

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño de un Sistema Piloto de Tratamiento de Desechos Urbanos para
un Mercado de Transferencia de Víveres"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Carlos Alberto Roldán Macías

Edison Javier Velaña Barberan

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Dedico esta materia integradora a Dios. A mis padres el Sr. Mecías Velaña y la Sra. María Barberan quienes me dieron todo su apoyo durante mi vida personal y académica. Al Sr. Ángel Jaramillo, al Sr. Agustín Macías a mis maestros y amigos, gracias a su ayuda he podido desarrollar este proyecto. A todos ellos mis más sinceros agradecimientos desde lo más profundo de mi ser.

Edison Javier Velaña Barberán

Dedico este proyecto final de graduación a mi madre la Sra. Maryi María Macías Resabala quien siempre fue mi apoyo fundamental para la obtención de este logro, a mis familiares y amigos.

Mi agradecimiento a los profesores de la Escuela Superior Politécnica de Litoral por la formación impartida durante mi formación como profesional.

Carlos Alberto Roldán Macías

DECLARACIÓN EXPRESA

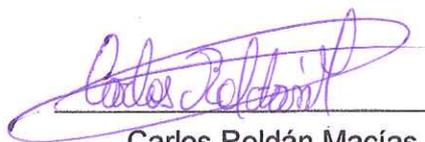
“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Carlos Alberto Roldán Macías

Edison Javier Velaña Barberan

Juan Peralta Jaramillo, Ph.D.

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Carlos Roldán Macías
Autor 1



Edison Velaña Barberan
Autor 2



Juan Peralta Jaramillo, Ph.D.
Tutor de Materia Integradora

RESUMEN

Hoy en día en el Ecuador, poco a poco se está implementando sistemas de tratamiento de residuos. Debido al incremento de la contaminación ambiental producido por la acumulación de desechos, se ha ido estableciendo procesos de digestión que disminuyan ésta acumulación de desechos y utilizarlo en procesos productivos.

El proyecto se enfoca en diseñar un sistema de tratamiento de residuos sólidos a partir de un proceso de digestión anaeróbica generados por el mercado municipal del cantón Marcelino Maridueña, Provincia del Guayas, con la finalidad de generar biogás que será utilizado para calentar la mezcla de desechos y biofertilizante, mediante la combustión del biogás.

Realizado el proyecto, se seleccionó el mercado municipal de la Ciudad Marcelino Maridueña, debido a que en éste lugar no se tiene ningún sistema de recolección de desechos ni mucho menos un sistema de tratamiento de desechos con la finalidad de proponer el proyecto al gobierno municipal.

Como resultado se pudo obtener un esquema compuesto por un sistema elevador de residuos que permita alimentar el digestor, cuyos cálculos están representados por formulas en el capítulo 2. Un biodigestor que permita el tratamiento de residuos de alrededor de 3 a 4 metros cúbicos semanales; generando biogás que se puede utilizar para calentar el agua del serpentín en el sistema de calentamiento de la mezcla, y la producción de biofertilizante para uso agrícola de la zona. Y finalmente, un desgasificador que permita optimizar el proceso y disminuir los tiempos de retención en el biodigestor.

En este proyecto se pudo establecer un análisis de costos y beneficios que se puede aprovechar del diseño, y de ésta manera se pueda implementar éste tipo de procesos en el país, y el cliente pueda conocer los parámetros de funcionamiento del proyecto de tratamiento de residuos.

Palabras Clave: Biodigestor, Biofertilizante, Biogás, Sistema de alimentación, Sistema elevador, Metano, Tiempo de retención, tratamiento de residuos.

ABSTRACT

Nowadays in Ecuador, waste treatment systems are being implemented little by little. Due to the increase in environmental pollution produced by the accumulation of waste, it has been establishing digestion processes that reduce this accumulation of waste and use it in production processes.

The project focuses on designing a solid waste treatment system based on an anaerobic digestion process generated by Marcelino Maridueña's municipal market, province of Guayas, with the purpose of generating biogas that will be used to heat the waste mixture and biofertilizer, through the combustion of biogas.

Once the project was completed, the municipal market of the City Marcelino Maridueña was selected, because in this place there is no waste collection system, much less a waste treatment system with the purpose of proposing the project to the municipal government. .

As a result, it was possible to obtain a scheme composed of a waste elevator system that allows feeding the digester, whose calculations are represented by formulas in chapter 2. A biodigester that allows the treatment of waste of around 3 to 4 cubic meters per week; generating biogas that can be used to heat the coil water in the heating system of the mixture, and the production of biofertilizer for agricultural use in the area. And finally, a degasser that allows to optimize the process and reduce the retention times in the biodigester.

In this project it was possible to establish a cost and benefit analysis that can take advantage of the design, and in this way this type of processes can be implemented in the country, and the client can know the operating parameters of the waste treatment project.

Keywords: *Biodigester, Biofertilizer, Biogas, Feeding system, Elevator system, Methane, Retention time, waste treatment.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGIA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 Objetivo general.....	1
1.2.2 Objetivos específicos	1
1.3. Marco teórico.....	2
1.3.1 Residuos	2
1.3.2 Residuos sólidos urbanos	2
1.3.3 Clasificación de residuos	2
1.3.4 Disposición temporal de residuos	3
1.3.5 Procesos De tratamiento de residuos	5
1.3.6 Digestión Anaeróbica	6
1.3.7 Tecnologías de digestión anaerobia	7
1.3.8 Digestores de tecnologías básicas	8
1.3.9 Digestores de tecnologías avanzadas	9
1.3.10 Componentes de un biodigestor anaeróbico	10
1.3.11 Biogás	12
CAPÍTULO 2.....	13
2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO	13
2.1 Selección del tipo de tratamiento de residuos	13
2.2 Selección del tipo de biodigestor	14
2.3 Selección del tipo de alimentación del biodigestor	15
2.4 Proceso esquemático de diseño del sistema	17

2.4.1 Recolección y selección de los residuos sólidos urbanos (RSU).....	18
2.4.2 Diseño del sistema elevador de residuos	18
2.4.3 Tipo de generación de biogás	20
2.4.4 Cálculo de Biogás y Biofertilizante	21
2.4.5 Cálculo de la geometría del biodigestor	24
2.4.6 Cálculo de transferencia de calor de los calentadores	28
2.4.7 Cálculo de las dimensiones del mezclador	31
2.4.8 Cálculo de la geometría del desgasificador	35
2.4.9 Diseño y construcción del biodigestor	36
CAPÍTULO 3.....	37
3. RESULTADOS	37
3.1 Selección del tipo de biodigestor	37
3.1.1 Cálculo del espesor de las paredes del biodigestor	38
3.1.2 Normativa para la construcción de tanques de almacenamiento	39
3.2 Dimensionamiento del sistema elevador	40
3.1 Selección del tipo de biodigestor	41
3.3.1 Cálculo del espesor de las aspas	42
3.4 Selección de los accesorios del biodigestor	43
3.5 Diseño del desgasificador	47
3.6 Análisis de Costos	48
3.6.1 Costos del elevador	48
3.6.2 Costos del desgasificador	49
3.6.3 Costo del biodigestor	50
3.6.4 Costos de construcción	51
3.6.5 Costo total	51
3.6.6 Cálculo del VAN y TIR	52
CAPÍTULO 4.....	55
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	55
4.1. Conclusiones	55
4.2. Recomendaciones	56
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	
PLANOS ESQUEMÁTICOS	

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero)
BTU	Unidad Inglesa Térmica (British thermal unit)
DIN	Organismo Nacional de Normalización de Alemania
BOE	Código de Residuos y Sustancias Peligrosas en España
TULSMA	Ley de las políticas básicas ambientales del Ecuador
RSU	Residuos sólidos urbanos
TRH	Tiempo de residencia hidráulico
FRP	Fibra de vidrio reforzado en plástico
TRS	Tiempos de retención de sólidos
ST	Sólidos Totales
SV	Sólidos Volátiles
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society of Testing Materials
PEAD	Polietileno de alta densidad
PSI	Pressure Square Inches
PVC	Policloruro de vinilo
RPM	Revoluciones por minuto
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
atm	Atmósfera
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
N	Newton
C/N	Carbono/Nitrógeno
MPa	Mega Pascal
σ	Esfuerzo
Psi	Libra-fuerza por pulgada cuadrada
Kg	Kilogramo
m ³	Metros cúbicos
mm	Milímetro
lb	Libras
W	Watts
m	Metro
K	Grados Kelvin
Pulg	Pulgada
hr	Hora
mg	miligramo
m ²	Metro cuadrado
°C	Grados Centígrados
m ³	Metro cúbico
α	Coeficiente de difusividad térmica
K	Coeficiente de conductividad térmica
ρ	Densidad
seg	Segundo
Re	Número de Reynolds
\$	Dólares Americanos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Relleno sanitario	4
Figura 1.2. Obtención del compost	5
Figura 1.3. Proceso de obtención de energía por biodigestión	6
Figura 1.4. Digestor de campana fija	8
Figura 1.5. Tipos de biodigestor: Digestor de tambor flotante (Indio)	8
Figura 1.6. Tipos de biodigestor: Digestor tubular de polietileno	9
Figura 1.7. Tipos de biodigestor: Digestor de mezcla completa	9
Figura 1.8. Tipos de biodigestor: Digestor de contacto	10
Figura 1.9. Tipos de biodigestor: Digestor de dos fases	10
Figura 2.1. Diagrama de flujo del proceso de diseño	17
Figura 2.2. Tipos de análisis de Pandeo Lineal En Columnas	19
Figura 2.3. Esquema general de un biodigestor	24
Figura 2.4. Esquema general del volumen de campana	27
Figura 2.5. Diagrama de flujo del proceso de diseño	29
Figura 2.6. Tipos de agitadores de paletas	31
Figura 2.7. Dimensiones de agitadores	31
Figura 3.1. Teclé manual de 1 TON x 3m	40
Figura 3.2. Aspa de la turbina de disco de aspas planas	41
Figura 3.3. Coeficiente de arrastre para aspas rectangulares	42
Figura 3.4. Neplo de ½ acero galvanizado	43
Figura 3.5. a) válvulas de bola de ½ plg. b) válvula de bola de 4 plg	43
Figura 3.6. Manómetro de esfera 0-30 PSI	44
Figura 3.7. Termocupla tipo J	44
Figura 3.8. Codo de ½ x 90 PP RR	44
Figura 3.9. Sellos mecánicos	45
Figura 3.10. Motor y moto-reductor eléctrico 1/2 hp	45
Figura 3.11. a) Bomba de agua b) Bomba de agua de gasolina, GE-PW 45	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación de residuos	3
Tabla 1.2 Clasificación de residuos	3
Tabla 1.3 Características generales del biogás	12
Tabla 2.1 Clasificación de tratamiento de residuos	13
Tabla 2.2 Matriz de decisión para la selección del tipo de tratamiento	14
Tabla 2.3 Clasificación de Biodigestores	15
Tabla 2.4 Matriz de decisión para la selección del Biodigestor	15
Tabla 2.5 Tipo de alimentación del biodigestor	16
Tabla 2.6 Matriz de decisión para Tipo de alimentación	17
Tabla 2.7 Relaciones C/N de varios productos residuales	20
Tabla 2.8 Residuos vegetales y posible producción de biogás	21
Tabla 2.9 Valores de porcentajes de solidos totales y volátiles	23
Tabla 2.10 Biogás producido en función de los sólidos volátiles	23
Tabla 3.1 Espesor requerido para diseño del tanque	39
Tabla 3.2 Tabla de costos para el elevador	47
Tabla 3.3 Tabla de costos para el desgasificador	48
Tabla 3.4 Tabla de costos del biodigestor	48
Tabla 3.5 Tabla de costos de construcción	50
Tabla 3.6 Tabla de valores VAN y TIR	52

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Esquema tratamiento de residuos

PLANO 2 Estructura del sistema elevador

PLANO 3 Desgasificador

PLANO 4 Desgasificador

PLANO 5 Biodigestor

PLANO 6 Agitador

PLANO 7 Bloques montantes x2

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

El manejo apropiado de los desechos sólidos es una problemática que afecta a todas las ciudades y cantones del país. En la actualidad, grandes cantidades de desperdicios son arrojados a botaderos de basura sin ningún tratamiento para su disposición final. Esta práctica genera contaminación del recurso suelo, agua y aire afectando el bioma.

Un punto de generación de desechos sólidos son los denominados puntos de transferencia de víveres, que a excepción de las ciudades principales del país, no se cuenta con gestores apropiados para la disposición final. Un ejemplo de esta problemática es el mercado municipal del cantón Marcelino Maridueña; el cual genera entre 3 a 4 metros cúbicos de desechos semanales que finalmente son trasladados hacia el botadero municipal. El presente proyecto propone el diseño de un sistema piloto de tratamiento de desechos sólidos urbanos generados en este mercado municipal, con el fin de reducir impactos ambientales que puedan afectar directamente a los pobladores de la ciudad.

La propuesta plantea usar el proceso de biodigestión para la obtención de fertilizante por medio del biol que se genere y además de producir biogás como producto secundario de proceso.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de tratamiento de residuos sólidos orgánicos a partir de proceso de digestión anaeróbica generados por el mercado municipal de la ciudad de Marcelino Maridueña, con la finalidad de generar biogás y fertilizante.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar el volumen de desechos sólidos que genera las actividades en el mercado.

- Diseñar una unidad piloto de biodigestión para el procesamiento de los desechos sólidos
- Realizar el análisis de factibilidad del sistema piloto.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Residuos

Los residuos o desechos son toda sustancia que se desperdicie o se separe con la intención de desechar en algún momento, según la ley de Residuos y suelos contaminados de España (BOE, 2016).

Desecho es cualquier tipo de sólidos o líquidos que no serán utilizados, restos en descomposición, basura no peligrosa, etc. Originado por toda persona que realiza alguna actividad comercial o alimenticia, estos desechos tienen diferente denominación dependiendo su estado físico, concepto establecido según la ley de las políticas básicas ambientales del Ecuador (TULSMA, 2003).

1.3.2 Residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son los desechos generados en las casas u hogares, tiendas de comercio, edificios y oficinas, establecimientos de servicios, así como todos los residuos que no tengan la denominación de peligrosos y que por su composición física puedan generar descomposición de la materia. Según la ley de Residuos y suelos contaminados de España (BOE, 2016). Se considera como residuos urbanos los siguientes:

- Los residuos que provienen de la limpieza de las calles, parques o zonas verdes y las playas.
- Animales muertos en descomposición, productos derivados de la madera, enseres y vehículos dañados y que estén fuera de servicio.
- Los escombros que proceden de obras civiles de construcción y reparación de edificios y domicilios.

1.3.3 Clasificación de residuos

En Ecuador, según la ley de las políticas básicas ambientales (TULSMA, 2003), se tiene la siguiente clasificación de residuos:

Tabla 1.1 Clasificación de residuos.

Desecho no peligroso	Desecho peligroso	Desecho corrosivo	Desecho reactivo
Cualquier tipo de productos residuales, restos, residuos o basuras no peligrosas, originados por personas naturales o jurídicas, industrias, el comercio, etc.	Desecho con características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas, infecciosas o irritantes	Es acuoso y tiene un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.5 y ser capaz de corroer el acero.	Normalmente es inestable y reacciona de forma violenta e inmediata sin detonar con el agua. Genera gases, vapores o humos tóxicos. Posee entre sus componentes, cianuros o sulfuros.

Fuente: (TULSMA, 2003).

Tabla 1.2 Clasificación de residuos.

Desecho explosivo	Desecho tóxico	Desecho inflamable	Desecho patógeno
Es explosivo, si se puede formar mezclas explosivas con agua. Es capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25 °C y 1 atm.	Residuo que debido a su cantidad, concentración o características físicas, químicas o infecciosas podrían causar o contribuir al aumento de la mortalidad.	Es inflamable; si es un líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60 °C, si no es líquido la temperatura y presión de 25 °C y 1 atm, producir fuego por fricción, adsorción de humedad o alteraciones químicas.	Si en su estructura contiene microorganismos o toxinas capaces de producir enfermedades.

Fuente: (TULSMA, 2003).

En el mercado municipal del cantón Marcelino Maridueña se tiene desechos recolectados de tipo no peligrosos los cuales son los generados en los domicilios particulares, comercios y servicios dentro del mercado.

1.3.4 Disposición Temporal de Residuos

La disposición temporal de residuos se refiere a la separación o destrucción de todos los desechos peligrosos para las personas, así como sustancias químicas o pesticidas, suelos contaminados con químicos, envases que han contenido sustancias peligrosas en algún momento. La disposición temporal puede ser a través de los rellenos sanitarios de la zona, pozos de desechos, incineración, o alguna otra técnica aprobada para la disposición de residuos, según la ley de las políticas básicas ambientales del Ecuador (TULSMA, 2003).

Botadero de cielo abierto: Un botadero es el sitio donde los residuos se depositan sin ningún tipo de tratamiento final de desechos. Este tipo de botadero funciona sin ningún criterio técnico en una zona de recarga junto a una toma de agua, drenaje, etc. En estos botaderos no existen ningún control sanitario que impida la contaminación del ambiente; el agua, el suelo y el aire son deteriorados por la formación de gases y líquidos drenados de los sólidos, polvos y malos olores. Los botaderos de basura a cielo abierto son nido y hábitat de bacterias nocivas transmisoras de enfermedades. (Hilda Salazar, 2010).

Relleno sanitario: Un relleno es una zona o zanja destinada a la disposición final de los desechos (ver figura 1.1), en el cual se toman muchas medidas para minimizar los problemas generados por otros métodos de disposición de basura como son los botaderos, estas medidas son, por ejemplo, el estudio minucioso del impacto ambiental que genera, económico y social desde la planificación y selección del lugar, hasta el estudio del lugar o zona en toda la vida útil del vertedero. (Olivera, Peralta y Peralta, 2017),

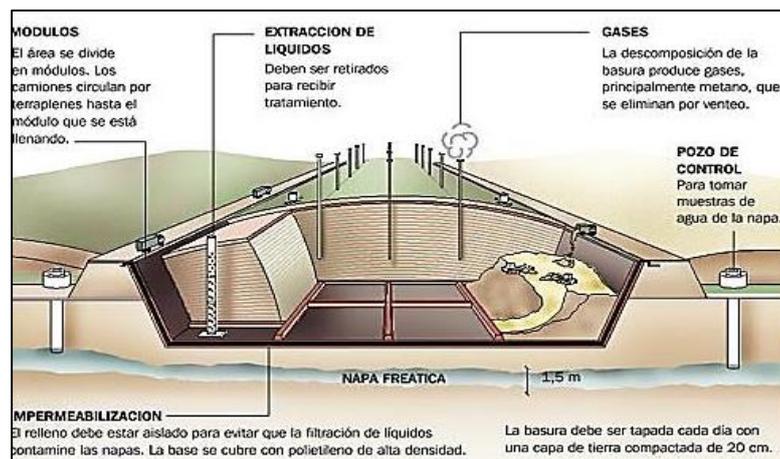


Figura 1.1. Relleno sanitario

Fuente: (<http://relleno.galeon.com/>. 2017)

En Ecuador, en el cantón Marcelino Maridueña, poseen botaderos de cielo abierto, lugar donde no tienen ningún control de los desechos arrojados en ese lugar, ocasionando una contaminación en gran potencia para las personas que trabajan en el mercado.

1.3.5 Procesos de Tratamiento de Residuos

Los desechos sólidos urbanos no deben ser reciclados, deberán ser tratados de manera adecuada a la disposición final de los desechos, con la finalidad de optimizar sus condiciones para su eliminación, según la ley de las políticas básicas ambientales del Ecuador (TULSMA, 2003). Entre estos procesos se pueden dar los siguientes:

Incineración: La incineración de residuos es tratar los residuos con la finalidad de reducir el volumen y toxicidad, destruyendo las sustancias potencialmente tóxicas a través de la oxidación de los materiales combustibles que están contenidas en el desecho. Este proceso utiliza elevadas temperaturas y un proceso de agitación para reducir la cantidad de desecho. El producto resultante son gases de combustión, líquidos y cenizas (no combustibles). (IPPC, 2011).

Compostaje y biodigestores: El compostaje es una materia o sustancia de color oscuro, cuyo contenido es una elevada carga bacteriana que aumenta la disolución de los nutrientes que contiene haciendo que puedan ser rápidamente asimilables por las raíces de las plantas, obteniendo de forma natural por descomposición aeróbica de residuos orgánicos como animales, vegetales y excrementos o heces (ver Figura 1.2). Y un biodigestor es un sistema de digestión anaerobia (sin oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el excremento, para transformar el desecho en fertilizante y biogás. (Arias, Tobías, Duarte, Santiago. 2011).

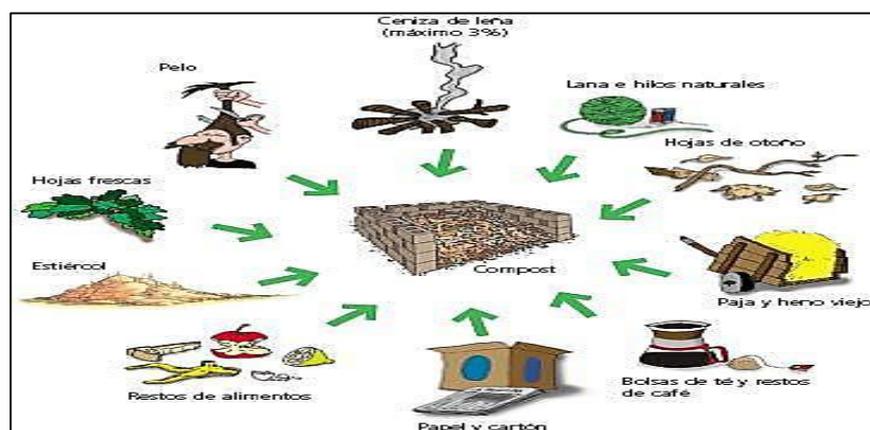


Figura 1.2. Obtención del compost

Fuente: (<http://www.cdrtcampos.es/lanatural/compostaje.htm>. 2017)

1.3.6 Digestión Anaeróbica

Es un proceso biológico degradativo en el cual, los materiales orgánicos (residuos vegetales y animales) serán convertidos en biogás, dióxido de carbono y gas metano, y una base de biofertilizante por bacterias que son sensibles a la presencia del oxígeno en su proceso de degradación. La utilización de este proceso de digestión anaeróbica hace posible convertir una gran cantidad de residuos o desechos vegetales, estiércol, líquidos residuales de las industrias alimenticias, de la industria maderera y de varias industrias químicas, en subproductos útiles para el ser humano. En este proceso de digestión más del 90% de la energía generada por oxidación directa se transforma en gas metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en el desarrollo bacteriano.

En este proceso de digestión, los microorganismos generados desempeñan una función de enzimas respiratorios y, constituyen una cadena alimenticia que tiene relación con las cadenas enzimáticas de las células aeróbicas del proceso. De esta manera, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás (ver Figura 1.3). Sin embargo, el biogás generado en el proceso está contaminado con diferentes componentes ajenos al biogás, que complican fuertemente el manejo y aprovechamiento del biogás y biofertilizante generado, considerando al mismo tiempo que, la calidad del metano generado es muy bajo y de baja capacidad calorífica. (MARÍA VARNERO, 2011).

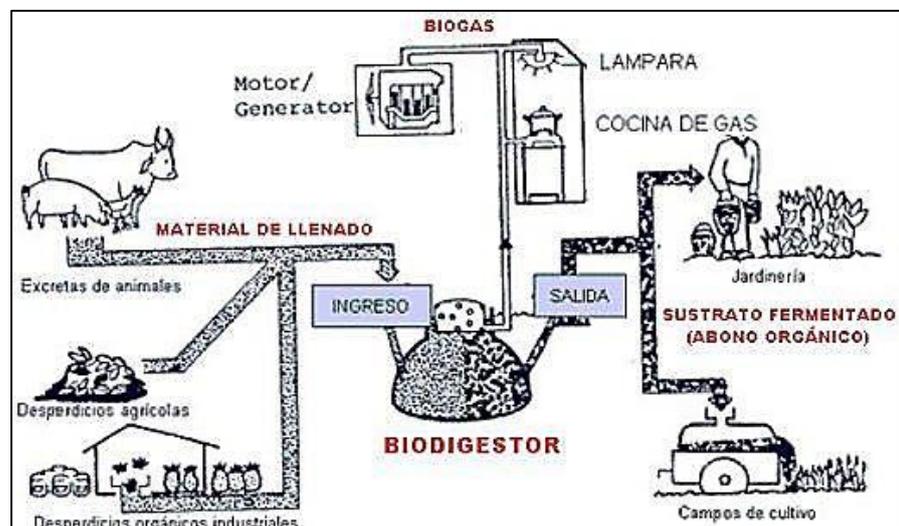


Figura 1.3. Proceso de obtención de energía por biodigestión.

Fuente: (Rodolfo Vega "Diario de un granjero de ciudad". 2011)

1.3.7 Tecnologías de digestión anaerobia

Según (NELLY CARRERAS, 2009) se tiene tecnologías de digestión anaerobias según:

En función de la frecuencia de carga:

Digestores Discontinuos: Se caracterizan por su sistema de alimentación y descarga de una sola vez y de forma total el proceso de digestión. El digestor se carga, la materia orgánica se digiere y finalizado el proceso, después de un determinado tiempo de residencia hidráulica (TRH), se purga y se vuelve a realizar la alimentación.

Digestores Continuos: Este tipo de digestores se caracterizan en una alimentación regulada por un determinado intervalo de tiempo, y así mantener un proceso de digestión de masa creciente. Cuando el proceso de digestión se estabiliza, la producción o generación de biogás es constante.

Digestores Semicontinuo: Son biodigestores diseñados como una combinación entre discontinuo y continuo. El volumen de masa que ingresa desplaza su equivalente de efluente por la salida; como resultado se tiene que el volumen de sustrato permanece constante.

En función del grado de desarrollo de la tecnología:

Tecnologías básicas: El objetivo de estas tecnologías es proporcionar energía y fertilizantes orgánicos a agricultores o productores de países con varios sectores rurales de muy baja rentabilidad. La tecnología busca digestores de mínimo costo y facilidad de mantenimiento, aunque tengan bajas eficiencias en su proceso de producción.

Tecnologías más avanzadas: Orientadas al sector agrícola y agroindustrial de rentabilidad media. Cuyo objetivo es proveer energía y solucionar problemas de contaminación ambiental. Los digestores de alta eficiencia para esta aplicación tienen mayor costo de adquisición.

1.3.8 Digestores de tecnologías básicas

Según (NELLY CARRERAS, 2009) se tiene tecnologías básicas de digestión anaerobias (BIODIGESTORES) entre las cuales se tiene:

Digestor de campana fija: Consta de una cabina subterránea con ladrillos, conocido como cámara de fermentación, y un domo fijo para el almacenamiento del biogás (ver Figura 1.4). La estructura desarrollada disminuye la complejidad de su mantenimiento periódico. Los digestores de campana fija se operan con una mezcla de con agua, como un lodo, por un tubo de entrada. Se construyen dentro de una zanja honda.

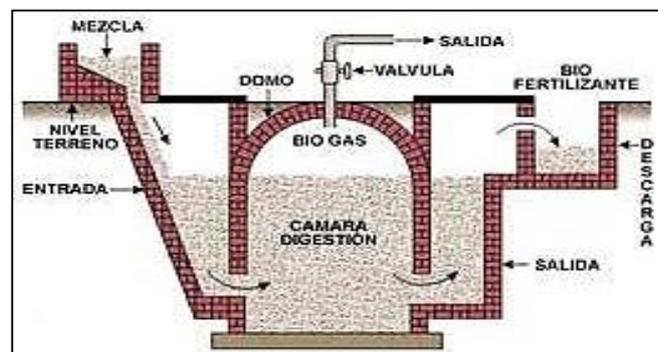


Figura 1.4. Digestor de campana fija

Fuente: (Nelly Carreras. "estrategias para el desarrollo de la energía". 2017)

Digestor de tambor flotante: Consiste en un domo en forma de un tambor, hecho por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para eliminar el problema de corrosión que afecte al proceso (ver Figura 1.5). Se construye la pared del digestor y fondo de ladrillo y cemento, a veces se usa refuerzo de hormigón. El digestor se alimenta de manera semi-continua a través de una tubería de entrada.

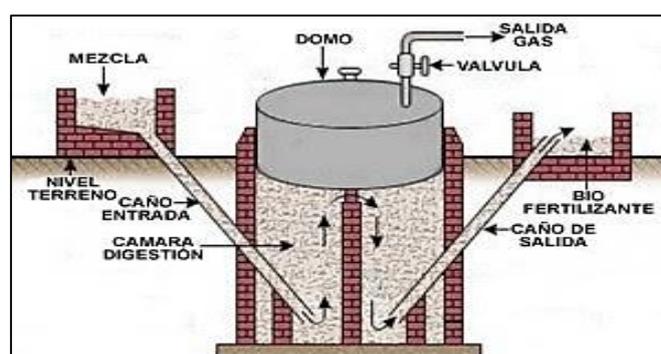


Figura 1.5. Tipos de biodigestor: Digestor de tambor flotante (Indio)

Fuente: (<http://mecanotecnia.blogspot.com/2010/04/construye-tu-propio-biodigestor-produce.html>. 2017)

Digestor tubular de polietileno: Es un digestor “modelo taiwanés” (ver Figura 1.6), cuya construcción o mano de obra son de baja complejidad y bajo costo. Los componentes fundamentales del biodigestor son: una bolsa de polietileno de espesor delgado, comúnmente dos capas, donde se almacena los residuos mezclados con el agua. El digestor es colocado en una zanja con una inclinación de 2-5%.

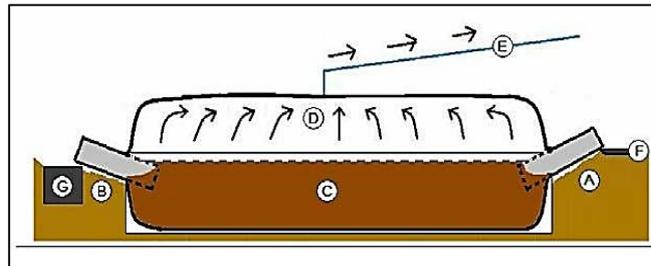


Figura 1.6. Tipos de biodigestor: Digestor tubular de polietileno

Fuente: (<http://mecanotecnia.blogspot.com/2010/04/construye-tu-propio-biodigestor-produce.html>. 2017)

1.3.9 Digestores de tecnologías avanzadas

Según (NELLY CARRERAS, 2009) se tiene tecnologías avanzadas de digestión anaerobias (BIODIGESTORES) entre las cuales se tiene:

Digestores de mezcla completa: Son técnicamente sencillos. No tienen retención de biomasa lo que se establece que sus tiempos de retención de desechos sólidos (TRS) sean iguales a sus tiempos de retención hidráulica (TRH) incrementando los valores de retención (15-30 días). Las concentraciones de biomasa que se pueden obtener son limitadas, lo que se establece que las cargas volumétricas y las producciones de biogás sean de baja volatilidad. El flujo volumétrico en el proceso sea alrededor de $1-6 \text{ kg/m}^3$.

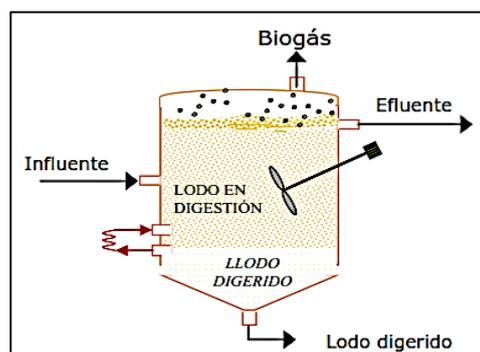


Figura 1.7. Tipos de biodigestor: Digestor de mezcla completa

Fuente: (NELLY CARRERAS. “ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGIA”. 2009).

De Contacto: Para este caso, existe una separación y recirculación de biomasa a través de un decantador (ver Figura 1.8). Esta recirculación incrementa la concentración de sólidos en el digestor, disminuyendo de esta manera el TRH (2 a 6 días) e incrementa la eficiencia del proceso (tiempo de residencia del sólido mayor al hidráulico). La velocidad de carga es de 0,5-10 kg/m³.

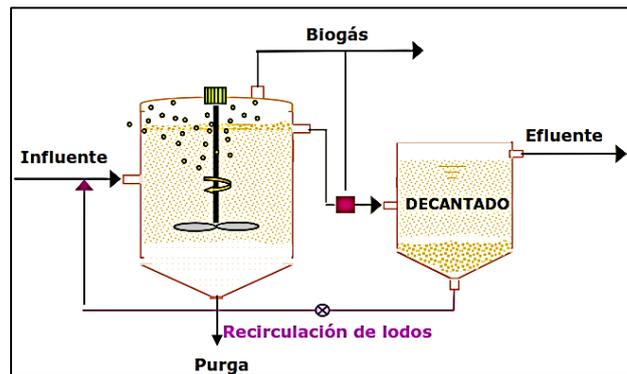


Figura 1.8. Tipos de biodigestor: Digestor de contacto

Fuente: (NELLY CARRERAS. "ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGIA". 2009).

Digestor de Dos Fases: El digestor en dos fases (ver Figura 1.9), constituido por dos biodigestores de los cuales se desarrolla una parte del proceso fermentativo de la biomasa. Esta separación de fases se diseña para condiciones ambientales óptimas de las dos concentraciones bacterianas que actúan en el proceso no son iguales, de esta manera se pueden optimizar ambos procesos por separado.

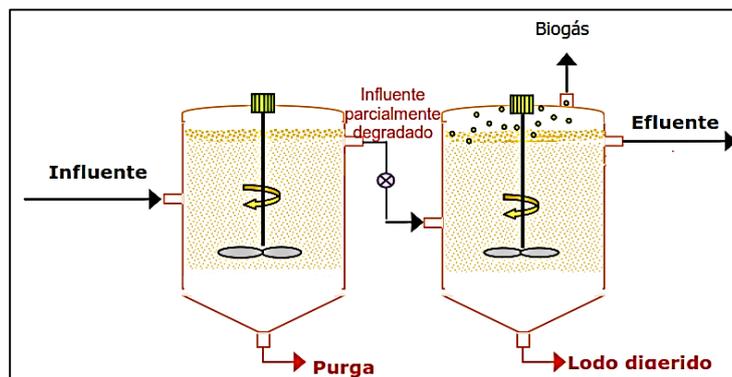


Figura 1.9. Tipos de biodigestor: Digestor de dos fases

Fuente: (NELLY CARRERAS. "ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGIA". 2009).

1.3.10 Componentes de un biodigestor anaeróbico

Los principales componentes de un biodigestor anaeróbico están constituidos los siguientes elementos (MARÍA VARNERO, 2011):

Reactor: Los reactores pueden tener forma cubica, cilíndrica o rectangular, y corresponde al dispositivo principal donde se origina el proceso bioquímico de degradación de la mezcla en su interior. Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, con la finalidad de impedir que salgan malos olores, evitar pérdida de calor, evitar la entrada del oxígeno y almacenar el biogás producido.

Entrada del afluente: El sistema de alimentación ocurre por la parte superior del digestor dependiendo del tipo de alimentación y biodigestor.

Salida del efluente: En un digestor de cubierta fija se puede diseñar varias salidas de lodos, con la finalidad de desahogar hacia otro biodigestor o decantador que permita mejorar la eficiencia del sistema.

Extracción de lodos: Las tuberías de extracción de lodos están colocados en la parte inferior de tal manera que el lodo salga del digestor de manera gravitacional. El lodo se extrae hacia un sistema de evacuación de lodos o recipiente.

Sistema de gas: El proceso de digestión o descomposición produce de 400 a 700 litros de biogás por cada kilogramo de materia degradada, según las características del desecho sólido utilizado. El gas se compone de metano y anhídrido carbónico. El sistema de gas se compone de los siguientes elementos:

- Cúpula de gas.
- Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.
- válvulas térmicas.
- Separadores de sedimentos.
- Purgadores de condensado.
- Medidores de gas.
- Manómetros.
- Reguladores de presión.
- Almacenamiento del gas.
- Quemador de los gases sobrantes.

1.3.11 Biogás

El biogás es una mezcla formada principalmente de gas metano y dióxido de carbono, y en bajas concentraciones contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido (desecho sólido) y del tipo del proceso (biodigestores). Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable y se tiene un sistema de alta eficiencia. (MARÍA VARNERO, 2011).

El biogás tiene propiedades específicas que se indican en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Características generales del biogás

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Fuente: (Deublein y Steinhauer 2008).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Selección del tipo de Tratamiento de Residuos

Para identificar de manera correcta el tipo de proceso es necesario realizar una comparación y categorización de los diferentes procesos como lo son la Incineración o digestión de residuos con el fin de determinar los aspectos más relevantes (respecto al diseñador o consumidor) para una selección adecuada. Dentro de este contexto, se debe jerarquizar parámetros o factores de selección que permitan construir una matriz de selección apropiada. Los factores seleccionados se describen a continuación:

Bajo Costo de funcionamiento: Mínima cantidad monetaria que se debe utilizar para poner en marcha el funcionamiento del biodigestor.

Bajo nivel de contaminación: Mínimo nivel de alteración nociva del estado natural del aire al funcionar el biodigestor. (Impacto ambiental)

Fácil Mantenimiento: Facilidad del manejo del biodigestor para realizar el mantenimiento del mismo.

Fácil Operación: facilidad del manejo operativo del biodigestor.

En la Tabla 2.1, se presenta la ponderación cualitativa de los diferentes factores, considerando aspectos tecnológicos y operacionales.

Tabla 2.1 Clasificación de tratamiento de residuos

Factores	Incineración	Digestión
Costo de funcionamiento	Bajo	Alto
Contaminación	Medio	Alto
Fácil mantenimiento	Bajo	Medio
Fácil operación	Medio	Alto

Fuente: (Elaboración propia).

Posteriormente se procede a construir la matriz de ponderación cuantitativa para realizar la selección del proceso que se va a desarrollar. La ponderación más alta corresponde al parámetro de contaminación, debido a su interacción con regulaciones ambientales con variables locales durante el procesamiento

de residuo, los factores más importantes que considera solucionar el municipio son:

- Bajo costo de funcionamiento: 20%
- Bajo nivel de contaminación: 35%
- Fácil mantenimiento: 25%
- Fácil operación: 20%

Tabla 2.2 Matriz de decisión para la selección del tipo de tratamiento

Factores	Incineración	Digestión
Costo de funcionamiento	0	0,2
Contaminación	0,175	0,35
Fácil mantenimiento	0	0,125
Fácil operación	0,1	0,2
Total	0,275	0,875

Fuente: (Elaboración propia).

Desarrollada la matriz de decisión, se puede observar que la opción seleccionada de mayor calificación es el proceso de digestión anaerobia.

2.2 Selección del tipo de biodigestor

A continuación, se realiza la evaluación de los diferentes tipos de tecnologías para el diseño de la unidad de biodigestión. En este apartado se considera los aspectos más relevantes desde la perspectiva del diseñador o consumidor.

Bajo costo de fabricación: Mínima cantidad monetaria que se debe utilizar para fabricar el biodigestor.

Fácil Mantenimiento: Facilidad para actividades de mantenimiento del biodigestor.

Eficiencia: Capacidad de conversión de los residuos a productos secundarios o cantidad de energía originada por la descomposición de los desechos.

Fácil Operación: Facilidad del manejo operativo del biodigestor.

En la Tabla 2.3, se presenta la ponderación cualitativa de los diferentes factores, considerando aspectos tecnológicos y operacionales.

Tabla 2.3 Clasificación de Biodigestores

Factores	Mezcla completa	dos fases	contacto
Costo de fabricación	Medio	Bajo	Bajo
Eficiencia	Medio	Alto	Alto
Fácil mantenimiento	Alta	Bajo	Medio
Fácil operación	Alta	Medio	Medio

Fuente: (Elaboración propia).

Posteriormente se procede a construir la matriz de ponderación cuantitativa para realizar la selección de la unidad de digestión a diseñar dando como ponderación la calificación más alta a la eficiencia del biodigestor:

- Costo de fabricación: 10%
- Fácil mantenimiento: 30%
- Eficiencia: 35%
- Fácil operación: 25%

Tabla 2.4 Matriz de decisión para la selección del Biodigestor

Factores	Mezcla completa	dos fases	contacto
Costo de fabricación	0,05	0	0
Eficiencia	0,175	0,35	0,35
Fácil mantenimiento	0,3	0	0,15
Fácil operación	0,25	0,125	0,125
Total	0,775	0,475	0,625

Fuente: (Elaboración propia).

Desarrollada la matriz de decisión, se puede observar que la opción seleccionada de mayor calificación es el biodigestor de mezcla completa.

2.3 Selección del tipo de alimentación del biodigestor

Una vez seleccionado el tipo de biodigestor a utilizarse, se debe tener en consideración el tipo de alimentación que se debe emplear para el correcto funcionamiento de la Unidad. Para lo cual, se realizó una comparación de diferentes diseños de sistema de transporte de residuos considerando criterios de diseñador o consumidor.

Bajo costo de fabricación: Mínima cantidad monetaria que se debe utilizar para fabricar la máquina o sistema.

Bajo costo de mantenimiento: Mínima cantidad monetaria que se debe utilizar para poder realizar el mantenimiento de la máquina.

Fácil mantenimiento: Facilidad de mantenimiento predictivo y correctivo del sistema de transporte.

Fácil operación: Facilidad del manejo operativo de la máquina o sistema.

En la Tabla 2.5 se presenta la ponderación cualitativa de los factores considerados.

Tabla 2.5 Tipo de alimentación del biodigestor

Factores	tornillo sinfín	banda transportadora	Elevador tecla
Costo de fabricación	Medio	Bajo	Alto
Costo de mantenimiento	Bajo	Medio	Alto
Fácil mantenimiento	Medio	Bajo	Medio
Fácil operación	Medio	Medio	Alto

Fuente: (Elaboración propia).

Posteriormente se procede a construir la matriz de ponderación cuantitativa para realizar la selección del sistema de transporte de residuos. Derivado a las características y variedad dimensional de los elementos a transportar (residuos) se considera que la fácil operación tendrá un mayor peso en la selección, debido a que el sistema será manipulado por las personas del mercado.

- Bajo costo de fabricación: 10%
- Bajo costo de mantenimiento: 15%
- Fácil mantenimiento: 35%
- Fácil operación: 40%

Tabla 2.6 Matriz de decisión para Tipo de alimentación

Factores	tornillo sinfín	banda transportadora	Elevador tecla
Costo de fabricación	0,05	0	0,1
Costo de mantenimiento	0	0,075	0,15
Fácil mantenimiento	0,175	0	0,175
Fácil operación	0,2	0,2	0,4
Total	0,425	0,275	0,825

Fuente: (Elaboración propia).

Desarrollada la matriz de decisión, se puede observar que la opción seleccionada de mayor calificación es una estructura con tecla, mostrado en la Tabla 2.6.

2.4 Proceso esquemático de diseño del sistema

A continuación, en el diagrama de flujo (Ver Figura 2.1) se muestra el proceso de diseño a utilizar para este proyecto, una vez establecido el proceso de tratamiento de residuos (Ver Plano 1):

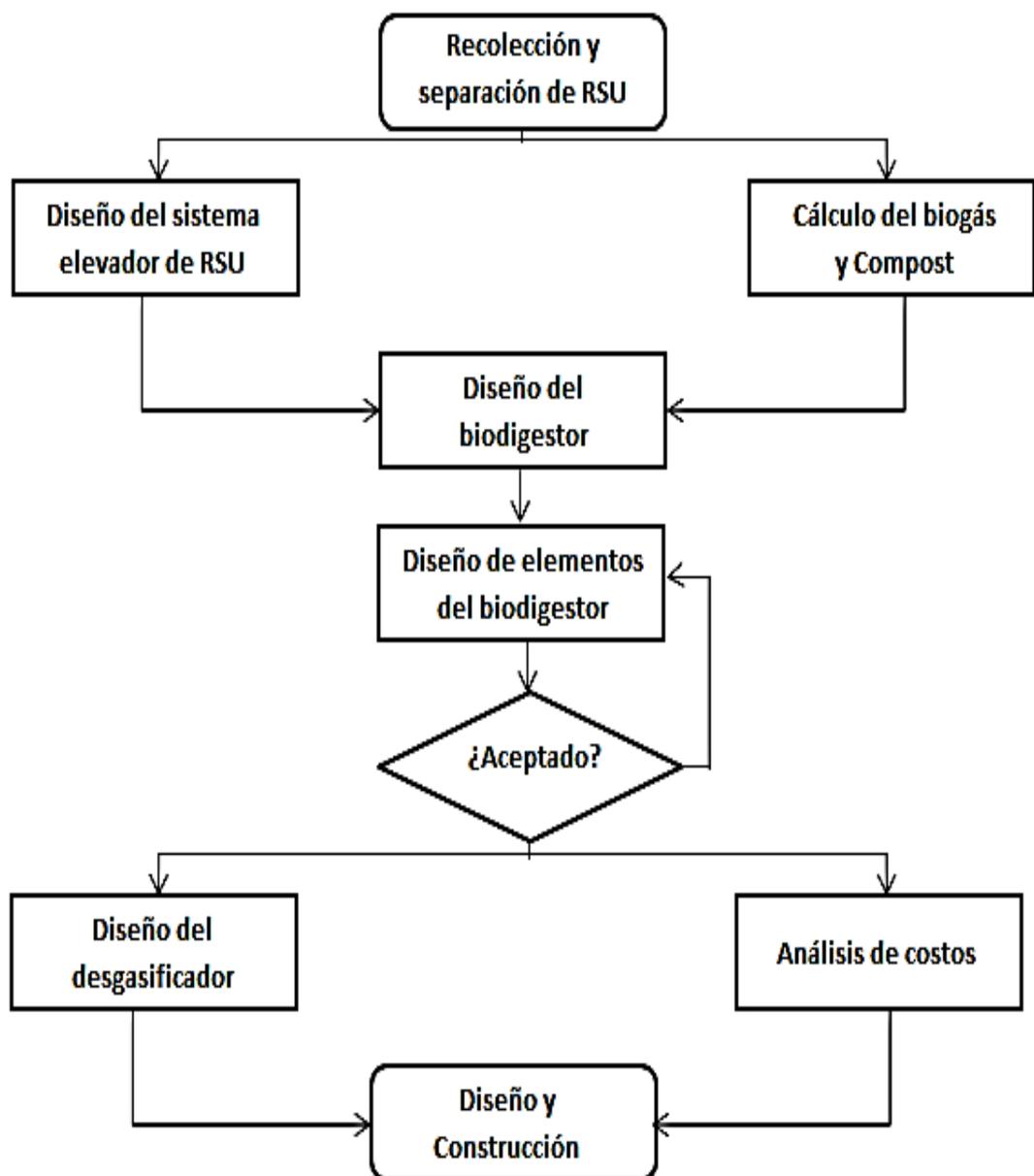


Figura 2.1. Diagrama de flujo del proceso de diseño

Fuente: (Elaboración propia).

2.4.1 Recolección y selección de los residuos sólidos urbanos (RSU)

En la actualidad, el mercado Municipal de Marcelino Maridueña no cuenta con ningún sistema de recolección y selección de desechos (Ver Apéndice A), los mismos que son recolectados una vez a la semana por el personal que brinda la limpieza municipal. En vista de lo antes expuesto se debe implementar un plan de recolección y selección de desechos sólidos; cabe indicar que este proceso no forma parte del análisis de nuestro proyecto.

2.4.2 Diseño del sistema elevador de residuos

El sistema elevador consiste en el diseño de una estructura de una altura de 3 metros que permita transportar los desechos seleccionados desde el depósito hasta la entrada del biodigestor. El balde que será cargado con los residuos y su peso debe ser lo máximo permitido que puede elevar una persona (12.5 kg). Por lo tanto, se debe conocer cuál es la carga (peso) va a soportar la estructura:

Se conoce que la estructura debe soportar tres pesos: la persona, el balde lleno de residuos y el tecele con la cadena.

$$W_T = W_P + W_B + W_D + W_{Te} \quad (2.1)$$

$$W_B + W_D = 12.5 \text{ kg} \quad (2.2)$$

Dónde:

W_T = Peso total (kg).

W_P = Peso promedio de la persona (kg) = 70kg.

W_B = Peso del balde (kg).

W_D = Peso del desecho (kg).

W_{Te} = Peso del tecele y cadena (kg) = 10+10 = 20kg.

Resolviendo:

$$W_T = 70 + 12.5 + 20 = \mathbf{102.5 \text{ kg}}$$

Considerando que la estructura estará sometida a esfuerzos de compresión, se debe considerar la ecuación 2.3 y 2.4, con la condición de columna empotrada libre en el piso y con una fuerza puntual sobre la columna (Ver Figura 2.2):

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A} \quad (2.3)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI_y}{4L^2} \quad (2.4)$$

Dónde:

σ_c = Esfuerzo de compresión crítica (Mpa).

P_c = Carga Crítica (N) = 102.5 kg * 2 = 205 kg.

A = Área transversal de la columna (cm²).

E = Módulo de elasticidad del material, en (kg/cm²).

I_y = Inercia de la sección transversal del pilar, en (cm⁴).

L = Longitud de la columna (cm).

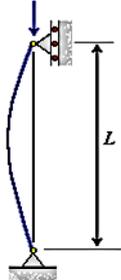
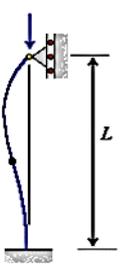
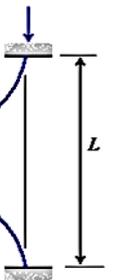
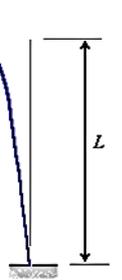
Columna articulada-articulada	Columna empotrada-articulada	Columna empotrada-empotrada	Columna empotrada-libre
			
$L_e = L$	$L_e = 0.699L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 2L$
$K = 1$	$K = 0.699$	$K = 0.5$	$K = 2$

Figura 2.2. Tipos de análisis de pandeo lineal en columnas

Fuente: (<http://webdelprofesor.ula.ve>, 2017)

Se debe considerar que, si el sistema elevador es un diseño de 4 columnas, la carga total debe ser distribuida de forma equitativa (25.63 kg). Además de considerarse un factor de seguridad de 2 para la carga. Para la selección del material y la geometría de la columna se debe determinar los valores de esfuerzos y compararlos con los materiales posibles (ver desarrollo en el capítulo 3).

2.4.3 Tipo de generación de biogás

Se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que tiene su origen en un proceso biológico; la biomasa puede convertirse en energía a través de dos procesos, el bioquímico, en el cual se ubica la tecnología del biogás, y el termoquímico. Diversos factores influyen en el funcionamiento del biodigestor, los cuales son descritos a continuación (Olaya y González, 2009).

Temperatura y tiempo de retención: el rango de temperatura y el periodo de retención dentro del biodigestor, para este diseño está en el rango de temperatura entre 20 y 40 °C para un tiempo de retención entre 30 y 40 días. Los valores que tomarse en cuenta para el diseño serán los rangos más elevados (Olaya y González, 2009).

Relación C/N: se establece la relación entre ellos (Carbono/Nitrógeno), la cual influye sobre la producción de gas. Una relación de 20:1 hasta 30:1 es aceptable. Dependiendo del tipo de residuo se escoge la relación C/N= 25, según la Tabla 2.7:

Tabla 2.7 Relaciones C/N de varios productos residuales

Sustancia	Relacion C/N
Orina	0,8
Estiércol equino	25
Estiércol vacuno	18
Alfalfa	16-20
Algas marinas	19
Aserrín	511
Basura	25
Cáscaras de papa	25
Paja seca de trigo	87
Paja seca de arroz	67
Tallo de maíz	53
Hojas secas	41
Estiércol de aves	32
Pasto	27
Estiércol ovino	29
Estiércol de cerdo	13
Excretas frescas humanas	2,9

Fuente: (Fundamentos para el diseño de biodigestores, Olaya y González.2009)

Niveles de amoníaco: Se recomienda que los niveles dentro de los digestores se mantengan por debajo de los 2000 mg/l, para lo cual se aumentan las diluciones de entrada del material (Olaya y González, 2009).

pH: Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, oscilando entre 6 y 8 (es deseable un valor entre 7 y 7.2) (Olaya y González, 2009).

Contenido de agua de la mezcla: Cuando la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción del biogás es limitada. Cuando el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere más agua, en una razón de 1:3 o 1: 4. Para este caso, se utilizará la relación 1:3 es decir, para 4 m³ de desechos, 12 m³ de agua (Olaya y González, 2009).

2.4.4 Cálculo de Biogás y Biofertilizante

Para realizar el cálculo de la cantidad de biogás que puede producir una cantidad específica de residuos sólidos, se tiene las siguientes ecuaciones. (Olaya y González, 2009):

Producción de biogás: dependiendo del tipo de desecho a utilizarse en la digestión, para este caso, se toma como referencia los desechos de verdura el cual tiene como posible producción de biogás de 350 Litros por Kg de desecho solido orgánico. Se tiene la siguiente tabla 2.8:

Tabla 2.8 Residuos vegetales y posible producción de biogás

Material fresco	% sólidos totales	% sólidos orgánicos	L biogás por Kg de solidos orgánicos
Paja de arroz	89	93	220
Paja de trigo	82	94	250
Paja de maíz	80	91	410
Hierba fresca	24	89	410
Jacinto de agua	7	75	325
Bagazo	65	78	160
Desecho de verdura	12	86	350

Fuente: (Fundamentos para el diseño de biodigestores, Olaya y González.2009)

Para calcular la producción de biogás es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales (%ST) y el porcentaje de sólidos volátiles del desecho (%SV); donde, los sólidos totales se definen como el peso seco de la materia prima, o porción que permanece cuando el material es secado a una temperatura de 105 °C, mientras que los sólidos volátiles se definen como la porción de los sólidos totales que son volatilizados a 550 °C. (Olaya y González, 2009).

Estas definiciones sugieren entonces el cálculo del volumen a partir de las ecuaciones 2.5; 2.6 y 2.7:

$$\frac{V_{\text{metano}}}{W_{\text{dese}}} = \frac{\%ST}{100} * \frac{\%SV}{100} * \frac{V_{\text{biogas}}}{\text{Kg}} * \frac{\%CH_4}{100} \quad (2.5)$$

$$V_{\text{metano}} = \left(\frac{\%ST}{100} * \frac{\%SV}{100} * \frac{V_{\text{biogas}}}{\text{Kg}} * \frac{\%CH_4}{100} \right) * W_{\text{dese}} \quad (2.6)$$

$$W_{\text{dese}} = \rho_{\text{dese}} * V_{\text{dese}} \quad (2.7)$$

Dónde:

V_{metano} = Volumen de gas metano (m^3)

W_{dese} = Peso de los desechos (kg).

ρ_{dese} = Densidad de los desechos sólidos (kg/m^3) = 250 kg/m^3

V_{dese} = Volumen de los desechos sólidos (m^3) = 4 m^3

Resolviendo:

$$W_{\text{dese}} = 250 \frac{kg}{m^3} * 4 m^3 = \mathbf{1000 kg}$$

$$V_{\text{metano}} = \left(\frac{99}{100} * \frac{77}{100} * 0.211 \frac{m^3}{kg} * \frac{61.9}{100} \right) * 1000 kg = \mathbf{99.56 m^3}$$

$$W_{\text{metano}} = 99.56 m^3 * 1.24 \frac{kg}{m^3} = \mathbf{123.46 kg}$$

Los valores utilizados son obtenidos de las siguientes tablas 2.9 y 2.10:

Tabla 2.9 Valores de porcentajes de solidos totales y volátiles

Material	% humedad (H)	% Sólidos totales (%ST)	% Nitrógeno (N)	% Carbono (C)	% Sólidos volátiles (%SV)	C/N
Gallinaza	65	35	6,3	94,5	65	15
Bovinaza	86	14	1,7	30,8	80	18
Porquinaza	87	13	3,8	76	85	20
Basura de mercado	1	99	3	54,7	77	18
Papel periódico	7	93	0,1	5	97,1	813
Desechos agrícolas	7,2	37	1,2	90	63	75
Humanaza	73	27	6	50	92	8
Orina	94	6	18	14	75	0,8

Fuente: (Fundamentos para el diseño de biodigestores, Olaya y González.2009)

Tabla 2.10 Biogás producido en función de los sólidos volátiles

Material	Proporción (%)	m3 de biogás/Kg de materia	CH4 (%)
Gallinaza	100	0,3111	59,8
Bovinaza	100	0,0871	65,2
Porquinaza	100	0,3234	65
Basura de cocina	100	0,211	61,9
Residuos de papel	100	0,2178	67,1
Desechos agrícolas	100	0,2999	60

Fuente: (Fundamentos para el diseño de biodigestores, Olaya y González.2009)

Producción de biofertilizante: Para el cálculo de biofertilizante, se debe establecer fórmulas por conservación de masa, además de considerar un pequeño porcentaje de pérdida por manejo de transporte desde el biodigestor al desgasificador y finalmente al reservorio de biofertilizante. Se utilizará las ecuaciones 2.9 y 2.10:

$$M_{mezcla} = M_{CH_4} + M_{CO_2} + M_{biol} + \%pérdida \quad (2.8)$$

$$M_{biol} = M_{mezcla} - M_{CH_4} - M_{CO_2} - \%pérdida$$

$$\%pérdida = 5\%M_{mezcla} \quad (2.9)$$

$$M_{mezcla} = M_{dese} + M_{H_2O} = V_{dese} * \rho_{dese} + V_{H_2O} * \rho_{H_2O} \quad (2.10)$$

Dónde:

M_{metano} = Masa de gas metano (kg).

M_{biol} = Masa de biofertilizante (kg).

M_{mezcla} = Masa de la mezcla (kg)

$\%_{\text{pérdida}}$ = Pérdida

Resolviendo:

$$M_{\text{mezcla}} = \left(4 \text{ m}^3 * 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(12 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \mathbf{13000 \text{ kg}}$$

$$M_{\text{biol}} = 13000 \text{ kg} - 123.46 \text{ kg} - 209.57 \text{ kg} - (0.05 * 13000 \text{ kg}) = \mathbf{12017 \text{ kg}}$$

2.4.5 Cálculo de la geometría del biodigestor

Para el cálculo de la geometría del biodigestor se debe tener en cuenta: el volumen de compensación (V_c), el volumen de la campana o domo (V_e) y el volumen para el almacenamiento de gas (V_g) (Galo Durazno y Alex Cabrera. 2016)(Ver Figura 2.3)

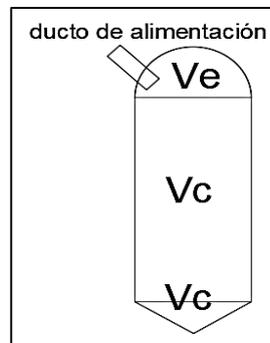


Figura 2.3. Esquema general de un biodigestor

Fuente: (Elaboración propia).

Para calcular el volumen del biodigestor se debe considerar los elementos que estarán almacenados en su interior, dando como resultado la ecuación 2.11:

$$V_d = V_R + V_A + V_{H_2O} \quad (2.11)$$

Dónde:

V_d = Volumen del biodigestor (m^3).

V_R = Volumen del residuo (m^3) = 4 m^3

$V_A = \text{Volumen de aire (m}^3\text{)} = 4 \text{ m}^3$

$V_{H_2O} = \text{Volumen de agua (m}^3\text{)} = 12 \text{ m}^3$

Resolviendo:

$$V_d = V_R + V_A + V_{H_2O} = 4 + 4 + 12 = \mathbf{20m^3}$$

Se debe considerar además que el volumen total del biodigestor (V_d), debe tener un 4% adicional del volumen de diseño:

$$V_c + V_e = 1.04V_d = \mathbf{20.8 \text{ m}^3} \quad (2.12)$$

Donde el 75% de V_c es ocupado por la mezcla; por lo tanto el valor de V_c debe ser establecida como la cantidad de mezcla total más el 25% de espacio libre, dando como resultado:

$$V_c = 1.25(V_R + V_{H_2O}) \quad (2.13)$$

$$V_c = 1.25 * (4 + 12) = \mathbf{20m^3}$$

Por lo tanto, para hallar V_e se despeja de la ecuación 2.12:

$$V_e = 20.8 - 20 = \mathbf{0.8 \text{ m}^3}$$

Cálculo de la geometría del V_c :

La geometría del V_c estará distribuida por un cilindro y un cono, cuya relación se establece de la siguiente manera:

$$V_{cil} = 0.90 V_c \quad (2.14)$$

$$V_{cono} = 0.10 V_c \quad (2.15)$$

Dónde:

$V_{cono} = \text{Volumen del cono (m}^3\text{)}.$

$V_{cil} = \text{Volumen del cilindro (m}^3\text{)}.$

Resolviendo:

$$V_{cil} = 0.90 * 20 = \mathbf{18m^3}$$

$$V_{\text{cono}} = 0.10 * 20 = 2 \text{ m}^3$$

En el caso de V_{cil} , se establece una altura de 2 m, entonces el cálculo de su diámetro sería:

$$V_{\text{cil}} = A_{\text{cil}} * H; \quad A_{\text{cil}} = \frac{V_{\text{cil}}}{H} \quad (2.16)$$

$$A_{\text{cil}} = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{V_{\text{cil}}}{H} \quad (2.17)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * V_{\text{cil}}}{\pi * H}} \quad (2.18)$$

Dónde:

V_{cil} = Volumen del cilindro (m^3).

A_{cil} = Área del cilindro (m^2).

H = Altura del cilindro (m).

D = Diámetro de la base del biodigestor (m).

Resolviendo:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 18}{\pi * 2}} = 3.39 \text{ m}$$

En el caso de V_{cono} , se establece el mismo diámetro del cilindro, está dado por la ecuación (2.19).

$$V_{\text{cono}} = \frac{1}{12} \pi D^2 h_{\text{cono}}; \quad h_{\text{cono}} = \frac{12 * V_{\text{cono}}}{\pi D^2} \quad (2.19)$$

Resolviendo:

$$h_{\text{cono}} = \frac{12 * V_{\text{cono}}}{\pi D^2} = \frac{12 * 2}{\pi * (3.39)^2} = 0.6 \text{ m}$$

Cálculo de la geometría del domo Ve:

La geometría del Ve está distribuida por una semi-esfera y su relación de medidas se establece mediante la ecuación (2.20).

$$V_e = \frac{2}{3}\pi r^3; \quad r = \sqrt[3]{\frac{3*V_e}{2\pi}} \quad (2.20)$$

Resolviendo:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 * 0.8}{2\pi}} = 0.7 \text{ m}$$

El resultado indica que la tapa cónica para el Ve se define con el diámetro del cilindro y la altura del radio del domo calculado como se muestra en la Figura 2.4:

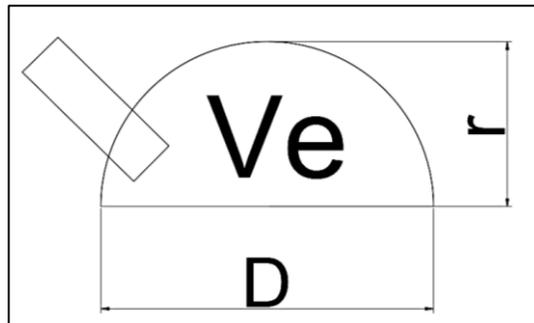


Figura 2.4. Esquema general del volumen de campana

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del espesor de paredes del biodigestor: Para determinar el espesor del biodigestor, es importante considerar que cada sección del biodigestor está sometido a diferentes cargas, por lo cual se establece diferentes espesores para cada sección, a través de las ecuaciones (2.21) a (2.24).

$$\sigma_t = \eta * \sigma_a \quad (2.21)$$

$$t_{cil} = \frac{(\gamma * d * r)}{(\sigma_t * E_s)} \quad (2.22)$$

$$t_{cono} = \frac{(\gamma * d^2 * \text{tg}\alpha)}{(4 * \sigma_t * E_s * \text{cos}\alpha)} \quad (2.23)$$

$$t_{\text{domo}} = \frac{(P * D_e)}{(2\sigma_t * E_s + 1.8P)} \quad (2.24)$$

Dónde:

σ_t = Esfuerzo de tensión máxima admisible del material (MPa).

σ_a = Esfuerzo de tensión admisible del material (MPa).

η = Factor de seguridad.

t_{cil} = Espesor del cilindro (m).

γ = Peso específico de la mezcla (kg/m^3).

d = Nivel máximo del producto almacenado (m).

r = Radio del cilindro (m).

E_s = Eficiencia de la soldadura = 0.6.

t_{cono} = Espesor del cono (m).

α = Semi-ángulo de la abertura del cono ($^\circ$).

t_{domo} = Espesor del domo (m).

P = Presión externa (kg/m^2).

D_e = Diámetro externo (m).

Para la selección de los espesores del biodigestor se debe determinar los valores de esfuerzos y factor de seguridad del diseño se comparan con los materiales posibles y se selecciona la opción más conveniente. Adicional, es importante aplicar normativas técnicas para el diseño de tanques de aceros, así como para la soldadura de unión (ver desarrollo en el capítulo 3).

2.4.6 Cálculo de transferencia de calor de los calentadores

Es importante considerar que para producir biogás, la mezcla en el interior debe conservarse a $40\text{ }^\circ\text{C}$, por lo que es necesario implementar un sistema de calentadores al biodigestor para incrementar la temperatura.

Con la finalidad de obtener una distribución de calor constante en todo el biodigestor, se utiliza un serpentín al interior del tanque.

Para incrementar la temperatura, se considera la cantidad de calor que se debe generar, con la finalidad de calentar la mezcla, a su vez considerando las pérdidas hacia el ambiente.

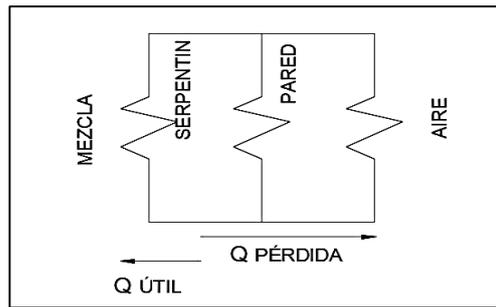


Figura 2.5. Diagrama de flujo del proceso de diseño

Fuente: Elaboración propia.

El calor de pérdida se da desde el serpentín hacia la pared que posteriormente se disipa en el ambiente; mientras que el calor utilizado se analiza desde el serpentín hacia la mezcla, dando como resultado la ecuación 2.25.

$$\dot{Q}_{\text{req}} = \dot{Q}_{\text{Util}} + \dot{Q}_{\text{Per}} \quad (2.25)$$

Para calcular el calor útil, se debe considerar que la transferencia de calor se da desde el serpentín hacia la mezcla de agua más residuos, por lo que la transferencia de calor es por convección (mezcla de agua con residuos en movimiento), y conducción a través del serpentín.

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = \frac{(T_s - T_f)}{\frac{1}{hA} + \frac{\ln(r_{\text{PE}}/r_{\text{iPE}})}{2\pi K_{\text{PE}} L_{\text{PE}}}} \quad (2.26)$$

Dónde:

h = Coeficiente de transferencia de calor ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) = $6 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

A = Área de contacto (m^2).

T_s = Temperatura a la que se desea llegar ($^\circ\text{K}$) = 313 K

T_f = Temperatura de la mezcla ($^\circ\text{K}$) = 298 K

K_{PE} = Coeficiente de transferencia de calor del polietileno = $0.45 \text{ W}/\text{mK}$

L_{PE} = Longitud de la manguera = 133 m

r_{PE} = Radio exterior de la manguera (m) = $12.7 \text{ mm} = 0.0127 \text{ m}$

r_{iPE} = Radio interior de la manguera (m) = $11.2 \text{ mm} = 0.0112 \text{ m}$

Resolviendo:

$$A = \pi * D * H = \pi * 3.39 * 2 = \mathbf{21.3 \text{ m}^2}$$

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = \frac{(318 - 298)}{\frac{1}{6 * 21.3} + \frac{\ln(12.7/11.2)}{2\pi * 0.45 * 133}} = \mathbf{2549 \text{ W}}$$

El calor perdido se da desde la mezcla hacia la pared del digestor hasta llegar al ambiente, para lo cual se debe considerar la ecuación 2.27 (Incropera, 2009).

$$\dot{Q}_{\text{per}} = \frac{(T_s - T_f)}{\frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_{e\text{cil}}/r_{i\text{cil}})}{2\pi K_{\text{acero}} L_{\text{cil}}} + \frac{\ln(r_{e\text{aislante}}/r_{i\text{aislante}})}{2\pi K_{\text{lana}} L_{\text{aislante}}} + \frac{1}{h_2 A_2}} \quad (2.27)$$

Dónde:

h_1 = Coeficiente de transferencia de calor del fluido ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) = $6 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

A_1 = Área de contacto del fluido (m^2) = 21.3 m^2

$r_{e\text{cil}}$ = Radio exterior del cilindro del biodigestor (m) = 1.7 m

$r_{i\text{cil}}$ = Radio interior del cilindro del biodigestor (m) = 1.695 m

K_{acero} = Coeficiente de transferencia de calor del acero inoxidable AISI 304 = $50.2 \text{ W}/\text{mK}$

L_{cil} = Longitud circular del cilindro del biodigestor = 10.68 m

$r_{e\text{aislante}}$ = Radio exterior del aislante de lana de vidrio (m) = 1.703 m

$r_{i\text{aislante}}$ = Radio interior del aislante de lana de vidrio (m) = 1.7 m

K_{lana} = Coeficiente de transferencia de calor del aislante de lana de vidrio = $0.04 \text{ W}/\text{mK}$

L_{aislante} = Longitud del aislante de lana de vidrio = 10.7 m

h_2 = Coeficiente de transferencia de calor del aire ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) = $3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

A_2 = Área de contacto del aire (m^2) = 21.36 m^2

T_s = Temperatura a la que se desea llegar (K) = 313 K

T_f = Temperatura del ambiente (K) = 298 K

Resolviendo:

$$\dot{Q}_{\text{per}} = \frac{(318 - 298)}{\frac{1}{6 * 21.3} + \frac{\ln(1.7/1.695)}{2\pi * 50.2 * 10.68} + \frac{\ln(1.703/1.7)}{2\pi * 0.04 * 10.7} + \frac{1}{3 * 21.36}}$$
$$\dot{Q}_{\text{per}} = 617 \text{ W}$$

Por lo tanto, el calor total requerido es igual a:

$$\dot{Q}_{\text{req}} = 1864 \text{ W} + 617 \text{ W} = \mathbf{2481 \text{ W}}$$

2.4.7 Cálculo de las dimensiones del mezclador.

Una vez ingresada la mezcla agua – residuos, es importante mantener el proceso de mezclado homogéneo; para lo cual, se emplea un mezclador de eje con palas que giran para homogenizar la mezcla.

Existen diferentes tipos de agitadores que pueden utilizarse para el mezclador (Ver Figura 2.6).



Figura 2.6. Tipos de agitadores de paletas

Fuente: (<http://mezclasdefluidos.blogspot.com/p/tipos-de-agitadores.html>, 2017)

Las dimensiones de las aspas se expresan en la figura 2.7

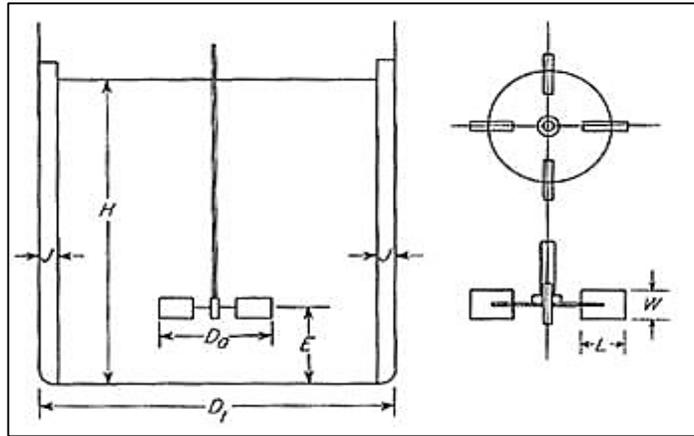


Figura 2.7. Dimensiones de agitadores

Fuente: (Unit Operations for Chemical Engineering. 2017)

Para determinar las dimensiones, se aplica las siguientes ecuaciones, sabiendo que **Dt = 3.39m**:

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3}; \quad Da = \frac{Dt}{3} = \frac{3.39}{3} = 1.13 \text{ m}; \quad \mathbf{Da = 1.13m}$$

$$\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}; \quad W = \frac{Da}{5} = \frac{1.13}{5} = 0.226 \text{ m}; \quad \mathbf{W = 0.226m}$$

$$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}; \quad L = \frac{Da}{4} = \frac{1.13}{4} = 0.282 \text{ m}; \quad \mathbf{L = 0.282m}$$

$$\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}; \quad J = \frac{Dt}{12} = \frac{3.39}{12} = 0.282 \text{ m}; \quad \mathbf{J = 0.282m}$$

$$\frac{E}{Dt} = \frac{1}{4}; \quad E = \frac{Dt}{4} = \frac{3.39}{4} = 0.847 \text{ m}; \quad \mathbf{E = 0.847m}$$

La longitud del eje se determina mediante la ecuación (2.28).

$$H = L_{ag} + E; \quad L_{ag} = H - E \quad (2.28)$$

Dónde:

H= Altura del cilindro (m).

L_{ag} = Longitud del agitador (m).

Resolviendo:

$$L_{ag} = 2 - 0.847 = \mathbf{1.15\ m}$$

Para determinar el diámetro del eje se aplica la siguiente ecuación (2.29), conociendo que el flujo de mezcla es turbulento:

$$Re = \frac{Nd^2\rho}{\mu}; \quad d = \sqrt{\frac{Re\mu}{N\rho}} \quad (2.29)$$

Dónde:

Re = Número de Reynolds para flujo turbulento= 200000

μ = Viscosidad dinámica del agua a 40 °C= 0.000653 Kg/ms

N = Velocidad angular = 60 rpm = 6.28 rad/seg.

ρ = Densidad del agua = 1000 Kg/m³.

d= Diámetro del eje (mm).

Resolviendo:

$$d = \sqrt{\frac{Re\mu}{N\rho}} = d = \sqrt{\frac{200000 * 0.000653}{6.28 * 1000}} = \mathbf{145\ mm}$$

Para el cálculo de la potencia del eje se establece la ecuación (2.30).

$$N_P = \frac{P}{N^3 d^5 \rho}; \quad P = N_P N^3 d^5 \rho \quad (2.30)$$

Dónde:

P = Potencia del eje (W).

N_p = Numero de potencia para flujo turbulento = 7

N = Velocidad angular = 60 rpm = 6.28 rad/seg.

d= Diámetro del eje (m) = 0.145 m

ρ = Densidad del agua = 1000 kg/m³.

Resolviendo:

$$P = N_p N^3 d^5 \rho = 7 * 6.28^3 * 0.145^5 * 1000 = \mathbf{111.2 W = 0.15 HP}$$

Consideraciones:

η = Eficiencia del motor = 0.7

$P_{\text{fricción}}$ = Pérdidas por fricción= 35%

$$P_{\text{final}} = \frac{P * P_{\text{fricción}}}{\eta} \quad (2.31)$$

Resolviendo:

$$P_{\text{final}} = \frac{P * P_{\text{fricción}}}{\eta} = \frac{0.15 * 1.35}{0.7} = \mathbf{0.3 HP = 223.5 W}$$

Utilización de la norma ASME para cálculo de diámetro del eje.

Se determina el diámetro del eje del agitador con la rigidez y resistencia necesaria para cuando éste transmita la potencia que generen cargas combinadas. Para un eje macizo se utiliza la ecuación 2.32.

$$D^3 = \frac{16}{\pi t d} \sqrt{(K_s T)^2 + \left(\frac{FD}{8}\right)^2} \quad (2.32)$$

Dónde:

K_s = Coeficiente del momento flector = 2

T = Torque Nmm.

Para la fabricación del eje se utiliza acero inoxidable AISI 304 cuyas características son las siguientes:

Esfuerzo de fluencia (S_y)= 227.5 MPa

Esfuerzo de ruptura (S_r)= 558.4 MPa

$$td = \begin{cases} 0.3S_y = 0.3 * 227.5 = 68.25 \\ 0.18S_r = 0.18 * 558.4 = 100.51 \end{cases}$$

Se utiliza el menor valor: $68.25 * 0.75 = \mathbf{51.19 \text{ MPa}}$

$$T = \frac{7162000 * HP}{rpm} \quad (2.33)$$

Resolviendo:

$$T = \frac{7162000 * HP}{rpm} = \frac{7162000 * 0.3}{60} = \mathbf{35810 \text{ Nmm}}$$

Resolviendo la ecuación 2.31:

$$D^3 = \frac{16}{\pi * 51.19} \sqrt{(2 * 35810)^2 + \left(\frac{15.8}{8}\right)^2} = 7125.56 \text{ mm}^3$$

$$D = \sqrt[3]{7125.56} = \mathbf{19.24 \text{ mm}}$$

Ajustando el valor del diámetro del eje a un valor estandarizado en la norma, se tiene el valor más próximo en **25 mm**

2.4.8 Cálculo de la geometría del desgasificador.

El objetivo de ingresar un desgasificador en el sistema de tratamiento de residuos, es para que el proceso de digestión continúe en otro reservorio mientras se ingresa la mezcla de nuevos residuos al biodigestor y así optimizar el proceso. Además, se emplea el mismo sistema de transferencia de calor debido a que la temperatura a la que estará la mezcla debe ser la misma que la del biodigestor.

Considerando que el volumen de aire será cubierto por una carpa de plástico, el volumen de diseño del desgasificador es un poco mayor al de la mezcla del agua más los residuos, bajo esta consideración se establece la ecuación 2.34:

$$V_D = 1 + V_R + V_{H_2O} \quad (2.34)$$

Dónde:

V_D = Volumen del desgasificador (m^3).

V_R = Volumen de residuos (m^3).

V_{H_2O} = Volumen del agua (m^3).

Resolviendo:

$$V_D = 1 + 4 + 12 = \mathbf{17m^3}$$

El desgasificador tiene forma de un cilindro, para el cual se establece una altura de 1.5 m. El cálculo de su diámetro se realiza utilizando las ecuaciones (2.35) a (2.37).

$$V_D = A_D * H; \quad A_D = \frac{V_D}{H} \quad (2.35)$$

$$A_D = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{V_D}{H} \quad (2.36)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * V_D}{\pi * H}} \quad (2.37)$$

Dónde:

A_D = Área del desgasificador (m^2).

H = Altura del desgasificador (m).

D = Diámetro de la base del desgasificador (m).

Resolviendo:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 17}{\pi * 1.5}} = \mathbf{3.8m}$$

2.4.9 Diseño y construcción del biodigestor

Para el diseño y manufactura, se establece procedimientos de construcción del biodigestor, conociendo los materiales y accesorios a utilizar; de la misma manera, la construcción del biodigestor siguiendo los procesos ya establecidos anteriormente. Cabe indicar que este proceso no forma parte del análisis del proyecto.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Selección del tipo de biodigestor.

La unidad de biodigestor seleccionada tiene una operación de mezcla completa, con un sistema de alimentación de elevación de la carga por tecla. Para la ubicación de la unidad, se debe considerar lo establecido en la Normatividad ambiental vigente en el país además de los criterios técnicos que se detallan en el documento.

3.1.1 Cálculo del espesor de las paredes del biodigestor

Como se estableció en el capítulo 2, para los espesores del biodigestor, y en base a las diferentes ecuaciones, debido a que cada sección del biodigestor está sometida a cargas diferentes, resolviendo las ecuaciones 2.21, 2.22, 2.23, 2.24 se tiene:

$$\sigma_a = \frac{F}{A} = \frac{12600 * 9.8}{21.3} = \frac{123480}{21.3} = \mathbf{5.8 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_t = \eta * \sigma_a = 2 * 5.8 = \mathbf{11.6 \text{ MPa}}$$

$$t_{cil} = \frac{(\gamma * d * r)}{(\sigma_t * E_s)} = \frac{(123480/16) * 1.5 * 1.7}{11.6 * 10^6 * 0.6} = 0.0028\text{m} = \mathbf{2.8 \text{ mm}}$$

$$t_{cono} = \frac{(\gamma * d^2 * \text{tg}\alpha)}{(4 * \sigma_t * E_s * \cos\alpha)} = \frac{(123480/16) * 1.2^2 * (0.6/1.7)}{4 * 11.6 * 10^6 * 0.6 * (1.7/1.8)}$$

$$t_{cono} = \mathbf{0.15\text{mm}}$$

Para este caso se utiliza un factor de seguridad de $n=4$ debido a que esta parte del tanque está sometido a mayor presión:

$$\sigma_t = \eta * \sigma_a = 4 * 5.8 = \mathbf{23.2 \text{ MPa}}$$

$$t_{\text{domo}} = \frac{(P * D_e)}{(2\sigma_t * E_s + 1.8P)} = \frac{10^5 * 1.4}{2 * 23.2 * 10^6 * 0.6 + 1.8 * 10^5}$$

$$t_{\text{domo}} = \mathbf{5 \text{ mm}}$$

Es importante aproximar los valores cálculos de espesor a los rangos que se encuentren en el mercado local, para facilitar la construcción, por lo tanto, se utilizará la misma plancha de acero inoxidable AISI 304 para el cilindro y el cono, teniendo como resultado un biodigestor de diámetro de 3.39 m y espesor 5 mm.

3.1.2 Normativa para la construcción de tanques de almacenamiento.

Existen normativas para el dimensionamiento y construcción de tanques de almacenamiento de agua y no para la construcción de biodigestores (además la unidad opera a baja presiones), por lo cual se decide aproximar el proceso de diseño al fluido de trabajo como la mezcla de agua para poder utilizar esta normativa (Norma API 650, 2013). Por lo tanto, la normativa utilizada es API – 650 para tanques de almacenamiento de agua sometidos a presión.

En esta norma están incluidos aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y diseñados para soportar una presión de operación atmosférica, menor a 18 kPa, o presiones internas que no excedan el peso del techo, con temperaturas no mayores a 93°C.

Dentro de las generalidades:

- Esta norma pretende suministrar los parámetros de construcción de tanques para petróleo, u otros productos, para que sean construidos con una seguridad y un costo razonable. A continuación, se presentan algunas de las recomendaciones establecida en la norma
- No limita el tamaño de los tanques.
- Todas las planchas deberán ser fabricadas por un proceso de corazón abierto, horno eléctrico, o de oxígeno básico.
- Aceros producidos por un proceso de control termo-mecánico pueden ser utilizados si cumplen con las especificaciones químicas, de resistencia mecánica y espesores.
- El espesor máximo será de 45 mm (1.75 in.)

- La ASTM especifica algunos materiales aceptables para este tipo de tanques, se puede encontrar otros materiales con mejores características y se los puede utilizar. ASTM A 131M/A 131, Grado A, para planchas de un espesor máximo de 12.5 mm (0.5 in.).
- Los perfiles estructurales deben ser del siguiente tipo: ASTM A 36M/A 36 ó ASTM A 131M/A 131.
- Se establece un cuadro de espesores nominales en función del diámetro:

Tabla 3.1 Espesor requerido para diseño del tanque

Diámetro nominal del tanque		Espesor nominal de lámina	
(m)	(ft)	(mm)	(in)
< 15	< 50	5	3/16
15 hasta < 36	50 hasta < 120	6	1/4
36 hasta 60	120 hasta 200	8	5/16
> 60	> 200	10	3/8

Fuente: (Norma API 650, 2013)

Empleando la tabla 3.1 para diámetro del tanque es menor a 15 m, el espesor nominal de la lámina es de 5 mm.

3.2 Dimensionamiento del sistema elevador.

El diseño de la estructura de soporte es de forma rectangular con rigidizadores de 3 m de altura. A continuación, se procede a determinar el tipo de perfil a utilizar resolviendo las ecuaciones 2.3 y 2.4.

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A}; \quad P_c = \frac{\pi^2 EI_y}{4L^2}; \quad I_y = \frac{4L^2 P_c}{\pi^2 E}$$

$$I_y = \frac{4 * 300^2 * 205}{2100000 * \pi^2} = 3.56 \text{ cm}^4$$

Dentro del cálculo de diseño se considera los factores de fatiga, corrosión y estabilidad de la estructura, seguridad de la persona, es importante establecer un factor de seguridad elevado para garantizar su correcto funcionamiento:

$$I_y = nI_y = 10 * 3.56 = 35.6 \text{ cm}^4$$

Con este valor de inercia, se procede a revisar en la Tabla (ver Apéndice B) cual es el perfil que tiene un valor aproximado a la inercia calculada; por lo tanto, se tiene un perfil hueco rectangular de 70x40x3 mm.

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A} = \frac{205 * 9.8}{4 * (6 * 10^{-4})} = 0.84 \text{ MPa}$$

Finalmente, se establece el diseño de estructura rectangular con los perfiles seleccionados como se muestra en la sección de planos (ver plano 2) y un análisis estructural que se muestra en la sección de anexos (ver Apéndice G) Para el sistema de elevación de los residuos, se utilizará un tecele de 1 tonelada manual con una longitud de 3 metros, en el caso que se requiera optimizar el tiempo de elevación y transporte, se puede incorporar un tecele eléctrico.



Figura 3.1. Tecele manual de 1 TON x 3m.

Fuente: (autotek.cl, 2017)

3.3 Diseño del agitador.

Se ha seleccionado un agitador de turbina de 4 aspas con doble plato, para la obtención una mezcla más homogénea. El dimensionamiento de cada una de las partes del agitador se encuentra desarrollado en el capítulo 2. Se ha considerado el acero AISI 304 inoxidable para la construcción del agitador.

3.3.1 Cálculo del espesor de las aspas

Para calcular el espesor se establece la forma de las aspas (ver figura 3.2). Se tiene los valores de los radios desde el centro del eje hasta el borde del aspa. Este espesor se obtiene de las ecuaciones 3.1; 3.2; 3.3; 3.4:

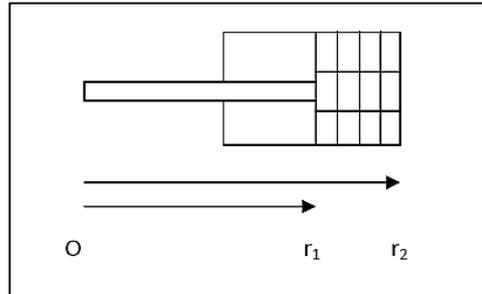


Figura 3.2. Aspa de la turbina de disco de aspas planas
Fuente: (Introducción a la Mecánica de Fluidos. Mc Graw Hill, 2017)

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho (\omega^2 r^2) (W r) \quad (3.1)$$

$$M_0 = \frac{1}{2} C_D \rho \omega^2 W \int_{r_1}^{r_2} r^3 dr \quad (3.2)$$

$$S_y = \frac{n M_0 y}{I}; \quad S_y = \frac{n M_0 (e/2)}{w e^3 / 12} \quad (3.3)$$

$$e = \sqrt{\frac{6 n M_0}{S_y W}} \quad (3.4)$$

Dónde:

F_D = Fuerza de arrastre.

C_D = Coeficiente de arrastre (ver figura 3.3).

ρ = Densidad del acero = 7850 Kg/m³

r = Radio del aspa.

ω = velocidad angular del aspa = 60 rpm = 6.28 rad/seg

e = espesor del aspa.

W = Ancho del aspa.

M_0 = Momento de inercia.

S_y = Resistencia a la fluencia del acero inoxidable AISI 304 = 206 MPa.

n = factor de seguridad = 4

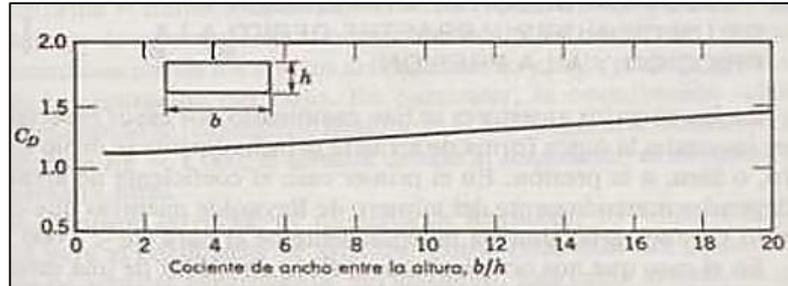


Figura 3.3. Coeficiente de arrastre para aspas rectangulares

Fuente: (Introducción a la Mecánica de Fluidos. Mc Graw Hill, 2017)

Resolviendo:

$$b/h = L/W = 0.282/0.226 = 1.25; \quad C_D \approx 1.1$$

$$M_0 = \frac{1}{2} (1.1 * 7850 * 6.28^2 * 0.226) * \int_{0.15}^{0.208} r^3 dr = 13.1 \text{ Nm}$$

$$e = \sqrt{\frac{6 * 4 * 13.1}{206 * 0.226}} = 2.6 \text{ mm} \approx 3 \text{ mm}$$

3.4 Selección de los accesorios del biodigestor.

Manguera del serpiente: Las dimensiones de la sección de tubería de polietileno (PEAD) están tabuladas por normas, por lo cual el diámetro externo de la tubería es un dato conocido, por lo tanto, se calcula la longitud total de la tubería requerida aplicando la ecuación 3.5:

$$L = \frac{A}{\pi * D} \tag{3.5}$$

Dónde:

L= Longitud de la manguera.

A= Área de transferencia de calor = 50 % del área del cilindro = 25% en tubería = 5.3 m² y 25% del área en separación de una tubería con otra.

D= Diámetro de la tubería = ½ pulg = 0.0127 m

Resolviendo:

$$L = \frac{A}{\pi * D} = \frac{5.3}{\pi * 0.0127} = 133 \text{ m}$$

Para el proceso de calentamiento de la mezcla, el fluido caloportador deberá tener una temperatura de 40 °C.

Neplos: Conector de hierro galvanizado de ½ pulg que será utilizado en la manguera del serpentín, para ser conectado a la bomba de agua.



Figura 3.4. Neplo de ½ acero galvanizado

Fuente: (www.grainger.com, 2017)

Válvulas: En el diseño se requiere de varias válvulas, entre las cuales 2 válvulas de bola de ½ pulg para la salida del biogás tanto del biodigestor como del desgasificador, cuyo material debe ser resistente al ambiente corrosivo al que estará sometido por el paso del biogás, 2 válvulas de bola de 4 pulg para la salida de la biomasa (ver figura 3.5).



Figura 3.5. a) válvulas de bola de ½ plg. b) válvula de bola de 4 pulg

Fuente: (spanish.alibaba.com, 2017)

Manómetro: Se deberá instalar un manómetro de acero inoxidable de 0-30 psi de rango, para monitorear la presión del biogás durante la operación de la unidad.



Figura 3.6. Manómetro de esfera 0-30 PSI
Fuente: (directindustry.es/fabricante-industrial, 2017)

Termocuplas: Se instalará termocuplas que permitan medir la temperatura interna del biodigestor, para tener un control de que los rangos de temperatura sean los adecuados y que la mezcla tenga el proceso bajo los estándares establecidos. Debido a que los rangos de temperatura que debe medir son bajos, se puede usar termocuplas de cualquier rango de medición.

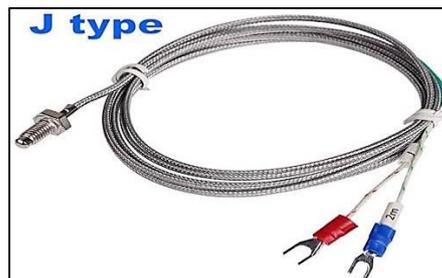


Figura 3.7. Termocupla tipo J
Fuente: (www.aliexpress.com, 2017)

Codo 90: Conector de plástico (polipropileno o PVC) de ½ pulg que será utilizado en cualquiera de las tuberías (agua y biogás) conectadas en el biodigestor.



Figura 3.8. Codo de ½ x 90 PP RR
Fuente: (www.aliexpress.com, 2017)

Manguera de salida: tubería de salida del biol o biofertilizante hacia el desgasificador y otra hacia el reservorio, la tubería debe ser rígida y de polietileno de diámetro 4 pulg y colocada en la parte inferior del biodigestor y el desgasificador para realizar la descarga del biofertilizante con mayor facilidad.

Sellos mecánicos: Sirven para evitar fugas de biogás o entrada de aire al proceso de descomposición de la mezcla. Las características de estos accesorios dependerán de las dimensiones y condiciones de trabajo del eje del agitador.



Figura 3.9. Sellos mecánicos

Fuente: (bombasyservicios.com.ar, 2017)

Motor eléctrico y moto - reductor: Este equipo estará adaptado en el eje del agitador de la mezcla. Es importante considerar la potencia que necesita el eje para girar y a su vez, considerar un factor de seguridad que permita trabajar al motor por debajo de su capacidad máxima y así prolongar su tiempo de vida útil. Para esto, se recomienda un motor de 1/2 hp de potencia, y un moto - reductor que tenga una capacidad de reducción a 60 rpm.



Figura 3.10. Motor y moto-reductor eléctrico 1/2 hp

Fuente: (Variadores S.A., 2017)

Bomba: Se utilizará dos bombas, una para fluir el agua caliente por las tuberías del serpentín tanto del biodigestor como del desgasificador; y otra para fluir la mezcla de un reservorio a otro; a menos que se utilice un sistema escalonado para que fluya la mezcla por gravedad.

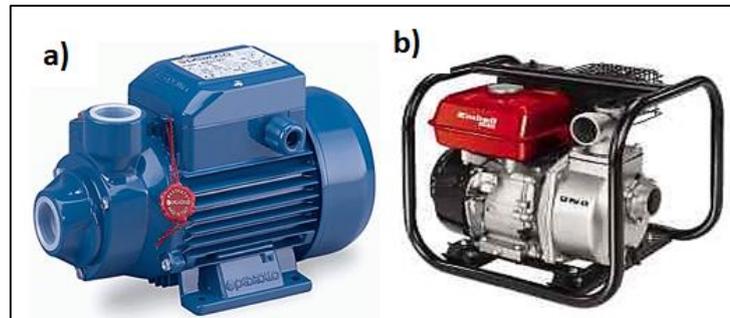


Figura 3.11. a) Bomba de agua b) Bomba de agua de gasolina, GE-PW 45

Fuente: (<http://products.einhell.es>, 2017)

3.5 Diseño del desgasificador.

El desgasificador es un reservorio que se diseña con la finalidad de completar el proceso de digestión y optimizar el tiempo de retención fuera del biodigestor. Es importante considerar, que este proceso también deberá operar con una temperatura de alrededor de los 40 °C, por lo cual se debe instalar un serpentín de la misma configuración de la diseñada para el biodigestor.

Las dimensiones del espesor y material de este equipo serán los mismos que se utilizaron en el diseño del biodigestor, debido a que la carga de la mezcla será la misma considerando como única pérdida la masa que se generó como biogás. A continuación, todas las dimensiones:

Material: Planchas de acero inoxidable AISI 304

Espesor: 5 mm.

Diámetro: 3.8 m

Altura: 1.5 m

Tapa superior: carpa de polietileno de 15 m².

Serpentín: Tubería de 100 m de PEAD.

3.6 Análisis de Costos.

A continuación, se muestran los costos para la construcción del sistema de producción de biogás.

3.6.1 Costos del elevador

Para establecer los costos del elevador, se deben considerar los valores de los materiales a utilizar para su construcción aplicando la ecuación 3.6.

$$C_{\text{elev}} = C_{\text{perf}} + C_{\text{tecl}} + C_{\text{var}} \quad (3.6)$$

Dónde:

C_{elev} = Costo del elevador.

C_{perf} = Costo de los perfiles.

C_{tecl} = Costo del tecl.

C_{var} = Costos varios (soldadura, pintura, pernos, etc.)

Resolviendo:

$$C_{\text{elev}} = 198 + 200 + 80 = \$ 478$$

Los costos se describen en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Tabla de costos para el elevador.

Elevador				
Cantidad	Código	Descripción	V. unitario	V. total
2	C_{perf}	Perfil rectangular 70x40x3	\$ 40,00	\$ 80,00
4		Perfil L 40x4	\$ 22,00	\$ 88,00
2		Perfil hueco redondo \varnothing 40x2	\$ 15,00	\$ 30,00
1	C_{tecl}	Tecl manual de 1 TON x 3m	\$ 150,00	\$ 150,00
2		Cadena	\$ 25,00	\$ 50,00
1	C_{var}	Balde	\$ 10,00	\$ 10,00
2		Pintura anticorrosiva	\$ 20,00	\$ 40,00
1		Soldadura	\$ 30,00	\$ 30,00
Total	C_{elev}			\$ 478,00

Fuente: (Elaboración propia).

3.6.2 Costos del desgasificador

Para establecer los costos del desgasificador, se deben considerar los valores de los materiales a utilizar para su construcción a través de la ecuación 3.7.

$$C_{\text{desg}} = C_{\text{plan}} + C_{\text{carp}} + C_{\text{var}} \quad (3.7)$$

Dónde:

C_{desg} = Costo del desgasificador.

C_{plan} = Costo de la plancha.

C_{carp} = Costo de la carpa plástica.

C_{var} = Costos varios (lana, serpentín, soldadura, accesorios, etc.).

Resolviendo:

$$C_{\text{desg}} = 4375 + 40 + 715.75 = \$ 5110.75$$

Los costos se describen en la Tabla 3.3

Tabla 3.3 Tabla de costos para el desgasificador.

Desgasificador				
Cantidad	Código	Descripción	V. unitario	V. total
7	C_{plan}	Planchas de acero inoxidable AISI 304	\$ 625,00	\$4.375,00
1	C_{carp}	Carpa plástica PEBD	\$ 40,00	\$ 40,00
1	C_{var}	Lana de vidrio	\$ 100,00	\$ 100,00
1		Manguera de PEAD	\$ 200,00	\$ 200,00
1		Soldadura	\$ 100,00	\$ 100,00
1		codo 1/2"	\$ 0,75	\$ 0,75
1		Manómetro	\$ 60,00	\$ 60,00
1		Válvula 1/2"	\$ 6,00	\$ 6,00
1		Válvula 4"	\$ 65,00	\$ 65,00
1		Tubería PEAD 4"	\$ 20,00	\$ 20,00
12		Pernos 1"	\$ 2,00	\$ 24,00
2		Perfil 100x140x4	\$ 45,00	\$ 90,00
1		Termocupla	\$ 30,00	\$ 30,00
Total		C_{desg}		

Fuente: (Elaboración propia).

3.6.3 Costo del biodigestor

Para establecer los costos del biodigestor, se consideran todos los valores de los materiales a utilizar a través de la ecuación 3.8.

$$C_{\text{dig}} = C_{\text{plan}} + C_{\text{serp}} + C_{\text{agit}} + C_{\text{adic}} \quad (3.8)$$

Dónde:

C_{dig} = Costo del biodigestor.

C_{plan} = Costo de la plancha.

C_{serp} = Costo del serpentín (tubería).

C_{agit} = Costo del agitador.

C_{adic} = Costos varios (lana, soldadura, accesorios, etc.)

Resolviendo:

$$C_{\text{dig}} = 5625 + 204.75 + 1525 + 513 = \$ 7867.75$$

Los costos se describen en la Tabla 3.4

Tabla 3.4 Tabla de costos del biodigestor.

Biodigestor				
Cantidad	Código	Descripción	V. unitario	V. total
9	C_{plan}	Planchas de acero inoxidable AISI 304 5mm	\$ 625,00	\$5.625,00
1	C_{serp}	Manguera de PEAD	\$ 200,00	\$ 200,00
2		Neplo 1/2"	\$ 2,00	\$ 4,00
1		codo 1/2"	\$ 0,75	\$ 0,75
1	C_{agit}	Eje acero inoxidable D=25mm	\$ 450,00	\$ 450,00
1		Motor electrico 1/2 hp	\$ 250,00	\$ 250,00
1		Motoreductor	\$ 500,00	\$ 500,00
1		Plancha acero inoxidable AISI 304 3 mm	\$ 325,00	\$ 325,00
1	C_{adic}	Válvula 1/2"	\$ 6,00	\$ 6,00
1		Válvula 4"	\$ 65,00	\$ 65,00
1		Manómetro	\$ 60,00	\$ 60,00
1		Termocupla	\$ 30,00	\$ 30,00
1		Bomba para agua 1/2"	\$ 100,00	\$ 100,00
1		Bomba para agua 4"	\$ 250,00	\$ 250,00
2		O´RING	\$ 1,00	\$ 2,00
Total	C_{dig}			\$7.867,75

Fuente: (Elaboración propia).

3.6.4 Costos de construcción

Para establecer los costos de construcción, se consideran todos los elementos a utilizar para la puesta en marcha del plan piloto utilizando la ecuación 3.9.

$$C_{\text{const}} = C_{\text{elev}} + C_{\text{dig}} + C_{\text{desg}} \quad (3.9)$$

Dónde:

C_{const} = Costo de construcción del plan piloto.

C_{elev} = Costo de construcción del elevador.

C_{desg} = Costo de construcción del desgasificador.

C_{dig} = Costo de construcción del biodigestor.

Resolviendo:

$$C_{\text{const}} = 3500 + 1500 + 6500 = \$ 11500$$

Los costos se describen en la Tabla 3.5

Tabla 3.5 Tabla de costos de construcción.

Costo total de construcción				
Cantidad	Código	Descripción	V. unitario	V. total
1	C_{desg}	desgasificador	\$ 3.500,00	\$ 3.500,00
1	C_{elev}	Elevador	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
1	C_{dig}	Biodigestor	\$ 6.500,00	\$ 6.500,00
Total	C_{const}			\$11.500,00

Fuente: (Elaboración propia).

3.6.5 Costo total

Se establece los costos totales para el diseño y construcción del sistema mediante la ecuación 3.10:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{elev}} + C_{\text{desg}} + C_{\text{dig}} + C_{\text{const}} \quad (3.10)$$

Dónde:

C_{total} = Costo total del plan piloto.

C_{elev} = Costo del elevador de residuos.

C_{dig} = Costo total del biodigestor.

C_{desg} = Costo del desgasificador.

C_{const} = Costo de construcción.

Resolviendo:

$$C_{total} = 478 + 5110.75 + 7867.75 + 11500 = \$ 24956.50$$

3.6.6 Cálculo del VAN y TIR

Para el cálculo del VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno), se hace una proyección de ingresos y egresos durante 10 años para conocer la viabilidad del proyecto.

Para determinar el valor del VAN se utiliza la ecuación 3.11, el cual es una medida de la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{f_n}{(1+r)^n} \quad (3.11)$$

Dónde:

I = Inversión Inicial.

f_n = Flujo o efectivo neto por año.

r = Tasa de interés o TIR = 10%

n = Número de años = 10 años.

Para determinar el valor del TIR se utiliza la ecuación 3.12, el cual es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

$$TIR = 0 = -I + \sum_{n=1}^N \frac{f_n}{(1+r)^n} \quad (3.12)$$

Se considera como ingreso la generación de biofertilizante por año, debido a que la generación de biogás se utiliza para calentar el agua que se usa en el serpentín; como egreso se considera a costos de mantenimiento y operación del biodigestor. A continuación, se muestra en la Tabla 3.6 los valores obtenidos.

Tabla 3.6 Tabla de valores VAN y TIR

INVERSION INICIAL	AÑOS	TOTAL INGRESOS	TOTAL EGRESO	EFFECTIVO NETO
24956,5	1	\$ 8.500,00	\$ 4.000,00	\$ 4.500,00
	2	\$ 8.500,00	\$ 4.000,00	\$ 4.500,00
	3	\$ 8.500,00	\$ 4.500,00	\$ 4.000,00
	4	\$ 9.000,00	\$ 4.500,00	\$ 4.500,00
	5	\$ 9.500,00	\$ 5.000,00	\$ 4.500,00
	6	\$ 9.500,00	\$ 5.500,00	\$ 4.000,00
	7	\$ 9.500,00	\$ 6.300,00	\$ 3.200,00
	8	\$ 9.500,00	\$ 6.300,00	\$ 3.200,00
	9	\$ 10.000,00	\$ 6.300,00	\$ 3.700,00
	10	\$ 10.000,00	\$ 6.300,00	\$ 3.700,00
9 años	VAN	\$-1.311,63		
	TIR	9%		
10 años	VAN	\$114,88		
	TIR	10%		

Fuente: (Elaboración propia).

Los valores positivos obtenidos en el análisis económico aparecen en el décimo año. Se interpretan como un proyecto que dentro de este rango de tiempo si es factible; considerando al mismo tiempo que los valores de factibilidad son muy bajos en comparación con la inversión inicial. Como se puede ver en la tabla 3.6, para este proyecto se empieza a tener una utilidad a partir del décimo año de funcionamiento.

Se tendrá un biodigestor fabricado en acero inoxidable AISI 304, el costo total del sistema será de \$ **24956.50**. A continuación, se muestra en la Tabla 3.7 los valores obtenidos.

Tabla 3.7 Tabla de costos del Sistema de Biodigestión

Costo del elevador	C. perfiles	\$198	\$ 478
	C. tecla	\$ 200	
	C. varios	\$ 80	
costo del desgasificador	C. planchas	\$ 4375	\$ 5110,75
	C. carpa	\$ 40	
	C. varios	\$ 715,75	
Costo del digestor	C. planchas	\$ 5625	\$ 7867,75
	C. serpentín	\$204,75	
	C. agitador	\$ 1525	
	C. varios	\$513	
Costo de construcción	C. elevador	\$ 3500	\$ 11500
	C. desgasificador	\$1500	
	C. biodigestor	\$6500	
Costo Total	C. del elevador	\$ 478	\$ 24956,50
	C. desgasificador	\$ 5110,75	
	C. biodigestor	\$ 7867,75	
	C. construcción	\$ 11500	

Fuente: (Elaboración propia).

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones.

Se estableció un procedimiento esquemático para el tratamiento de residuos sólidos urbanos generados en el Mercado Municipal de Marcelino Maridueña. Con la finalidad de obtener biofertilizante como primer producto y biogás como producto secundario, que se utilizará para el sistema de calentamiento de la mezcla de biodigestor.

Se determinó que el volumen de RSU generados en el Mercado Municipal de Marcelino Maridueña es de 4 m³ de material orgánico semanal.

Se estableció la producción de biogás generado con los desechos del mercado y es de 333kg de biogás, lo que representa el 2.56% de la mezcla total dentro del biodigestor.

Se diseñó un biodigestor de tipo Mezcla Completa, por su alta eficiencia, fácil mantenimiento y operación. Con un volumen de 20.8 m³ y una capacidad de almacenamiento de 4 m³, una relación de 1:3 de desechos orgánicos y agua. Que será construido con planchas de 5 mm de acero inoxidable AISI 304 y será recubierto en su exterior con una capa de aislante de lana de vidrio con la finalidad de evitar grandes pérdidas de calor. Se utilizará una tubería de polietileno de ½ pulg para el serpentín interno del biodigestor.

Para mejorar el proceso de digestión mesofílica se diseñó un agitador de 4 aspas que será construido en acero inoxidable AISI 304, con factor de seguridad que permita resistir la fatiga por la rotación del eje y resistencia de la mezcla.

Además, se consideró el diseño de un desgasificador que permita mejorar la eficiencia del proceso en un 17%; debido a que se puede obtener un tiempo de retención de alrededor de 5 días, disminuyendo de esta manera los tiempos de retención de 30 a 25 días del biodigestor.

En el análisis de costos se pudo determinar que el costo total del proyecto está alrededor de los \$ 24.956,50, sin considerar cualquier modificación de la zona donde se vaya a instalar el sistema, en el caso de que requiera alguna readecuación del terreno antes del montaje. A su vez, se realizó el análisis de

factibilidad y se estableció que el proyecto empezará a generar una utilidad a partir de los 10 años de su funcionamiento; debido a que se implementará este sistema con la finalidad de disminuir la contaminación producida por los desechos generados en el mercado.

4.2 Recomendaciones.

Para obtener un buen diseño de un biodigestor se debe tomar las siguientes recomendaciones:

- Considerar la construcción de un digestor de geometría de pared circular ya que facilitan la homogenización de su contenido.
- Para la selección de la ubicación del sistema de biodigestión se debe tomar en cuenta diferentes factores como: acceso a la red pública de electricidad, factores de seguridad, acceso para vehículos para la descarga del biofertilizante, desnivel del terreno, entre otros.
- Verificar que las uniones de cualquier tipo estén debidamente selladas para evitar cualquier tipo de fuga de biofertilizante o biogás.
- Tener en cuenta las condiciones ambientales cuando el biodigestor esté en funcionamiento, ya que podrían variar las condiciones de temperatura y se deberá tomar acciones correctivas para regular las condiciones internas que debe cumplir el proceso de digestión.
- Para optimizar el uso del serpentín, es decir disminuir la cantidad de calor perdido desde el biodigestor hacia el ambiente, se debe utilizar un recubrimiento de lana de vidrio en el exterior.
- No utilizar materiales de cobre (serpentín) que estén en contacto con la mezcla, ya que este material elimina las bacterias que se forman en el proceso de digestión anaerobia.
- Ubicar señalizaciones en todo el sistema, para que las personas puedan visualizar los riesgos y peligros que pueden darse al momento del funcionamiento del sistema. Se deberá instalar anuncios visibles en las áreas de seguridad que indiquen “PELIGRO: GAS ALTAMENTE INFLAMABLE” y “SE PROHIBE FUMAR”.

- Para el proceso de mantenimiento del biodigestor se recomienda realizar inspecciones periódicas del estado de los accesorios del digestor, buscando detectar fugas, rasgaduras y daños en general.
- Como prevención a futuros defectos de funcionamiento, se recomienda una evacuación periódica de los desechos acumulados (lodos) en la parte inferior del biodigestor y desgasificador, este procedimiento asegura un funcionamiento prolongados de las unidades.

BIBLIOGRAFÍA

1. Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) 2017. “¿Cómo se realiza la clasificación de residuos?”. Colombia. Recuperado de la web: <http://www.utp.edu.co/centro-gestion-ambiental/informacion-de-interes/como-se-realiza-la-clasificacion-de-residuos>
2. ING. IVAN CORONA ZUÑIGA (2007). “BIODIGESTORES. Monografía”. México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
3. SÁNCHEZ ZURITA CAROLA, M. Sc. “Influencia de los cultivos iniciadores en un proceso estándar de fermentación para determinar el potencial de producción de biogás”. Offenburg, 2009. Facultad de Ingeniería Mecánica y de Ingeniería de Procesos.
4. MARÍA TERESA VARNERO MORENO, (2011). “MANUAL DE BIOGÁS”. Santiago de Chile. © FAO 2011.
5. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía: IDAE (2007). “Biomasa: Digestores anaerobios”. Madrid – España. Recuperado de la web: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf
6. FUNDACIÓN HÁBITAT (2005). “Biodigestores: Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes”. Quimbaya, Quindío
7. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) “Los residuos urbanos y su problemática”. Madrid – España. Gestión y talento de los residuos urbanos.
8. TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE (TULSMA) 2003. TITULO PRELIMINAR DE LAS POLITICAS BASICAS AMBIENTALES DEL ECUADOR. Decreto Ejecutivo # 3516.

9. "Tratamiento de los residuos sólidos urbanos". 2017. Recuperado de la web: <https://tratamientodelosresiduos.wikispaces.com/Tratamiento+de+los+residuos>
10. NELLY CARRERAS. "ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGIA". España. Fundación CEDET. Tercera edición.
11. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Legislación consolidada BOE- ESPAÑA. 2016
12. UNESCO. LEY GENERAL SOBRE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. (Agosto 2000). República Dominicana.
13. Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC). 2011. "Mejores técnicas disponibles de referencia europea para incineración de residuos". España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Y Marino.
14. Astrid Arias, Laura Tobías, Maira Duarte, Yelitza Santiago. 2011. "DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO A PEQUEÑA ESCALA DE PRODUCCION DE BIOFERTILIZANTES, COMPOST Y BIOGAS.". Recuperado de <http://ingambientalalmy.blogspot.com/>
15. Hilda Salazar, 2010. "¿Qué es un botadero de basura a cielo abierto o basurero?". Recuperado de: <http://rellenossanitarios.blogspot.com/2010/05/que-es-un-botadero-de-basura-cielo.html>
16. Esperanza Olivera, Leonel Peralta, Yaneth Peralta. 2017. "RELLENO SANITARIO". Fundación universitaria del área Andina.
17. Galo Durazno y Alex Cabrera. 2016. "Diseño y Adecuación de una Unidad de Biodigestión". Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de Guayaquil-Ecuador.

18. YEISON OLAYA y LUIS GONZÁLEZ. 2009. "FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES". FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN de PALMIRA.
19. Norma API – 650 "DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA". 2013

ANEXOS

APÉNDICE A



Desechos acumulados en las afueras del mercado.
Fuente: propia, 2017



Desechos acumulados alrededor del mercado.
Fuente: propia, 2017

APÉNDICE B

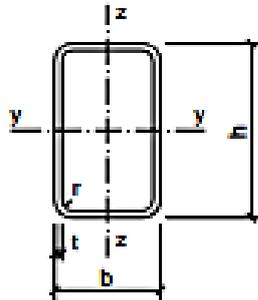
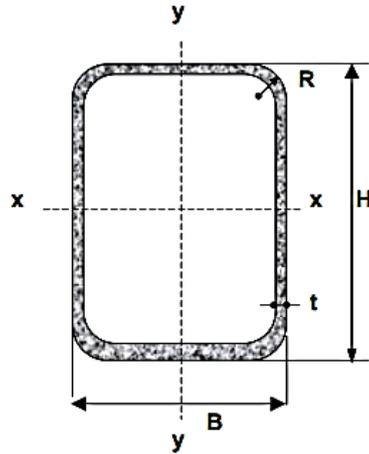


Tabla I.18.- PERFILES HUECOS RECTANGULARES

Perfil	Dimensiones					Peso p (N/m)	Términos de sección										
	h (mm)	b (mm)	t (mm)	r (mm)	u (mm)		A $\cdot 10^2$ (mm ²)	Eje Y			Eje Z			I _y $\cdot 10^4$ (mm ⁴)	S _y $\cdot 10^3$ (mm ³)		S _{xy} $\cdot 10^3$ (mm ³)
							I _y $\cdot 10^4$ (mm ⁴)	W _y $\cdot 10^3$ (mm ³)	i _y $\cdot 10$ (mm)	I _z $\cdot 10^4$ (mm ⁴)	W _z $\cdot 10^3$ (mm ³)	i _z $\cdot 10$ (mm)	I _{xy} $\cdot 10^4$ (mm ⁴)	S _{xy} $\cdot 10^3$ (mm ³)	S _{xy} $\cdot 10^3$ (mm ³)		
□ 60.40.2	60	40	2	5	191	28,5	3,70	18,1	6,03	2,21	9,69	4,85	1,62	20,7	3,70	2,80	P
□ 60.40.3	60	40	3	8	187	41,0	5,33	24,7	8,23	2,15	13,1	6,58	1,57	29,2	5,18	3,91	P
□ 60.40.4	60	40	4	10	183	52,5	6,81	29,7	9,91	2,09	15,7	7,88	1,52	38,1	6,42	4,84	P
□ 70.40.2	70	40	2	5	211	31,8	4,10	28,4	7,55	2,54	11,1	5,57	1,65	25,8	4,67	3,18	C
□ 70.40.3	70	40	3	8	207	45,7	5,93	38,4	10,4	2,48	15,2	7,59	1,60	36,4	6,59	4,47	C
□ 70.40.4	70	40	4	10	203	58,8	7,61	44,3	12,6	2,41	18,3	9,16	1,55	45,3	8,23	5,56	C
□ 70.50.2	70	50	2	5	231	34,6	4,50	31,1	8,87	2,83	18,5	7,42	2,03	37,5	5,35	4,26	C
□ 70.50.3	70	50	3	8	227	50,3	6,53	43,1	12,3	2,57	25,8	10,3	1,98	53,8	7,59	6,03	C
□ 70.50.4	70	50	4	10	223	64,7	8,41	53,0	15,1	2,51	31,4	12,5	1,93	67,8	9,55	7,57	C
□ 80.40.3	80	40	3	8	227	50,3	6,53	51,0	12,8	2,79	17,2	8,8	1,62	43,8	8,15	5,02	P
□ 80.40.4	80	40	4	10	223	64,7	8,41	62,6	15,6	2,73	20,9	10,5	1,58	54,7	10,2	6,28	P
□ 80.40.5	80	40	5	13	219	78,1	10,1	71,6	17,9	2,66	23,7	11,9	1,53	63,6	12,0	7,33	C
□ 80.60.3	80	60	3	8	287	59,5	7,73	68,8	17,2	2,98	44,2	14,7	2,39	88,5	10,5	8,60	P
□ 80.60.4	80	60	4	10	283	77,1	10,0	85,7	21,4	2,93	54,9	18,3	2,34	113	13,3	10,9	P
□ 80.60.5	80	60	5	13	259	93,5	12,1	99,8	25,0	2,87	63,7	21,2	2,29	134	15,8	12,9	P
□ 100.50.3	100	50	3	8	287	64,2	8,33	105	20,9	3,54	35,6	14,2	2,07	88,6	13,1	8,13	P
□ 100.50.4	100	50	4	10	283	83,3	10,8	131	26,1	3,48	44,1	17,6	2,02	113	16,8	10,3	P
□ 100.50.5	100	50	5	13	279	101	13,1	153	30,6	3,41	51,1	20,4	1,97	134	20,0	12,2	P
□ 100.50.6	100	50	6	15	274	118	15,3	171	34,2	3,34	58,7	22,7	1,92	151	22,9	13,9	C
□ 100.60.4	100	60	4	10	303	89,4	11,6	149	29,8	3,58	67,4	22,5	2,41	158	18,7	13,1	P
□ 100.60.5	100	60	5	13	299	109	14,1	175	35,1	3,52	78,9	26,3	2,36	187	22,4	15,7	C
□ 100.60.6	100	60	6	15	294	127	16,5	197	39,5	3,46	88,4	29,5	2,31	214	25,7	17,9	C
□ 100.80.4	100	80	4	10	343	102	13,2	188	37,2	3,75	132	33,0	3,16	254	22,6	19,4	P
□ 100.80.5	100	80	5	13	339	124	16,1	221	44,1	3,70	156	39,0	3,11	307	27,1	23,3	P
□ 100.80.6	100	80	6	15	334	146	18,9	251	50,1	3,64	177	44,3	3,06	355	31,3	26,9	P
□ 120.60.4	120	60	4	10	343	102	13,2	238	39,3	4,22	80,0	26,7	2,46	201	24,9	15,4	P
□ 120.60.5	120	60	5	13	339	124	16,1	279	46,5	4,16	94,0	31,4	2,41	241	30,0	18,4	P
□ 120.60.6	120	60	6	15	334	146	18,9	317	52,8	4,09	106	35,3	2,37	277	34,6	21,2	P
□ 120.80.4	120	80	4	10	383	114	14,8	290	48,3	4,42	155	38,8	3,24	332	29,6	22,4	C
□ 120.80.5	120	80	5	13	379	140	18,1	345	57,6	4,36	184	46,1	3,19	402	35,7	27,0	P
□ 120.80.6	120	80	6	15	374	164	21,3	395	65,8	4,30	210	52,5	3,14	467	41,4	31,3	P
□ 120.100.4	120	100	4	10	423	128	16,4	343	57,2	4,57	260	57,0	3,98	479	34,2	30,2	P
□ 120.100.5	120	100	5	13	419	155	20,1	412	68,6	4,52	311	62,2	3,93	583	41,5	36,6	C
□ 120.100.6	120	100	6	15	414	183	23,7	473	78,8	4,46	357	71,4	3,88	681	48,3	42,6	C

APÉNDICE C

Tubos de acero
Sección
Rectangular
IRAM-IAS
U 500-218
U 500-2592

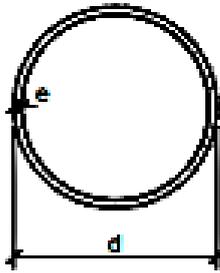


- B** = Ancho exterior
- t** = Espesor de pared
- R** = Radio de esquina exterior = 2,00 t
- p** = Área exterior por metro lineal
- A** = Sección bruta
- g** = Peso por metro lineal
- I** = Momento de Inercia
- S** = Módulo elástico resistente
- r** = Radio de giro
- Z** = Módulo plástico
- J** = Módulo de Torsión
- C** = Constante torsional

B	H	t	p	Ag	g	Ix	Sx	rx	Zx	Iy	Sy	ry	Zy	J	C
[mm]	[mm]	[mm]	[m ² /m]	[cm ²]	[Kg/m]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ³]
100	140	3.20	0.469	14.687	11.529	413.74	59.11	5.31	70.51	247.14	49.43	4.10	56.09	479.00	84.62
		4.00	0.466	18.148	14.246	503.29	71.90	5.27	86.41	299.93	59.99	4.07	68.67	585.01	104.20
		4.75	0.464	21.316	16.733	582.44	83.21	5.23	100.70	346.33	69.27	4.03	79.97	679.38	121.97
		6.35	0.458	27.829	21.846	736.24	105.18	5.14	129.24	435.74	87.15	3.96	102.45	864.44	157.97
100	180	3.20	0.549	17.247	13.539	757.75	84.19	6.63	102.44	307.11	61.42	4.22	68.48	683.56	109.40
		4.00	0.546	21.348	16.758	925.48	102.83	6.58	125.90	373.65	74.73	4.18	84.03	836.56	134.92
		4.75	0.544	25.116	19.716	1075.15	119.46	6.54	147.13	432.52	86.50	4.15	98.06	973.49	158.17
		6.35	0.538	32.909	25.833	1370.53	152.28	6.45	189.97	547.13	109.43	4.08	126.24	1244.51	205.54
100	200	4.00	0.586	22.948	18.014	1198.99	119.90	7.23	148.05	410.52	82.10	4.23	91.71	966.79	150.28
		5.00	0.583	28.356	22.260	1458.26	145.83	7.17	181.40	496.53	99.31	4.18	112.12	1177.20	184.77
		6.00	0.579	33.633	26.402	1702.05	170.21	7.11	213.31	576.32	115.26	4.14	131.56	1375.08	218.00
		8.00	0.573	43.792	34.377	2144.60	214.46	7.00	272.92	718.11	143.62	4.05	167.57	1733.32	280.65
		10.00	0.566	53.425	41.938	2529.41	252.94	6.88	326.99	837.54	167.51	3.96	199.89	2041.71	338.14
100	250	5.00	0.683	33.356	26.185	2552.06	204.17	8.75	258.54	609.34	121.87	4.27	135.87	1586.70	232.27
		6.00	0.679	39.633	31.112	2990.14	239.21	8.69	304.89	708.86	141.77	4.23	159.76	1856.36	274.40
		8.00	0.673	51.792	40.657	3797.45	303.80	8.56	392.39	887.39	177.48	4.14	204.37	2348.24	354.25
		10.00	0.666	63.425	49.788	4515.84	361.27	8.44	473.04	1040.04	208.01	4.05	244.89	2777.28	428.14
		12.00	0.659	74.532	58.507	5148.71	411.90	8.31	546.98	1168.54	233.71	3.96	281.45	3144.11	495.98

APÉNDICE E

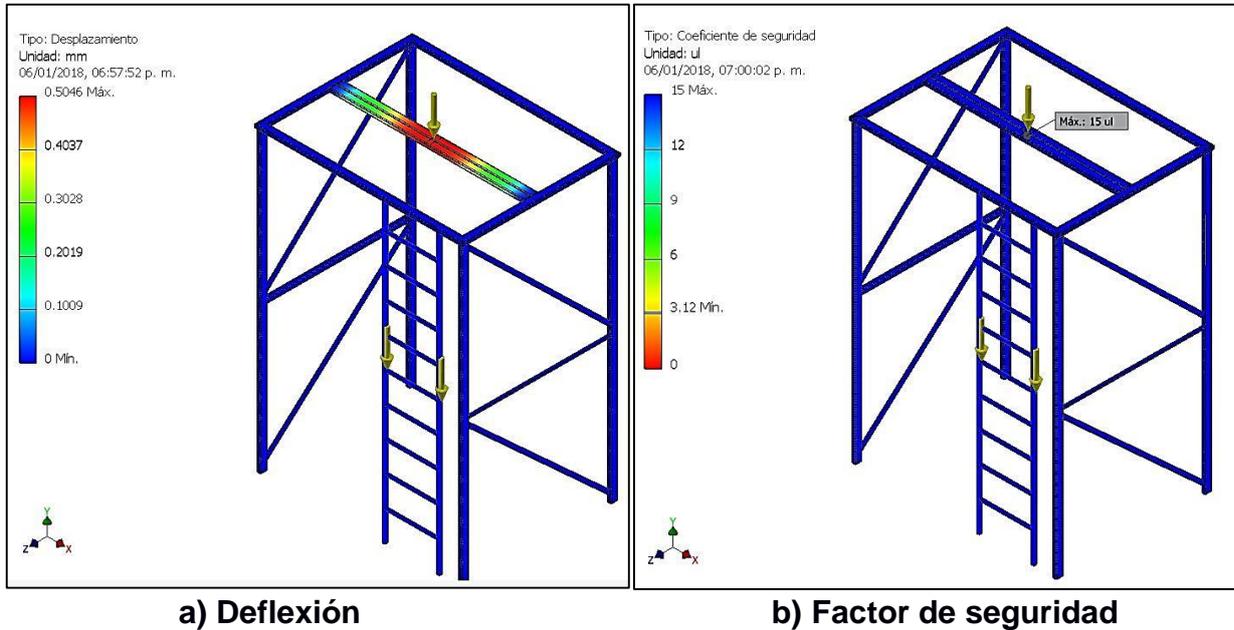
Tabla I.16.- PERFILES HUECOS REDONDOS



Perfil	Dimensiones			Peso p (N/m)	Términos de sección						
	d (mm)	e (mm)	u (mm)		A ·10 ² (mm ²)	I ·10 ⁴ (mm ⁴)	W ·10 ³ (mm ³)	i ·10 (mm)	I _T ·10 ⁴ (mm ⁴)	S ·10 ³ (mm ³)	
Ø 40.2	40	2	126	18,4	2,39	4,33	2,16	1,35	8,66	1,44	P
Ø 40.3	40	3	126	26,9	3,49	6,01	3,00	1,31	12,0	2,05	P
Ø 40.4	40	4	126	34,8	4,52	7,42	3,71	1,28	14,8	2,60	C
Ø 45.2	45	2	141	20,8	2,70	6,26	2,78	1,52	12,5	1,85	P
Ø 45.3	45	3	141	30,5	3,96	8,77	3,90	1,49	17,5	2,65	P
Ø 45.4	45	4	141	39,6	5,15	10,9	4,84	1,45	21,8	3,37	C
Ø 50.2	50	2	157	23,2	3,02	8,70	3,48	1,69	17,4	2,30	P
Ø 50.3	50	3	157	34,0	4,43	12,2	4,91	1,66	24,5	3,31	P
Ø 50.4	50	4	157	44,4	5,78	15,4	6,16	1,63	30,8	4,23	P
Ø 55.2	55	2	173	25,6	3,33	11,7	4,25	1,87	23,4	2,81	C
Ø 55.3	55	3	173	37,8	4,90	16,6	6,04	1,84	33,2	4,06	C
Ø 55.4	55	4	173	49,3	6,41	21,0	7,64	2,01	42,0	5,21	C
Ø 60.2	60	2	188	28,1	3,64	15,3	5,11	2,05	30,6	3,36	P
Ø 60.3	60	3	188	41,3	5,37	21,8	7,29	2,01	43,7	4,87	P
Ø 60.4	60	4	188	54,2	7,04	27,7	9,24	1,98	55,4	6,27	P
Ø 65.2	65	2	204	30,5	3,96	19,7	6,06	2,23	39,4	3,97	C
Ø 65.3	65	3	204	44,9	5,84	28,1	8,65	2,19	56,2	5,78	C
Ø 65.4	65	4	204	59,1	7,67	35,8	11,6	2,16	71,6	7,46	C
Ø 70.2	70	2	220	32,9	4,27	24,7	7,05	2,41	49,4	4,62	P
Ø 70.3	70	3	220	48,6	6,31	35,5	10,1	2,37	71,0	6,73	P
Ø 70.4	70	4	220	63,9	8,29	45,3	12,9	2,34	90,6	8,72	C
Ø 75.2	75	2	236	35,3	4,58	30,5	8,15	2,58	61,1	5,33	P
Ø 75.3	75	3	236	52,2	6,78	44,0	11,7	2,54	88,0	7,78	P
Ø 75.4	75	4	236	68,7	8,92	56,3	15,0	2,51	113	10,1	P
Ø 80.2	80	2	251	37,8	4,90	37,3	9,33	2,76	74,6	6,09	C
Ø 80.3	80	3	251	55,9	7,26	53,9	13,5	2,72	108	8,90	C
Ø 80.4	80	4	251	73,6	9,55	69,1	17,3	2,69	138	11,6	C
Ø 90.3	90	3	283	63,1	8,19	77,6	17,3	3,07	155	11,4	P
Ø 90.4	90	4	283	83,2	10,8	100	22,3	3,04	200	14,8	P
Ø 90.5	90	5	283	103	13,4	121	26,9	3,01	242	18,1	P

APÉNDICE F

Simulación de deflexión máxima y factor de seguridad del sistema elevador

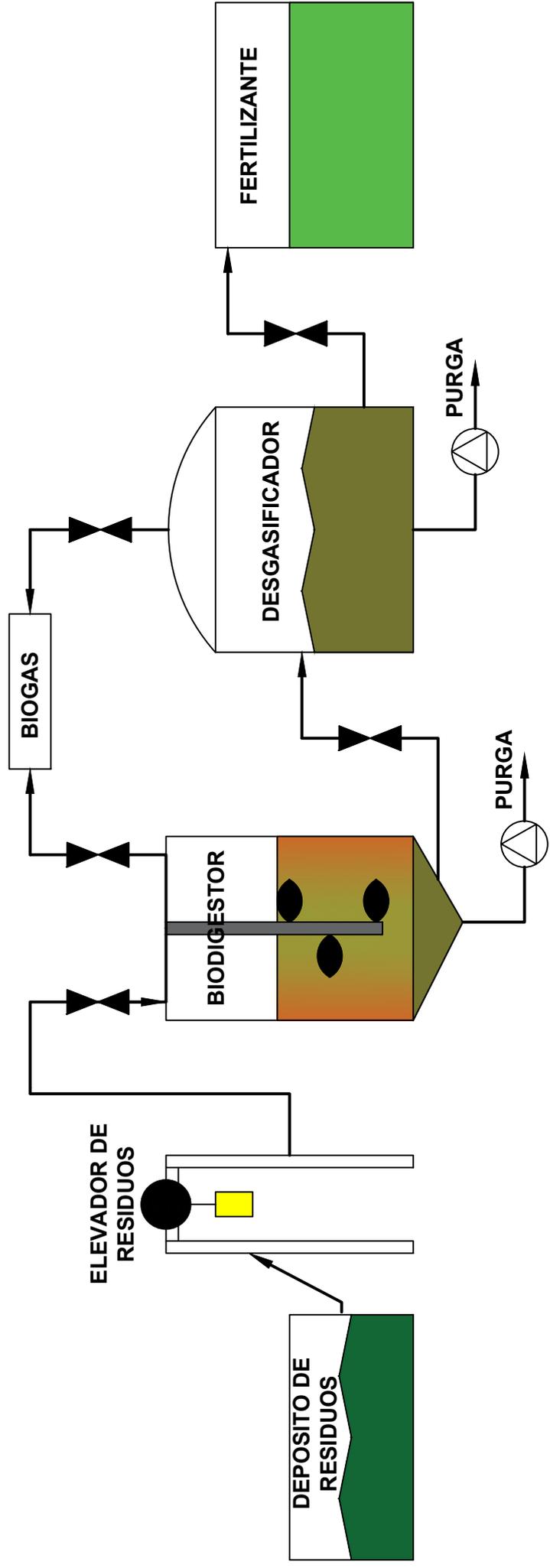


Se establece cargas puntuales en cada parte de la estructura donde va a estar sometido a una carga, en la parte superior se coloca el peso del tecele y el envase con desecho, y en la parte de la escalera el peso de la persona que subirá en la estructura. Se obtuvo una deflexión máxima de 0.5 mm ó 0.0005 m en la parte superior de la estructura, considerando un factor de seguridad de 15. En el cálculo matemático se consideró una deflexión de 0 m. Por lo cual:

$$\text{Deflexión}_{\text{fórmula}} \approx \text{Deflexión}_{\text{simulación}}$$

$$0 \text{ m} \approx 0.0005 \text{ m}$$

PLANOS

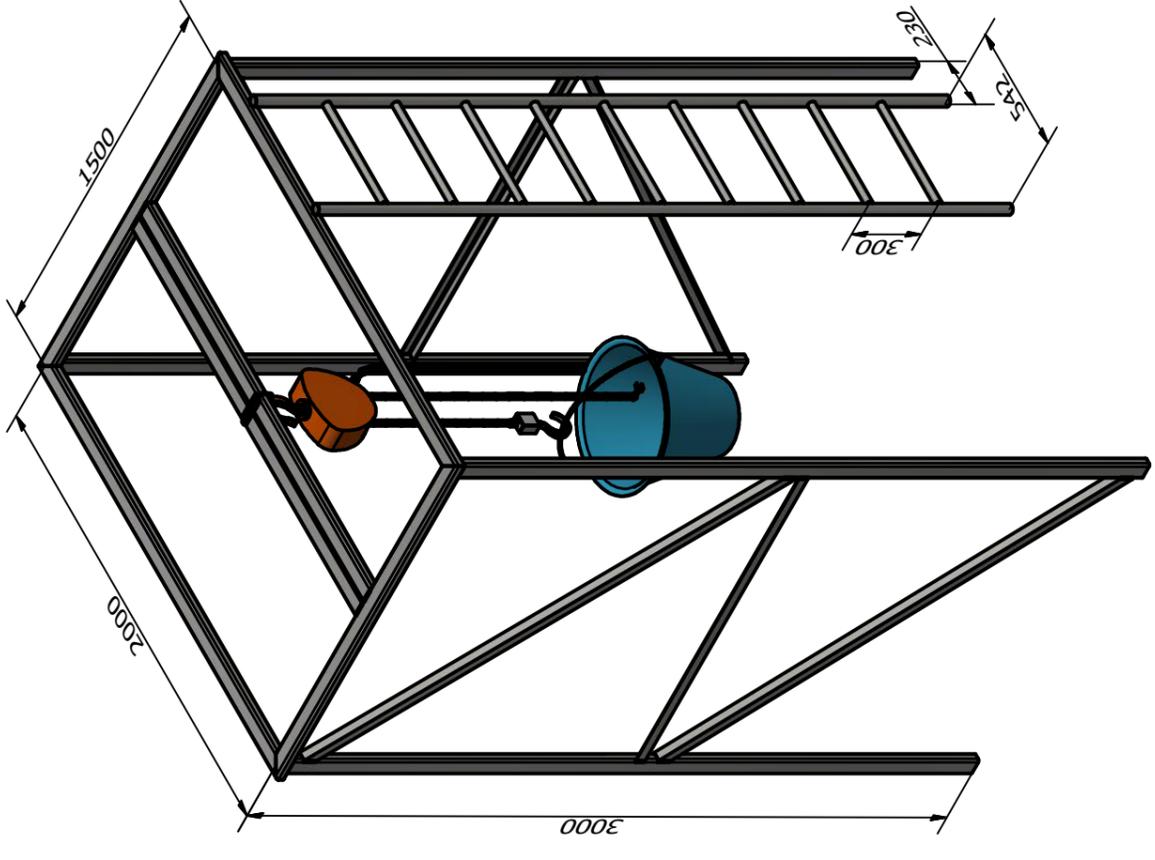
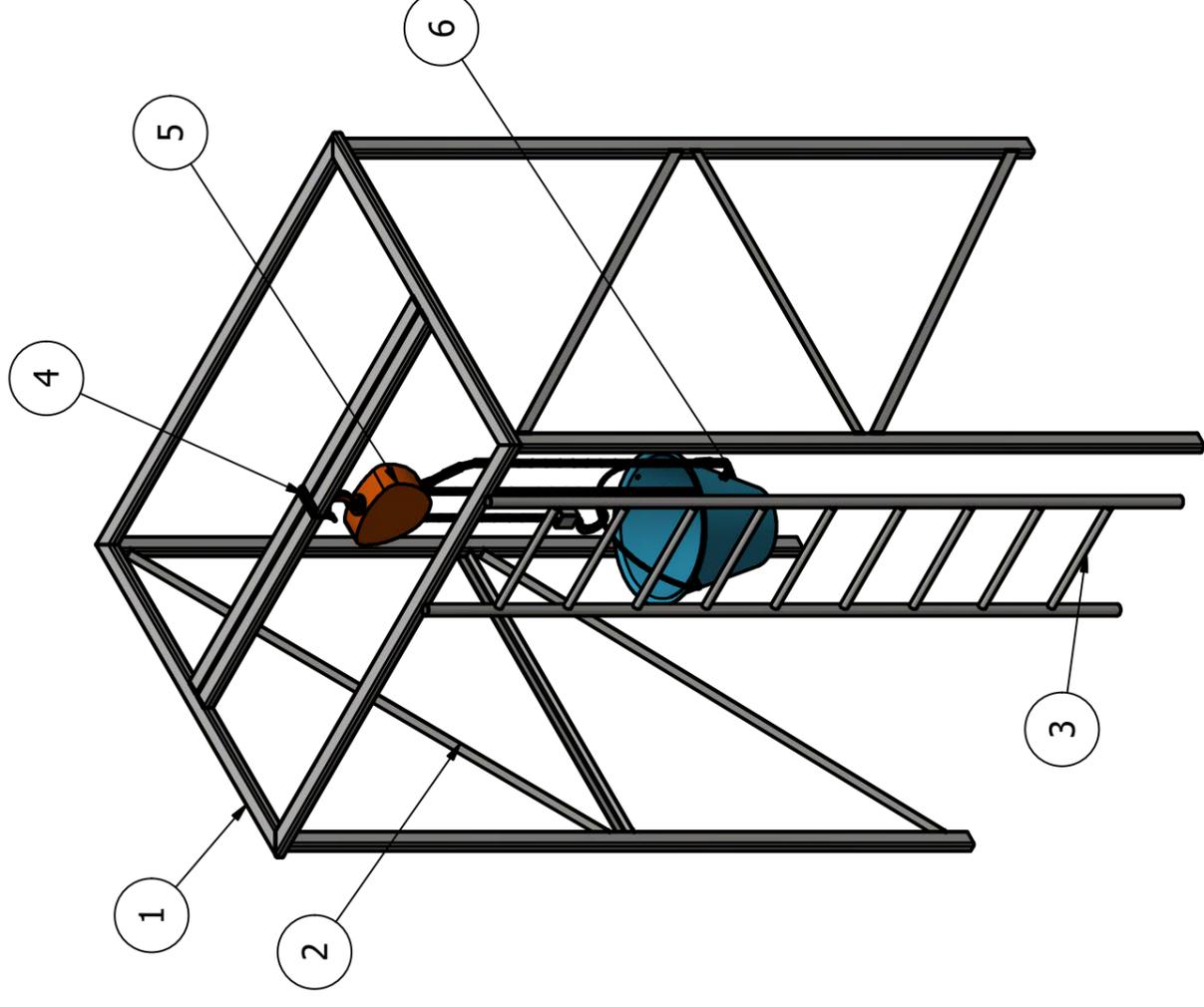


DIBUJO: ESQUEMA TRATAMIENTO DE RESIDUOS

TUTOR: J. Peralta, Ph.D. y E. Delgado. Ph.D. **CURSO:** Materia Integradora

DIBUJANTES: Edison Velaña y Carlos Roldán **PLANO:** 1

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	10	BS EN 10305-5 - 70 x 40 x 4	Tubos de acero rectangular
2	6	BS 4848 - 40x40x3	Perfil L Ángulos iguales
3	11	PN-84/H-74220 - 40x2	Tubo circular de acero
4	1	cadena superior	
5	1	tecle	
6	1	balde	Capacidad para 25 Kg



DIBUJO:

ESTRUCTURA DEL SISTEMA ELEVADOR

TUTOR:

CURSO:

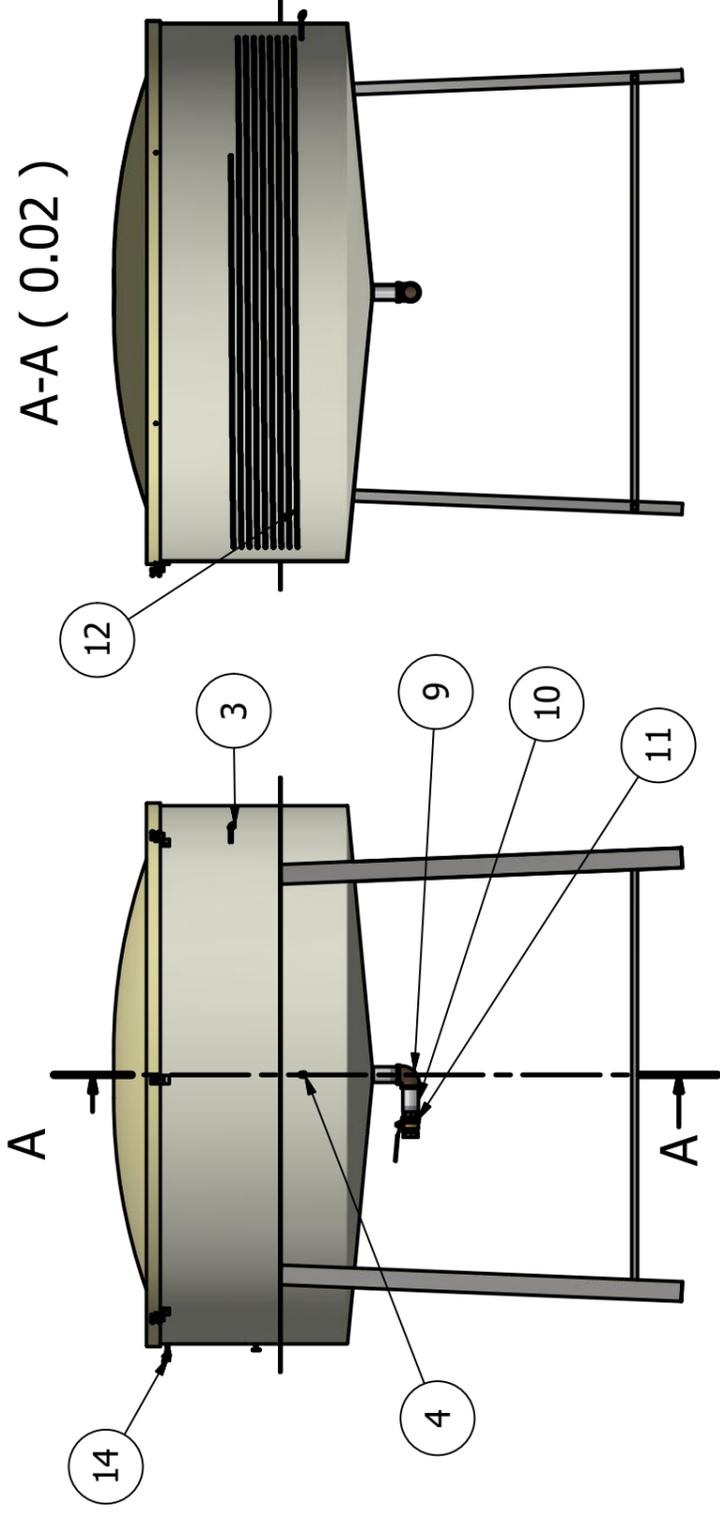
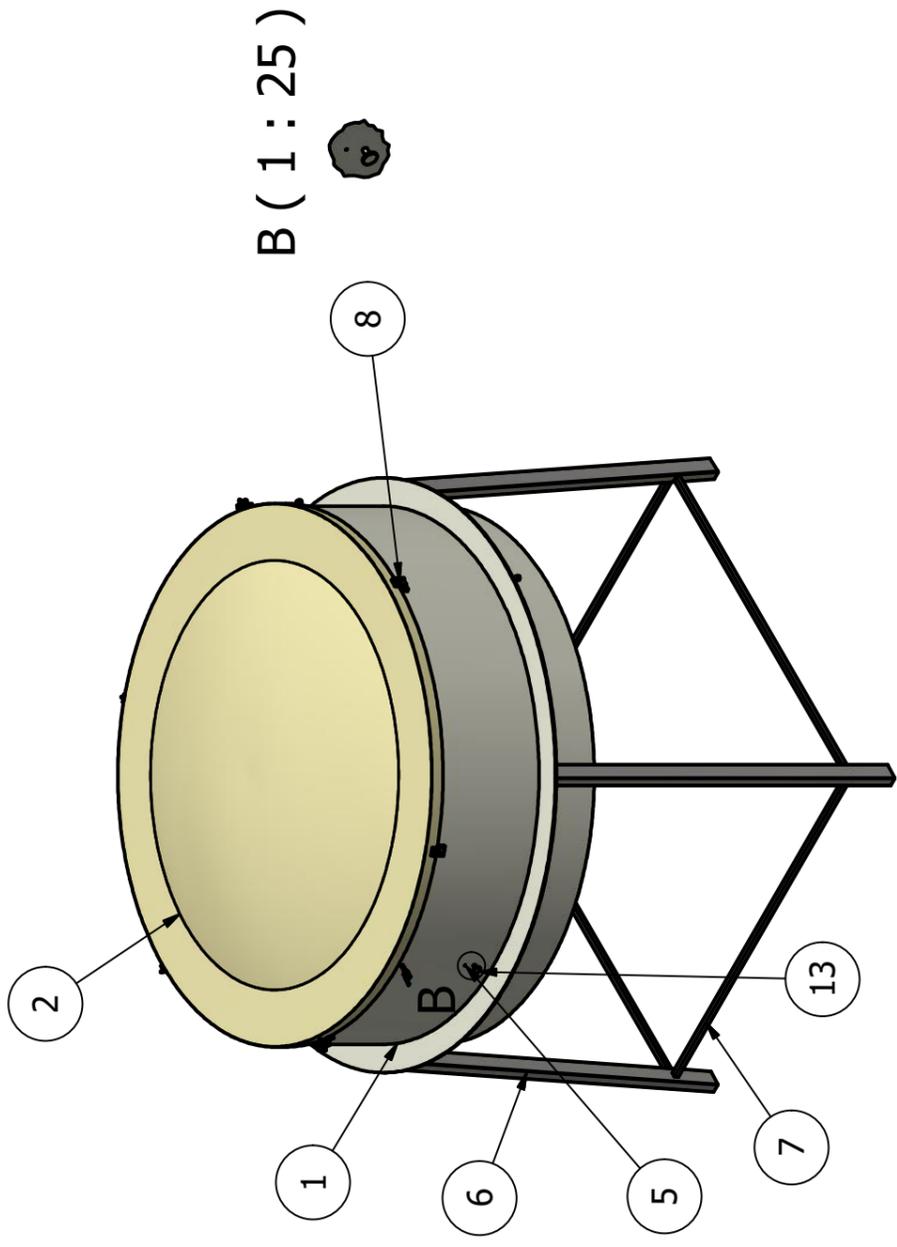
J. Peralta, Ph.D. y E. Delgado. Ph.D. Materia Integradora

DIBUJANTES:

Edison Velaña y Carlos Roldán

PLANO:

2



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Tanque	Plancha de acero inoxidable AISI 304
2	1	Tapa	Carpa plástica PEBD
3	1	codo de 1/2 "	Codo de 1/2 "para entreada del serpentín
4	1	codo de 1/2 "	Codo1/2 " para salida del serpentín
5	1	orificio 1/4 "	orificio para instalar la termocupla tipo J
6	4	perfil 100X140X4	Perfil rectangular de acero estructural
7	4	perfil 40X40X3	perfil cuadrado de acero estructural
8	6	sujetador	sujetador con pin de mariposa para asegurar la carpa plástica
9	1	codo 4 "	
10	1	Tubería 4 "	tubería de PEAD de 4 "
11	1	Válvula de bola de 4 "	
12	1	Serpentín	
13	1	Manómetro	
14	1	Válvula de Bola 1/2 "	Válvula de alivio para el Biogas

DIBUJO:

DESGASIFICADOR

TUTOR:

J. Peralta, Ph.D. y E. Delgado. Ph.D. Materia Integradora

DIBUJANTES:

Edison Velaña y Carlos Roldán

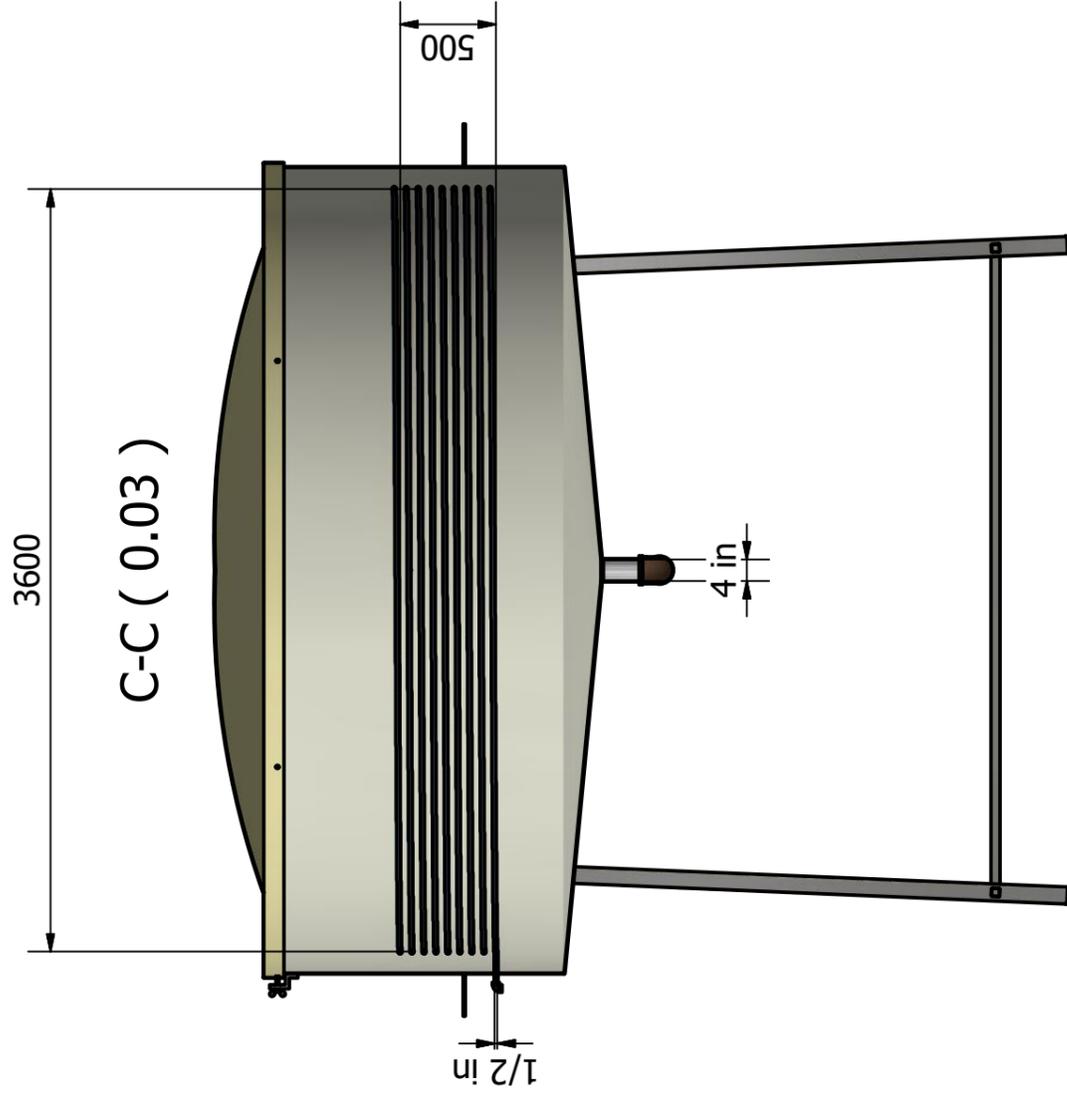
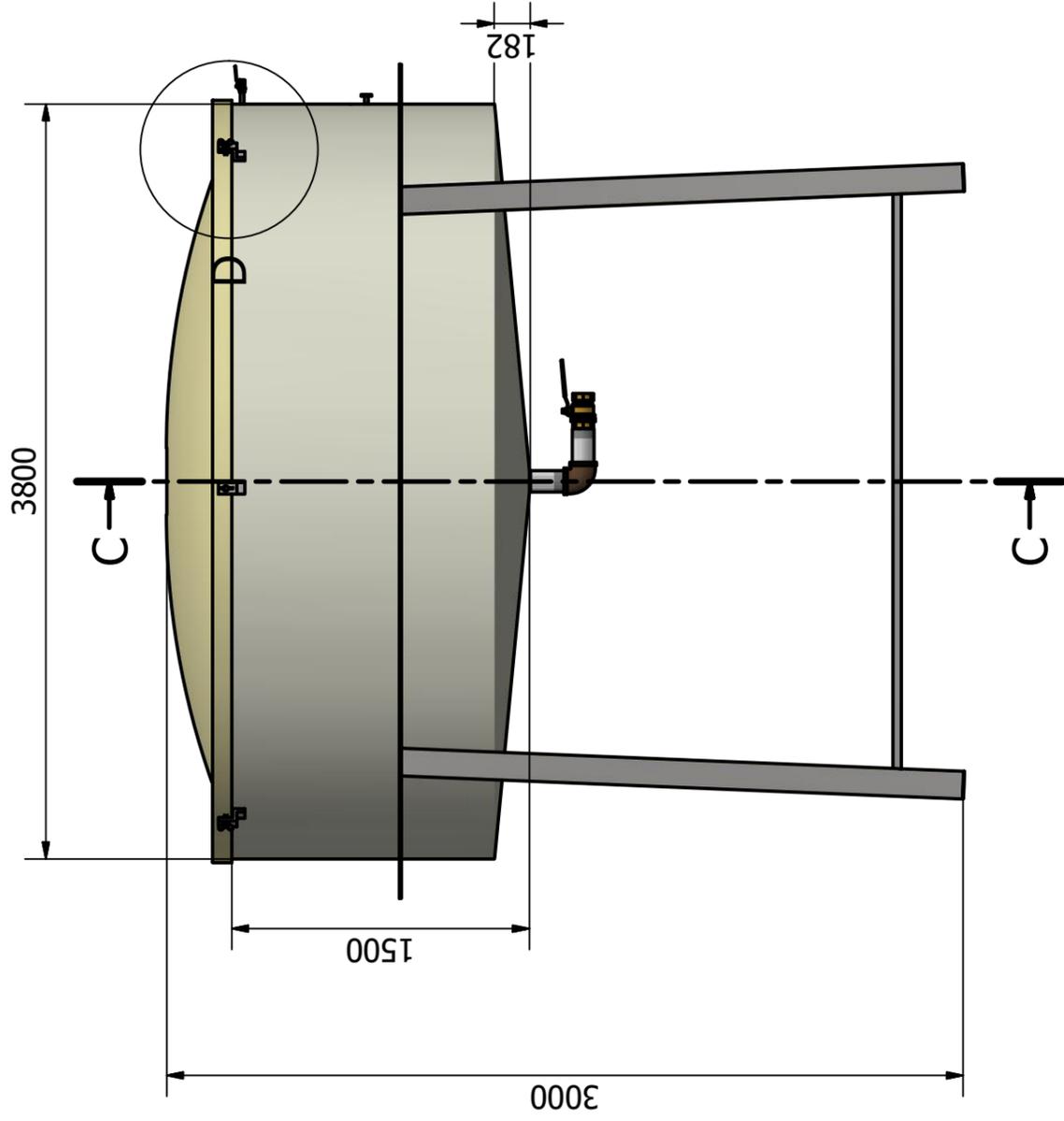
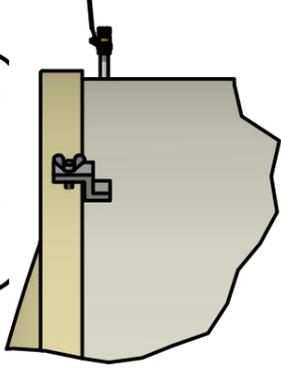
CURSO:

Materia Integradora

PLANO:

3

D (0.06 : 1)



DIBUJO:

DESGASIFICADOR

TUTOR:

J. Peralta, Ph.D. y E. Delgado. Ph.D. Materia Integradora

DIBUJANTES:

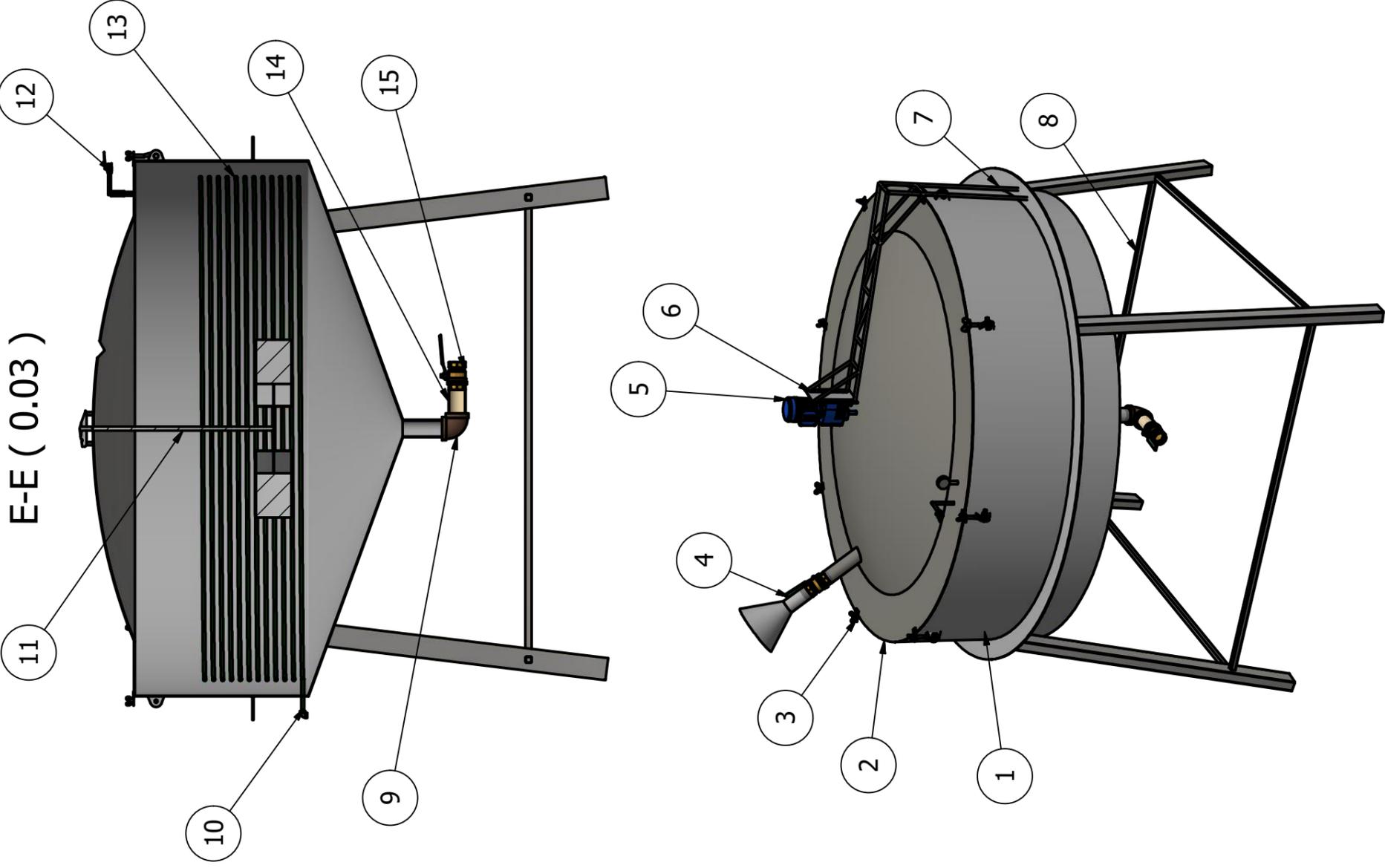
Edison Velaña y Carlos Roldán

CURSO:

Materia Integradora

PLANO:

4



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Tanque	Plancha de acero inoxidable AISI 304 de 5mm de espesor
2	1	Tapa	Plancha de acero inoxidable AISI 304 de 5mm de espesor
3	8	Sujetadores	perno M24 con tuerca de mariposa
4	1	Compuerta	compuerta de 4 pulg. con válvula de bola
5	1	motoreductor	motor electrico de 1/2 hp con caja reductora de velocidades
6	1	estructura	Perfiles circulares huecos de acero de construcción de 25 mm
7	4	perfil 100x140x4	Perfil rectangular de acero estructural
8	4	Perfil 40x40x3	Perfil cuadrado de acero estructural
9	1	codo 4 "	codo de 4 pulg de 90 grados
10	2	codo 1/2 "	codo de 1/2 pulg de 90 grados
11	1	Agitador	Eje de acero inoxidable
12	1	Válvula de 1/2 "	válvula de 1/2 pulg para la salida de biogas
13	1	Serpentin	Mangera de 12 pulg de PEAD
14	1	Tubo de 4 "	Tubo de 4 pulg de PEBD
15	2	Válvula de 4 "	Válvula de bola de 4 pulg

DIBUJO:

BIODIGESTOR

TUTOR:

J. Peralta, Ph.D. y E. Delgado. Ph.D.

CURSO:

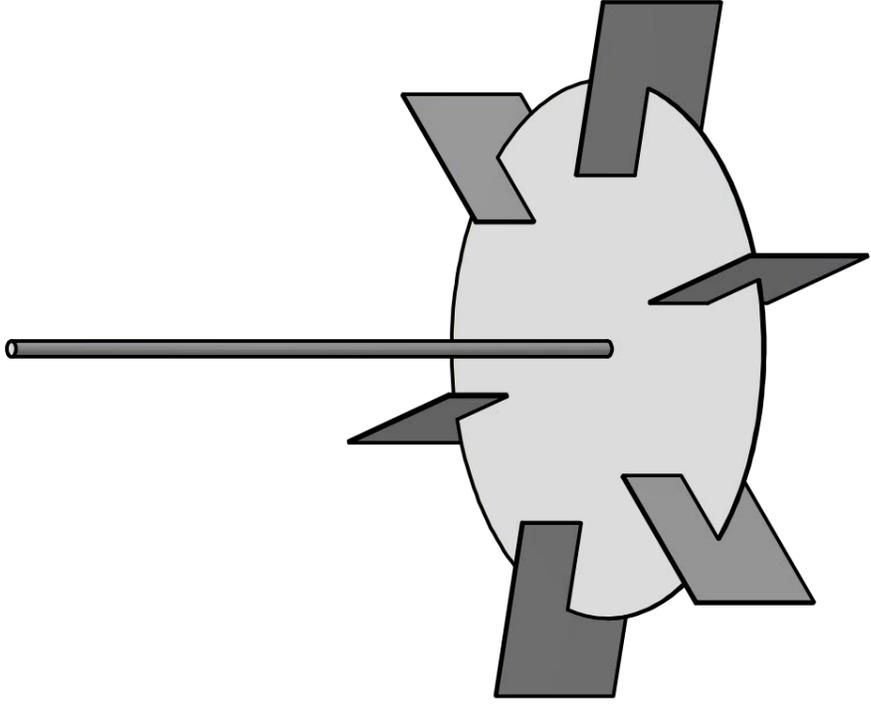
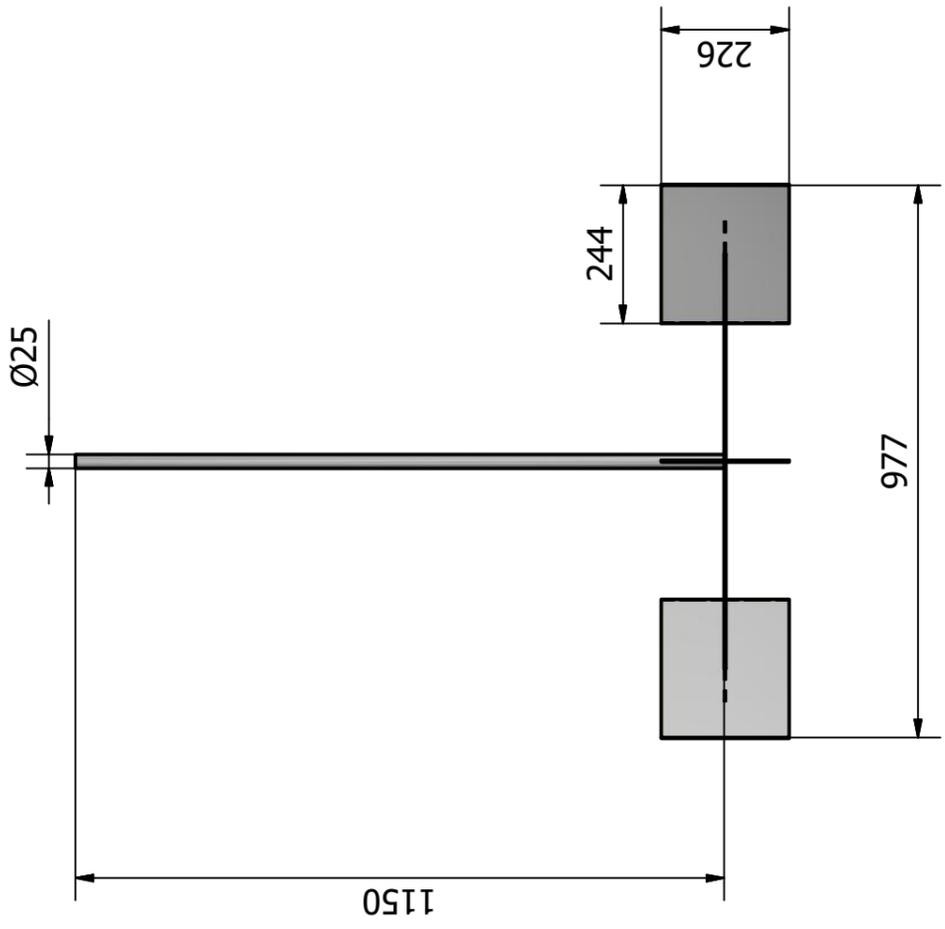
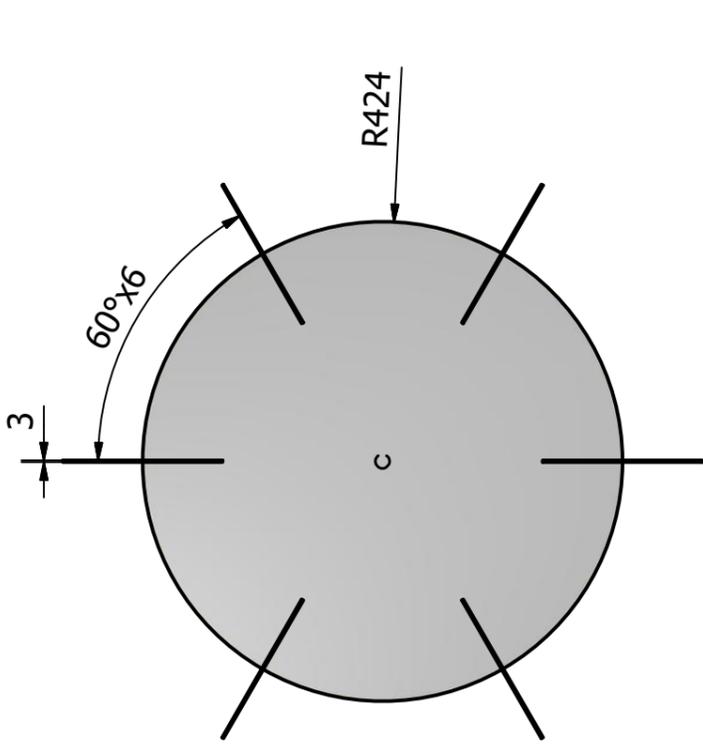
Materia Integradora

DIBUJANTES:

Edison Velaña y Carlos Roldán

PLANO:

5



DIBUJO:

AGITADOR

TUTOR:

J. Peralta, Ph.D. y E. Delgado. Ph.D.

CURSO:

Materia Integradora

DIBUJANTES:

Edison Velaña y Carlos Roldán

PLANO:

6

G (0.06 : 1)

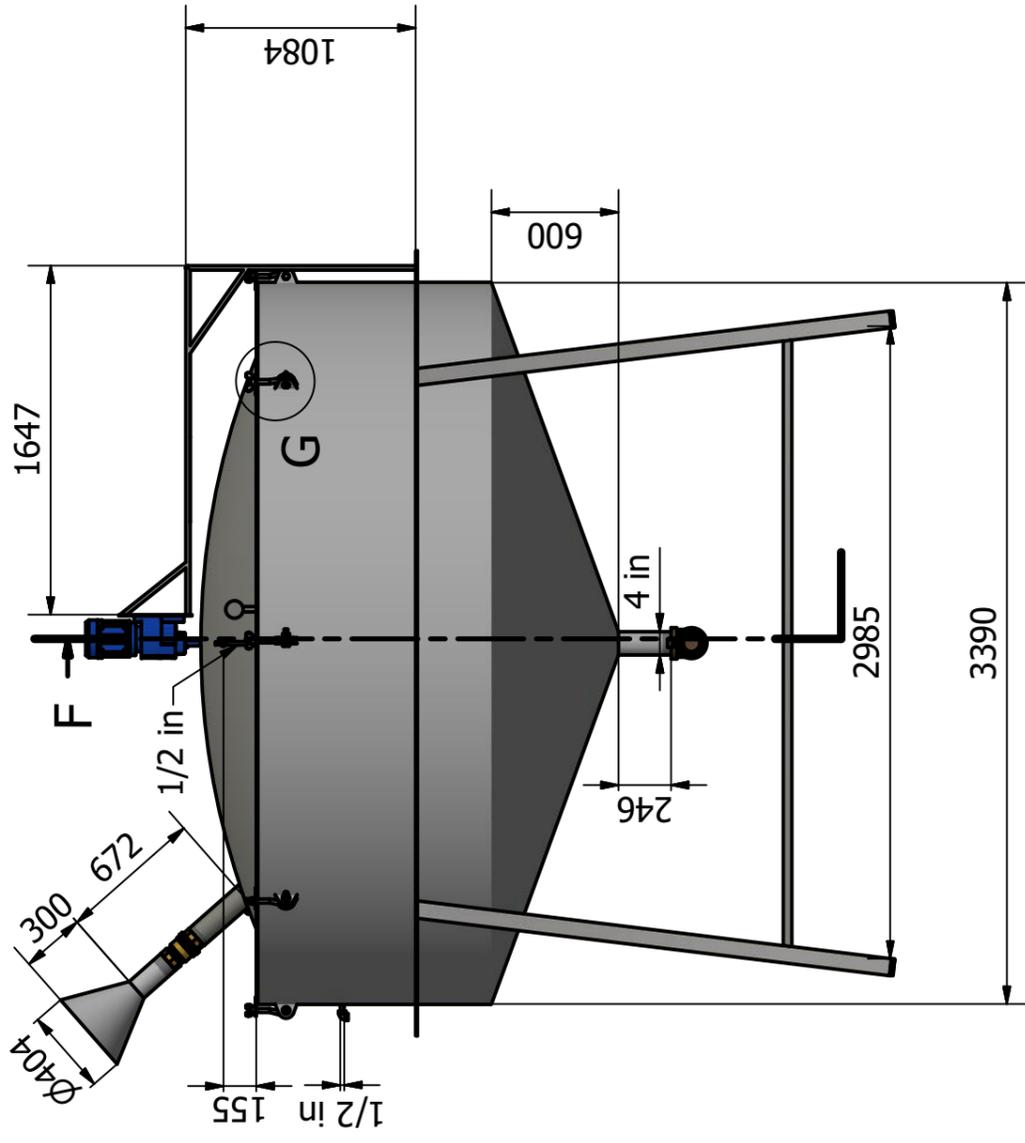
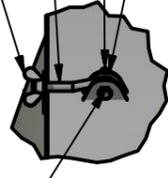
Pernox8 ISO 4014 M18x70

Tuerca de mariposax8 4373 M24

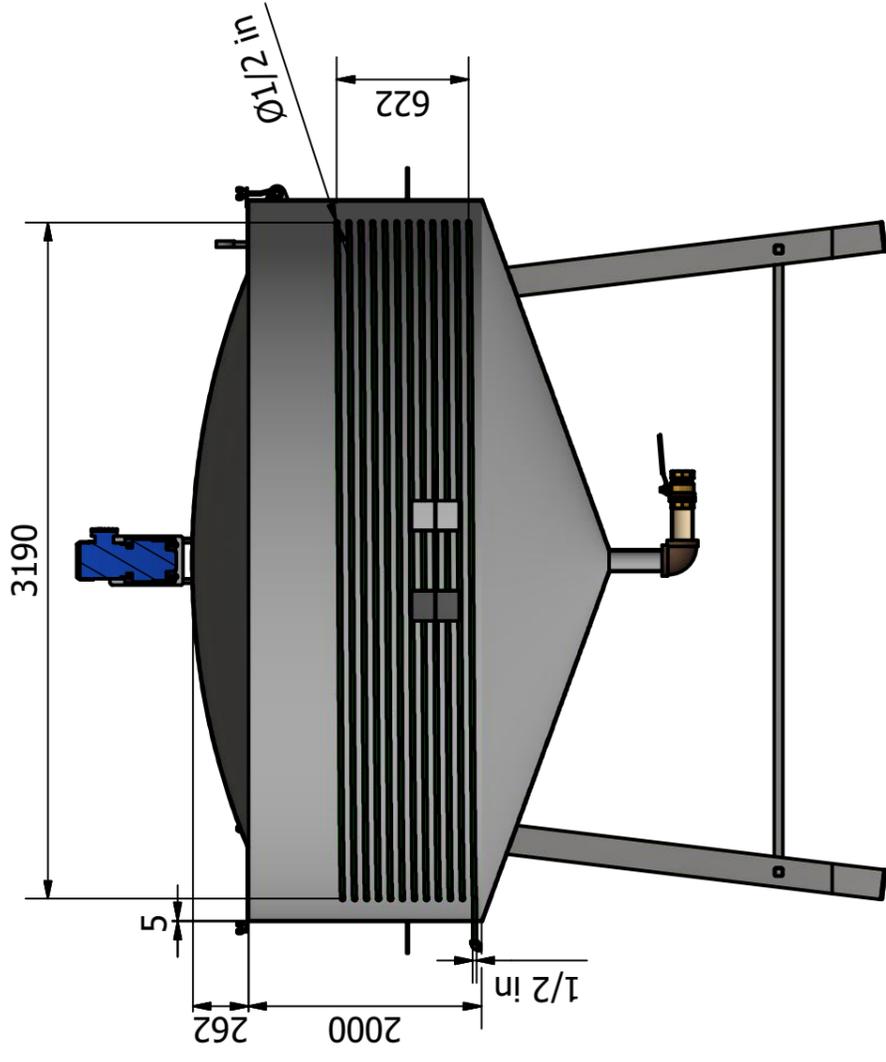
Perno CNSx8 4426 A-M24x200

Tuercax8 ISO4032 M18

Arandelax8 7089 18



F-F (0.03)



DIBUJO:

BIODIGESTOR

TUTOR:

J. Peralta, Ph.D. y E. Delgado. Ph.D.

CURSO:

Materia Integradora

DIBUJANTES:

Edison Velaña y Carlos Roldán

PLANO:

7