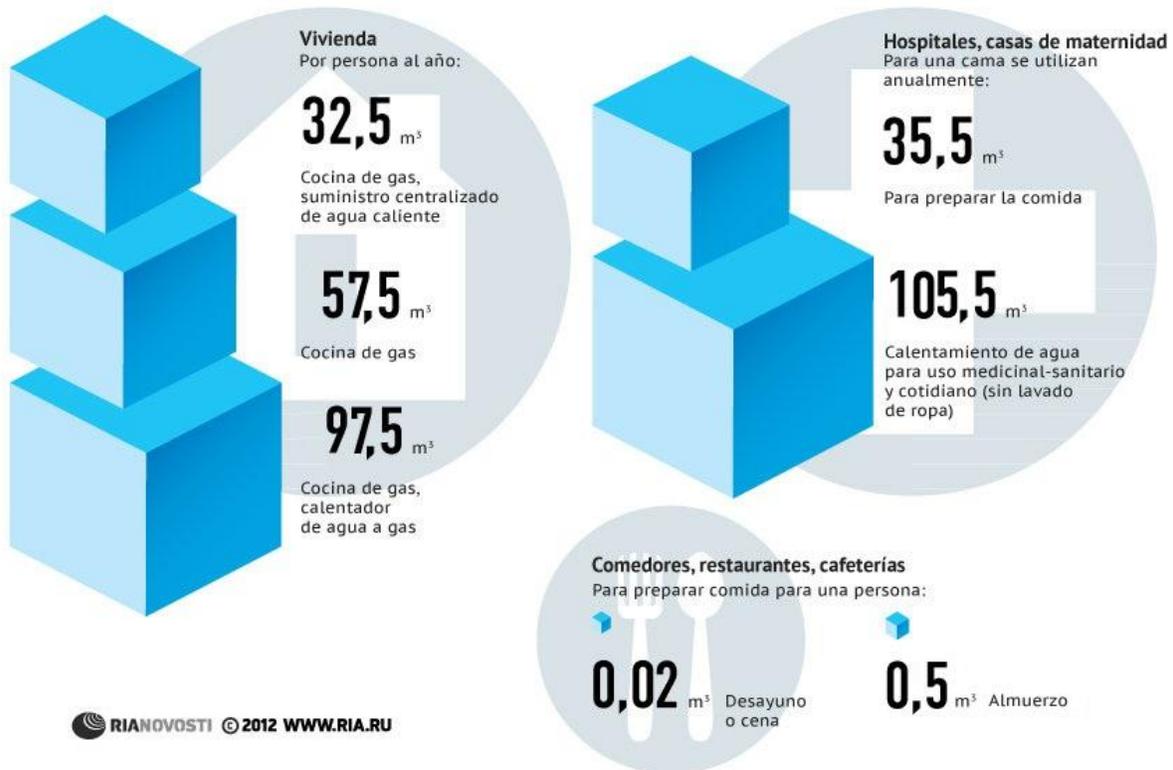
- En lugares fríos donde se encuentre el Biodigestor es necesario el uso de fuentes auxiliares de calor para acelerar el proceso de fermentación para aumentar la producción de biogás.
- Recomendable que dentro del Biodigestor la mezcla contenga de 6 a 10 % de sólidos secos. Un exceso de agua reduce la producción de biogás, y una insuficiencia de agua produce un lodo denso de difícil manipulación.
- Si el biogás da una llama amarilla, será necesario agregar agua con cal por el tanque de alimentación del Biodigestor para neutralizar su acidez.
- El sellado de todas las uniones y juntas a rosca debe garantizarse aplicando una película sintética de material específico para este fin.
- Tener en cuenta la calidad de los insumos y accesorios utilizados y demás componentes del sistema, respetando las especificaciones técnicas requeridas para el proyecto.

**Anexo Q.** Un metro Cúbico de gas es mucho o es poco.

Fuente: **RIANovosti 2012**

# Un metro cúbico de gas ¿es mucho o poco?

¿Cuántos metros cúbicos de gas natural se utilizan para calentar la vivienda y preparar comida?

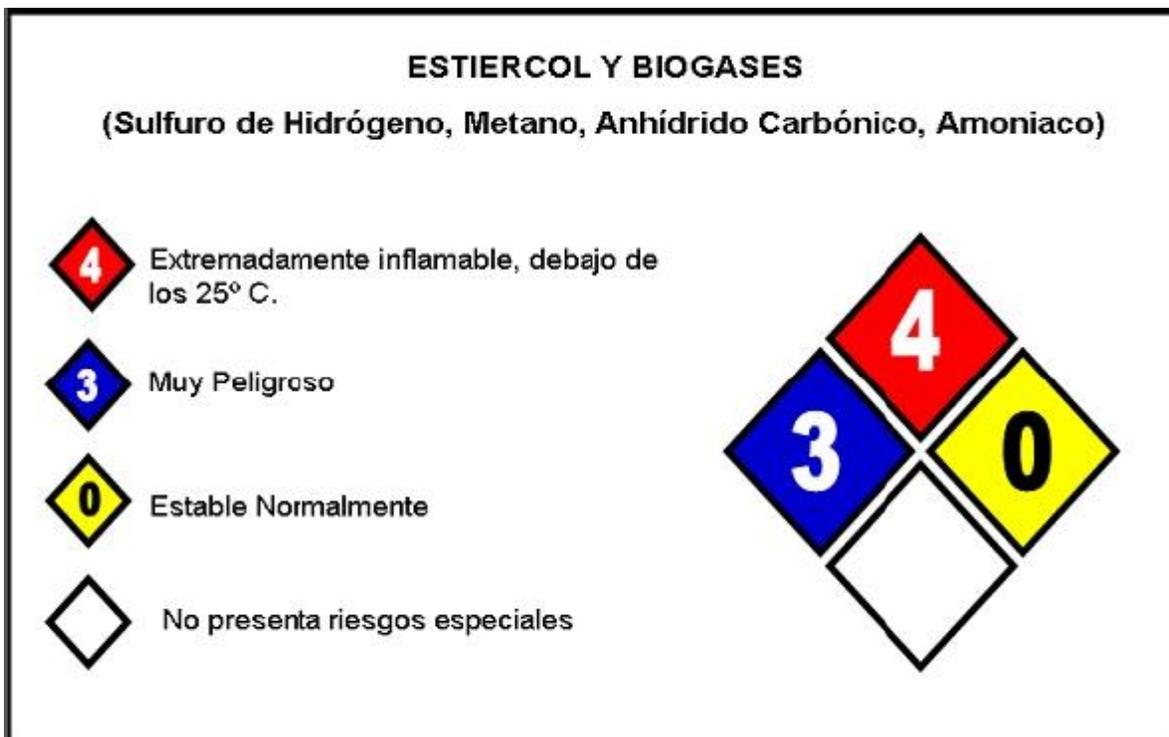


**Anexo R.** Normativa de Seguridad Industrial para el Gas Metano.  
Colores y señales de seguridad según la norma IRAM 10005

Es un sistema de señales de seguridad de fácil reconocimiento por parte del usuario, evitando confusiones y evitando en la medida de lo posible pérdidas de tiempo en situaciones de emergencia. La función de los colores y señales de seguridad es atraer la atención sobre lugares, objetos o situaciones que puedan provocar accidentes u originar riesgos a la salud, así como indicar la ubicación de dispositivos o equipos que tengan importancia desde el punto de vista de seguridad.

### Aplicación de Rombo NFPA (Diamante de fuego)

Establece un sistema de identificación de riesgos para que en un eventual incendio o emergencia, las personas afectadas puedan reconocer los riesgos de los materiales respecto del fuego, aunque éstos no resulten evidentes. Este código ha sido creado para la utilización específica de los cuerpos de bomberos por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (National Fire Protection Association). Consiste en una etiqueta que consta del nombre del material y cuatro secciones con un color asignado en cada caso. Azul para los riesgos hacia la salud, Rojo riesgos de inflamabilidad, Amarillo reactividad del producto y Blanco para los riesgos especiales del producto.



Aplicación del Rombo NFPA para el estiércol y biogás (en su mayoría metano)

### **SALUD 3**



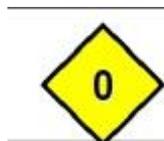
- Lesión grave que requiere atención inmediata.
- Muy irritante o con efectos irreversibles en piel o córnea (opacidad).
- Inhalación: CL50 mayor que 0.2 hasta 2 mg/l o mayor que 20 hasta 200 ppm
- Causan daños serios o permanentes bajo condiciones de emergencia.
- Sustancias corrosivas para ojos, piel y aparato respiratorio.

### **INFLAMABILIDAD 4**



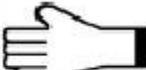
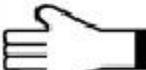
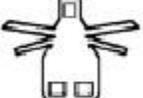
- Sustancias que vaporizan rápida o completamente a presión atmosférica y a temperatura ambiente normal, o que se dispersan con facilidad en el aire y que arden fácilmente.
- Gases inflamables
- Sustancias criogénicas inflamables.
- Punto de ignición <22.8 °C
- Punto de ebullición <37.8 °C
- Sustancias que arden espontáneamente o cuando se exponen al aire

### **REACTIVIDAD 0**



- Sustancias que son estables normalmente, aún bajo condiciones de fuego.
- Sustancias que no reaccionan con el agua.
- Sustancias que no exhiben una reacción exotérmica a temperaturas menores o iguales a 500 °C cuando son probadas por calorimetría diferencial.
- Sustancias que son estables normalmente, pero que pueden convertirse en inestables a ciertas temperaturas y presiones.
- Sustancias que reaccionan vigorosamente con el agua, pero no violentamente.
- Sustancias que cambian o se descomponen al exponerse al aire, la luz o la humedad.

**Abreviación: Letras para designar equipo obligatorio para personal**

Para la Letra:	Utilice el equipo:			
A		 LENTES		
B		 LENTES	 GUANTES	
C		 LENTES	 GUANTES	 MANDIL
D		 CARETA	 GUANTES	 MANDIL
E		 LENTES	 GUANTES	 RESPIRADOR PARA POLVOS