



---

---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UN PROTOTIPO  
DE DIGESTIÓN PARA EL RESTAURANTE DE LA FACULTAD DE QUÍMICA  
EN CIUDAD UNIVERSITARIA

**TESIS**

PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

**JACQUELINE SÁNCHEZ ALFARO**

DIRECTORA DE TESIS

**DRA. ALEJANRA CASTRO GONZÁLEZ**



Ciudad Universitaria, México D.F.

2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: M.I. Alba Beatríz Vázquez González

VOCAL: Dra. Alejandra Castro González

SECRETARIO: Ing. Juan Luis Umaña Romero

1ER SUPLENTE: M.I. Sergio Macuil Robles

2DO SUPLENTE: M.I. Carlos Villaseñor Mejía

## SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

## ASESORA DEL TEMA:

Dra. Alejandra Castro González \_\_\_\_\_

## SUSTENTANTE

Jacqueline Sánchez Alfaro \_\_\_\_\_

# AGRADECIMIENTOS

A Dios: Que me ha acompañado a lo largo de mi vida y ha hecho posible este gran logro.

A mi madre: Que da siempre sin pedir nada con el lema "Primero son los hijos", que me ha enseñado a ser fuerte con su ejemplo y a quien debo la vida antes que todo.

A mi Padre: Que hizo lo propio apoyándome cuando lo pudo hacer y agradezco de corazón.

A mi hermano: Que con su nobleza y su forma especial de ser me ha enseñado a sobresalir por el camino correcto.

A mi Facultad de Ingeniería en la UNAM por la formación académica que he recibido para así enfrentar los retos futuros.

A mi tío Guillermo: Porque me cuido por muchos años y gracias a su ejemplo, estude una carrera y a quien quiero con todo mi corazón.

A Marco Antonio: Que siempre tiene palabras sabias respecto a cualquier adversidad, ha estado conmigo en todo momento y ha ayudado con sus sabios consejos y amor.

A mis amigos: Rebeca y Araceli porque a pesar de los caminos difíciles que les toco vivir siempre son fuertes y sonríen a la vida. A Orquídea y Rocío que formamos un gran equipo en la universidad ayudándonos mutuamente. A Maribel y Verónica mis valiosas amigas que me dan ánimo para salir adelante. A Percy mi gran amigo que siempre me aconsejo y acompaño en momentos difíciles y felices de mi vida.

A mi asesora: La Dra. Alejandra Castro González que con su ayuda y consejos pudo ser posible esta tesis, además de que tuve la oportunidad de conocer a una gran persona.

A mis sinodales: M.I. Alba Beatríz Vázquez González y M.I. Sergio Macuil Robles.

A mis profesores: M.I. Isis Ivette Valdéz Izaquirre, M.I. Juan Luis Umaña Romero, M.I. Oscar Enrique Martínez Jurado, Dr. Amado Abel Jiménez Castañeda, M.I. Carlos Manuel Menéndez Martínez, M.I. Carlos Villaseñor Mejía y M.I. Agustín Demeneghi Colina a quienes admiro y marcaron la diferencia en la Facultad.

NUNCA CONSIDERES EL ESTUDIO COMO UNA OBLIGACIÓN SINO COMO UNA OPORTUNIDAD PARA PENETRAR EN EL BELLO Y MARAVILLOSO MUNDO DEL SABER.

ALBERT EINSTEIN



# ÍNDICE

Índice de contenido	I
Índice de figuras	IV
Índice de tablas	VI
Resumen	VII
Introducción	VIII
Objetivos	IX
<b>1. Capítulo 1 Antecedentes</b>	<b>1</b>
1.1 Energías Renovables	1
1.2 Biocombustibles	2
1.2.1 Biocombustibles líquidos	4
1.2.2 Biocombustibles sólidos	4
1.2.3 Biocombustibles gaseosos	5
1.3 Residuos Sólidos Urbanos	6
1.4 Desechos en Restaurantes	7
1.5 Plantas de biogás existentes en México y en el mundo	7
1.6 Análisis de ciclo de vida de Plantas de biogás	9
1.7 Aporte energético de las instalaciones de aprovechamiento de biogás	9
<b>2. Capítulo 2 Fundamentos</b>	<b>10</b>
2.1 Degradación anaerobia	10
2.1.1 Proceso de degradación anaerobia	10
2.1.2 Tipos de digestores	11
2.1.3 Parámetros operacionales de un digestor	14
2.1.4 Preparación del sustrato a digerir	17
2.1.5 Cálculo del diseño de un digestor	18
2.2 Biogás	20
2.2.1 Instalaciones	21
2.2.2 Uso del biogás	22

2.2.3	Método de predicción de la producción del biogás	23
2.2.4	Cálculos para el almacenamiento del biogás	23
2.3	Lodo digerido	23
2.3.1	Manejo y disposición	24
2.4	Planta de biogás	25
2.4.1	Operaciones Unitarias	25
2.4.2	Obra civil de una planta de biogás	26
2.4.2.1	Ingeniería Estructural	28
2.4.2.2	Ingeniería Geotécnica	33
2.4.2.3	Ingeniería Hidráulica	33
2.4.2.4	Reglamento de construcciones	35
2.4.2.5	Ejecución de la obra	40
2.4.2.6	Factor económico de las obras	55
2.4.3	Seguridad y salud	56
2.4.4	Impacto ambiental	59
<b>3.</b>	<b>Capítulo 3 Metodología</b>	<b>62</b>
3.1	Estudio de caso	62
3.2	Uso de software para el diseño de la planta de biogás	64
3.3	Residuos Sólidos Urbanos en Ciudad Universitaria	65
3.3.1	Manejo de desechos	66
3.4	Antecedentes de los residuos del restaurante en el caso de estudio	66
3.5	Antecedentes de planta de biogás en otro restaurante	68
<b>4.</b>	<b>Capítulo 4 Resultados</b>	<b>70</b>
4.1	Localización de sitio	70
4.2	Levantamiento topográfico	70
4.3	Propuesta del manejo de residuos en el caso de estudio	72
4.4	Área propuesta para la instalación de la planta de biogás	72

4.5	Diseño de la planta de biogás	73
4.5.1	Diseño del digestor	73
4.5.2	Almacenamiento del biogás	75
4.5.3	Preparación del sustrato	75
4.5.4	Lodo digerido	76
4.5.5	Aprovechamiento del biogás	77
4.6	Obra civil	79
4.6.1	Ingeniería estructural	80
4.6.2	Ingeniería geotécnica	83
4.6.3	Ingeniería Hidráulica	84
4.7	Ejecución de la obra	87
4.8	Factor económico de la obra	93
4.9	Seguridad y salud	102
4.10	Impacto Ambiental	103
4.11	Aportación social	103
<b>5.</b>	<b>Capítulo 5 Conclusiones</b>	<b>104</b>
	<b>Referencias</b>	<b>106</b>



# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Dependencia de la constante de crecimiento de la temperatura	11
Figura 2.2	Digestor tipo chino	13
Figura. 2.3	Usos del biogás	22
Figura 2.4	Diagrama de los sistemas de agua potable y tratada de Ciudad Universitaria	34
Figura 2.5	Densidad-humedad del suelo	45
Figura 3.1	Vista exterior del restaurante	62
Figura 3.2	Entrada del restaurante de la Facultad de Química	62
Figura 3.3	Residuos orgánicos del restaurante de la Facultad de Química	63
Figura 3.4	Residuos inorgánicos del Restaurante de Facultad de Química	63
Figura 3.5	Vista en planta de la zona de estudio para la planta de biogás	63
Figura 3.6	Corte 1-1 y corte 2-2 de la zona de estudio para la planta de biogás	64
Figura 3.7	Corte A-A y corte B-B de la zona de estudio para la planta de biogás.	64
Figura 3.8	Cantidad de biometano, energía y efluente de la planta de biogás	65
Figura 3.9	Generación de biogás respecto a tiempo de retención y temperatura	65
Figura 3.10	Placa colocada en el restaurante de la Facultad de Química	67
Figura 3.11	Comensales por día que asisten al restaurante de la Facultad de Química	67
Figura 3.12	Desperdicios generados en una semana en el restaurante	68
Figura 3.13	Tanque de polietileno de alta densidad	69
Figura 3.14	Parte superior de la planta de biogás	69
Figura 4.1	Localización del restaurante de la Facultad de Química	70
Figura 4.2	Croquis del restaurante de la Facultad de Química y la zona de estudio de la planta de biogás	70
Figura 4.3	Vista en isométrico del restaurante de la Facultad de Química y el área de la planta de biogás	71
Figura 4.4	Zona de estudio para la planta de biogás	71
Figura 4.5	Área designada a la planta de biogás	73

Figura 4.6	Desnivel en el área propuesta	73
Figura 4.7	Digestor anaerobio de la planta de biogás	74
Figura 4.8	Campana de acero y sus contrapesos	76
Figura 4.9	Vista en isométrico de la instalación de la tubería de biogás	79
Figura 4.10	Trampa para agua contenida en el biogás	79
Figura 4.11	Vista en isométrico de la instalación de agua del restaurante a la planta de biogás	85
Figura 4.12	Drenaje interno de la planta de biogás	85
Figura 4.13	Vista isométrica del drenaje de la planta de biogás	87
Figura 4.14	Colocación de muros de panel	88
Figura 4.15	Campana de acero sobre digestor anaerobio	90
Figura 4.16	Digestor sobre losa de soporte dentro de estructura de basalto	91
Figura 4.17	Línea de conducción conectada a la red secundaria	92
Figura 4.18	Instalaciones de planta de biogás	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Clasificación de los biocombustibles según su aspecto físico	3
Tabla 1.2	Clasificación de los biocombustibles en función de su origen	3
Tabla 1.3	Residuos sólidos húmedos	5
Tabla 1.4	Porcentaje de diferentes gases según su origen	5
Tabla 2.1	Datos típicos sobre peso específico y contenido en humedad para residuos domésticos	16
Tabla 2.2	Análisis próximo y datos energéticos típicos	17
Tabla 2.3	Análisis fundamental del material combustible	17
Tabla 2.4	Composición bioquímica del biogás	21
Tabla 2.5	Diámetro de tubería de conducción de biogás	21
Tabla 2.6	Utilización y consumo de biogás	22
Tabla 2.7	Rendimiento del biogás	23
Tabla 2.8	Coeficientes de ponderación de cargas según la esbeltez de un tanque circular	29
Tabla 2.9	Valores máximos de contenido de ion cloruro en el concreto al momento del colado	39
Tabla 2.10	Recubrimiento mínimo requerido	40
Tabla 2.11	Revenimientos especificados	50
Tabla 2.12	Valor nominal de revenimiento y tolerancias	50
Tabla 2.13	Evaluación del impacto ambiental	60
Tabla 4.1	Contraflechas para entrepiso y azotea	89
Tabla 4.2	Catálogo de conceptos de obra de la planta de biogás	93
Tabla 4.3	Programa de obra de la planta de biogás	101
Tabla 4.4	Presupuesto final de la planta de biogás	102

## RESUMEN

En este estudio se propone el diseño de una planta de biogás con un reactor anaerobio con capacidad de  $4.4 \text{ m}^3$  para contener el sustrato que proviene de los residuos orgánicos del restaurante de la Facultad de Química en Ciudad Universitaria. La carga diaria a manejar es de  $40 \text{ kg/día}$  de materia orgánica, operando bajo condiciones mesofílicas a una temperatura que oscile entre  $25^\circ\text{C}$  y  $45^\circ\text{C}$  y un tiempo de retención hidráulico de 20 días. Con estas características se pretende generar  $0.073 \text{ m}^3/\text{día}$  de biogás para ser aprovechado y no expuesto al ambiente directamente. Se sabe que el mayor porcentaje de gas contenido en el biogás es el metano el cual debe ser quemado para evitar su alto grado contaminante. De la degradación anaerobia del desecho orgánico se produce también lodo digerido de  $0.22 \text{ m}^3/\text{día}$  a partir del día 20 con las características óptimas para usarse en riego, fertilizante o recuperación del suelo. Con estos beneficios el restaurante dejaría de consumir menos gas LP por lo que dejaría de gastar  $\$2,654$  mensuales por lo menos a 25 años de la vida útil de la planta de biogás. La recuperación de la inversión sería de 3 a 4 años ya que el proyecto en su totalidad requiere de una inversión de  $\$118,531.95$ . Por lo que las ganancias se perciben después de transcurrido ese tiempo y considerando que el costo del gas LP varía a través del tiempo a un porcentaje aproximado de  $4.1\%$  anual, se dejaría de invertir  $\$31,848$  anuales por el consumo.

# INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, se está dando más importancia al tema del impacto ambiental que en otras épocas, por las problemáticas que son enfrentadas hoy por hoy, los deterioros que han sido causados y cómo se puede ayudar a no motivar más daños o los menos posibles.

Uno de los daños más significativos es la generación excesiva de residuos sólidos urbanos, ya que tan solo en México se estiman en 94,800 toneladas diarias, equivalentes a 34.6 millones de toneladas anuales, con una composición aproximada de un 53% de residuos orgánicos, 28% potencialmente reciclables y 19% no aprovechables. Se calcula que se recolecta el 87% de los residuos generados de los cuales el 64% se envía a los rellenos sanitarios o sitios controlados y el resto se deposita en tiraderos a cielo abierto o sitios sin control.

En estas circunstancias resulta de interés conocer las proyecciones de la generación de residuos a través de los años así para el 2020 podría llegar a aumentar 128,000 toneladas/día (SEMARNAT, 2012).

Con la generación de residuos sólidos orgánicos se presenta también el problema de generación de gases de efecto invernadero los cuales son expuestos sin control al medio ambiente generando daños a la salud. El metano es uno de los gases de efecto invernadero responsable del calentamiento global ya que tiene un potencial de calentamiento de 23. Esto significa que en una media de tiempo de 100 años cada kilogramo de metano calienta la tierra 23 veces más que la misma masa de CO<sub>2</sub>.

En Ciudad Universitaria la generación de residuos sólidos urbanos también es un problema importante ya que se llegan a generar 40 toneladas diarias de los cuales el 40% son residuos orgánicos que no son aprovechados y aunque actualmente existe una planta de compost, solo trabaja con ramas, hojas y pasto que se generan de las 200 hectáreas de áreas verdes de Ciudad Universitaria pero no tiene la tecnología para trabajar con residuos orgánicos generados de los 12 restaurantes existentes o los generados por la población universitaria o usuarios externos.

Por lo anterior se ha buscado la forma de mitigar el daño al medio ambiente con la utilización de las plantas de biogás ya que el uso de la biomasa aporta beneficios que no solo son energéticos, si no que su transformación se convierte en beneficiosa para el entorno.

Tomando en cuenta estas problemáticas la alternativa que se propone es el diseño de una planta de biogás en el restaurante de la Facultad de Química ya que permite extraer beneficios de su materia prima principal “los residuos de comida” generando biogás a partir de la degradación anaerobia dentro del reactor y ser usado posteriormente para cocción de alimentos en la cocina del restaurante, también con el lodo digerido se promueve a la recuperación de los suelos y aumenta la producción de la vegetación de un 30% a un 50%.

## OBJETIVO GENERAL

Determinar la factibilidad de un prototipo de digestión a partir de desechos de comida generados en el restaurante de la Facultad de Química en Ciudad Universitaria para beneficio de la comunidad universitaria y su ambiente.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Diseñar una planta de biogás con instalaciones necesarias para el restaurante de la Facultad de Química en Ciudad Universitaria, que sea capaz de generar 0.073 m<sup>3</sup>/día de biogás necesarios para la demanda de energía que requiere el restaurante
- ✓ Exponer el procedimiento constructivo de la planta de biogás
- ✓ Determinar el costo de la obra civil
- ✓ Dar a conocer los múltiples beneficios que trae al medio ambiente
- ✓ Exponer el funcionamiento de la planta de biogás
- ✓ Dar a conocer los múltiples usos del lodo digerido como mejorador de suelos.

# CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

## 1.1 Energías renovables

Las energías renovables hacen referencia a aquellas fuentes donde se genera energía en forma continua e inagotable. Las energías que conforman este grupo son: La energía generada por el viento o eólica, la energía solar (térmica y fotovoltaica), la energía hidráulica (en especial la minihidráulica), la energía geotérmica (las que proceden del mar, los biocarburantes y la biomasa). En el caso de la biomasa el criterio se mantiene si la producción de combustibles respeta los ciclos naturales y si no encarece el alimento para el respeto de la humanidad.

Las fuentes renovables se clasifican en Energías Renovables Convencionales (ERC) que son las generadas por la hidráulica y las térmicas y las Energías Renovables no Convencionales (ERNC) son: La energía eólica, la energía solar, la energía geotérmica, los océanos y la biomasa que se puede generar de diferentes procesos de aprovechamiento. Las ERNC generan un impacto inferior a las que no son renovables, también así mismo pueden contribuir a la seguridad, suministro y sustentabilidad del ambiente en ámbitos de políticas ambientales (CFE, 2008).

Las energías renovables son de gran ayuda para mitigar el efecto invernadero responsable de que la radiación del sol permanezca en la atmósfera por acción del ozono y otra parte de la radiación atraviesa la atmósfera para permanecer en la tierra lo que origina el calentamiento.

Por esto a nivel mundial se hizo un compromiso llamado Protocolo de Kioto, que compromete reducir las emisiones de los seis gases catalogados como causantes del efecto invernadero los cuales son: Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), gas metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y los tres gases de tipo industrial fluorados hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) (CFE, 2008).

Es por ello que las energías alternativas son una opción para reducir efectos negativos.

### a) Energía solar

Esta energía es limpia y completamente renovable, sirve para calentar comida y casas; se pueden usar dispositivos que la almacenan y transforman en otra energía por ejemplo: Eléctrica o las más claramente distinguible, el calor. Los dispositivos usados de esta energía son el fotovoltaico y sistemas solares térmicos (convierten radiación solar incidente en calor para la generación de agua caliente doméstica o calefacción).

### b) Energía eólica o del viento

Esta energía considerada también verde se obtiene directamente del viento al generar energía cinética por el movimiento que generan las corrientes de aire sobre un dispositivo especial para el aprovechamiento de estas. Los vientos tienen diferencias de presión generadas por calentamiento no uniforme de la atmósfera. Crean grandes desplazamientos de aire en zonas de alta presión hacia la de baja presión, un 2% del calor del Sol que llega al planeta es energía que se gasta en producción del viento, pero solo una pequeña parte se reutiliza para producir energía ya que este fenómeno ocurre a grandes alturas y mar adentro; solo los vientos con velocidades de 4 m/s a 30 m/s son aprovechables.

### **c) Energía hidráulica**

La energía hidráulica se obtiene de aprovechar la energía potencial y cinética de ríos, saltos de agua y mareas. Para que sea considerada del tipo verde, no debe ser represada ya que este tipo de obra si causa un impacto ambiental (CFE, 2008).

### **d) Energía maremotriz**

La energía del mar está ligada a la fuerza gravitacional de la tierra, la luna y el sol. La atracción que ejerce el sol y la luna sobre el mar tiende a cambiar la altura de los mares, la diferencia de alturas que genera la marea se aprovecha al interponer partes móviles entre el desplazamiento natural de ascenso y descenso del agua para obtenerse movimiento en un eje. Con un alternador es posible utilizar el sistema para la generación de electricidad (CFE, 2008).

### **e) Biomasa**

Es el material biológico que se utiliza como combustible o para producción industrial, es la materia vegetal que es cultivada para generar electricidad, combustibles o biogás. Existen dos tipos de biomasa: la de origen vegetal y de origen animal que producen fibras, también proviene de desperdicios biodegradables que es posible quemar como combustible (CFE, 2008).

### **f) Energía y desarrollo sustentable en México**

La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC) muestra el compromiso del gobierno con el cambio climático, esta estrategia identifica medidas, precisa posibilidades y rangos de reducción de emisiones, propone estudios necesarios para definir metas más precisas de mitigación y esboza las necesidades del país. Se centra en la administración pública federal, plantea acciones para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y proporciona un enfoque energético más limpio. Los dos principales organismos gubernamentales a cargo del desarrollo de recursos de energía renovable son: La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Energía. La primera tiene la responsabilidad de fijar las políticas ambientales y preservar recursos renovables y no renovables en tanto la segunda define la política energética nacional (CFE, 2008).

La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) es la responsable de promover el ahorro de energía y la eficiencia energética, la Secretaría de Desarrollo Social incluye la promoción y uso de energía renovable en algunos de sus proyectos. En 2005 se aprobó la Ley de Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE). Esta ley establece como objetivo para el año 2012 la participación de 8% de energías renovables en total de generación eléctrica (CFE, 2008).

México también cuenta con un gran potencial de producción de energía proveniente de la biomasa, si se tienen en cuenta los residuos agrícolas y forestales con potencial energético y los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de las diez principales ciudades, el país tiene una capacidad potencial de 803 MW y podría generar 4507 MW al año (CFE, 2008).

## **1.2 Biocombustibles**

Combustibles que son de origen biológico habitualmente organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos sin fosilizarse, se encuentran en estado sólido, líquido y gaseoso que al mezclarse con el oxígeno produce una reacción de combustión y genera energía calorífica. La Tabla 1.1 muestra la clasificación de los biocombustibles según su aspecto físico. Estos combustibles son renovables y generan poco impacto ambiental. Los combustibles se clasifican en función de su origen (Tabla 1.2) como por ejemplo los agrícolas pueden proceder de cultivos energéticos forestales, restos de operaciones selvícolas, los ganaderos proceden de granjas, industrias cárnicas, etc.



Tabla 1.1 Clasificación de los biocombustibles según su aspecto físico (Camps y Marcos, 2008)

Aspecto físico	Biocombustible
Sólidos	Leñas y astillas Paja de cereales y biomasa de cardo, miscanthus etc Biocombustibles sólidos densificados (pelets y briquetas)
Líquidos	Líquido piroleñoso Líquido de hidrólisis Bioetanol y bioalcoholes Aditivos oxigenados Aceite vegetal Metiléster
Gaseosos	Biogás de origen muy diverso

Tabla 1.2 Clasificación de los biocombustibles en función de su origen (Camps y Marcos, 2008)

Origen del biocombustible	Especie o procedencia	
Cultivos energéticos	Agrícolas	Cardo, sorgo, miscanto, girasol, soja, maíz, trigo, cebada, remolacha, etc.
	Forestales	Chopos, sauces, eucaliptos, robinias, acacias, etc.
Restos de cultivos agrícolas	Cultivos herbáceos	Paja, restos de cereales y otras especies herbáceas.
	Cultivos leñosos	Olivo, vid, frutales de hueso, frutales de pepita y otras especies leñosas
Restos de tratamientos selvícolas	Podas, claras, clareos, restos de cortas finales	Especies forestales de los montes
Restos de industrias forestales	Industrias de primera transformación de la madera	Especies de madera española o importada utilizadas por estas industrias
	Industrias de segunda transformación de la madera	Especies de madera española o importada utilizadas por estas industrias
Restos de industrias agro-alimentarias	Especies vegetales usadas en la industria de la alimentación	Legumbres, cereales, verduras y frutas
Restos de explotaciones ganaderas	Animales de granja, domésticos	Vacas, cerdos, gallinas entre otros
Restos de actividades humanas	Todo tipo de biomásas sólidas urbanas	Excretas

### **1.2.1 Biocombustibles líquidos**

Dentro de los productos provenientes de la biomasa se encuentran los alcoholes, los aceites y sus derivados, la tipología de los aceites son muy diversas, depende del cultivo de procedencia. En caso del aceite de oliva se tiene lo siguiente:

Aceite de oliva virgen: Por procedimientos mecánicos o físicos, en condiciones térmicas que no lo alteren y sin haber sufrido tratamientos distintos al lavado, decantación, centrifugado, y filtración.

En general, hay tres calidades de aceites de origen vegetal (aceite bruto, aceite refinado y aceite esterificado).

El aceite bruto es el que se obtiene primero con cualquier técnica industrial (pretensado o algún disolvente), el refinado es sometido a tratamientos de limpieza, decoloración y corrección de pH y el esterificado es el resultado de la reacción química entre este aceite y un alcohol. Para la obtención de los bioaceites se utilizan más de 300 especies vegetales en especial semillas y frutos, se extraen por compresión, extracción o pirolisis aunque no son adecuados para la utilización en motores de combustión interna (Camps y Marcos, 2008).

Los bioalcoholes de origen orgánico están integrados por dos tipos fundamentales: el metanol y el etanol los cuales son obtenidos gracias a un proceso de fermentación de madera y azúcares respectivamente. Pueden ser utilizados en los motores de los automóviles como una alternativa a la gasolina y la manera más común y sencilla de utilizarlos es mezclarlos parcialmente de un 10% de etanol y 90% de gasolina y un 15% de metanol con un 85% de gasolina, con esta proporción no resulta necesario modificar el motor (Camps y Marcos, 2008).

### **1.2.2 Biocombustibles sólidos**

Los biocombustibles sólidos están dirigidos a la generación térmica, se busca que mantengan su naturaleza sólida pero que se comporten como fluidos, para ser transportados en camiones de carga y se descarguen a través de una tubería para poder ser utilizados en estufas y calderas. Se tiene el pelet que es un material aglomerado o comprimido de pequeñas porciones proviene de papel, astillas de madera, serrín, restos de tableros triturados etc. se emplean en chimeneas particulares o en calderas y se desarrolló para aprovechar los residuos de los materiales orgánicos. Se tiene pensado que podrían ser usados en centrales térmicas debido a lo barato que resulta fabricar el pelet en grandes cantidades y se ahorrarían el transporte. Por su forma cilíndrica y lisa el pelet puede comportarse como un fluido que hace fácil el movimiento y la carga a las calderas.

Las briquetas están formadas por la compactación de biomasa como: madera, restos de papel, cartón, restos de tableros de fibras y polvo lijado también pueden contener algodón, paja y residuos agrícolas. Su forma es muy variada, hay cilíndricas con diámetros entre los 3 cm y 20 cm y longitudes entre los 15 cm y 50 cm, también pueden ser en forma de prisma cuadrada o prisma hexagonal hueco e inclusive en forma de ladrillo. Las briquetas de carbón se humedecen ligeramente para su compactación. Se venden a granel o en bolsas de 10 kg a 20 kg o en cajas de 10 kg y 15 kg y fueron desarrolladas para revalorizar a un conjunto de residuos sólidos orgánicos que producían calor en combustión, también para aumentar la densidad de ciertos biocombustibles que eran muy caros de transportar debido a los bajos valores de la misma (Camps y Marcos, 2008).

Su composición química dependerá del material utilizado en su constitución, si se emplean aditivos, se tomará en cuenta la composición química de los mismos, por ello, se deben conocer los porcentajes de los materiales empleados, así como la humedad a la que son manipulados.

### 1.2.3 Biocombustibles gaseosos

Los biocombustibles sólidos son obtenidos a partir de la biomasa y son: el biogás, el hidrógeno y el gas de gasógeno. El biogás es generado en dispositivos específicos o en medios naturales a partir de la degradación de residuos sólidos húmedos sometidos a fermentación anaerobia, consiguiéndose un producto que tiene generalmente un 60% de metano ( $\text{CH}_4$ ) y un 40% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), tiene la ventaja de ser considerado como un subproducto siendo motivo fundamental la fermentación, en este caso, se reduce la contaminación sobre todo cuando se trata de residuos de granjas y de industrias agroalimentarias. El hidrógeno se obtiene empleando procesos anaeróbicos como la fermentación, fotosintéticos como las algas y también puede ser obtenido a partir de procesos termoquímicos como la gasificación. La Tabla 1.3 muestra el contenido de gas metano y la fermentación.

Tabla 1.3 Residuos sólidos húmedos (Camps y Marcos, 2008)

Material	Tiempo de fermentación (días)	Contenido $\text{CH}_4$ (%)
Estiércol vacuno	115	80
Estiércol de cerdo	115	81
Paja de 30 mm longitud	120	80
Paja de 2 mm longitud	80	81
Mata de papa	50	75
Hojas de remolacha	14	85
Hierba	24	84

El gas de gasógeno se obtiene mediante el uso de residuos secos de tipo forestal o agrícola que quemados de forma incompleta se obtiene una mezcla del 20-30% de  $\text{CO}$ , 10-25% de  $\text{H}_2$ , 2-25% de  $\text{CO}_2$ , hasta 4% de  $\text{CH}_4$  y el resto de  $\text{N}_2$ . El sistema usual de obtenerlo consiste en hacer pasar una pequeña cantidad de aire mezclada con vapor de agua a gran velocidad a través de una gran masa de leña o carbón en combustión. El oxígeno presente en el aire quema el carbón desprendiendo  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$ , este se reduce de nuevo a  $\text{CO}$  al entrar en contacto con el carbón. El vapor de agua se disocia en  $\text{H}_2$ , el oxígeno se aprovecha para seguir quemando combustible y produciendo más  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$ ; en todo el proceso se produce también metano y el nitrógeno inerte aparece en los gases finales de la combustión. En la Tabla 1.4 se muestra el porcentaje de gases obtenidos de cada producto dependiendo su origen (Camps y Marcos, 2008).

Tabla 1.4 Porcentaje de diferentes gases según su origen (Camps y Marcos, 2008)

	$\text{CO}$	$\text{H}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{O}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{N}_2$
Antracita	25	20	0.5	0.5	5	49.0
Carbón bituminoso	23	10	3.0	0.5	5	58.5
Coque	28	10	0.5	0.5	5	56.0
Leña	20	18	2.0	-	12	48.0
Residuos agrícolas	12 a 28	7 a 20	0.5 a 3	0 a 0.5	4 a 20	45 a 60

### **1.3 Residuos sólidos urbanos**

Estos son generados por actividad doméstica y comercial de ciudades y poblados, también aquellos residuos que no sean peligrosos y que no son transportados por agua y que han sido rechazados porque ya no van a ser utilizados como son:

1. Residuos procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas
2. Animales domésticos muertos, así como muebles y vehículos abandonados
3. Residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria

#### **a) Composición de los residuos sólidos urbanos**

Los residuos sólidos urbanos están compuestos de los siguientes materiales:

1. Vidrio: Son los envases de cristal, frascos, botellas, etc.
2. Papel y cartón: Periódicos, revistas, embalajes de cartón, envases de papel, etc.
3. Restos orgánicos: Son los restos de comida, de jardinería, etc. En peso son la fracción mayoritaria en el conjunto de los residuos urbanos
4. Plásticos: En forma de envases y elementos de otra naturaleza
5. Textiles: Ropas, vestidos y elementos decorativos del hogar
6. Metales: Latas, restos de herramientas, utensilios de cocina, mobiliario etc.
7. Escombros: Procedentes de pequeñas obras o reparaciones domésticas
8. Madera: En forma de muebles mayoritariamente

#### **b) Impacto ambiental y socioeconómico de los residuos sólidos urbanos**

El desarrollo económico, industrialización y modelos que propician el aumento sostenido del consumo, ha hecho variar la composición de los residuos y de las cantidades producidas; como es: El plástico de origen sintético o aumentado, los metales, los derivados de la celulosa o el vidrio, que antes se reutilizaban y ahora se desechan, las pilas, aceites minerales, lámparas fluorescentes, medicinas caducadas, etc. Propician una problemática nueva de afección ambiental como la contaminación del suelo, de los acuíferos por lixiviados, contaminación de agua superficial y ocupación del territorio creando focos infecciosos, proliferación de plagas e insectos. En países desarrollados el papel y el cartón es lo que más se desperdicia y en países en vías de desarrollo la cantidad de materia orgánica es mayor (SEDESOL, 2012).

Manejo y tratamiento adecuado de los RSU:

1. Recogida selectiva: Se refiere a los contenedores que recogen separadamente el papel, el vidrio, plásticos, metal, pilas, etc. De esta manera se evita la mezcla de residuos y se aprovechan los que pueden ser reciclados
2. Recogida general: No hay separación y se colocan en contenedores generales para posteriormente el servicio de limpia los lleve a los vertederos o plantas de selección y tratamiento
3. Plantas de selección: Antes de tirar la basura pasa por una zona de selección en la que manualmente o con máquinas se retiran las latas con sistemas magnéticos
4. Reciclaje y recuperación de materiales: Con el cartón se hace una nueva pasta de papel para evitar la tala de árboles, el vidrio es reciclado y se fabrican botellas o envases, los plásticos se separan para usarse como materia prima nueva o hacer objetos diversos

5. Compostaje: La materia orgánica fermentada forma el compost que es usado para abonar, alimentar el ganado, construir carreteras, obtener combustible. Debe evitarse que se contamine con sustancias tóxicas
6. Es conveniente considerar una jerarquía a las prácticas de administración de los residuos sólidos urbanos (Reutilizar, Reducir, Reparar, Recuperar, Reciclar, Recolectar, Replantear problemas y soluciones, Rellenar sanitariamente) (SEDESOL, 2012).

#### **1.4 Desechos en restaurantes**

En México, se desperdician 30,000 toneladas de alimentos diariamente, esto se debe en gran medida a las porciones excesivas que una persona no puede consumir por completo o la mala planeación de los restaurantes en la compra de los víveres que se requieren para elaborar los alimentos, la mayoría de estos alimentos van a la basura, no hay un punto destinado a la concentración de los alimentos considerados como sobras y que todavía pueden ser consumidos; podrían ser donados pero no existe un control de ello y mientras que por lo menos un 30% de humanidad padece hambre y mala nutrición esa comida que se tira podría ser aprovechada por gente con desnutrición (Greenpeace, 2012).

En el programa ambiental de las naciones unidas (UNEP) se lanzó un reporte donde invita a los productores de alimentos, empresarios y gobiernos del mundo a priorizar los esfuerzos para reducir el desperdicio en alimentos. El objetivo primordial es tomar conciencia ante la posibilidad de una futura crisis de alimentos, existe la posibilidad de alimentar a la totalidad proyectada del crecimiento poblacional tan solo haciéndose más eficiente el manejo de los alimentos también se aseguraría la supervivencia de animales en el planeta (Greenpeace, 2012).

Los ambientalistas señalan que la comida que va a la basura no solamente representa una gran pérdida de recursos tales como agua utilizada para la producción (más de mil trillones de litros de agua), trabajo humano y energético. El costo económico y fuente de polución generada por su transportación, la putrefacción de los alimentos genera metano que causa 20 veces más calentamiento atmosférico que el CO<sub>2</sub>, colocando a esta como una gran problemática ambiental. Ante esta situación, antes de pensar en aprovechar los residuos se debe visualizar como no generar tantos desperdicios que aun están en buen estado, planificando la cantidad necesaria para cada día e invitar a los comensales a que no desperdicien y pidan solo lo necesario que van a consumir (Greenpeace, 2012).

#### **1.5 Plantas de biogás existentes en México y en el mundo**

En México, las energías renovables están tomando más fuerza y esto se debe a la conciencia de la población sobre este tema, desde las comunidades rurales que han encontrado grandes beneficios prescindiendo de la quema de madera u otros combustibles y ahora hacen uso de la biomasa como principal fuente de energía.

En el Distrito Federal y algunos estados de la república que cuentan con rellenos sanitarios se aprovechan las cantidades de biogás que se genera.

##### **a) Plantas en México**

Planta de biogás en Monterrey

A partir de agosto, Simeprode la empresa pública de la ciudad de Monterrey (México) encargada de la gestión de los residuos urbanos, conectará una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de 5.3 MW que servirá para mover las dos líneas de metro de esta ciudad, conocido popularmente como Metrorrey. El número de motogeneradores da nombre al proyecto, Monterrey

Cinco, que según el propio Jorge Padilla (director de Simeprode), llevará un proceso de instalación y construcción.

Los cinco motogeneradores tienen una capacidad de 5.3 MW y para su adecuada instalación varios técnicos mexicanos acudieron a Austria para recibir un curso de capacitación, también se contará con especialistas llegados de Alemania para iniciar un trabajo que será mayoritariamente realizado por empleados de Monterrey. La energía producida está previsto que alimente no solo las dos líneas actuales de metro sino también las nuevas que se inaugurarán en una inminente ampliación. Se afirmó que se producirá suficiente energía eléctrica para que todo el metro con su ampliación funcione al 100% con bioenergía que será producida con la basura, limpia de las calles, energía no derivada de combustibles fósiles (gas, petróleo o carbón). Además, se calcula que sobrará energía, que se aprovechará para el alumbrado público de la zona metropolitana. Según informa el diario local El Porvenir, este sistema permitirá al metro desconectarse de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y ahorrar en el gasto de energía eléctrica. Aunque la inversión inicial supera los 6.5 millones de dólares (4.2 millones de euros), ésta se recuperará en un máximo de cinco años, porque en vez de pagarle a la CFE lo hará a Simeprode, por lo tanto el dinero no va a salir del Gobierno del Estado, porque son dos organismos del mismo gobierno (Simeprode, 2007).

En general en el país las plantas de biogás tienen éxito donde tienen ganado, ya que es un beneficio para deshacerse de los residuos que generan los animales y al mismo tiempo generar gas para su consumo.

## **b) Plantas de biogás en el Mundo**

### **1) Länder Alemán (la más grande del mundo)**

Se comenzó a construir en noviembre de 2007 por la compañía Nawaro BioEnergie, planificada por Envitec. La planta Güstrow comenzó a funcionar en el año 2010, la materia prima que recibe de granjeros radicados de 50 km la procesa en veinte digestores. Se generan 46 millones de metros cúbicos anuales de biogás para cubrir las necesidades de 50,000 habitantes (EnviTec, 2007).

### **2) Planta japonesa empresa**

La primera planta de biogás del mundo que recupera separadamente hidrógeno y metano a partir de la basura acumulada en la cocina (tanto alimentos como papel), la planta reduce a 15 días el tiempo de transformación actual de 25 días. El nuevo sistema consigue fermentar también el hidrógeno, además del metano, separadamente, lo que amplía los residuos a emplear para la obtención de biogás hasta los desechos de las cocinas, al mismo tiempo que la energía recuperada llega al 55% y se rebaja la producción de residuos (TendTec, 2004).

### **3) Burgo España**

La energía anual generada de esta planta será suficiente para suministrar electricidad a 7,000 hogares, tendrá una instalación de 3 motores donde utilizará el biogás generado de sus fábricas para la generación combinada de vapor y electricidad. Estos motores tendrán una capacidad instalada de 7.5 MW con una generación eléctrica anual generada de 49 millones de kwh para una población de 28,000 habitantes. Los gases que se escapan se llevarán a una caldera de recuperación donde se generará vapor que se destinará al proceso de fabricación de papel reciclado (ENEREN, 2008).

### **4) Plantas de biogás en India**

Se desarrollaron a mediados del siglo XX, durante la segunda guerra mundial. Se opera a presión constante medida con un gasómetro incorporado en el mismo dispositivo. En este país existen más de un millón de plantas (Bautista, 2011).

## 5) Plantas de china

En China hace más de 50 años que se construyeron. Actualmente más de 20 millones de personas usan el biogás como combustible, estuvo basado del modelo hindú pero a diferencia de este el digester es hermético y tiene diferencias en la salida del biogás (Bautista, 2011).

### 1.6 Análisis de ciclo de vida de plantas de biogás

Para el diseño de una planta de biogás se tiene:

1. El tanque de mezcla: Se mezcla el material de fermentación con agua y se eliminan impurezas que pueden obstruir la planta
2. El tubo de carga: Por donde entra el cieno de fermentación al digester
3. El digester: Donde las bacterias producen el biogás
4. El tubo de descarga: Es por donde el cieno fermentado deja el digester
5. El depósito de gas: Es donde se acumula el gas
6. La tubería de gas: Que lleva el biogás hacia el sitio de consumo
7. Instalación hidráulica que contiene: Tarja, tubería de agua para la limpieza posterior del digester.
8. Instalación sanitaria con sus respectivos accesorios

Teniendo construida la planta de biogás en su totalidad, deben seguirse las instrucciones de uso para su mejor funcionamiento, esto considera: la cantidad de carga que necesita diariamente el digester, medición del pH, el triturado de los residuos antes de introducirlos al digester, la agitación de la campana (de tipo hindú) para evitar la formación de natas y que ellas impidan la salida de gas y la salida del lodo digerido. Este modelo solo necesita lavarse una vez al año en su totalidad. Por sus materiales la planta de biogás puede estar funcionando 24 horas al día durante los 365 días del año, con un correcto funcionamiento una planta de biogás puede durar un poco mas de 25 años y recuperarse su inversión en poco tiempo. Una planta de biogás es una industria en sí misma, rentable que supera con creces a otras inversiones tradicionales (FUCOHSO, 2008).

### 1.7 Aporte energético de las instalaciones de aprovechamiento de biogás

Como el aporte energético proviene de un restaurante se considera el desecho de comida en su totalidad. Dentro del digester se genera un proceso de digestión entre los residuos orgánicos y los microorganismos generando biogás, este gas contiene en su mayoría metano y dióxido de carbono.

El valor energético del biogás estará determinado por la concentración de metano alrededor de 20 – 25 MJ/m<sup>3</sup>, comparado con 33 – 38 MJ/m<sup>3</sup> para el gas natural (Magaña y col., 2006).

Un metro cúbico de biogás totalmente en combustión es suficiente para:

1. Generar 1.25 kw/h de electricidad
2. Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt
3. Poner a funcionar un refrigerador de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante 1 hora
4. Hacer funcionar una incubadora de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante 30 minutos
5. Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas (Alvarez y Caneta, 2004).

Se considera la carga de 10 kg a 15 kg diarios de materia orgánica con 30 a 40 litros de agua, genera una cantidad aproximada de 5 kg /mes de gas natural y 30 a 40 litros de lodo digerido que es usado para abono y fertilizante natural.

# CAPÍTULO 2 FUNDAMENTOS

## 2.1 Degradación Anaerobia

Es un proceso biológico llamado fermentación donde la materia orgánica a falta de oxígeno y por medio de bacterias específicas, se descompone en una mezcla de gases principalmente metano y dióxido de carbono llamado biogás y en lodo difícil de degradar. Durante la digestión se produce la muerte de gran parte de microorganismos, así, existe una liberación de fósforo e hidrogeno que forman el tejido (Ortega, 2002).

### 2.1.1 Proceso de degradación anaerobia

La degradación anaerobia pasa por un proceso un tanto complejo, por las reacciones químicas que pueden llegar a darse. De estudios bioquímicos y microbiológicos el proceso anaerobio se divide en las siguientes cuatro fases:

#### 1. Hidrólisis

Es el paso inicial de la degradación anaerobia de sustratos orgánicos complejos; los microorganismos solo pueden usar materia orgánica soluble que pueda atravesar su pared celular. La hidrólisis es la que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaerobia, estos sustratos están constituidos de 3 tipos de macromoléculas que son: Hidratos de carbono, lípidos y proteínas (Ortega, 2002).

#### 2. Etapa fermentativa o acidogénica

En esta etapa es donde se cumple la fermentación de las moléculas orgánicas solubles (Ortega, 2002).

#### 3. Etapa acetogénica

Cuando algunos productos fermentados pueden ser metabolizados por organismos *metanogénicos*, otros deben ser transformados en productos más sencillos a través de las bacterias *acetogénicas* (Ortega, 2002).

#### 4. Etapa metanogénica

Los microorganismos *metanogénicos* completan el proceso de digestión anaerobia, estos microorganismos poseen varias enzimas especiales como ejemplo la coenzima M, que participa en la formación del metano (Ortega, 2002).

Las variables que influyen son:

#### a) Temperatura

La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos y que van ligados a la temperatura, si la temperatura aumenta, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión. La temperatura de operación en un digestor es de los parámetros más importantes para su diseño debido a la velocidad de degradación anaerobia, si hay variaciones bruscas de temperatura en el digestor provocaría desestabilización en el proceso por esta razón es necesario un sistema adecuado de agitación y controlar la temperatura.



Siendo la velocidad máxima específica de crecimiento mayor conforme aumenta la temperatura. En la Figura 2.1 se muestra que el parámetro alcanza su punto máximo y es ahí donde se indica la temperatura óptima (Ortega, 2002).

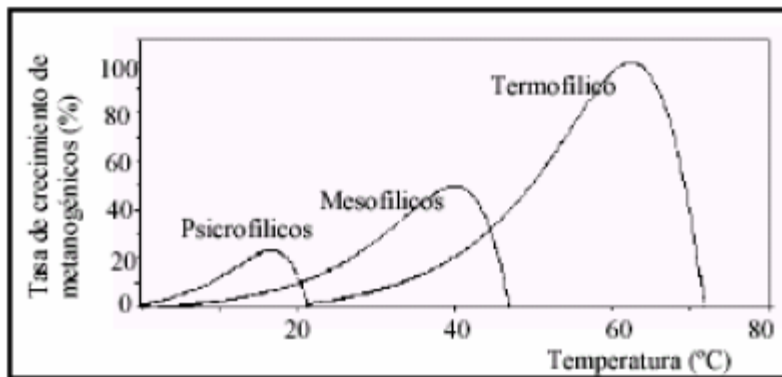


Figura 2.1 Dependencia de la constante de crecimiento de la temperatura (Martí, 2006)

Existen tres rangos de temperatura donde pueden trabajar los microorganismos anaerobios:

1. Psicofílico.- Debajo de los 25° C
2. Mesofílico.- Entre 25°C y 45°C
3. Termofílico.- Entre 45°C y 65°C

La combinación de dos fases de digestión tiene los siguientes aspectos; la primera termofílica de elevada carga orgánica y una segunda mesofílica con menor carga con este sistema se aprovechan las ventajas del sistema termofílico pero se reducen los problemas de estabilidad.

La temperatura del proceso actúa también sobre aspectos físico-químicos del mismo. La solubilidad de los gases generados desciende al aumentar la temperatura, favoreciéndose la transferencia líquido-gas. Esto supone un efecto positivo para el caso de los gases tales como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  dada su toxicidad sobre el crecimiento de los microorganismos anaerobios. Una posible desventaja de este fenómeno es que el descenso de la solubilidad del  $\text{CO}_2$  provocaría un aumento del pH, lo que generaría, en fangos de elevada concentración de amonio, posibles situaciones de inhibición por  $\text{NH}_3$ . Por otra parte, la solubilidad de la mayoría de las sales aumenta con la temperatura de manera que la materia orgánica es más accesible para los microorganismos aumentando así la velocidad del proceso. Por último, la viscosidad de sólidos y semisólidos disminuye al aumentar la temperatura lo que implica menores necesidades de agitación (Martí, 2006).

La viscosidad de los sólidos y semisólidos disminuye al aumentar la temperatura lo que evita la necesidad de agitación.

### b) pH y Alcalinidad

Los grupos de microorganismos presentes en la digestión demuestran las siguientes características de neutralidad respecto a los niveles actividad:

1. Fermentativos entre 7.2 y 7.4
2. Acetogénicos entre 7 y 7.2
3. Metanogénicos entre 6.5 y 7.5

Para que el proceso sea adecuado debe estar entre 6 y 8. El valor del pH del digestor determina la producción de biogás y su composición. Si llega a existir un descenso del pH digamos a valores menores de 6 el biogás que se genera es muy pobre en su contenido de metano que hace que tenga

pocas cualidades de energía. El pH es una de las variables utilizadas en el diagnóstico de los sistemas anaerobios de digestión aunque no debe considerarse una variable de control por ser demasiado lenta, por ejemplo: La acidificación del reactor provocada por desequilibrios en la producción y consumo de ácidos grasos volátiles. La acumulación de estos provoca descensos de pH en función de la alcalinidad del medio (Ortega, 2002).

El pH afecta también a diferentes equilibrios químicos por ejemplo el ácido-base del amoníaco y del ácido acético, si aumenta el pH favorece a formar amoníaco, que, si se presenta en grandes cantidades inhibe el crecimiento microbiano y si baja el pH propicia a la formación del ácido acético no ionizado que inhibe la degradación de propionato (Martí, 2006).

La alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del medio lo que controla a la alcalinidad es el dióxido de carbono o bicarbonato. Se ha demostrado que valores de la alcalinidad del bicarbonato por encima de 2,500 mg/l aseguran un buen control del pH y una adecuada estabilidad del sistema.

### **c) Nutrientes**

Su baja necesidad de nutrientes deriva de bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaerobios los nutrientes para el crecimiento de los microorganismos anaerobios son: El carbono, nitrógeno y fósforo y otros minerales como S, K, Na, Ca, Mg y Fe que deben estar presentes a nivel de trazas.

### **d) Tóxicos e inhibidores**

La degradación anaerobia es inhibida por la presencia de tóxicos en el sistema, este efecto puede ser reducido por aclimatación de la población de microorganismos al tóxico. El hidrógeno provoca la inhibición de la acetogénesis, el nitrógeno amoniacal también ayuda al crecimiento de bacterias aunque en exceso limita el crecimiento, el sulfato en exceso produce inhibición en el proceso anaerobio en especial en la metanogénesis.

### **e) Metales pesados**

Los metales pesados provocan la ineficiencia del proceso anaerobio.

### **f) Productos finales**

Los productos finales generados al final de la digestión anaerobia son el biogás y el efluente estabilizado (Ortega, 2002).

## **2.1.2 Tipos de digestores**

### **a) Digestores discontinuos**

Son contenedores cerrados que una vez cargados no permiten extraer o añadir más sustratos hasta finalizar el proceso de biodegradación y producción de biogás, el proceso finaliza cuando no se produce más biogás; admiten mayor carga de materiales poco diluidos, así, no necesitan mucha agua. Cuando se inicia el proceso y al final de este no hay mucho biogás por las condiciones de los microorganismos.

### **b) Digestor tipo hindú**

Se desarrolló en India después de la segunda Guerra Mundial por la necesidad de combustible, este digestor trabaja a presión constante de fácil manejo. Tiene forma cilíndrica con una cúpula flotante de acero donde es contenido el gas, tiene una zona de carga donde se va a introducir la materia

orgánica y una de descarga donde sale el lodo digerido. Se construyen de cemento, ferro-cemento o ladrillo con cúpula de acero o polietileno de alta densidad el material de la cúpula debe resistir la corrosión (Sosa y Chao, 2007).

### c) Digestores mezcla completa

La carga añadida periódicamente se mezcla casi en su totalidad con el contenido ya presente en la cámara de digestión. Como resultado, parte del material sin degradar sale al efluente, evita que se eliminen los agentes causantes de enfermedades de plantas y animales (Sánchez, 2003).

### d) Digestor tipo chino

Con antecedentes y bases firmes del diseño hindú nació el tipo chino, con unas modificaciones adaptables a sus necesidades, encontraron en los digestores una solución a su problema sanitario. Con los digestores se deshicieron de las heces humanas en el área rural, obtuvieron abono y gas para su consumo (Sánchez, 2003).

El digestor funciona a presión variable, ya que el objetivo principal es conseguir abono procesado y el gas pasa a segundo término. Son construidos generalmente de ferro-cemento, cemento, ladrillo con estructura en forma de domo que es recubierta con impermeabilizante para gas, estos digestores son complejos de construir por su forma irregular. Debe estar enterrado para manejar de manera adecuada las presiones que están en aproximadamente 0.15 bar (0.148 atm), en la Figura 2.2 se muestra un digestor tipo chino (Sosa y Chao, 2007).

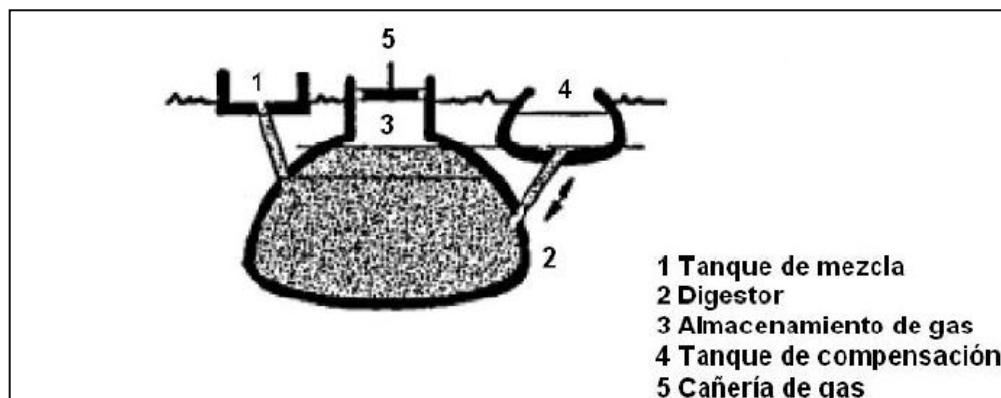


Figura 2.2 Digestor tipo chino (Sosa y Chao, 2007)

### e) Digestores de carga intermitente

Se carga una vez y se descarga cuando el proceso de fermentación termina, posee un solo orificio con tapa por donde se introduce la carga, el ciclo de fermentación dura entre 2 y 4 meses dependiendo el clima. Por tener la misma materia orgánica en todo el proceso no hay un recambio del contenido que permita la sostenibilidad (mantener diverso y productivo a través del tiempo) en la producción del biogás.

Cada 1 m<sup>3</sup> de materia orgánica produce alrededor de 0.5 m<sup>3</sup> de biogás y solo forma esa cantidad de biogás que ya se generó (Sánchez, 2003).

### f) Digestores semi-continuos

Deben ser alimentados diariamente con una carga pequeña respecto al contenido total, la carga debe ser depositada en la cámara de carga, e igualmente se debe extraer de la cámara de descarga un volumen igual del efluente líquido para mantener el volumen constante.

### **g) Digestores de flujo pistón**

La cámara de digestión es alargada, por eso la degradación ocurre a partir del avance de los residuos a lo largo del digestor (Sosa y Chao, 2007).

### **h) Digestor de estructura flexible**

Consiste en un contenedor de plástico aislante (bolsa) donde es almacenado el gas, el sustrato se encuentra en la parte inferior conectando a la entrada y salida respectivamente y a la vez unidas a la bolsa de gas. La bolsa es resistente aunque la vida útil no excede los 5 años requiere reparación local (Sánchez, 2003).

### **i) Digestor flotante**

Variante del digestor flexible este digestor fue creado en Vietnam, se encuentra parcialmente sumergido en agua.

## **2.1.3 Parámetros operacionales de un digestor**

A efecto de garantizar una eficiente producción de biogás, el proveedor deberá tomar en cuenta, para el dimensionamiento del sistema de digestión, datos de las características físicas, químicas y biológicas del influente.

Entre los principales parámetros a considerar, se encuentran:

### **a) Temperatura**

La temperatura de operación del digestor es considerada uno de los principales parámetros de diseño esto es por la influencia que tiene sobre la velocidad de digestión anaerobia. Las variaciones bruscas de temperatura provocan desestabilización del proceso, para evitar esas variaciones se debe contar con un sistema de agitación y un sistema controlador de temperatura. Los microorganismos pueden trabajar en tres rangos de temperatura:

1. Psicrófilico.- Debajo de los 25° C poco viable por el tamaño del reactor, aunque presenta menos problemas de estabilidad
2. Mesófilico.- Entre 25°C y 45°C es el más utilizado
3. Termófilico: Entre 45°C y 65°C inestable a condiciones de operación

La temperatura actúa sobre procesos físico-químicos como la solubilidad, la viscosidad ya que si aumenta la temperatura disminuye la agitación (Álvarez, 2004).

Se deberán tener registros de la temperatura del influente, ya que en conjunto con la temperatura ambiente, será un factor importante para elegir el TRH adecuado de residencia del influente en el digestor. Además, su control permitirá mantener la operación del digestor en los rangos de diseño (SEMARNAT, 2010).

### **b) Tiempo de retención y velocidad de carga**

El TRH como la velocidad de carga orgánica determinada por el sustrato define el volumen del digestor. En los sistemas de mezcla completa el tiempo de retención hidráulico (TRH) coincide con el celular por lo que el tiempo de retención debe ser bastante largo para asegurar el crecimiento de los microorganismos dentro del reactor. Si aumenta el TRH también aumenta el grado de materia orgánica degradada y también aumenta la producción de metano aunque alcanzando el valor óptimo tenderá a disminuir. El tiempo de retención usual en el rango mesófilico para lodos de depuradora está entre 15 y 20 días, dependiendo mucho del tiempo de utilizado el reactor. La velocidad de carga

orgánica (VCO) es la cantidad de materia orgánica que es introducida al reactor diariamente por unidad de volumen, la velocidad de carga es directamente dependiente de la concentración del sustrato y del tiempo de retención fijado. En ausencia de inhibidores, altas cargas orgánicas producen grandes cantidades de biogás pero también podría provocar la acidificación del reactor (Álvarez, 2004).

El Tiempo de Retención se determinará para cada proyecto en particular, y considerará la carga orgánica, la temperatura del influente y la del medio ambiente. Para el caso de las condiciones climáticas promedio de México, se considera que el Tiempo de Retención será de alrededor de 20 días, para alcanzar un mínimo de 60% de destrucción de los sólidos volátiles. En aquellas zonas donde el promedio mensual de temperatura sea más bajo o más alto que el promedio, se deberá considerar para el cálculo del Tiempo de Retención, los parámetros descritos anteriormente (Tchobanoglous, 1994).

### **c) Relación carbono/nitrógeno**

Este parámetro es muy importante ya que las bacterias necesitan tanto del Carbono como del Nitrógeno para vivir. Una razón C/N de 30 (30 veces más carbono que nitrógeno) permitirá que la digestión se lleve a cabo a un ritmo óptimo, cuando la proporción es baja se tienen pérdidas de nitrógeno asimilable afectando el fertilizante de la materia digerida (Álvarez, 2004).

Para el proceso de degradación anaerobia, se deberá considerar la relación de nutrientes encontrada en el influente. Esta puede expresarse en función de la relación carbono-nitrógeno, existirá en el sistema una gran concentración de ácidos grasos volátiles (AGV's) que inhibirán las etapas microbiológicas del sistema. En caso contrario (C:N < 20:1), la alta concentración de compuestos nitrogenados, también inhibirá la producción de biogás. Por lo anterior, para este tipo de procesos, se considera una relación entre 20:1 y 30:1, siendo la óptima 25:1 (SEMARNAT, 2010).

### **d) Porcentaje de sólidos**

El movimiento de las bacterias *metanogénicas* dentro del sustrato es limitada a medida que aumenta el contenido de sólidos, así, se ve afectada la producción de gas. El porcentaje de sólidos óptimo está entre 8% al 12% (IDAE, 2007).

### **e) pH**

Este parámetro permitirá considerar en el diseño, la alcalinidad o acidez del influente, ya que estos, en caso de no encontrarse en un intervalo óptimo, limitarán o en su caso inhibirán, las diferentes etapas microbiológicas de la degradación anaerobia (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis). En caso de que la materia orgánica contenga una gran cantidad de acidez o alcalinidad, la producción de biogás podrá verse inhibida. Como referencia, un buen rendimiento en la producción de metano dentro del biogás, estará en un rango de pH entre 6.5 y 7.5 (SEMARNAT, 2010).

Los niveles de actividad de las bacterias en torno a la neutralidad son:

1. Fermentativos (7.2 y 7.4)
2. Acetogénicos (7 y 7.2)
3. Metanogénicos(6.5 y 7.5)

El pH nunca debe bajar a 6 si subir a mas de 8 para que sea un proceso óptimo; el valor del pH determina la producción de gas y su composición (IDAE, 2007).

## f) Agitación

La agitación es importante debido a los siguientes factores:

1. Poner en contacto el sustrato fresca con la población bacteriana y eliminar los metabolitos producidos por los microorganismos metanogénicos al favorecer la salida de los gases
2. Proporcionar una densidad uniforme de población bacteriana
3. Prevenir la formación de espumas y la sedimentación en el reactor
4. Prevenir la formación de espacios muertos que reducirán el volumen efectivo del reactor y la formación de caminos preferenciales
5. Eliminar la estratificación térmica, manteniendo una temperatura uniforme en todo el reactor
6. El sistema de agitación puede ser mecánico, hidráulico y neumático. La velocidad de agitación debe ser suficientemente fuerte para asegurar una correcta homogeneización pero sin romper los agregados bacterianos (IDAE, 2007).

## g) Contenido de materia orgánica

Para el diseño del digestor, se deberá contar con datos que indiquen la cantidad de materia orgánica presente en el sistema. En este sentido, se deberán de considerar datos de la cantidad de sólidos volátiles, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de la demanda química de oxígeno (DQO), mismos que servirán para cuantificar la carga orgánica del sistema, el cual será el parámetro base para calcular el volumen del digestor.

## h) Presencia de agentes inhibidores

Se deberán contar con datos del influente, que garanticen que en su contenido no existan concentraciones de agentes químicos o biológicos que puedan inhibir la producción de biogás, como por ejemplo desinfectantes, detergentes, metales pesados o presencia de antibióticos, por mencionar algunos. En caso de que la concentración de estos compuestos inhiba la producción de biogás, el influente no se deberá enviar al digestor (SEMARNAT, 2010).

## i) Peso específico

Se sabe que el peso específico es el peso de un material por unidad volumen. En la Tabla 2.1 se desglosan los datos típicos sobre peso específico y contenido de humedad de residuos domésticos (Tchobanoglous, 1994).

Tabla 2.1 Datos típicos sobre peso específico y contenido en humedad para residuos domésticos (Tchobanoglous, 1994)

Tipos de residuos	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )		Contenido de humedad %en peso	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Residuos de comida húmedos	475-950	540	50-80	70
Basura combustible	50-181	119	10-30	15
Residuos de fruta mezclados	249-751	359	60-90	75
Residuos de vegetales mezclados	202-700	359	60-90	75

En la Tabla 2.2 se muestran los datos energéticos típicos de los residuos y en la Tabla 2.3 se muestra el análisis fundamental del material combustible.

Tabla 2.2 Análisis próximo y datos energéticos típicos (Tchobanoglous, 1994)

Tipo de residuo	Porcentaje en peso				Contenido energético (Kcal/kg)	
	Humedad	Materia Volátil	Carbono fijo	No combustible	Residuos recogidos	Residuo seco
Restos de comida						
Grasas	2.0	95.3	2.5	0.2	8964.0	9148.0
Mezcla de comidas	70.0	21.4	3.6	5.0	998.0	3989.0
Residuos de frutas	78.7	16.6	4.0	0.7	948.0	4452.0
Residuos de carne	38.8	56.4	1.8	3.1	4235.0	6919.0

Tabla 2.3 Análisis fundamental del material combustible (Tchobanoglous, 1994)

Componente	Porcentaje en peso (base seca)				
	C	H	O	N	S
Restos de comida					
Grasas	73.0	11.5	14.8	0.4	0.1
Residuos de comida	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4
Residuos de frutas	48.5	6.2	39.5	1.4	0.2
Residuos de carne	59.6	9.4	24.7	1.2	0.2

#### 2.1.4 Preparación del sustrato a digerir

El sustrato más ideal que se maneja en un digestor son los desechos orgánicos húmedos de origen agrícola, industrial, doméstico y municipal así como las excretas de origen animal y humano. Los residuos de la industria alimentaria y de las actividades agrícolas en particular son excelentes como sustratos para la degradación anaerobia ya que no contienen patógenos ni metales pesados. La presencia de carbono, nitrógeno y azufre son necesarios para el desarrollo de microorganismos que producen biogás (Ilyas, 2006).

La relación carbono/nitrógeno debe estar en una proporción de entre 20 y 30 partes del primer elemento por cada parte del segundo. Si la proporción de nitrógeno aumenta la producción de biogás disminuye, ya que se generan cantidades de amonio que se genera durante la degradación anaeróbica de urea o proteínas. Se recomienda utilizar varios tipos de sustrato para encontrar materia rica en nitrógeno con materia rica en carbono para obtener un balance adecuado para promover el crecimiento de microorganismos anaerobios.

##### a) Combinaciones de los sustratos

Si se combinan varios tipos de estratos, ya sea excretas porcinas y vacunas se va obteniendo entre 25 m<sup>3</sup>/t y 36 m<sup>3</sup>/t de masa fresca, debido a que el contenido de materia en estado seco es menor de 2% hasta el 10%, sin contar la relación de carbono nitrógeno que también es menor 25:1, es decir son ricos en nitrógeno. En cuanto a cosechas del tipo de forraje, maíz, sorgo dulce y cebada se encuentra entre 600 m<sup>3</sup>/t y 1000 m<sup>3</sup> /t de masa orgánica seca. La relación carbono- nitrógeno de estos sustratos es superior de 30:1 por lo que son ricos en carbono. La co-digestión de estas cosechas da como resultado no solo un fuerte incremento de la productividad del biogás, sino también disminuye el contenido de oligoelementos de los residuos digeridos (Weiland, 2000).

Las grasas vegetales poseen un alto potencial energético debido a su composición química y elevado contenido de lípidos degradables por bacterias anaerobias, cuando se agrega al digestor puede aumentar hasta un 2400% la productividad del biogás. El empleo de grasas de origen animal al contrario de la vegetal podría aumentar el riesgo de transmitir enfermedades, además se sugiere

hacer un pretratamiento a los residuos generados de restaurantes para reducir el tamaño de las partículas, separar los posibles contaminantes del proceso de digestión y facilitar la aplicación al suelo de los residuos tratados anaeróbicamente.

## **b) Factores físicos**

### **1) Contenido de agua**

Un contenido insuficiente de agua en la mezcla alimentada al digestor ocasiona que las bacterias y otros microorganismos no obtengan el entorno apropiado para que puedan funcionar efectivamente y la cantidad de biogás producido será pequeña. Si la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción de biogás es limitada. Si el material de alimento consta mas de vegetales se requiere una razón de 1:2 (Acuña, 1984).

### **2) Temperatura**

La degradación puede ocurrir en un amplio rango de temperaturas, desde los 5°C hasta los 60°C. Las bacterias *metanogénicas* son más sensibles a la temperatura que los demás microorganismos de un digestor, debido a que su velocidad de crecimiento es más lenta, el proceso de digestión anaerobio no se ve afectado si la temperatura aumenta en unos pocos grados; sin embargo, un decrecimiento podría retardar la producción de metano, sin perjudicar la actividad de las bacterias acidificantes, lo cual permite una excesiva acumulación de ácidos y una posible falla en el digestor. Lo más conveniente es un clima cálido para mas producción de biogás (Ilyas, 2006).

## **2.1.5 Cálculo del diseño de un digestor**

Para el diseño de un digestor se debe de tomar en cuenta el tipo de materia orgánica que contendrá, cantidad disponible diaria, espacio para el diseño del mismo y lugar adecuado para que el procedimiento anaerobio ocurrido en su interior no afecte al ambiente cercano (Ludwi, 1984).

Se sabe que como materia prima se necesita materia orgánica residual que provenga de excretas animales o humanas, residuos de comida o materia vegetal, agua residual e incluso una mezcla de todas las mencionadas ya sabiendo la cantidad con la que se contara diariamente y aclarando debe mantenerse constante a través del tiempo se obtienen los siguientes datos:

### **a) Tanque de acopio/mezcla**

En plantas simples de pequeña escala, se debe requerir la menor cantidad de tiempo posible para la recuperación del sustrato y su preparación para la fermentación, siendo el mayor problema la presencia de materiales extraños (piedra, restos de forraje, etc).

El sustrato se suele coleccionar en un tanque de acopio, también denominado tanque de mezcla, en el cual el sustrato es mezclado con agua. El tanque debe tener la capacidad suficiente para almacenar la generación diaria de sustrato correspondiente entre un día y medio a dos días y presentar una forma cilíndrica, con una relación de diámetro de 2/1.

El tanque debería situarse cerca del digestor, idealmente en un lugar soleado de modo que no se genere un choque térmico en el digestor debido al agua fría de la mezcla (INGAL, 2009).

$$VTA = 2 * Sd \quad (2-1)$$

Donde:

VTA: Volumen tanque de acopio, m<sup>3</sup>

Sd: Sustrato alimentado diariamente a 8% de sólidos totales, m<sup>3</sup>/d



## b) Volumen digestor

El digestor, además de ser apropiado para el tipo de sustrato y la actividad bacteriana, debe cumplir con los siguientes requerimientos:

1. Resistencia a fuerzas estáticas
2. Impermeable a gases líquidos.
3. Durabilidad y resistencia a corrosión

Generalmente los digestores son de concreto o ladrillo, materiales que son adecuadamente resistentes a presiones pero susceptibles a quiebres.

Debe considerarse no solo la materia orgánica si no también el agua que servirá para mezclar los residuos y volver a esta combinación una mezcla homogénea evitando taponamientos, se acostumbra en rasgos generales 75% de espacio para la fase líquida (mezcla) y 25% de la parte gaseosa. La carga que entra al digestor (materia orgánica diluida con agua) debe permanecer dentro del digestor para que se cumpla la degradación anaerobia dentro de él un determinado tiempo que es llamado de retención que depende de la temperatura que tenga el reactor dentro de él y en su exterior (INGAL, 2009).

$$Vd = Sd \times Tr \quad (2-2)$$

Vd: Volumen digestor, m<sup>3</sup>

Sd: Sustrato alimentado diariamente a 8% de sólidos totales, m<sup>3</sup>/d

Tr: Tiempo de retención.

## c) Sustrato alimentado

Puede ser de origen y tipo de lo más variado si bien los más usuales son: excretas, residuos de comida, herbáceos entre otros.

$$Sd = B + W \quad (2-3)$$

Sd: Sustrato alimentado diariamente a 8% de sólidos totales, m<sup>3</sup>/d

B: Biomasa alimentada, m<sup>3</sup>/d

W: Agua de dilución, m<sup>3</sup>/d

## d) Generación de biogás diario

Cantidad de biogás generado dentro del digestor en condiciones anaerobias

$$G = VS \times Gy \quad (2-4)$$

G: Generación diaria de biogás, L/d

VS: Sólidos volátiles alimentados diariamente, kg/d

Gy: Generación específica de biogás, 250 (L/kg)

## e) Carga orgánica

Materia orgánica que ingresa al digestor diariamente

$$Ldt = VS / Vd \quad (2-5)$$

Ldt: Carga orgánica, kg/m<sup>3</sup>/d

VS: Sólidos volátiles alimentados diariamente, kg/d

Vd: Volumen digestor, m<sup>3</sup>

#### f) Almacenamiento de biogás

La capacidad de almacenamiento de biogás dependerá del factor de generación de biogás y su frecuencia de consumo, recomendándose entre un 40% a 60% de la generación del biogás diaria. Sin embargo, la razón del volumen del digestor/volumen de almacenamiento de biogás es un parámetro fundamental en el diseño de la planta (INGAL, 2009).

Se selecciona una relación volumen de digestor/volumen de almacenamiento de biogás de 6/1.

$$Vd / Vg = 6 / 1 \quad (2-6)$$

Vd: Volumen digestor, m<sup>3</sup>

Vg: Volumen de almacenamiento de biogás, m<sup>3</sup>

#### g) Remoción de sulfuro de hidrógeno

Se asume un contenido de sulfuro de hidrógeno en el biogás de 1% en volumen, presentando una densidad de 1.47 g/L a las condiciones del proceso (presión atmosférica y a 10 °C). Luego, la masa de hierro necesaria (con contenido entre 5 a 10 % de hidróxido férrico), la cual remueve 150 g de H<sub>2</sub>S/kg de masa ferrosa, se determina según la siguiente ecuación:

$$mfe = (0.01 \times G \times 1.47) / 150 \quad (2-7)$$

mfe: Masa de hierro requerida, kg/d

G: Generación diaria de biogás, L/d

#### h) Purgador de condensado

La producción específica de agua en biogás se puede determinar a través de la ley de gases ideales, considerando que el biogás se encuentra saturado de vapor de agua. La presión de vapor del agua a la temperatura de operación (10°C) es de  $1.21 \times 10^{-2}$  atm, y el peso molecular del agua es de 18 g/mol. A estas condiciones se obtiene un valor de  $9.39 \times 10^{-3}$  g agua/m<sup>3</sup> biogás. Este valor representa la máxima cantidad de agua que puede arrastrar el biogás a la salida del digestor, la cual debe ser purgada (INGAL, 2009).

$$P = pea \times G / \rho \quad (2-8)$$

P: Agua de salida del purgador de condensado, g/d

pea: Producción específica de agua en biogás,  $9.39 \times 10^{-3}$  (g agua/L biogás)

G: Generación diaria de biogás, L/d

$\rho$ : Densidad del agua, 1 (g/L)

## 2.2 Biogás

El biogás es una alternativa para contaminar menos el ambiente, es producido por bacterias que se encuentran en materia orgánica en estado anaerobio, es una mezcla de gases que puede provenir de excretas animales, residuos de comida, excretas humanas y restos de plantas y materia vegetal. La producción del biogás por la fermentación anaerobia de la materia orgánica, es un proceso biológico en que la flora bacteriana degrada la materia orgánica en compuestos elementales. El aprovechamiento energético del biogás viene determinado por su poder calorífico, el metano tiene un PCI<sup>15</sup> ("Poder calorífico inferior", cantidad de calor liberada en una combustión completa, cuando el agua originada está presente en forma de calor) de 8,900 kcal/Nm<sup>3</sup>, pero teniendo en cuenta el resto

de los componentes del biogás resulta un PCI de 4,200 kcal/Nm<sup>3</sup> aproximadamente. El biogás puede tener diversas aplicaciones que pueden ser las siguientes:

1. Generación de energía eléctrica con motores de gas: Cada metro cúbico de gas de vertedero produce 1.5 kwh (eléctrica) aproximadamente, los motores de gas y los generadores eléctricos están contruidos dentro de un contenedor. La potencia eléctrica es de 200 kwh a 900 kwh
2. Producción de calor con calderas: La producción de calor es una aplicación para el gas de vertedero
3. Conversión del gas de vertedero en gas natural: Se busca eliminar el ácido sulfhídrico, cloro y fluor, se busca obtener de materia orgánica el llamado biogás

El biogás es un biocombustible que tiene una excelente combustión, sin desprender humo, no huele así que no molesta a quien lo usa. La Tabla 2.4 muestra el compuesto de los siguientes gases.

Tabla 2.4 Composición bioquímica del biogás (DPROYB, 1987)

Componente	Compuesto químico	% aproximado
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Gas carbónico	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1.0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0.1

### 2.2.1 Instalaciones

El biogás producido en el digestor debe ser conducido a los lugares de uso a través de tuberías. La tubería de presión de PVC resulta adecuada para esta finalidad ya que presenta las ventajas siguientes: resistente a la corrosión, facilidad de instalación y económica. Su desventaja radica en la necesaria protección contra los rayos solares y el movimiento de animales y transporte pesado. El diámetro de la tubería requerida depende de la distancia desde la planta hasta el lugar de consumo del biogás, así como la del flujo máximo de biogás requerido y de la pérdida de presión admisible. El flujo máximo del biogás se obtiene sumando los consumos de los equipos que funcionen simultáneamente. La Tabla 2.5 muestra un aproximado.

Tabla 2.5 Diámetro de tubería de conducción de biogás (Chacón, 2007)

Flujo de tuberías (m <sup>3</sup> /hr)	Distancia al lugar de uso (metros)			
	25<50 m	50	100	150
0.45	½"	1 m a 25 m ¾" 25 m a 50 m ½"	¾"	¾"
0.68	½"	¾"	¾"	1 m a 100 m 1" 100 m a 150 m ¾"
0.90	½"	1"	¾"	1 m a 100 m 1" 100 m a 150 m ¾"
1.35	½"	¾"	1 m a 75 m 1" 75 m a 100 m ¾"	1"
1.81	½"	1"	1 m a 50m 1 ½" 50 m a 100 m 1"	1 m a 100m 1 ½" 100 a 150 m 1"

### a) Trampas de agua y pendientes de la tubería

Cuando sale el biogás del digestor sale con vapor de agua y parte de ese vapor puede condensarse en la tubería provocando obstrucciones, así que se colocan unas trampas de agua para evitar estas situaciones. El agua condensada en las tuberías debe escurrir hacia los puntos bajos donde están localizadas las trampas de agua. De acuerdo con la topografía del terreno y la longitud del trayecto, varía la cantidad de trampas requeridas. Una pendiente de 2% es suficiente para la instalación. El diámetro mínimo para la conducción deberá ser de ¾”, mientras que para las instalaciones dentro de la cocina debe ser de ½”. Algunas trampas de agua son de tipo cerrado con válvula de bola para evacuar el agua condensada (las más usadas) o las de tipo abierto como las trampas en V, debe tener una altura que compense la presión de la planta. Las trampas de agua deben ser inspeccionadas periódicamente. Para las válvulas de cierre es recomendable el uso de las de bola ya sean metálicas o de PVC, checando su hermeticidad contra el escape del gas. Se deberá colocar una válvula a la entrada de cualquier dispositivo para el consumo de biogás así como a la salida del digestor, en las plantas de gran tamaño se colocan trampas contra incendio para evitar la propagación por la tubería y consisten en sellos hidráulicos a través de los cuales pasa el gas en una sola dirección. La reducción del contenido de sulfuro de hidrógeno es necesario si su concentración es mayor a 2%, ya que sus propiedades son corrosivas y conllevan a un problema importante. Se puede eliminar por absorción con hidratoférrico (FeOH<sub>3</sub>) que puede ser regenerado con la exposición al aire. En el interior de la trampa de H<sub>2</sub>S se coloca viruta de hierro obtenida de un taller de tomería. La reducción del CO<sub>2</sub> no es tan fácil y se puede utilizar hidrato de cal para obtenerse así carbonato de calcio. El CO<sub>2</sub> debe ser reducido para comprimir el gas y usarlo posteriormente en caso de necesitarlo (Chacón, 2007).

### 2.2.2 Uso del biogás

Puede ser usado para calentar alimentos o generar electricidad, incluso manejar los residuos de manera adecuada. La utilización y consumo de biogás se muestra en la Tabla 2.6

Tabla 2.6 Utilización y consumo de biogás (DPROYB, 1987)

Equipo	Consumo de biogás L/hr
Estufas domésticas	150-200
Estufa industrial	300
Lámpara de gas equivalente a una bombilla de 60 watts	100
Calentadores para cría de cerdos	250
Calentadores para cría de pollos	150
Producción de 1 kWh de corriente eléctrica con una mezcla biogás-diesel	700

Haciendo un comparativo de la energía que tiene el biogás se puede obtener de 1 m<sup>3</sup> de biogás en combustión genera 1.25 kWh de electricidad similar a generar 6 horas de luz con focos de 60 watt, también el funcionamiento de un refrigerador de 1 m<sup>3</sup> por 1 hr ó un motor de 1 HP durante 2 hrs; por poner algunos ejemplos. Con el uso del biogás se pueden generar varios tipos de energía (Figura 2.3).

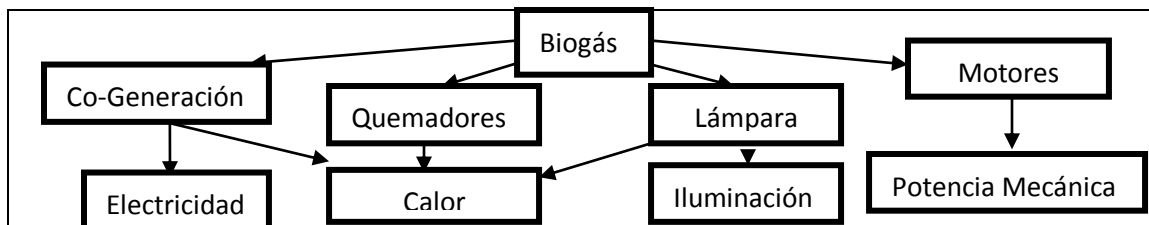


Figura 2.3 Usos del biogás (DPROYB, 1987)

### 2.2.3 Método de predicción de la producción del biogás

Para que la fermentación sea adecuada debe haber total ausencia de oxígeno para que los microorganismos sobrevivan y se lleve a cabo el proceso adecuadamente. La producción del biogás es difícil de medir, ya que varía con la temperatura del sustrato, así como la acidez o alcalinidad (DPROYB, 1987).

El proceso anaerobio necesita además de carbono y nitrógeno cierto equilibrio de sales minerales (azufre, potasio, fósforo, calcio, magnesio, hierro, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otras). El volumen gaseoso equivale a un tercio del volumen líquido. La Tabla 2.7 muestra el rendimiento del biogás en comparación con otras fuentes de energía.

Tabla 2.7 Rendimiento del biogás (GTZ-CVC-OEKOTOP, 1987)

Equivalencias energéticas del biogás	
1 m <sup>3</sup> de biogás equivale	
Gasolina	0.8 litros
Madera	1.3 kg
Bosta Seca	1.2 kg
Gas-oil	0.65 litros
Carbón	1.5 kg
Electricidad	2.2 kw/h
Alcohol	1.1 litros
Gas natural	0.8 litros

### 2.2.4 Cálculos para el almacenamiento del biogás

#### a) La altura del gasómetro

Teniendo las dimensiones del digestor se puede saber el diámetro por lo tanto se despeja la altura total (INGAL, 2009).

$$H = Vg / (\pi d^2 / 4) \quad (2-9)$$

#### b) En cuanto al volumen de gas equivale a 1/3 del volumen líquido

$$Vg = \left(\frac{1}{3}\right) * VI \quad (2-10)$$

Aunque si se conoce el volumen exacto del gas que se generará puede calcularse así (INGAL, 2009).

$$Vg = 70\% * Vol_{gas}(m^3) \text{ o bien } Vg = 0.7 * Vol_{gas}(m^3) \quad (2-11)$$

## 2.3 Lodo digerido

Residuos líquidos generalmente que salen del digestor que pueden ser utilizados como fertilizante, directamente o diluido con agua, la producción de cultivos aumenta de un 30% a un 50%, además de ayudar a repeler insectos y recuperar plantas por heladas. En la digestión se remueven gases generados que son entre 35 % y 50% de la biomasa total, también la viscosidad disminuye ya que la cantidad de sólidos volátiles es reducida en un 50% en la estabilización del proceso de fermentación

y por la hidrólisis por lo que si se da un correcto tiempo de retención. Las sustancias con olor son digeridas así que el efluente es casi imperceptible evitando así la fauna nociva (Martí, 2006).

### **2.3.1 Manejo y disposición**

Es importante fomentar el uso del bioabono, ya que tiene mejor rendimiento que otros abonos y su aplicación en diferentes cultivos ha demostrado mayores beneficios, ya que regula y mejora el crecimiento de plantas, lo que se evidencia con un mayor nivel productivo, su uso frecuente tiene efecto acumulativo en el suelo, tienen un mejor rendimiento y también ha disminuido significativamente el consumo de agua, el uso de fungicidas y abonos químicos; si se quiere obtener más beneficio de sus propiedades debe almacenarse en un periodo de tiempo para evitar grandes pérdidas de nitrógeno dependiendo de la cantidad de bioabono con la que se cuente.

Para evitar que se quemen las plantas debe ser diluido con agua a razón de 1 litro de lodo digerido con 10 o 15 litros de agua aproximadamente, por sus propiedades funciona mejor que los fertilizantes químicos ya que no causa daños a la salud.

#### **a) Efecto del efluente sobre el suelo:**

1. Debido a su rápida descomposición el efluente brinda rápidamente nutrientes disponibles. Los ácidos húmicos presentes en este material contribuyen a mejorar la estructura del suelo y su porosidad aumentando al mismo tiempo la capacidad de intercambio. La cantidad de humus estable duplica generalmente al que se consigue mediante la utilización de estiércoles incrementando al mismo tiempo en forma significativa la actividad biológica del suelo
2. El elevado contenido de nitrógeno en forma de amonio ( $\text{NH}_4$ ) presente en los efluentes ayuda a evitar la pérdida por lavado y lixiviación del nitrógeno del suelo al igual que las pérdidas por volatilización
3. Cuando el terreno se prepara para la agricultura (sin vegetación existente) se puede usar el bioabono directamente sobre el terreno para regar cada surco sin riesgo de daño por lo que es adecuado su uso
4. Si se quiere comenzar a sembrar, un día antes de esto, por ejemplo al sembrar semillas de grano se mezcla a razón de 1:1 de bioabono con agua por un tiempo de 4 a 5 hrs
5. Existiendo la planta puede ser filtrado el fertilizante y fumigar (fertilizante foliar) las plantas a razón de 1:4 de fertilizante y agua. En heladas funciona muy bien o bien cuando la vegetación es de tipo frutal pero nunca durante el nacimiento de flores ya que quema las flores, debe ser diluido con agua para evitar el daño (Hilbert, 2009).

#### **b) Efecto sobre los cultivos**

1. Existen amplias evidencias del incremento en la producción de distintas especies provocada por la aplicación de efluentes al suelo. Tanto en este aspecto como en los anteriores, las aseveraciones y cifras son relativas debido a que se está trabajando con sistemas biológicos muy complejos como son: el material orgánico de carga, el digestor, el suelo y finalmente el cultivo.
2. Esta interacción y variación provoca grandes diferencias en los resultados y hace difícil cuantificar los beneficios obtenibles de la aplicación así como también definir dosis y modos de aplicación (Hilbert, 2009).

#### **c) Aspecto sanitario**

1. A pesar que este aspecto no puede ser ubicado estrictamente como un uso, aporta indudables beneficios al reemplazar otros costosos sistemas para obtener el mismo grado de descontaminación

2. El tratamiento de los desechos por vía anaerobia elimina la acumulación de estos a la intemperie evitando la proliferación de moscas, mosquitos, otros insectos y roedores portadores de peligrosas enfermedades
3. El proceso en si mismo produce una reducción del 90% al 99% de los principales patógenos animales (estafilococos, salmonella, pseudo-monas). Esta reducción muy importante desde el punto de vista del saneamiento está regulado por la temperatura de fermentación y la cantidad de días que permanece la biomasa dentro del digestor (tiempo de retención)
4. El proceso fermentativo también tiene un efecto beneficioso si se lo emplea como fertilizante ya que un gran porcentaje de semillas de las malezas se tornan inviables (Hilbert, 2009).

**d) Otros usos:**

El efluente de los digestores tiene otras aplicaciones entre las cuales se mencionan: la preparación de compost, la alimentación de algas y peces y de animales en raciones balanceadas (Hilbert, 2009).

**2.4 Planta de biogás**

Una planta de biogás es una instalación donde se mezclan los purines con materia orgánica y se realiza lo que se conoce con el nombre de co-degradación anaerobia. La co-degradación se basa en mezclar diferentes sustratos para que se compensen entre si y se obtenga una producción de biogás óptima y una biomasa digerida que es un buen fertilizante para aplicar en los campos. En la instalación se produce de forma acelerada el ciclo natural de descomposición. Se reciben materias orgánicas, deyecciones orgánicas un 70% y subproductos agrícolas y/o residuos industriales un 30%, que se mezclan y son conducidos hacia los digestores. Dentro de estos grandes recipientes cerrados, sin aire del exterior y con condiciones óptimas de temperatura, es donde las bacterias actúan. De aquí se obtiene biogás y un subproducto que es un buen fertilizante para aplicar en los campos. El biogás se utiliza como único combustible en unos equipos de co-generación que transforman el biogás en energía eléctrica y térmica de origen renovable (DALDUR, 2010).

**2.4.1 Operaciones unitarias**

Condiciones necesarias para una planta de biogás:

1. Tener una planta que cumpla con las necesidades diarias y obtener beneficios de ella al ver que lo invertido en la obra es recompensado con su buen funcionamiento
2. Disponer de materia orgánica necesaria, agua para la mezcla de sustrato y espacio para la planta de biogás

La ubicación es importante para sacarle el mejor provecho a la planta de biogás

1. Seleccionar el lugar más cercano de la planta de biogás al lugar de destino (cocina) para que la presión sea adecuada, distancia máxima (m) < 0.95 Presión máxima (mm H<sub>2</sub>O)
2. Para mejores resultados la topografía debe ser la más adecuada para que la planta trabaje a gravedad (de residuos a digestor)
3. Debe existir una instalación de agua para realizar la mezcla con el sustrato y mantener la higiene de la planta
4. Evitar manto freático cercano

**a) Componentes principales de una planta de biogás**

1. Se pueden diferenciar varias partes o procesos en una planta de biogás
2. Almacenamiento y acondicionamiento de los sustratos
3. Producción de biogás
4. Acondicionamiento del biogás

5. Aprovechamiento energético del biogás
6. Lodo digerido

Los tanques para digestores se construyen sobre o bajo tierra. El suelo y paredes de los digestores agroindustriales son de hormigón. La cubierta, generalmente es de membrana EPDM (etileno, propileno dieno, monómero). La alimentación de los digestores suele realizarse por medio de una bomba sumergible. Para realizar la descarga de la mezcla ya digerida o la recirculación de la misma para estabilizar los niveles de humedad del proceso se realiza mediante rebose, se instala una tubería en la parte superior del digestor que conectará este con el tanque de almacenamiento de lodo digerido y/o el de recirculación. La cubierta del digestor suele utilizarse como almacenamiento del biogás generado durante el proceso aunque también puede utilizarse un gasómetro (DALDUR, 2010).

### **b) Agitadores**

A través de la agitación se logra una mejor distribución de la temperatura, de los nutrientes, la eliminación de las burbujas de biogás y una mezcla del sustrato fresco con la población bacteriana existente en el digestor. Además se evita la formación de costras sobre la superficie de la biomasa y la formación de espacios muertos sin actividad biológica (DALDUR, 2010).

### **c) Reducción de humedad**

Cuando el biogás sale de los digestores está saturado al 100% con humedad. Este problema se incrementa durante el verano debido a las altas temperaturas. Entre los factores que influyen el contenido de humedad se encuentran: el tipo de biomasa y el porcentaje de disolución. Junto al vapor de agua en la corriente de biogás viajan partículas sólidas que no reaccionan o que se mantienen inertes durante el proceso de gasificación, ambos elementos son perjudiciales para el aprovechamiento del biogás, por lo cual, se hace necesaria una reducción de éstos hasta valores adecuados para el uso del biogás como material energético (DALDUR, 2010).

### **d) Reducción de H<sub>2</sub>S**

El biogás está compuesto mayoritariamente por gas metano (CH<sub>4</sub>) y CO<sub>2</sub> en proporciones de 55-65 % a 40-45 % aproximadamente y trazas de otros gases como el Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S). El contenido de H<sub>2</sub>S es de entre 0,1 y un 1%. A pesar del reducido porcentaje es necesario reducirlo debido a las siguientes razones:

1. Toxicidad del H<sub>2</sub>S
2. Corrosión de metales por presencia de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>
3. En la combustión se puede formar SO<sub>2</sub>, que es altamente corrosivo
4. Disminución del poder calorífico del biogás

## **2.4.2 Obra civil de una planta de biogás**

### **a) Losa de fondo**

La losa de fondo constituye la cimentación de la obra y es la encargada de repartir y transmitir al suelo soportante todo el peso de la estructura, además de garantizar, a la vez, la necesaria estabilidad y solidez de la obra en su conjunto. Mientras mayor rigidez posea esta losa, menor será la posibilidad de que ocurran asentamientos diferentes, deformaciones indeseables que puedan originar fisuras y, en general, mayor uniformidad en la distribución de las cargas y en las condiciones de trabajo a que se somete el suelo sobre el cual se levanta la obra (Guardado, 2006).



Por otra parte, el área que bordea la losa desempeña un papel fundamental en la magnitud de las tensiones que finalmente se transmiten al suelo, siendo estas menores en la medida en que dicha área aumente. No obstante, el adecuado diseño de la losa de fondo debe estar, en todos los casos, basado en dependencia del tipo de suelo sobre el que se va a cimentar la obra y en estrecha relación con el aspecto económico, en lo que a cantidad y tipo de materiales de construcción se refiere.

Como regla, para la construcción de la losa de fondo deberán emplearse materiales locales. Por razones de rentabilidad se recomienda, según el caso, el empleo de los materiales siguientes:

1. Piedra de hormigón con relleno de mortero y lechada de cemento
2. Concreto armado

En suelos de gran resistencia, como los rocosos, se permite el empleo de losas de mampostería o de cantos, combinadas con sus sellos de mortero y una zapata o anillo circular para apoyo de la cúpula o muros (Guardado, 2006).

Antes de efectuar la fundición de la losa deberá comprobarse que la superficie sobre la cual se va llevar a cabo la fundición esté perfectamente nivelada, uniforme y limpia.

#### **b) Mortero**

El mortero de cemento siempre debe estar elaborado con una adición de cal, pues de esta forma la mezcla obtenida es más fácil de trabajar, además de que se logra una mejor impermeabilidad en el elemento o en la superficie en que se aplica. La parte más importante del mortero es la arena. Esta debe estar limpia, y no debe contener arcilla, ni polvo, ni materia orgánica. La arena con un alto contenido de polvo o arcilla absorbe mucho más cemento para lograr una misma resistencia, en relación con la arena limpia. La arena debe contener un máximo de 10 % de polvo o arcilla. Si el contenido es más alto, la arena debe ser lavada. Con lejía de sosa se puede comprobar si ésta contiene mucha materia orgánica. El mortero de cemento puede prepararse en distintas proporciones o relación de mezcla arena-cemento-cal, en función del elemento o lugar de la obra donde será aplicado. Es imprescindible que todos los materiales de construcción que se utilizarán en la obra se encuentren lo más próximo posible a ella, a fin de ahorrar tiempo y trabajo. Al ubicarlos debe evitarse que se mezclen o se ligen; deben situarse en un lugar limpio y de fácil acceso para su acarreo. El cemento deberá almacenarse en un lugar seco, donde no reciba humedad. Debe definirse el sitio para el mezclado de los materiales, que debe estar entre la excavación y los materiales. Si los trabajos de diseño y construcción revisten una esencial importancia para el funcionamiento y explotación óptima de una planta de biogás, los trabajos de terminación y acabado constituyen también un proceso de máxima importancia para una obra, ya que son los que deben garantizar la debida protección y estanqueidad de los elementos que la componen, y a la vez brindarle la adecuada estética a todo el conjunto (Guardado, 2006).

Entre los trabajos fundamentales de terminación y acabado de una planta de biogás, se pueden mencionar los siguientes:

1. Repellos de los distintos elementos y partes.
2. Restauración de los niveles normales del terreno y conformación del sistema de drenaje exterior, así como de los accesos a la planta.
3. Pintura de las superficies visibles y expuestas, a fin de darle un adecuado aspecto estético a la planta.
4. Eventual protección y cercado del área que ocupa la planta, en caso de ser necesario.

Aunque por regla general una planta de biogás no requiere de limitaciones en cuanto a su acceso, dada su ubicación, la presencia de animales o de personas ajenas a la instalación y que desconocen su funcionamiento pueden producir averías por tupición en los conductos de entrada, golpes en

zonas sensibles, eventuales manipulaciones de válvulas y registros de la tubería que conducen el gas, etc. Por ello se aconseja la colocación de una cerca perimetral que limite el acceso a la planta y la proteja de la ocurrencia de este tipo de percances. También debe ser evaluado con la debida antelación, a fin de que en el balance de los recursos necesarios se contemple este importante aspecto (Guardado, 2006).

### **c) Mantenimiento**

La periodicidad de las labores de mantenimiento depende de las condiciones específicas de cada digestor:

1. Eliminación de la nata y el sobrenadante
2. Eliminación de sólidos y lodos en el tanque de compensación
3. Chequeo del estado de las tuberías
4. Drenaje de las trampas de agua y puntos bajos de las tuberías
5. La planta de biogás debe ser un lugar agradable y acogedor, por ello pintar y mantener la limpieza es tan necesario como su funcionamiento satisfactorio

#### **2.4.2.1 Ingeniería estructural**

##### **a) Proceso de diseño**

Objetivos:

1. La estructura del digestor debe cumplir con la demanda tanto de generación de residuos orgánicos, como la salida de lodos digeridos y biogás
2. Debe contar con todas las condiciones adecuadas, esto es, instalación hidro-sanitaria, una conexión eléctrica para el uso del triturador, tarja de lavado y colocación del triturador, entrada y salida del digestor, tuberías de gas, agua y conexión sanitaria al drenaje y por ultimo una estructura completa para proteger la planta de biogás
3. La campana de acero debe ser de tamaño adecuado para contener el gas que se generará

La solución factible:

1. Por ser un área concurrida y con poco espacio disponible; para la planta debe estar protegida de una estructura que la cubra totalmente
2. El digestor será enterrado por espacio y para mantener una temperatura relativamente constante
3. La planta deberá estar cerca de la cocina a la que le proporcionará el gas

Para el diseño estructural de la planta de biogás se consideran todas las estructuras que se ocuparán para el digestor: entradas, salidas hacia el digestor y la estructura que protegerá a la planta y el digestor mismo (Guardado, 2006).

Las partes estructurales son las siguientes:

1. Digestor con medidas calculadas previamente y planos del diseño
2. Diseño de campana de acero

En todo diseño estructural se debe considerar lo siguiente:

1. Modelar la estructura

El digestor se propone enterrado así que se deben tener en cuenta las dimensiones, su forma cilíndrica y el material del que estará proyectado. La campana de acero también será cilíndrica, de

modo que se complemente con el digestor y buscar la hermeticidad. La entrada y salida del sustrato tendrán un desnivel para favorecer la salida del lodo digerido del digestor. La estructura de la planta deberá ser con muros divisorios (Guardado, 2006).

2. Efectos de las acciones de diseño

Se analizan las fuerzas internas

3. Dimensionamiento por esfuerzos admisibles

Se determinan las dimensiones del diseño de la planta, los detalles de las estructuras, si cumple el requisito de seguridad, se elaboran planos y las especificaciones de la estructura (Guardado, 2006).

Para el tanque se propone que la separación de refuerzo por cambios volumétricos se suministre con barras delgadas, espaciadas a no más de 15 cm (CFE, 2008).

La sollicitación normal para los tanques bajo la acción hidrostática implica la influencia de fuerzas relacionadas con la profundidad y el peso específico del contenido en el tanque, con los empujes del soporte o cargas dinámicas durante un sismo.

Para ilustrar el proyecto de un tanque hidrostático circular se ha escogido la metodología de los esfuerzos de trabajo bajo cargas de servicio (método elástico), no solamente porque este proceder presenta gran utilidad para el proyecto de estructuras cuya puesta en servicio exige un agrietamiento nulo, como es el caso de diversas estructuras sumergidas, sino porque el funcionamiento de estos tanques da lugar a la influencia de sobrecargas de determinación incierta o insegura, tal como sucede en el vaciado y llenado de depósitos (Filigrana, 2004).

Este método consiste en tres etapas:

1. Condicionamiento inicial

Donde se consideran el empuje del líquido en el tanque, estimación de los pesos del líquido, las sobrecargas eventuales. Se obtienen las medidas del digestor y se considera un  $f'c=250\text{kg/cm}^2$  y un esfuerzo admisible a compresión de  $f^*c=200\text{ kg/cm}^2$  y un punto de fluencia de  $f_y=4200\text{ kg/cm}^2$

2. Estados de carga

Se comprueba la esbeltez de la estructura, se consideran los coeficientes de ponderación de carga (Tabla 2.8), momentos de empotramiento en la pared y en el fondo, la tensión anular sobre la pared y cortantes respectivamente.

Tabla 2.8 Coeficientes de ponderación de cargas según la esbeltez de un tanque circular (Filigrana, 2004)

Factores de esbeltez (adimensionales)		Coeficientes de ponderación						
L	I	-C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	-C <sub>6</sub>
2		0.0436	0.4450		0.2850	4.54	0.2990	2.57
3		0.0333	0.5480		0.3620	6.55	0.2620	3.18
4		0.0268	0.6350		0.4290	8.82	0.2360	3.68
5		0.0222	0.7130		0.4770	11.03	0.2130	4.10
6		0.0167	0.7830		0.5140	13.08	0.1970	4.49
8		0.0146	0.9030		0.5750	16.52	0.1740	5.18
10		0.0122	1.0100		0.6080	20.87	0.1580	5.81

(Continuación) Tabla 2.8 Coeficientes de ponderación de cargas según la esbeltez de un tanque circular (Filigrana, 2004)

Factores de esbeltez (adimensionales)		Coeficientes de ponderación						
L	I	-C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	-C <sub>6</sub>
12		0.0104	1.0080		0.6330	25.73	0.1450	6.38
14		0.0090	1.1980		0.6660	30.34	0.1350	6.88
16		0.0079	1.2810		0.6870	34.65	0.1270	7.36
	0.25			0.3870				
	0.20			0.3580				
	0.15			0.3320				
	0.10			0.3090				
	0.05			0.2900				
	<0.05			0.1040				

Donde:

C<sub>0</sub>=Momento en la pared a la profundidad total del tanque

C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>=De distribución de momentos en el empotramiento de la pared y el fondo

C<sub>3</sub>=De la tensión por tracción en la pared entre un 50% y un 70% de la profundidad del tanque

C<sub>4</sub>=De la tensión por flexión en la pared entre un 80% y un 90% de la profundidad del tanque

C<sub>5</sub> y C<sub>6</sub>=De la cortante en el empotramiento de la pared y el fondo

Cargas

1. Peso de la pared

$$W_p(\text{kg/m}) = H(\text{m}) * t(\text{m}) * W_c(\text{kg/m}^3) \quad (2-12)$$

Donde:

H=Altura del tanque

t=espesor de pared

W<sub>c</sub>=Peso específico del concreto reforzado

2. Empuje hidrostático máximo

$$P_o(\text{kg/m}^2) = q_o(\text{kg/m}^2) = W(\text{kg/m}^3) * H(\text{m}) \quad (2-13)$$

Donde:

W=Peso específico del liquido

H=Altura

3. Peso de placa de fondo

$$W_f(\text{kg/m}) = 0.25 D_e(\text{m}) * t_f(\text{m}) * W_c(\text{kg/m}^3) \quad (2-14)$$

Donde:

D<sub>e</sub>=diámetro externo

t<sub>f</sub>=espesor de la placa de fondo

W<sub>c</sub>=Peso específico del concreto reforzado

4. Peso de campana de acero

$$W_c(\text{kg/m}) = H(\text{m}) * t(\text{m}) * W_a(\text{kg/m}^3) \quad (2-15)$$

Donde:

H=Altura de la campana

t=espesor de la lamina de acero

W<sub>a</sub>=Peso específico del acero

5. Peso total de la estructura a plena carga

$$Q_o(\text{kg/m}) = (W_p + W_f + W_c) + 0.25 * D(\text{m})(q_o + q) \quad (2-16)$$

Donde:

D=diámetro interno

q=sobrecargas eventuales por operarios

6. Peso de la estructura vacía

$$Q = W_p + W_f + W_c \quad (2-17)$$

Factor de tanque

$$L = H^2 + (D_i * t_p) \quad (2-18)$$

Donde:

H=altura del tanque

D=diámetro interno

t<sub>p</sub>=espesor del tanque

Factor de fondo

$$L = \frac{t_f}{D_i} \quad (2-19)$$

t<sub>f</sub>=espesor de placa de fondo

Momentos de empotramiento

En la pared

$$M_p(\text{kg m/m}) = C_o * P_o(\text{kg/m}^2) * H^2(\text{m}^2) \quad (2-20)$$

En el fondo

$$M_f(\text{Kg m/m}) = -0.031250 (Q(\text{kg/m}) + 0.25 * D_e(\text{m}) * q(\text{kg/m}^2) * D_e(\text{m})) \quad (2-21)$$

Momentos empotramiento corregidos

$$M_{pc} = M_p + \left( \frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) (M_p + M_f) \quad (2-22)$$

$$M_{fc} = M_f + \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right) * (M_p + M_f) \quad (2-23)$$

Momento máximo en la placa de fondo

$$M_{fo}(\text{kg m/m})=0.0450*Q_o(\text{kg/m}) D(\text{m}) \quad (2-24)$$

### 3. Diseño de paredes y placa de fondo

Se comprueba que el espesor del fondo y pared resista la presión del líquido contenido dentro del tanque

Tensión anular máxima en la pared

$$T_p(\text{kg})=0.35*C_3*P_o(\text{kg/m}^2)*H(\text{m})*D(\text{m})+0.6173*C_4(M_{pc}+M_p)*\frac{D(\text{m})}{H(\text{m})} \quad (2-25)$$

Paredes del tanque

Se debe cumplir que el espesor prefijado para la pared sea mayor o igual al término dado por:

$$t_p(\text{cm})>6.80 \times 10^{-4} |T_p(\text{kg})| \quad (2-26)$$

Fuerza sísmica en el tanque

$$S(\text{kg/m})=Z*C_p [Q(\text{kg/m})]+W_{me}(\text{kg/m}) \quad (2-27)$$

Donde:

$$W_{me}=0.20* D(\text{m})* q_o(\text{kg/m}^2) \text{ es 80\% del peso del agua contenida en el tanque} \quad (2-28)$$

Z=Factor de zona sísmica

C<sub>p</sub>=Factor de soporte

Q=peso de la estructura vacía

Esfuerzo cortante sobre la pared, se calculan las fuerzas cortantes

$$V_1(\text{kg})=C_5*P_o(\text{kg/m}^2)*(H(\text{m}))^2+C_6[M_{pc}+M_p](\text{kg m/m})+\pi S(\text{kg/m})*D(\text{m}) \quad (2-29)$$

$$V_2(\text{kg})=0.25 Q_o(\text{kg/m})*D(\text{m})-[M_{fc}+M_f](\text{kg m/m})+\pi S(\text{kg/m})*D(\text{m}) \quad (2-30)$$

“Se usa el más desfavorable”

Chequeo del esfuerzo cortante:

Se comprueba que:

$$V_1(\text{kg}) \leq 50(f'c(\text{kg/cm}^2)) 0.50*tf \quad (2-31)$$

Ahora por flexión en la pared

Se comprueba que:

$$|M_{pc}(\text{kgm})| < 0.50\phi(fc^*)df \quad (2-32)$$

$\phi=0.65$  valor constante de coeficiente de reducción de resistencia

### **2.4.2.2 Ingeniería geotécnica**

Conocer el terreno es básico en una obra civil de cualquier tipo. La observación directa es de las primeras cosas que se hacen para identificar la topografía general del lugar, después las siguientes actividades:

1. La actividad geomorfológica
2. Afloraciones de roca
3. Estratigrafía
4. Conducciones eléctricas de agua y de gas
5. Estructuras dañadas en la zona y sus causas
6. Posibilidad de recoger alguna muestra de terreno

Llevando a cabo estas actividades muestra la situación real de la zona en la que se va a construir y cada caso lleva una forma única de manejarse. Ya que se observa el terreno se continúa con el sondeo para ver la estratigrafía real, el nivel freático y ya que se tiene la muestra se lleva a un laboratorio especializado (Crespo, 2004).

Entre los sondeos que se deben realizar son:

1. Reconocimiento manual: Se realiza sin medios mecánicos, en general se usan instrumentos manuales como pueden ser: picos, palas, barrenas, martillos, espátulas, etc. Puede ser de acceso directo desde alguna zanja, pozo, uso de herramientas de perforación
2. Reconocimiento mecánico: Se realiza con medios mecánicos con el objetivo de obtener una muestra en vertical más profunda y sin alteraciones (Crespo, 2004).

### **2.4.2.3 Ingeniería hidráulica**

Se enfocará en las instalaciones de tuberías de agua y drenaje respectivamente. Las tuberías de agua se componen:

1. Tubos de suministro de agua
2. Accesorios
3. Trampas en accesorios

Para diseñar instalaciones hidráulicas y de drenaje se deben contar con planos de diseño en los que se especifiquen las características que se deben considerar. La tubería será en serie (conectada de extremo a extremo) el caudal se mantendrá constante a lo largo de todo el sistema. Para el diseño de la tubería de agua potable se toman en cuenta todos los elementos de la instalación, comenzando con el suministro de agua potable, llave de paso, tubo de distribución de agua, tubo principal, tubos elevadores, ramal o rama de accesorio, alimentación a un accesorio y accesorios adicionales (Enríquez, 2000).

#### **a) Tuberías de drenaje**

El drenaje es muy importante para mantener el buen estado de la planta y debe ser del tipo sanitario. Como es bien sabido el drenaje trabaja a gravedad, de modo que no necesita ningún tipo de bombeo ya que la misma topografía de la zona ayudara a su desalojo. Para el diseño de la tubería se usara material PVC, ya que es más económico y de fácil manejo, por ello de deben considerar las velocidades mínimas y máximas en este material que son: 0.3m/s-5m/s. Las ventajas que también

tiene el PVC para la conducción de aguas residuales es que los gases generados dentro de él no lo afectan y soportan abrasión (Enríquez, 2000).

Para obtener el diámetro requerido en la tubería se despeja de la siguiente expresión:

$$Q=VA \tag{2-33}$$

Donde:

Q=Gasto  $m^3/s$  (20% del gasto de agua potable)

V=Velocidad (m/s)

A=Área  $\pi D^2/4$  ( $m^2$ )

### b) Sistema de agua potable en Ciudad Universitaria

En Ciudad Universitaria no se hace uso de la infraestructura hidráulica que suministra agua al Distrito Federal, ya que su abastecimiento se da a partir de tres pozos ubicados al interior del campus. El suministro y distribución del agua incluye dos vertientes de manejo, el sistema de agua potable y el sistema de agua tratada (DGOC, 2006).

El sistema de agua potable para el consumo en las distintas dependencias se compone de tres subsistemas: el de suministro, el de almacenamiento y el de la red de distribución de agua (Figura 2.4).

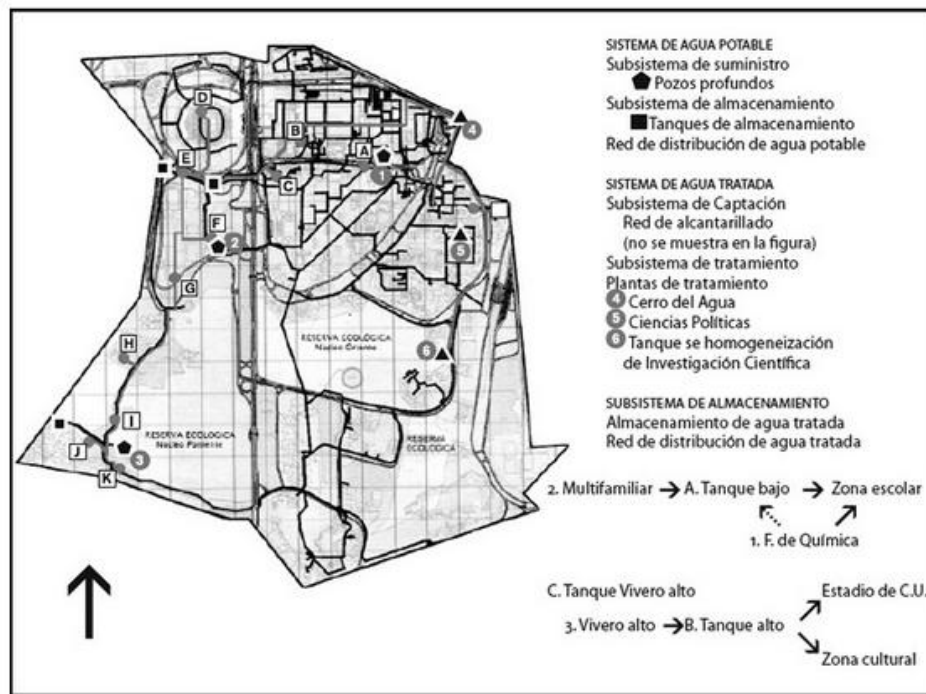


Figura 2.4 Diagrama de los sistemas de agua potable y tratada de Ciudad Universitaria (DGOC, 2006)

El primero se encuentra regulado por tres pozos profundos que han mantenido su nivel inicial de extracción a pesar de la continua demanda de agua de la comunidad universitaria y de que dos de ellos tienen más de treinta años de uso continuo. En estos pozos, denominados Multifamiliar y



Facultad de Química, se realiza una extracción las 24 horas al día, mientras que en el del Vivero Alto, de construcción más reciente, sólo se llevan a cabo dos extracciones diarias.

El proceso de distribución de agua a las dependencias inicia con el suministro de los pozos al subsistema de almacenamiento, que está constituido por tres tanques (con capacidad total de almacenamiento de 12,000 m<sup>3</sup>) y el conjunto de cisternas con que cuenta cada facultad. El agua almacenada en los tanques se suministra directamente a las cisternas por medio de la red de distribución, con excepción del pozo de Química, que normalmente dirige el agua directamente a la red.

La red de distribución opera por gravedad a partir de los tanques de almacenamiento, por lo que no requiere energía eléctrica para llevar a cabo su funcionamiento. Esta característica redundante en una estrategia ambiental y económicamente adecuada, pues contribuye a disminuir el consumo de energía y aminorar costos económicos para la UNAM. Adicionalmente, la red cuenta con un sistema de válvulas que impide el flujo de agua continuo en caso de fuga, y las características del material que la constituye no sólo es de amplia durabilidad, también contribuye a mantener una buena calidad del agua, ya que las tuberías no se oxidan por dentro (DGOC, 2006).

El pozo de Química (Anexo "Calidad del Agua en el Suministro"), se localiza en la Facultad de Química. Tiene una profundidad de 132 metros, la potencia de su bomba es de 125 HP y proporciona un gasto de 31 L/s.

### **c) Sistemas de drenaje en Ciudad Universitaria**

La red de alcantarillado ha incrementado su cobertura permanentemente. Inicialmente sólo comprendía las dependencias más antiguas como Química, Medicina y las áreas circundantes a Rectoría; sin embargo, conforme se construyen nuevos edificios se realizan obras para incrementar su cobertura en este caso se encuentran la Facultad de Ciencias y las dependencias de la zona de la Investigación científica, que recientemente se integraron a la red de alcantarillado. Esta obra consta de una red de 5,100 metros de longitud, un tanque de almacenamiento y homogeneización de caudales con capacidad para almacenar 792 m<sup>3</sup> de agua residual, y un sistema de biofiltros para el control de malos olores. Con esta obra se sustituye el sistema de fosas sépticas y descarga a grietas, lo que evita la contaminación del manto freático, y se proporciona una adecuada infraestructura sanitaria a aproximadamente 16,778 usuarios (DGOC, 2006).

#### **2.4.2.4 Reglamento de construcciones**

Se considera toda la estructura de la planta de biogás como la cimentación, la construcción y el impacto ambiental.

##### **a) Cimentaciones**

Para el cálculo de la cimentación en la planta se usan las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones y se inicia con:

##### **b) Investigación del subsuelo**

###### **1. Investigación a colindancias**

Tener una colindancia adecuada para no afectar alguna otra construcción aledaña ó subterránea a nuestra planta de biogás.

## 2. Reconocimiento del sitio

Zona I (Lomas): Formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados (GODF, 2004).

En la porción de la zona I. En las zonas de derrames basálticos, además de localizar los materiales volcánicos sueltos y las grietas superficiales que suelen estar asociados a estas formaciones, se buscarán evidencias de oquedades subterráneas dentro de la lava que pudieran afectar la estabilidad de las cimentaciones. Se tomará en cuenta que, en ciertas áreas del Distrito Federal, los derrames basálticos yacen sobre materiales arcillosos compresibles.

## 3. Exploraciones

Se deben realizar los estudios pertinentes para definir las condiciones del subsuelo. Sondeos con recuperación continua de muestras alteradas mediante la herramienta de penetración estándar. Servirán para evaluar la consistencia o compacidad de los materiales superficiales de la zona I, los sondeos consisten en realizar una prueba de campo en forma continua o selectiva (GODF, 2004).

## 4. Requisitos mínimos para la investigación del subsuelo:

Construcciones ligeras de poca extensión y con excavación somera

✓ El peso unitario medio de la estructura  $w \leq 40$  kPa (4 t/m<sup>2</sup>)

✓ Perímetro de la construcción

$P \leq 80$  m en zona 1

✓ Profundidad de desplante  $D_f \leq 2.5$  m

## 5. Movimientos verticales (hundimiento o emersión)

El asentamiento en una construcción aislada está permitida hasta los 5 cm mientras que la que tiene colindancias solo se permiten 2.5 cm.

## 6. Determinación de las propiedades en el laboratorio

Las propiedades índice relevantes de las muestras alteradas e inalteradas se determinarán siguiendo procedimientos aceptados para este tipo de pruebas. El número de ensayos realizados deberá ser suficiente para poder clasificar con precisión el suelo de cada estrato. En materiales arcillosos, se harán por lo menos dos clasificaciones y determinaciones de contenido de agua por cada metro de exploración y en cada estrato individual identificable (GODF, 2004).

Las propiedades mecánicas (resistencia y deformabilidad a esfuerzo cortante y compresibilidad) e hidráulicas (permeabilidad) de los suelos se determinarán, en su caso, mediante procedimientos de laboratorio aceptados. Las muestras de materiales cohesivos ensayadas serán siempre de tipo inalterado. Para determinar la compresibilidad, se recurrirá a pruebas de consolidación unidimensional y para la resistencia al esfuerzo cortante, a las pruebas que mejor representen las

condiciones de drenaje, trayectorias de esfuerzos, y variación de carga que se desean evaluar. Cuando se requiera, las pruebas se conducirán de modo que permitan determinar la influencia de la saturación, de las cargas cíclicas y de otros factores significativos sobre las propiedades de los materiales ensayados. Se realizarán por lo menos dos series de tres pruebas de resistencia y dos de consolidación en cada estrato identificado de interés para el análisis de la estabilidad o de los movimientos de la construcción (GODF, 2004).

Para determinar en el laboratorio las propiedades dinámicas del suelo, y en particular el módulo de rigidez al cortante,  $G$ , y el porcentaje de amortiguamiento con respecto al crítico,  $\xi$ , a diferentes niveles de deformación, podrán emplearse los ensayos de columna resonante o el de péndulo de torsión, el ensayo triaxial cíclico o cíclico torsionante, o el de corte simple cíclico. Los resultados de estos ensayos se interpretarán siguiendo métodos y criterios reconocidos, de acuerdo con el principio de operación de cada uno de los aparatos. En todos los casos, se deberá tener presente que los valores de  $G$  y  $\xi$  obtenidos están asociados a los niveles de deformación impuestos en cada aparato y pueden diferir de los prevalecientes en el campo. A fin de especificar y controlar la compactación de los materiales cohesivos empleados en rellenos, se recurrirá a la prueba Proctor estándar. En el caso de materiales compactados con equipo muy pesado, se recurrirá a la prueba Proctor modificada o a otra prueba equivalente. La especificación y el control de compactación de materiales no cohesivos se basarán en el concepto de compactación relativa. Los factores de resistencia,  $F_R$ , relativos a la capacidad de carga de cimentaciones determinada a partir de estimaciones analíticas o de pruebas de campo serán los siguientes para todos los estados límite de falla:

$F_R = 0.35$  para la capacidad de carga ante cualquier combinación de acciones en la base de zapatas de cualquier tipo en la zona I o  $F_R = 0.7$  en otro caso (GODF, 2004).

### c) Cimentaciones someras

Estados límite de falla

Para cimentaciones someras desplantadas en suelos sensiblemente uniformes se verificará el cumplimiento de las desigualdades siguientes para las distintas combinaciones posibles de acciones verticales (GODF, 2004).

En esta verificación, tomando en cuenta la existencia, especialmente en las zonas I y II, de materiales cementados frágiles que pueden perder su cohesión antes de que se alcance la deformación requerida para que se movilice su resistencia por fricción, se considerará en forma conservadora que los suelos son de tipo puramente cohesivo o puramente friccionante (GODF, 2004).

Para cimentaciones desplantadas en suelos friccionantes:

$$\frac{Q_o F_c}{A} < \left[ \bar{p}_v (N_q - 1) + \frac{\gamma B N_\gamma}{2} \right] F_R + p_v \quad (2-34)$$

Donde:

$Q_o F_c$  es la suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada en el nivel de desplante, afectada por su respectivo factor de carga;

$A$  es el área del cimienta;

$p_v$  es la presión vertical total a la profundidad de desplante por peso propio del suelo;

$\bar{P}_v$  es la presión vertical efectiva a la misma profundidad;  
 $\gamma$  es el peso volumétrico del suelo;  
 $c_u$  es la cohesión aparente determinada en ensaye triaxial no-consolidado no-drenado, (UU);  
 $B$  es el ancho de la cimentación;  
 $N_c$  es el coeficiente de capacidad de carga dado por:

$$N_c = 5.14 (1 + 0.25D_f/B + 0.25B/L) \quad (2-35)$$

Para  $D_f/B < 2$  y  $B/L < 1$

Donde:

$D_f$  = profundidad de desplante y  $L$  la longitud del cimiento; en caso de que  $D_f/B$  y  $B/L$  no cumplan con las desigualdades anteriores, dichas relaciones se considerarán iguales a 2 y a 1, respectivamente

$N_q$  = es el coeficiente de capacidad de carga dado por:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 (45^\circ + \phi/2) \quad (2-36)$$

Donde  $\phi$  es el ángulo de fricción interna del material, que se define más adelante. El coeficiente  $N_q$  se multiplicará por:  $1 + (B/L) \tan \phi$  para cimientos rectangulares y por  $1 + \tan \phi$  para cimientos circulares o cuadrados

$N_\gamma$  es el coeficiente de capacidad de carga dado por:

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \phi \quad (2-37)$$

El coeficiente  $N_\gamma$  se multiplicará por  $1 - 0.4(B/L)$  para cimientos rectangulares y por 0.6 para cimientos circulares o cuadrados; y  $FR$  es el factor de resistencia. Donde  $\phi$  es el ángulo con la horizontal de la envolvente de los círculos de Mohr a la falla en la prueba de resistencia que se considere más representativa del comportamiento del suelo en las condiciones de trabajo. Esta prueba deberá considerar la posibilidad de que el suelo pierda parte de su resistencia.

Presión vertical total a la profundidad de desplante por peso propio del suelo

$$P_v = \gamma D_f \quad (2-38)$$

$\gamma$  = peso específico del suelo ( $t/m^3$ )  
 $D_f$  = Profundidad de desplante (m)

Carga admisible en condiciones estáticas

$$q_a = P_v (N_q - 1) + \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma FR + P_v \quad (2-39)$$

Las acciones:

El factor de carga para la 1ª combinación es 1.4 en condiciones estáticas

$$Q_o * F_c / A \quad (t/m^2) \quad (2-40)$$

En la segunda combinación de cargas se considera el modelo en condiciones dinámicas

a) Segunda combinación de cargas

$$\Sigma Q_o * F_c / A' \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (2-41)$$

$F_c$  = Factor de carga (adimensional)

$Q_o$  = Peso total de la estructura (kg/m)

Donde:

$$A' = B' L' \quad (2-42)$$

$A'$  = Área de contacto del cimiento ( $m^2$ )

$B'$  = Ancho del cimiento (m)

$L'$  = Largo del cimiento (m)

$B' = B - 2e$

(2-43)

$L' = L_{0.3} (2e)$

(2-44)

Excentricidad (Brazo de palanca)

$e = M_v / S$  (m)

(2-45)

$M_{fo}$  = Momento de volteo máximo en la placa de fondo (kgm/m)

$S$  = fuerza sísmica en el tanque (kg/m)

**d) Requisitos para concretos con clasificaciones de exposición A1 y A2**

Miembros sujetos a clasificaciones de exposición A1 ó A2 serán curados en forma continua bajo temperatura y presión del ambiente por al menos tres días a partir del colado. El concreto en los miembros tendrán una resistencia a compresión especificada,  $f_c'$ , no menor de 20 MPa (200 kg/cm<sup>2</sup>). La A1 indica una superficie protegida por una membrana impermeable, mientras que la A2 es la clasificación de la superficie de miembros en contacto con el terreno de suelos no agresivos (GODF, 2004).

Se deben tomar precauciones para minimizar el riesgo de daño estructural debido a la reacción álcali-agregado. El contenido total del ion cloruro en el concreto, calculado o determinado, basado en la mediciones del contenido de cloruros provenientes de los agregados, del agua de mezclado y de aditivos no excederá los valores máximos de contenido ion (Tabla 2.9) en el concreto.

Tabla 2.9 Valores máximos de contenido de ion cloruro en el concreto al momento del colado (GODF, 2004)

Valores máximos de contenido de ion cloruro en el concreto al momento del colado	
Tipo de miembro	Máximo contenido de ion cloruro soluble en ácido, kg/m <sup>3</sup> de concreto
Concreto presforzado	0.50
Concreto reforzado expuesto a humedad o a cloruros en condiciones de servicio	0.80
Concreto reforzado que estará seco o protegido de la humedad en condiciones de servicio	1.60

### e) Recubrimiento para el acero de refuerzo

El recubrimiento y el detallado del acero serán tales que el concreto pueda ser colocado y compactado adecuadamente (Tabla 2.10)

Tabla 2.10 Recubrimiento mínimo requerido (GODF, 2004)

Recubrimiento libre mínimo requerido								
Resistencia a compresión especificada, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )								
Clasificación de exposición	15(150) <sup>(1)</sup>	20(200)	25(250)	30(300)	40(400)	5(500)	60(600)	70(700)
Recubrimiento mínimo requerido (mm)								
A1	30	25	25	20	20	20	15	15
A2	50	40	35	30	25	25	20	20

El material del tanque será de concreto reforzado por la impermeabilidad ya que son concretos dosificados y compactados, requieren un mantenimiento mínimo y resisten agentes químicos y la intemperie (GODF, 2004).

Los concretos clase 1 tendrán una resistencia especificada,  $f'c$ , igual o mayor que 250 kg/cm<sup>2</sup>

#### 2.4.2.5 Ejecución de la obra

En una construcción se consideran las siguientes actividades previas:

1. Demolición
2. Limpieza de terreno
3. Trazo y nivelación
4. Excavación
5. Acarreos dentro y fuera de la obra
6. Relleno

##### a) Demolición

La demolición es el efecto de fragmentar los elementos estructurales o arquitectónicos hasta obtener un tamaño menor y manejable, bajo condiciones de orden, eficiencia, limpieza y seguridad estructural, tanto para el predio en cuestión como para los predios o vías públicas colindantes. El constructor se encargará de demoler cualquier tipo de construcción de acuerdo con el dueño del proyecto y, desde luego, con el director responsable de la obra (perito) acreditado por la autoridad gubernamental respectiva (García, 2008).

En algunos casos, el contratante o su representante técnico, fijará el destino o la zona de tiro de los escombros o productos de la demolición; en otros casos el tiro será libre y a elección del constructor. Estos se consideran material de desecho, por lo que el constructor podría, en un momento dado, disponer de él. En este caso se deberá contar con la autorización del propietario del proyecto, ya que los materiales provenientes de la demolición son suyos. Se considera el acarreo del producto de la demolición de forma manual con carretilla a una primera estación cercana (máximo 20 m y dentro de la obra).

## **b) Limpieza del terreno**

Varias actividades y procesos forman el concepto de limpieza de terreno cuyo fin es eliminar la vegetación existente sobre un terreno, es parte importante de su habilitación para el desplante de una estructura y en la realización de una excavación.

El proceso de limpieza del terreno se realiza mediante las siguientes actividades:

1. Desenraice: extracción de troncos, tocones y raíces y pueden ser limpiados a mano por medios mecánicos
2. Roza: retiro de vegetación superficial (yerba, maleza o residuos de sembradíos)
3. Limpia: retiro fuera de la obra o terreno del producto de las actividades anteriores

Los residuos de estas actividades deben colocarse fuera de las áreas destinadas al proyecto transportándolos a los bancos de tiro o de desperdicio asignados previamente por el dueño del proyecto o a los acreditados por las autoridades ecológicas locales. Estas actividades se realizarán únicamente sobre la superficie que ocupará el proyecto. En aquellas áreas cuya habilitación sea imprescindible para maniobras, tránsito interno o para instalaciones provisionales tales como oficinas, almacenes o áreas de trabajo (García, 2008).

Todo el material no aprovechable producto de la limpieza de terreno deberá ser depositado en algún lugar donde no estorbe mientras se acumula o se retira fuera de la obra. El proceso de limpieza de terreno deberá realizarse invariablemente con anticipación a los trabajos de construcción a fin de no entorpecer su desarrollo.

Se debe tomar en cuenta que los daños y perjuicios producidos por la mala ejecución del proceso de limpieza de terreno, aún cuando sea autorizado, serán responsabilidad exclusiva del constructor.

El cálculo de los trabajos de limpieza del terreno serán expresados en unidad de superficie, convencionalmente en metros cuadrados ( $m^2$ ) o en hectáreas (ha), según la extensión de la superficie, esta actividad no incluye el corte de terreno ni el retiro de la tierra contenida en la capa vegetal.

Considerando que no todas las superficies tienen la misma densidad de vegetación y de árboles.

## **c) Trazo y nivelación**

Se llama trazo al efecto de localizar, alinear, ubicar y marcar en el terreno o en la superficie de construcción los ejes principales, paralelos y perpendiculares señalados en el plano del proyecto, así como los linderos del mismo.

Se llama nivelación a los trabajos que se efectúan para conocer la diferencia de alturas de uno o varios puntos con respecto a uno conocido, denominado banco de nivel; éste puede ser verdadero o supuesto y de él depende la precisión del trabajo (García, 2008).

Al combinar los dos conceptos anteriores, el trazo y nivelación se obtiene la referencia necesaria para ubicar al proyecto en el espacio y de acuerdo a las dimensiones y niveles preestablecidos.

Clasificación del proceso de trazo y nivelación:

1. Por medios manuales: Cuando la superficie del terreno no es lo suficientemente grande cuyas dimensiones y desniveles no rebasen las tolerancias o márgenes de error establecidos para levantamientos topográficos
2. Con aparatos de precisión: Se utilizará el nivel y el tránsito: Este procedimiento se aplica cuando la superficie del terreno es lo suficientemente grande y sensiblemente desnivelada

con el fin de evitar que durante la medición de distancias, alturas y ángulos se generen márgenes de error considerables

En el trazo y la nivelación siempre es útil, si es posible, tomar como referencia las construcciones colindantes, además de marcar los límites del terreno y los ejes principales del proyecto es importante trazar las ubicaciones de instalaciones o equipamiento no referenciados con ejes, tales como tomas de agua, registros, drenajes, etc. Si el trazo se realiza en forma manual se hará uso de una escuadra de madera de ángulo recto cuyos lados midan 30, 40 y 50 cm respectivamente, esto permitirá marcar, cuando así lo requiera el proyecto, cruces de ejes o ángulos de 90°. Las dos líneas que se intersecan formando un cruce de ejes se señalan sobre el terreno tomando como referencia de cada eje un hilo (reventón) colocado sobre el trazo del mismo eje y sujetado y tensado en los dos extremos. Una vez hecha la marca es posible retirar los hilos auxiliares. Este mismo procedimiento es aplicable para referenciar los límites de las excavaciones y las trayectorias de las líneas. Se considera el metro cuadrado (m<sup>2</sup>) o la hectárea (ha) como unidad de medición (García, 2008).

#### **d) Excavación**

La excavación es la actividad necesaria para la remoción y extracción de materiales del suelo o terreno, ya sea para alcanzar el nivel de desplante de una cimentación; la rasante en la construcción de un camino o el fondo de una cepa para alojar una tubería. El procedimiento para la excavación está en función de las características del terreno y de los materiales por extraer o remover, así como el empleo de herramienta especial. De acuerdo al procedimiento la excavación se clasifica de la siguiente manera:

1. Excavación por medios manuales
2. Excavación por medios mecánicos
3. Excavación con explosivos, en casos particulares y con la debida autorización

La profundidad es una de las características que determina la dificultad de una excavación, por lo que también se clasifica en función de ésta:

1. Desde 0.00 hasta 2.00 m de profundidad
2. Desde 2.01 hasta 4.00 m de profundidad
3. Desde 4.01 hasta 6.00 m de profundidad

La presencia de agua durante la excavación (nivel freático) representa una condición importante para valorar esta actividad, por lo que la excavación se clasifica también así:

1. Excavación en seco: Cuando el material no presenta un contenido de humedad considerable
2. Excavación en material saturado: Cuando en su estado natural y antes de la excavación la superficie ha estado permanentemente expuesta al agua, aún cuando el nivel freático se abata durante el proceso de excavación y construcción de la cimentación
3. Excavaciones en agua: El abatimiento del nivel freático durante el proceso de construcción se logra mediante acciones de bombeo

Si esto no es factible económica o técnicamente se considerará como excavación en agua.

Los suelos que serán excavados se clasifican considerando varias características tales como su origen, granulometría (densidad, tamaño y distribución de partículas), resistencia, deformación, permeabilidad, etc. Para el proceso de excavación la clasificación de los suelos se define en función de la dificultad para ejecutar esta actividad y se clasifican así:

- ✓ Material I: Es aquel que es atacable, si el proceso es manual, utilizando únicamente pala, sin requerir el uso de pico, aún cuando éste se emplee para facilitar la operación. Si el proceso es por medios mecánicos, este material puede ser eficientemente excavado con una escropa



enganchada a un tractor sobre orugas cuya potencia sea de 90 a 110 caballos de fuerza (hp), sin el auxilio de arados o por otro similar, aún cuando éstos se utilicen para obtener mayores rendimientos. Los suelos de este tipo son blandos, no cementados cuya medida en prueba de penetración estándar o en compresión simple es menor o igual a 2.5 toneladas por metro cuadrado (ton/m<sup>2</sup>).

Lo anterior no excluye a otro tipo de suelo con otras características diferentes, como son:

- ✓ Material II: Si el proceso es por medios manuales se requerirá el uso de pico y pala. Si el proceso es por medios mecánicos la dificultad de extracción y carga exigirá el uso de un tractor sobre orugas con cuchilla de inclinación variable con una potencia de 140 a 160 caballos de fuerza (hp) o con pala mecánica de 1 m<sup>3</sup> de capacidad mínima y sin el uso de explosivos, aún cuando por conveniencia se utilicen para aumentar el rendimiento. La resistencia a la compresión simple de este material es menor o igual a 40 ton/m<sup>2</sup>.
- ✓ Material III: Si el proceso es por medios manuales, este material sólo puede removerse y alterarse con cuña y marro o con el uso de equipo menor como martillos neumáticos, o bien mediante explosivos o gel expansivo. Si el proceso es por medios mecánicos se requerirá del uso de martillos neumáticos adaptados al equipo pesado. En este material la resistencia a la compresión simple es de 400 ton/m<sup>2</sup> (García, 2008).

Las excavaciones para cimentación deberán tener la holgura (sobre-excavación) mínima necesaria (en algunos casos se consideran 10 cm por lado) para que sea posible construir el tipo de cimentación proyectada. Esta holgura estará en función de la profundidad, del tipo de cimentación y del tipo de material que forma el terreno. Los materiales resultantes de la excavación deberán emplearse para los fines que el proyecto especifique (relleno con producto de excavación, por ejemplo) o depositarse en el lugar asignado previamente para después acarrearlo fuera de la obra hasta la zona de tiro autorizada. Todas las excavaciones, ya sea por medios manuales o mecánicos, de cualquier tipo de material o profundidad, incluyen el depósito del material a borde de cepa. Los traspaleos o maniobras adicionales obligadas por la profundidad o dificultad del proceso estarán contempladas implícitamente en la selección de los rendimientos para cada caso. El afine de fondo y taludes es una actividad integral del proceso de la excavación. La medición de los volúmenes excavados se hará empleando como unidad el metro cúbico (m<sup>3</sup>). Es permisible técnicamente que el constructor realice sobre-excavaciones mayores a las autorizadas para proporcionar más holgura a la maniobras de la cimentación. Si estas sobre-excavaciones no son autorizadas y no hay justificación técnica el costo será absorbido por el constructor.

#### **e) Acarreos dentro y fuera de la obra**

La carga es la maniobra que se realiza para depositar los materiales producto de trabajos varios como la demolición, la excavación o la explotación de bancos de préstamo por medio de un vehículo (camión) o herramienta (carretilla) para ser transportados posteriormente. Acarreo es el efecto de trasladar o transportar esos mismos materiales, dentro de la obra, hacia un depósito provisional mientras no se le asigne un uso final o fuera de la obra, a una zona de tiro de depósito permanente o temporal, según sea el caso. Acarreo libre es el traslado que se efectúa hasta una estación cuya distancia es definida en el proyecto, convencionalmente se hacen hasta 20 m si es por medios manuales (acarreo en carretilla) y hasta 1 km si es por medios mecánicos (acarreo en camión). El acarreo a una distancia total mayor se considera como sobre-acarreo (García, 2008).

Sobre-acarreo es el traslado que se efectúa a una distancia mayor a las contempladas en el acarreo libre y determinada por bloques, si el sobre-acarreo es por medios manuales, en estaciones subsecuentes a la primera de 20 m y si es por medios mecánicos, en kilómetros subsecuentes al primero. Cabe hacer notar que estos rangos, 20 m para el acarreo manual y un kilómetro para

acarreo en camión, no son limitativos; es aceptable fragmentar la distancia total en estaciones de cualquier otra medida, sólo hay que cuidar que el rendimiento utilizado sea compatible.

Los acarreos libres y sobre-acarreo por medios manuales (en carretilla) usualmente se realizan dentro de la obra misma. Generalmente, los acarreos libres y sobre-acarreo por medios mecánicos (en camión) son fuera de la obra, por lo que la velocidad de traslado, estará en función de las características del camino, del tránsito y de distancia.

Los materiales que se consideran para efectuar los acarreos son:

1. El producto de la excavación
2. El producto de la demolición (mampostería, elementos de concreto, pavimentos, muros de tabique, enladrillados, impermeabilizantes, entortados, rellenos o cualquier otro material similar)
3. Material de desperdicio en general: concreto, mezclas, padecería de tabique, madera; durante y al final de la obra

No se consideran materiales que se acarren (para fines de costo independiente y cobrable) dentro ni fuera de la obra: arena, grava, piedra brasa, agua, tepetate y/u otros materiales que se utilicen dentro de los alcances del proceso constructivo de la obra nueva. Estos acarreos deben estar incluidos en la actividad principal como la elaboración de mortero, concreto o relleno. La unidad convencional utilizada para medir el acarreo libre y el acarreo a tiro libre es el metro cúbico ( $m^3$ ) tanto para el acarreo por medios manuales como mecánicos. Las dimensiones se consideran medidas en banco, es decir, antes de disgregar el material. La unidad para medir y cuantificar los sobre-acarreo por medios manuales (en carretilla) será, convencionalmente, la estación de 20 m subsecuente a la primera multiplicada por cada metro cúbico ( $m^3$ ) que se acarree ( $m^3$ -est). Los sobre-acarreo por medios mecánicos (en camión) será en kilómetros subsecuentes al primero multiplicados por la cantidad de metros cúbicos que se acarreen ( $m^3$ -km).

#### **f) Relleno**

Es el efecto que consiste en colocar el material producto de la excavación proveniente de un banco de préstamo para alcanzar niveles de desplante del proyecto, para mejorar o sustituir material natural inestable, para ocultar y confinar cimentaciones o cualquier otra excavación que lo requiera. El relleno se clasifica de diferentes maneras.

##### **1) Por el grado de compactación**

1. Relleno a volteo. Cuando el material que se usa para el relleno se coloca en el sitio sin compactación alguna
2. Relleno compactado. Cuando al material que se usa para rellenar se le aplica un proceso para aumentar su peso volumétrico (eliminación de vacíos) con el objeto de incrementar la resistencia y disminuir la compresibilidad

##### **2) Por el tipo de material**

1. Material producto de la excavación. En ocasiones cuando el material sobre el cual se construye y sobre el que se aloja el sistema de cimentación es resistente, estable y presenta gran capacidad de cohesión al aplicar la compactación, además de no estar contaminado, se utiliza para rellenar
2. Material de banco. Cuando las características del suelo no son apropiadas para usarse como material de relleno se sustituirá por otro proveniente de un banco de préstamo. Entendiéndose por banco de préstamo el sitio de preferencia cercano a la obra y formado por

material inerte, libre de contaminación y de granulometría uniforme que permita alcanzar el nivel óptimo de humedad para el proceso de compactación (García, 2008).

El objeto de un relleno compactado es densificar el suelo y se puede hacer aplicando carga con un peso estático; mediante golpes con un objeto; por vibración; por medios manuales (pisón de mano) o por medios mecánicos ligeros o pesados (placa vibratoria, aplanadoras o rodillos). La compactación se utiliza para eliminar los asentamientos y para hacer más impermeable el suelo, cuando sea el caso. La compactación que debe obtenerse en los rellenos se especifica como un porcentaje mínimo del peso volumétrico máximo con humedad óptima que se determina en pruebas de laboratorio. Es decir, para un suelo y un esfuerzo de compactación dado, existe un contenido óptimo de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso del suelo seco, que permite el máximo grado de compactación.

Para verificar lo anterior existe una prueba de laboratorio llamada prueba Proctor que se desprende de la norma ASTM D698 y D1557 "Relaciones de humedad-densidad en suelos y con mezclas de suelo agregados, utilizando ariete de 2.50 kg (5.5 lb) para una caída de 30.50 cm (1.00 pie) y un ariete de 4.54 kg (10 lb) para una caída de 45.70 cm (1.50 pie), respectivamente. Se deben tomar varias muestras del relleno que se requiere verificar, aunado al grado de compactación obtenido y se someten a las pruebas de laboratorio para encontrar la densidad de la muestra del material compactado con relación al contenido de humedad; estos datos se grafican para determinar la densidad máxima con la humedad óptima, ver la Figura 2.5

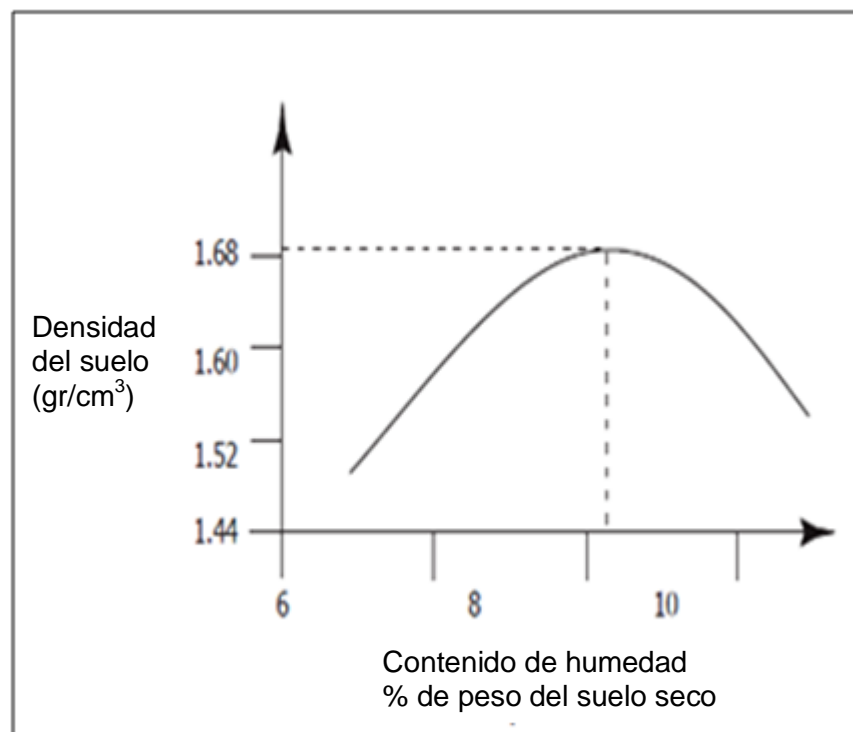


Figura 2.5 Densidad-humedad del suelo (García, 2008)

La especificación de compactación para un relleno debe entenderse así:

Un requerimiento de compactación de 95% significa que el material, ya compactado, debe tener una densidad mínima del 95% del peso volumétrico máximo del terreno, el cual como ya se mencionó se obtiene cuando el material tiene un contenido óptimo de humedad.

Después de haber realizado las actividades previas, se llevan a cabo las siguientes actividades:

1. Cimbra
2. Colocación de concreto
3. Drenaje

### **g) Cimbra**

La cimbra es una estructura temporal que se utiliza en la fabricación de elementos estructurales o arquitectónicos para dar y mantener la forma del concreto fresco durante el proceso de fraguado. Se distinguen dos partes importantes en la fabricación de la cimbra:

1. Molde o forro.- Son los elementos que están en contacto directo con el concreto y dan forma al concreto y al acabado
2. Obra falsa.- Son los elementos que soportan al molde o forro La cimbra puede fabricarse de madera o de materiales metálicos, mixtos y plásticos sintéticos e industrializados. Para construcciones en las que el tiempo es determinante y el número de usos de una misma cimbra es considerable, es recomendable y más rentable optar por un sistema de cimbra industrializado fabricado con materiales como aluminio, fibra de vidrio, etc., aunque el costo inicial de adquisición sea mayor que el de la cimbra de madera

Los requisitos de las cimbras son:

1. Deben ser fuertes y rígidas para garantizar el soporte adecuado del elemento que se construye y satisfacer las tolerancias dimensionales permitidas
2. Deben ser lo suficientemente herméticas para evitar escurrimientos durante el proceso de vibrado y fraguado del concreto
3. Deben ser fácilmente desmontables para no dañar el acabado especificado del concreto y permitir su reutilización el mayor número de veces posible (García, 2008).

La cimbra debe ajustarse a la forma, dimensiones, niveles, alineamiento y acabado claramente indicado y especificado en los alcances del proyecto. La obra falsa debe estar correctamente contraventeada para garantizar su seguridad, forma, ubicación y rigidez necesaria.

1. La obra falsa debe construirse tomando en cuenta las contra flechas especificadas en el proyecto
2. Los puntales o pies derechos deben colocarse a plomo, permitiendo una inclinación no mayor a 2 mm por metro lineal
3. La cimbra de contacto debe tener la suficiente rigidez para evitar las deformaciones ocasionadas por la presión del concreto o por el efecto del vibrado o de cualquier otra carga presente durante el proceso de colado
4. Cuando se trate de cimbra de madera, se debe cuidar que los elementos utilizados no se encuentren torcidos o deformados, así como evitar la colocación de piezas con nudos en las zonas expuestas a esfuerzos de tensión de los elementos estructurales. Previo al colado debe humedecerse la cimbra de contacto
5. Para facilitar el proceso de descimbrado es recomendable, antes de armar y colocar el acero y el concreto, aplicar sobre la superficie de contacto de la cimbra algún producto para desmoldar.

6. Antes de iniciar el colado, la superficie de la cimbra debe estar libre de cualquier elemento extraño y dañino, como basura, pedazos de madera, etc. Durante el colado y antes del inicio del proceso de endurecimiento del concreto es recomendable inspeccionar el cimbrado con el fin de detectar deflexiones, asentamientos, pandeos o desajustes en los elementos de contacto o en la obra falsa

La cimbra podrá reutilizarse cuantas veces sea posible, siempre y cuando se cuide que en cada uso se cumplan las especificaciones y requisitos del cimbrado, esto es que no se reduzca la rigidez ni la hermeticidad y que se cumpla satisfactoriamente con el acabado superficial especificado (García, 2008).

1. El proceso de descimbrado se realizará bajo condiciones de seguridad estructural para la edificación
2. Evitar descimbrar partes de la estructura que no se encuentren debidamente apuntaladas a fin de soportar, durante la construcción, cargas que sean mayores a las de diseño. Durante el descimbrado no se debe dañar la superficie del concreto
3. El tiempo para retirar la cimbra está en función del tipo de la estructura, de las condiciones climáticas, del tipo del concreto utilizado y de los aditivos empleados, ya sea para acelerar o retardar el fraguado
4. A menos que el proyecto especifique otro ordenamiento

#### **h) Concreto**

En la construcción de elementos de concreto estructurales o arquitectónicos se distinguen las siguientes actividades consecutivas e importantes, que en este manual se tratarán por separado respetando el orden con el que se ejecuta cada proceso.

#### **i) Colocación del concreto**

El colado o vaciado es el proceso de colocación del concreto dentro del molde o cimbra. La colocación del concreto es determinante, ya que con esta actividad se concluye la fabricación de elementos estructurales o arquitectónicos, importantes, definitivos y perdurables de una obra. Además de cumplir con las exigencias de un funcionamiento estructural eficiente y seguro. Aunque las actividades de vibrado y curado son sumamente importantes, con la colocación se determina el volumen y la posición de los elementos. Es importante que 24 horas antes del colado se notifique a las autoridades técnicas de la obra con el fin de que se lleve a cabo la inspección de la zona de colado (García, 2008).

En esta inspección se debe revisar, entre otros, aspectos tales como:

1. Que la cimbra y el acero cumplan con los requisitos comentados anteriormente en el capítulo respectivo
2. Que dentro de la cimbra, en la revolvedora y en el equipo de transporte no haya elementos perjudiciales y ajenos al funcionamiento y manejo eficiente del concreto
3. Considerar las condiciones climáticas, si éstas no son adecuadas, llevar a cabo los cuidados necesarios para realizar el colado y tomar en cuenta la posibilidad de interrumpirlo
4. Evitar colar debajo de los 5°C a menos que se utilice un aditivo para eliminar los efectos de la congelación
5. Revisar los trabajos previos complementarios tales como la colocación y posición de las instalaciones inmersas en el concreto
6. Si hay ductos de instalaciones dentro de una columna deben colocarse en el centro de ésta y su área de sección no debe ser mayor a 4% del total de la sección transversal de la columna
7. Las tuberías de agua, gas, vapor y sanitarias no deberán ahogarse en el concreto estructural
8. No se debe colocar concreto que presente a simple vista muestras de segregación

9. Evitar que la colocación del concreto en la cimbra provoque un impacto que dé lugar a la segregación de la mezcla
10. La altura máxima de caída libre del concreto es de 0.80 m. Si se tienen elementos más altos, deben abrirse ventanas por donde se pueda verter el concreto sin problema. El proceso de colocación debe ser por capas y cada una de éstas deberá ser compactada correctamente antes de que la capa anterior haya iniciado el fraguado
11. No es aceptable acumular la mezcla dentro de la cimbra o cimbras, para extenderla posteriormente, así como, traspalear concreto para llenar otras cimbras. Estas prácticas propician la segregación de la mezcla
12. Si las especificaciones del proyecto no señalan otra cosa, el acabado final de la superficie debe ser liso, continuo, libre de bordes, rugosidades u oquedades
13. Cuando los colados se llevan a cabo en condiciones y circunstancias deficientes y el proceso y el producto no satisfacen a las autoridades técnicas de la obra, es posible que se solicite la reposición total o parcial, lo cual depende de la gravedad del resultado. Si este es el caso, será bajo la responsabilidad y a cargo del constructor
14. Vibrado o compactación del concreto. Es el proceso que facilita la colocación del concreto recién vaciado dentro de las cimbras, elimina al máximo los vacíos dentro de la mezcla, uniforma la distribución de materiales, propicia un buen contacto entre el concreto, la cimbra y el acero de refuerzo
15. Esta fase se realiza con vibradores de inmersión que proporcionan a la mezcla vibraciones de frecuencias mayores a 3000 vibraciones por minuto
16. El equipo disponible es eléctrico o de gasolina con cabezales de diferentes tamaños y diámetros y son de varios tipos: De inmersión (con chicote y cabezal), externos (vibradores adheridos a la cimbra que se usan cuando la densidad del acero es alta) y de superficie (reglas vibratorias que se usan para la colocación y vibrado de pisos y superficies horizontales)

Para seleccionar el tipo de vibrador se debe tomar en cuenta:

1. El volumen de concreto que se someterá a este procedimiento
2. Velocidad de compactación deseada
3. Peso y tamaño del vibrador
4. Tiempo requerido de vibrado en función del fraguado del concreto
5. Dimensiones de los elementos de concreto a vibrar y la densidad de acero

Los vibradores de inmersión deben introducirse en el concreto verticalmente, separando cada inmersión entre 45 y 75 cm; hacerlo rápidamente a la entrada y hacia abajo y sacarlo cuando la superficie visible del concreto se torne brillante debido al flujo de la lechada de la mezcla. A este efecto se le conoce como sangrado del concreto. En elementos de poco espesor se puede introducir el cabezal de manera inclinada y cada inmersión puede durar entre 5 y 15 segundos.

No se debe vibrar el concreto endurecido. Los huecos que se forman por la entrada del cabezal no podrán ser ocupados fácilmente por la misma mezcla al extraerlo, se debe evitar el sobre vibrado para no segregar la mezcla y no afectar al concreto en proceso avanzado de fraguado. No debe vibrarse colocando el cabezal en contacto directo con el acero, ya que al iniciarse el fraguado, las vibraciones pueden provocar la separación entre el acero y el concreto, sobre todo si éste último ha iniciado su endurecimiento en algún lugar (García, 2008).

## **j) Curado**

El curado es la forma de controlar la humedad y la temperatura del concreto recién vaciado que permite, durante el fraguado inicial, la adquisición de las propiedades deseadas (resistencia, rigidez, durabilidad, impermeabilidad, entre otras). El método adecuado de curado está en función de las

circunstancias y del tipo de la obra además de las características de los elementos de concreto que se someterán a este proceso. Se tienen los siguientes métodos de curado:

1. Método tradicional. Consiste en proteger el concreto contra la pérdida de agua por evaporación durante el período inicial de endurecimiento. Es aceptable mantener la humedad colocando sobre la superficie del concreto
2. El papel de los bultos de cemento vacíos saturados de agua (aserrín o arena saturados de agua, rociar agua constantemente)
3. Método químico. Evita la pérdida de humedad sellando la superficie del concreto, lo cual puede lograrse aplicando un producto o compuesto directamente sobre la superficie visible del concreto para que forme una membrana. En elementos verticales que se pueden descimbrar al día siguiente, el producto o compuesto químico se aplicará inmediatamente después del descimbrado

Tomar en cuenta que la humedad del concreto se pierde a través de todas las caras expuestas al medio ambiente; las caras cimbradas están protegidas satisfactoriamente contra la pérdida de humedad (siempre y cuando las otras caras o superficies no cimbradas se curen adecuadamente), por lo que es recomendable dejar colocada la cimbra el mayor tiempo posible, lo cual dependerá de la velocidad o del programa de re uso de los moldes utilizados para cimbrar Durante el curado debe cuidarse que la temperatura del agua no sea 11°C menor a la del concreto para evitar esfuerzos de contracción que propicien agrietamientos inconvenientes.

El período mínimo para la aplicación del curado debe ser de 7 días para concretos colados a una temperatura ambiente de más de 10°C, a menos que el concreto sea muy sensible al curado o que las condiciones ambientales sean muy agresivas para el concreto, en cuyo caso el curado se prolongará por lo menos por 7 días más. Si el concreto se cuele en climas fríos, menores a los 10°C, o incluso en estado de congelamiento sin ninguna precaución, es posible que resulte un concreto de calidad deficiente y de resistencia indeterminada. Para que esto no suceda, el concreto se debe mantener sobre los límites de temperatura para mantener el concreto por arriba del punto de congelación y de los límites de la tabla anterior, los materiales se pueden calentar antes de mezclarse o el concreto puede mantenerse en lugares caldeados tales como hornos. Si el clima es moderadamente frío sin llegar a la congelación, calentar el agua para la mezcla es una práctica aceptable. Si se llega a niveles de congelamiento habrá que calentar los agregados también, cuidando de que los materiales no rebasen los 32°C al ser calentados (García, 2008).

#### **k) Prueba del revenimiento**

El revenimiento es la medida de la consistencia del concreto fresco en términos de disminución de altura.

Para hacer la prueba se requiere un molde en forma de cono truncado de acero o de cualquier otro material no poroso ni absorbente, un cucharón como el utilizado para la toma de muestras, una varilla del no. 5 (5/8") con punta semiesférica, una charola metálica o de otro material no absorbente ni poroso y una cinta métrica relativamente rígida (ONNCE, 2004).

El procedimiento es el siguiente:

1. Se humedece el molde cónico trunco
2. Se coloca el molde sobre la charola sujetándolo firmemente con los pies y sobre los estribos del cono
3. Se llena el molde con capas iguales hasta completar tres partes
4. Cada capa de concreto se compacta por medio de la varilla haciendo 25 penetraciones de manera uniforme en toda la sección del molde. En la primera capa se introduce la varilla

hasta tocar el fondo, sin abollarlo ni deformarlo y en las dos siguientes hasta penetrar 2 cm aproximadamente de la capa inferior anterior

La capa superior debe rebasar el borde del molde y enrasarse con la misma varilla al término de la compactación

5. Se levanta el molde verticalmente y sin movimientos laterales ni torsionales; esta operación debe tomar entre 3 y 7 segundos. Después del llenado del molde hasta su retiro no deberán pasar más de 2.5 minutos. El molde se coloca a un lado del espécimen de concreto
6. Inmediatamente se mide el revenimiento. Se coloca la varilla horizontalmente en la parte superior del molde y sobre el espécimen de concreto y se mide la distancia desde la parte inferior de ésta, hasta el centro desplazado de la parte superior de la masa de concreto. Si alguna parte del concreto se desliza o se cae hacia un lado, se desecha la prueba y se efectúa otra utilizando un concreto diferente pero de la misma muestra tomada originalmente
7. Si la segunda prueba presenta caída o deslizamiento del concreto es probable que se deba a que la mezcla no tiene la suficiente plasticidad y cohesión en cuyo caso la prueba del revenimiento no se aplicará. El reporte de la prueba debe contener los siguientes datos:

A continuación se presenta información acerca de los revenimientos más comunes y de sus respectivas tolerancias. Ver Tablas 2.11 y 2.12 respectivamente.

Tabla 2.11 Revenimientos especificados (ONNCE, 2004)

Revenimiento (cm)	Características
10	Poco trabajable y no bombeable
12	Trabajable en grado medio y no bombeable
14	Trabajable y no bombeable
14 bombeable	Trabajable y bombeable
18 bombeable	Muy trabajable y bombeable

Tabla 2.12 Valor nominal de revenimiento y tolerancias (ONNCE, 2004)

Revenimiento nominal (mm)	Tolerancia (mm)
Menor de 50	+/- 1.5
De 50 a 100	+/- 2.5
Mayor de 100	+/- 3.5

### **I) Conclusiones de la prueba**

Si el revenimiento medido en la o las pruebas no es el requerido ni aún aplicando las tolerancias respectivas, el concreto de donde se tomó el muestreo debe desecharse pues no es aceptable para su colocación. Si el revenimiento es menor al especificado o solicitado puede ser que el concreto haya iniciado el proceso de fraguado. Si el revenimiento es mayor, puede ser que la relación agua/cemento se haya incrementado sin la debida autorización o control, lo cual afecta la resistencia. Es importante mencionar que la utilización de las pruebas antes mencionadas no es limitativa ni exclusiva de los concretos premezclados; desde luego son aplicables también al concreto hecho en obra (García, 2008).



### **m) Aditivos para concreto**

Son materiales diferentes del agua, de los agregados y del cemento, que se pueden emplear como componentes del concreto y que se agregan en pequeñas cantidades a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado, interactuando con el sistema hidratante-cementante mediante la acción física, química o físico-química, y que modifican una o más de las propiedades del concreto o mortero en sus etapas: fresco, fraguando, endureciéndose y endurecido (García, 2008).

No se consideran como aditivos los suplementos del cemento como escorias, puzolanas naturales o humo de sílice, ni las fibras empleadas como refuerzo, los cuales pueden ser constituyentes del cemento, mortero o concreto.

Los aditivos químicos para el concreto actúan directamente sobre el contenido de cemento en la mezcla del concreto y se dosifican comúnmente en mililitros o centímetros cúbicos por kilogramo de cemento, en porcentaje con respecto al contenido de cemento, o en volumen con respecto al peso de cemento. Aunque los aditivos, a diferencia del cemento, los agregados y el agua, no son componentes esenciales de la mezcla de concreto, son importantes y su uso se extiende cada vez más, por la aportación que hacen a la economía de la mezcla; por la necesidad de modificar las características del mortero o concreto de tal forma que éstas se adapten a las condiciones de la obra y a los requerimientos del constructor, y otras veces, su utilización como único medio factible para lograr las características deseadas en el concreto, como baja permeabilidad, alta resistencia a temprana edad, alta fluidez para colocarse por su peso propio, facilidad de bombeo a distancias largas o altura, entre otras.

### **n) Impermeabilizante integral**

Se añade a la mezcla de concreto para que rechace al agua y así disminuya la permeabilidad del concreto endurecido. Para que este efecto sea más efectivo, se recomienda aplicarlo en concreto de  $F'c$  mayor a  $200 \text{ Kg/cm}^2$ .

Se utiliza para reducir la permeabilidad en todo tipo de concreto expuesto al agua, principalmente en cimentaciones, tanques de almacenamiento de agua, sistemas de alcantarillado, canales, losas, etc.

#### Características y beneficios

1. Reduce la absorción del concreto endurecido
2. Reduce la permeabilidad del concreto
3. Facilita el acabado
4. Reduce ligeramente el agua de mezcla del concreto, incrementando la resistencia final
5. Reduce la capilaridad del concreto evitando la eflorescencia
6. Aumenta la durabilidad del concreto
7. Alta resistencia final a la compresión axial y a la flexión, para una mayor capacidad estructural
8. Alto desarrollo de resistencias tempranas, para un reinicio más rápido de actividades
9. Baja permeabilidad para una mayor resistencia a la penetración de fluidos (agua, aire y gases)
10. Mayor resistencia física a la abrasión para una mayor expectativa de vida del concreto

### **o) La cimentación de la obra**

La cimentación de una edificación está integrada por elementos estructurales que forman la subestructura que sostiene y estabiliza a la superestructura y se coloca bajo el nivel del terreno natural.

Las cimentaciones pueden ser:

Superficiales:

1. Zapatas aisladas
2. Zapatas corridas
3. Losas de cimentación

Profundas:

1. Cajones de cimentación
2. Pilotes

El objetivo de una cimentación es:

1. Reducir o mantener el asentamiento total a una cantidad máxima aceptable
2. Evitar lo más posible el asentamiento diferencial entre las partes de una estructura
3. Estabilizar la estructura

Para determinar el tipo y las características de diseño de una cimentación se requiere conocer la siguiente información:

1. Tipo del terreno
2. Capacidad de carga
3. Peso total de la obra (cargas vivas y muertas) y cargas accidentales (viento y sismo)

Los dos primeros puntos se determinan mediante la realización de pruebas de carga o perforaciones de reconocimiento en el suelo (García, 2008).

#### **p) Zapata corrida**

Comúnmente se construye para recibir las cargas de la superestructura por medio de los muros de carga de concreto o de algún tipo de mampostería (tabique rojo, block, piedra, etc.) y distribuyen la carga del muro en sentido horizontal y longitudinal para impedir el asentamiento excesivo y estabilizar a la estructura.

Se diseñan para resistir los esfuerzos de flexión y cortante que provoca la reacción ascendente del suelo al cargar la estructura. Este elemento puede recibir cargas a través de columnas, siempre y cuando éstas se ligen con contra trabes; las zapatas corridas pueden construirse con piedra brasa o concreto.

#### **q) Muros**

Los muros se clasifican por su trabajo mecánico:

1. Muros de carga. Reciben y soportan las cargas de la estructura y la transmiten a la cimentación, mediante esfuerzos de compresión
2. Muros divisorios. Estos elementos sólo separan los espacios sin recibir carga alguna más que su propio peso y los aíslan de ruidos, calor, frío, humedad, etc.
3. Muros de contención o retención. Soportan empujes horizontales y laterales y están expuestos a esfuerzos de flexión
4. Muros decorativos. Son muros que reciben un acabado especial y se diseñan con fines estéticos y arquitectónicos

Se debe impermeabilizar debidamente el desplante de los muros y desde el desplante del muro hasta su terminación debe revisarse que se construya de manera vertical y que las hiladas sean horizontales.

#### **r) Firmes de concreto**

El firme es una capa fabricada a base de concreto simple o armado, con el fin de tener una superficie de apoyo rígida, uniforme, resistente y nivelada. El firme de concreto puede ser, en sí mismo, el acabado final o servir de base para otro acabado (García, 2008).

Los acabados finales que se e dan al concreto son:

1. Acabado escobillado
2. Acabado pulido
3. Acabado pulido fino integral
4. Acabado estampado

El Firme para base de acabados son:

1. Acabado epóxico antibacteriano
2. Acabado a base de losetas y cerámicas

Comúnmente los firmes se especifican por su espesor y por su tipo de refuerzo. Previo a la construcción del firme es necesario verificar si el desplante o superficie tiene el grado de compactación especificado en el proyecto. Si no es satisfactorio, deberá compactarse hasta alcanzarlo. En el proyecto debe especificarse claramente si se colocará la plantilla de concreto simple. Generalmente este elemento no se considera muy necesario. La especificación del refuerzo del firme debe señalarse en el proyecto. Si el refuerzo es a base de malla electro-soldada, ésta debe colocarse debidamente calzada para conservar el recubrimiento de concreto y su ubicación debe ser apropiada a fin de absorber los esfuerzos de contracción provocados por reacciones térmicas del concreto y del medio ambiente (García, 2008).

Humedecer la superficie de desplante antes de colocar el concreto, a fin de no mermar la cantidad de agua necesaria para el fraguado. Durante las labores de vaciado de concreto y del humedecimiento de la superficie hay que cuidar de no alterar el calzado de la malla o del acero. Con el fin de uniformar la nivelación y el espesor del firme, antes del vaciado del concreto se colocarán maestras a no más de 2 m de separación entre sí. Éstas son referencias hechas de mezcla de mortero en proporción 1:5. Durante el colado del concreto se colocará sobre ellas un elemento lo suficientemente rígido y horizontal para extender y nivelar la mezcla Para conservar el mismo espesor en toda la extensión del firme se hará uso de un escantillón con el espesor marcado. El escantillón se introduce en el concreto de manera vertical de tal modo que se pueda verificar el espesor conforme avanza el colado. El uso del escantillón es recomendable en colados cuya cimbra o plantilla no presenta irregularidades de nivelación en la superficie y permite conservar un espesor constante.

Es muy importante que antes de vaciar el concreto, se verifique la colocación y ubicación de las instalaciones, las cuales deben haberse situado y probado de manera satisfactoria.

Una vez colado debe procurarse un eficiente proceso de curado durante 72 horas como mínimo. Si las indicaciones del proyecto especifican la formación de juntas de contracción en el firme mínimo 8 horas después del colado, para evitar que se despostille el concreto, ya que antes de este tiempo, no habrá adquirido aún la dureza necesaria para resistir los esfuerzos provocados por la tracción del disco de diamante al cortar. En algunos casos especiales, de acuerdo al funcionamiento y uso del firme, se especificará el empleo de algún aditivo que mejore las propiedades del concreto. Bajo estas

circunstancias se recomienda consultar con el fabricante del aditivo y con Concretos (si el concreto que se usa es premezclado) para tener la mejor selección y aplicación del producto. Cuando el firme esté expuesto directamente al calentamiento solar, el vaciado del concreto se realizará en cuadros de 2.50 x 2.50 cm para formar, mediante este procedimiento, juntas de dilatación e instalar conectores metálicos anclados (un extremo anclado en el concreto y el otro extremo móvil dentro de un encamisado de PVC anclado al concreto del cuadro contiguo), a fin de mantener el nivel y el alineamiento. Si por alguna razón se interrumpe el colado de un firme, la junta de construcción debe dejarse perpendicular a la superficie del firme y en línea recta. Si por necesidades del proyecto o de la obra se requiere fabricar un firme sobre otro ya construido o sobre una losa de concreto antes de colocar el refuerzo, el concreto del firme base se deberá picar, limpiar y preparar la superficie de contacto. Conviene humedecer y mantener así esta superficie durante 24 horas, antes del nuevo colado. El espesor mínimo de un firme debe ser de 8 cm, pero en ocasiones por restricciones del proyecto o de la obra es necesario construir firmes con espesores menores. Si se requiere un firme con un espesor de 3 cm o más se deberá utilizar un concreto con los agregados adecuados. Si el espesor del firme es menor a 3 cm el tamaño máximo del agregado debe ser de 1/2" (García, 2008).

### **s) Drenaje**

Las especificaciones de dimensión, forma y calidad de las tuberías debe indicarse en el proyecto:

1. El tendido de una línea de drenaje se inicia desde el nivel más bajo hacia el más alto, colocando la espiga del tubo hacia abajo y la campana hacia arriba. La pendiente mínima para garantizar un escurrimiento eficiente es de 1%
2. Se debe evitar colocar tubos despostillados o agrietados
3. El ancho de excavación de la cepa depende del diámetro del tubo que se utilice y de la profundidad
4. Cuando se excave en terreno inestable se procurará ademar y apuntalar los taludes de la cepa a fin de evitar caídas del mismo material que estropeen y alteren el procedimiento constructivo o propicien algún accidente
5. Evitar que el fondo de la excavación tenga salientes rocosas o raíces que impidan que la tubería se apoye de manera firme y uniforme
6. La tubería se colocará sobre una cama de arena de 10 cm de espesor que inmovilice la red evitando fisuras
7. La tubería debe colocarse en un fondo seco, libre de agua. Si está se encuentra, deberá ser desviada o achicada por medio de bombeo antes de instalar la tubería
8. La tubería debe instalarse de una manera alineada sobre un trazo recto
9. Una vez colocada la tubería se procederá a rellenar la cepa con capas de 20 cm, a las que se aplicarán esfuerzos de compactación
10. Las primeras dos capas de material de relleno sobre el lomo de la tubería deberán estar libres de piedras que puedan afectarla durante el proceso de relleno y compactado
11. La tubería de concreto simple se recomienda una mezcla de mortero en proporción 1:4

#### **2.4.2.6 Factor económico de las obras**

Para hacer cualquier obra civil se debe tener en cuenta la economía para realizarlo considerando todo lo que implica una obra de construcción y los beneficios que la ejecución de esta traerá a la sociedad. Las obras civiles propician el desarrollo si es que está bien planificada y trae uno o varios beneficios al lugar donde se proyecte, se piensa en la mejor opción para elegir los materiales que se van a requerir al mejor precio sin dejar a un lado la calidad de ellos y que cumplan con la seguridad de la obra y la mano de obra adecuada a salarios justos según lo que se dicta en la Secretaría del trabajo y previsión social. En general todo se basa en una buena planeación del proyecto para que se haga un adecuado presupuesto.

## **a) Precios Unitarios**

Son integrados por costos directos, costos indirectos, costos de financiamiento, utilidad del contratista generados en la obra. Es el pago total que debe recibir el contratista.

### **1) Costo Directo**

Todo aquel gasto que tiene que ver con la obra directamente estos son: Mano de obra, Maquinaria y Materiales

### **2) Costo Directo por concepto de materiales**

En los materiales que se requieren para cualquier obra se debe considerar no solo el costo del material, sino también todo lo que conlleva que se tenga en la obra, las fluctuaciones también podrían llegar a afectar el costo total.

Para obtener los costos directos de la obra se tiene de dos maneras:

1. Por medio de fórmulas y se calculan: la mano de obra, los materiales y la maquinaria por separado
2. O con el tabulador general de precios unitarios que incluye la mano de obra los materiales y la maquinaria (GDF, 2012)

### **3) Costos indirectos**

Se engloban algunos costos que se pueden presentar como:

### **4) Financiamiento**

Factor de gran importancia al que se le debe tener un cuidado especial para evitar pérdidas en la obra, debe ser representado por un porcentaje de la suma de los costos directos e indirectos y corresponde a los gastos derivados de la inversión de recursos contratados o propios, que realice el contratista para dar cumplimiento al programa de ejecución. Aproximado de 1% a 2% (Mendoza, 2007).

### **5) Utilidad**

La utilidad Bruta:

$$UB = \frac{\text{Utilidad Neta}}{1 - (\text{ISR} + \text{PTU})} \quad (2-46)$$

### **6) La utilidad Neta**

$$UN = UB - (\text{Impuestos} * UB) \quad (2-47)$$

De estas operaciones se obtiene un porcentaje que debe ser aplicado a la suma del costo directo total, más los costos indirectos, mas el costo de financiamiento.

Aunque a veces es determinado un porcentaje de utilidad que puede ser de 8% al 12% (Mendoza, 2007).

### **2.4.3 Seguridad y salud**

La seguridad y la salud en las obras se deben considerar muy importante ya que con una adecuada planeación no debería presentarse ningún contratiempo. Entre las cosas que se deben considerar es la prevención de accidentes y para esto el contratista debe elaborar un plan de seguridad y salud en el trabajo que analice las previsiones en función de la ejecución de la obra. Antes del inicio de la obra se debe designar a un coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, esto es durante la elaboración y ejecución de la obra (STPS, 2012).

#### **a) En movimientos de tierras y excavaciones**

Antes de comenzar los trabajos de movimientos de tierras, se localizan los peligros debidos a cables subterráneos y demás sistemas de distribución, aunque por las características del proyecto no es previsible tal peligro. Deberán preverse vías seguras para entrar y salir de la excavación (STPS, 2012).

1. Atropellos y colisiones
2. Vuelcos de vehículos y máquinas
3. Desprendimientos
4. Caídas de personas al mismo y a distinto nivel
5. Polvo
6. Ruidos
7. Pisada sobre objetos punzantes
8. Sobreesfuerzos
9. Aplastamientos
10. Caída de objetos y/o de máquinas
11. Cuerpos extraños en ojos

Disposiciones mínimas de seguridad y salud en la obra se consideran:

1. Estabilidad y solidez
2. Temperatura
3. Primeros auxilios
4. Equipos de protección
5. Obligaciones del patrón
6. Obligaciones del trabajador
7. Ocurrencias de accidentes

#### **b) Estabilidad y solidez**

a) Deberá procurarse, de modo apropiado y seguro, la estabilidad de los materiales y equipos y, en general, de cualquier elemento que en cualquier desplazamiento pudiera afectar a la seguridad y la salud de los trabajadores.

b) El acceso a cualquier superficie que conste de materiales que no ofrezcan una resistencia suficiente sólo se autorizará en caso de que se proporcionen equipos o medios apropiados para que el trabajo se realice de manera segura (STPS, 2012).

#### **c) Temperatura**

La temperatura debe ser la adecuada para el organismo humano durante el tiempo de trabajo, cuando las circunstancias lo permitan, teniendo en cuenta los métodos de trabajo que se apliquen y las cargas físicas impuestas a los trabajadores.

#### **d) Primeros auxilios**

Será responsabilidad del contratista o subcontratista garantizar que los primeros auxilios puedan prestarse en todo momento por personal con la suficiente formación para ello.

#### **e) Equipo de protección**

##### **1) Protección de la cabeza**

1. Cascos: para todas las personas que participan en la obra, incluyendo a visitantes
2. Lentes: contra impactos y anti polvo
3. Mascarillas anti polvo
4. Pantalla contra protección de partículas
5. Filtros para mascarillas
6. Protectores auditivos en caso de maquinaria pesada

##### **2) Protección de extremidades superiores:**

1. Guantes de goma finos, para albañiles y operarios que trabajen en hormigonado
2. Guantes de cuero y anti corte para manejo de materiales y objetos
3. Guantes dieléctricos para su utilización en baja tensión
4. Equipo de soldador (guantes y manguitos)

##### **3) Protección de extremidades inferiores:**

1. Botas de agua
2. Botas de seguridad (lona y cuero)
3. Polainas de soldador
4. Botas dieléctricas

#### **f) Señalización general**

1. Señales de STOP en salidas de vehículos
2. Obligatorio uso de cascos, cinturón de seguridad, gafas, mascarillas, protectores auditivos, botas y guantes, etc.
3. Riesgo eléctrico, caída de objetos, caída a distinto nivel, maquinaria en movimiento, cargas suspendidas

#### **g) Obligaciones del patrón**

1. Clasificar el tamaño de la obra de construcción en pequeña, mediana o grande
2. Contar con la descripción de las actividades a desarrollar, los riesgos a los que se enfrentan los trabajadores y las medidas de seguridad por adoptar antes y durante su ejecución, en el caso de obras pequeñas
3. Supervisar que los trabajadores porten el equipo de protección personal básico y, en su caso, el específico. Tratándose de obras medianas y grandes, los visitantes deberán portar al menos casco de seguridad

#### **h) Obligaciones de los trabajadores**

1. Revisar antes del comienzo de las actividades, por parte del personal responsable de su uso, que la maquinaria, equipos, herramienta e implementos de trabajo se encuentren en buen

- estado, y reportar inmediatamente al patrón cualquier anomalía detectada que ponga en riesgo su uso
2. Desarrollar sus actividades conforme a las instrucciones que se determinen en el sistema de seguridad y salud en la obra, en el Reglamento interior de seguridad y salud en el trabajo para la construcción y en las autorizaciones para realizar trabajos peligrosos
  3. Utilizar el equipo de protección personal proporcionado por el patrón, el contratista o subcontratista, de acuerdo con los procedimientos de uso, revisión, reposición, limpieza, mantenimiento, resguardo y disposición final
  4. Abstenerse de realizar actividades que puedan tener como consecuencia directa o indirecta accidentes personales y/o daños materiales, que contravengan a lo dispuesto por la presente Norma y a lo establecido por el patrón
  5. Avisar inmediatamente al patrón de los incidentes, accidentes, condiciones y actos inseguros, o situaciones de emergencia real o potencial detectados durante la ejecución de sus actividades

#### **i) Ocurrencia de accidentes**

La categoría de frecuencia de ocurrencia de los peligros, misma que se obtiene considerando la posibilidad de que ocurran éstos, asociados a las actividades de la obra (STPS, 2012).

Si es una ocurrencia remota que excepcionalmente puede ocurrir se le da la categoría de A, una ocurrencia aislada que difícilmente podría ocurrir tendrá la categoría tipo B, una ocurrencia ocasional que pocas veces ocurre tendrá una categoría tipo C, una ocurrencia recurrente que se repite con periodicidad tendrá una categoría tipo D y una ocurrencia Frecuente que ocurre con regularidad sería una categoría tipo E (STPS, 2012).

Se busca evitar la periodicidad de accidentes o al menos los menos posibles en una obra.

#### **j) Soldadura y corte**

Para la realización de actividades de soldadura eléctrica, se deberán adoptar las medidas de seguridad siguientes:

1. Soldar en lugares ventilados
2. Verificar, antes de iniciar los trabajos de soldadura, que el equipo se encuentre conectado a tierra y que no esté anulado el disyuntor diferencial.
3. Desconectar totalmente el equipo cada vez que se retire del lugar de trabajo e incluso para moverlo
4. Revisar el aislamiento de los cables eléctricos al comenzar la jornada y desechar aquéllos que presenten agrietamientos y conexiones directas protegidas con cinta aislante
5. Verificar que las pinzas porta-electrodos y los bornes de conexión estén aisladas y en buen estado
6. Verificar que la careta de protección no tenga aberturas y que el cristal contra radiaciones sea el indicado para el tipo de electrodo e intensidad
7. Colocar las piezas a soldar en una mesa o área con base de material aislante o dispersor de calor y resistente al fuego
8. Disponer de pinzas, ganchos, tenazas o cualquier otro medio para el manejo de los materiales sobre los cuales se realiza el trabajo de soldadura
9. Evitar que los cables descansen sobre los objetos calientes, charcos, bordes afilados o cualquier otro lugar que pudiera perjudicar el aislamiento
10. Prohibir que los porta-electrodos se introduzcan en agua para enfriarlos



11. Limpiar los residuos de la soldadura con un cepillo de cerdas de alambre o martillo
12. Controlar la generación de chispas durante y al término de los trabajos de soldadura, en su caso, mediante la instalación de mamparas o mantas anti flama
13. Mantener las máquinas para soldar por arco eléctrico lo más alejadas posible del sitio de la operación y también de hornos de otras fuentes de calor
14. Desconectar el equipo antes de efectuar cambios de voltaje y no dejar la pinza directamente en el suelo
15. Suspender los trabajos de soldadura a la intemperie en caso de lluvias o cuando la ropa se moje por sudor u otro líquido
16. Monitorear la atmósfera con un explosímetro en los trabajos de soldadura que se realicen en espacios cerrados

Para proteger a los trabajadores que realicen trabajos de soldadura eléctrica y al personal que transita cerca de donde se llevan a cabo dichos trabajos, se deberán adoptar las medidas de seguridad siguientes:

1. Prohibir el uso de ropa manchada de grasa, solventes o cualquier otra sustancia que pueda inflamarse
2. Mantener los materiales inflamables y combustibles a una distancia mínima de 6 m
3. Evitar que se jalen los cables, aún cuando éstos se atoren u opongan resistencia a su manejo
4. Impedir que se realicen trabajos cuando el área esté mojada o, en su defecto, aislar el área sobre una base de madera
5. Verificar que los cables no crucen una vía de tránsito, como pasillos y escaleras, y que estén protegidos mediante apoyos de pasos resistentes a la compresión y totalmente extendidos.

#### **2.4.4 Impacto ambiental**

La evaluación del impacto ambiental (EIA) se lleva a cabo por proceso jurídico-administrativo impuesto por el gobierno para aprobar o rechazar un determinado proyecto desde su etapa de planeación por medio de un método analítico o un proceso que identifican y evalúan los impactos que pueda provocar un proyecto sobre el medio ambiente. La EIA está formada por un grupo multidisciplinario de especialistas entre los que se encuentran a ecólogos, ingenieros, geógrafos, sociólogos, economistas, etc. (INE, 2012).

##### **a) La evaluación se puede llevar a cabo por factores ambientales:**

###### **1) Evaluación ecológica**

Consiste en estimar los efectos negativos provocados por las actividades humanas sobre la estructura (flora, fauna, agua, suelo) y en función de los ecosistemas naturales como la interacción o intercambio de materia y energía entre los diferentes componentes estructurales de los ecosistemas.

###### **b) Caracterización técnica del proyecto propuesto**

Primero se deben identificar los objetivos del proyecto, la integración y el análisis de la información técnica disponible (estudios de viabilidad ecológica, social y económica) así se identifica la ubicación y superficie del proyecto, se analiza su compatibilidad con el uso de suelo, así como los requerimientos humanos energéticos y los materiales que se usaran en las etapas (preparación del sitio, construcción operación, mantenimiento, ampliaciones o modificaciones a futuro, abandono, desarme o restauración (según sea el caso) así como los productos y residuos generados (INE, 2012).

### c) Delimitación del área de influencia del proyecto

Ya que se tiene la información de la primera fase, se debe delimitar el área donde se hará el proyecto, ya que si se realiza esto no se afectará de manera positiva o negativa a las zonas cercanas a este, así se podrá tener una mejor observación de la situación que se presente y así poder prevenir o mitigar los daños si es que se presentan (INE, 2012).

### d) Caracterización ambiental

Aquí se identifican y caracterizan los componentes naturales y socioeconómicos implicados en el proyecto por si hay algún cambio de cualquier tipo en el proyecto.

### e) Identificación de Impactos potenciales

Se identifican y caracterizan los impactos que podrían presentarse en alguna etapa del proyecto, se debe identificar el atributo o tipo de impacto, los componentes y funciones ambientales, efectos directos o indirectos, los impactos primarios o mayores, efectos sinérgicos o una combinación de ellos importancia y riesgo. La Tabla 2.13 muestra la evaluación del Impacto ambiental.

Tabla 2.13 Evaluación del impacto ambiental (INE, 2012)

<b>Atributo</b>	<b>Definición</b>
Carácter	Determina el efecto ambiental de un proyecto si es negativo o positivo
Magnitud	Indica la extensión, gravedad o intensidad del efecto producido (superficie o número de especies afectadas)
Importancia	Es el valor ecológico o socioeconómico que tiene una región en su estado actual
Tipo de acción	Define la forma de como se produce el impacto ambiental, si es directo indirecto o sinérgico
Mitigación	Medidas de atenuación aplicables al impacto potencial de un proyecto
Duración y Frecuencia	Define el tiempo de acción del impacto, si es a corto mediano o largo plazo o si es intermitente
Reversibilidad	Se relaciona con la posibilidad de que un área recupere o no su estado su estado original (antes del impacto) es decir si el impacto es reversible o irreversible
Riesgo	Se relaciona con la probabilidad de que ocurra un impacto grave
Sinergismo	Efecto ocurrido por la acumulación o combinación de dos o más impactos

### f) Selección de índices o indicadores de impacto

Ya que se identifican los impactos o efectos de un proyecto sobre el medio ambiente, se selecciona el uso de índices o indicadores que permitan representar en forma cualitativa o cuantitativa para ser para ser evaluados. Un indicador es un parámetro que proporciona una medida de la magnitud de un impacto (cantidad de sólidos suspendidos, nutrimentos, oxígeno disuelto en agua) algunos otros se manejan de manera numérica como normas para la calidad de aire ruido o agua. Un índice es un valor subjetivo de comparación derivado de la combinación de dos o más indicadores (índice de calidad del agua, características fisicoquímicas del agua por poner un ejemplo).

### **g) Monitoreo Ambiental**

1. Se realiza el monitoreo de la calidad ambiental en el momento de poner en marcha el proyecto.
2. Identifica impactos no previstos en etapas anteriores y hace recomendaciones durante la preparación y operación del proyecto.

### **h) Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (PEIA)**

La evaluación de un estudio de impacto ambiental lo realiza una autoridad mediante un procedimiento de tipo técnico administración (SEMARNAT, 2012).

#### **i) Informe preventivo**

Requieren de presentar un informe preventivo y no una manifestación de impacto ambiental en los siguientes casos:

1. Existan normas oficiales mexicanas u otras disposiciones que regulen las emisiones, las descargas, el aprovechamiento de recursos naturales y, en general, todos los impactos ambientales relevantes que puedan producir las obras o actividades.
2. Las obras o actividades de que se trate estén expresamente previstas por un plan parcial de desarrollo urbano de ordenamiento ecológico que haya sido evaluado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
3. Se trate de instalaciones ubicadas en parques industriales autorizados

En los casos anteriores, la Secretaría una vez analizado el informe preventivo, determinará en un plazo no mayor a veinte días, si se requiere la presentación de una manifestación de impacto ambiental en alguna de las modalidades o si se está en alguno de los supuestos señalados (SEMARNAT, 2012).

#### **j) Manifestación del Impacto Ambiental (MIA)**

Es el documento mediante el cual se da a conocer, con base a estudios, el impacto ambiental significativo y potencial de un proyecto y la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo, el artículo 7 menciona que los proyectos de obras públicas o de particulares, que puedan producir contaminación o deterioro ambiental, que excedan los límites mínimos previsible marcados en los reglamentos y normas respectivas deberán presentarse a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología para que esta los revise y pueda resolver sobre su aprobación, modificación o rechazo, con base en la información relativa a una manifestación del impacto ambiental, consistente en las medidas técnicas preventivas y correctivas para minimizar los daños ambientales durante su ejecución o funcionamiento.

Depende de la modalidad que requiera en la figura 2.6 se describen los niveles de presentación de una manifestación de impacto ambiental y los casos en que se debe presentar una manifestación de impacto ambiental modalidad regional; por eliminación, el resto de los casos se presentarán en modalidad particular (SEMARNAT, 2012).

# CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

## 3.1 Estudio de caso

Se hizo un estudio minucioso del restaurante de la Facultad de Química que comprendía: la observación de las instalaciones y sus alrededores, el espacio, la factibilidad y se llegó a la conclusión que tiene las características necesarias para la instalación de una planta de biogás, ya que cuenta con materia orgánica necesaria para que se lleve a cabo la degradación anaerobia dentro del digestor, el lodo digerido producto de la degradación anaerobia puede ser usado en la misma vegetación de la zona.

El restaurante se encuentra dentro de la Facultad, a un costado de las canchas deportivas, enfrente de un almacén de material y los edificios A y B de aulas respectivamente, es notorio que no está en un lugar aislado (Figura 3.1) así que debe tener las instalaciones adecuadas para mantener un buen funcionamiento, esto implica que la planta en su totalidad debe estar delimitada para protección de sí misma y de las personas. En la Figura 3.2 se muestra el restaurante del estudio de caso.



Figura 3.1 Vista exterior del restaurante



Figura 3.2 Entrada del restaurante de la Facultad de Química

La planta de biogás contará con un digestor enterrado tipo hindú, entrada y salida del sustrato al digestor, fregadero de doble tarja con drenaje e instalación hidráulica para el lavado de las instalaciones, triturador de residuos, tanque de medición de pH e instalación eléctrica para el funcionamiento del triturador. El restaurante de la Facultad de Química aportará el sustrato requerido por el digestor que diariamente deberá ser introducido dentro de él para que se genere el biogás necesario para suministrarse en la cocina del restaurante. De inicio el digestor solo generará biogás pero no se descarta en un futuro agregar nuevas funciones, como generar electricidad ya con los aditamentos necesarios para este fin.

La cantidad de residuos orgánicos (Figura 3.3) e inorgánicos (Figura 3.4) que se generan en el restaurante oscilan de los 40 kg/día hasta los 80 kg/día, esto es una cantidad preocupante ya que todos estos residuos no son aprovechados.



Figura 3.3 Residuos orgánicos del restaurante de la Facultad de Química



Figura 3.4 Residuos inorgánicos del Restaurante de Facultad de Química

Para aprovechar la cantidad de residuos orgánicos generados en el restaurante se diseñará una planta de biogás, lo ideal es que sea cercana a la cocina para que la fuerza de presión del biogás sea suficiente para su uso y las tuberías no sean tan grandes. En la Figura 3.5 se muestra la vista en planta de la zona donde estará la planta de biogás, la Figura 3.6 y la Figura 3.7 se muestran las vistas de cortes de la zona de la planta de biogás.

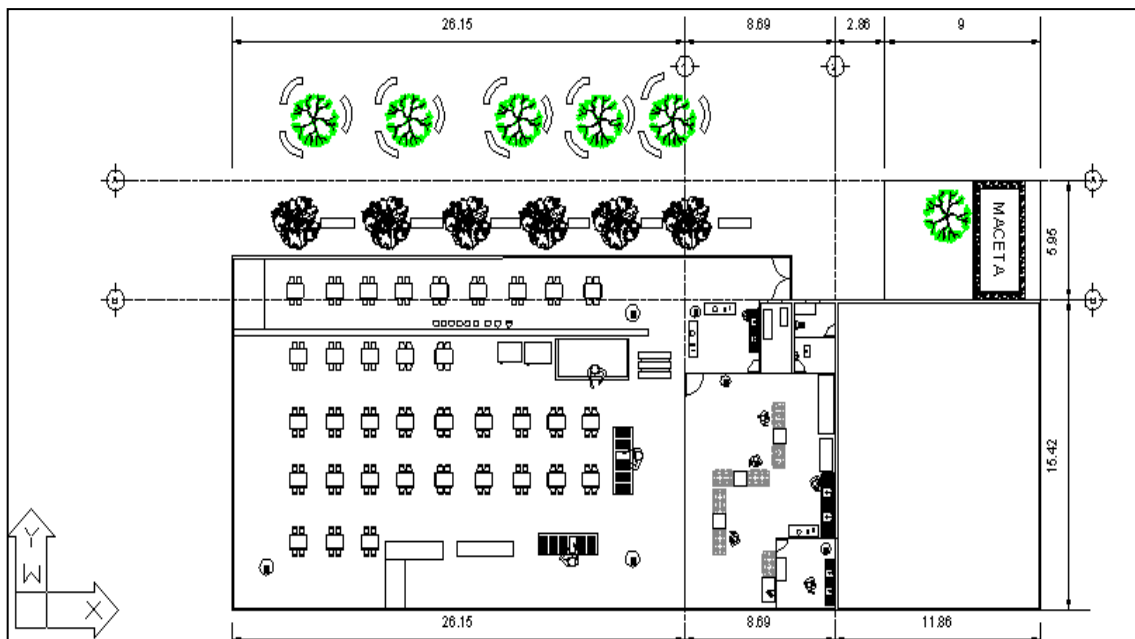


Figura 3.5 Vista en planta de la zona de estudio para la planta de biogás

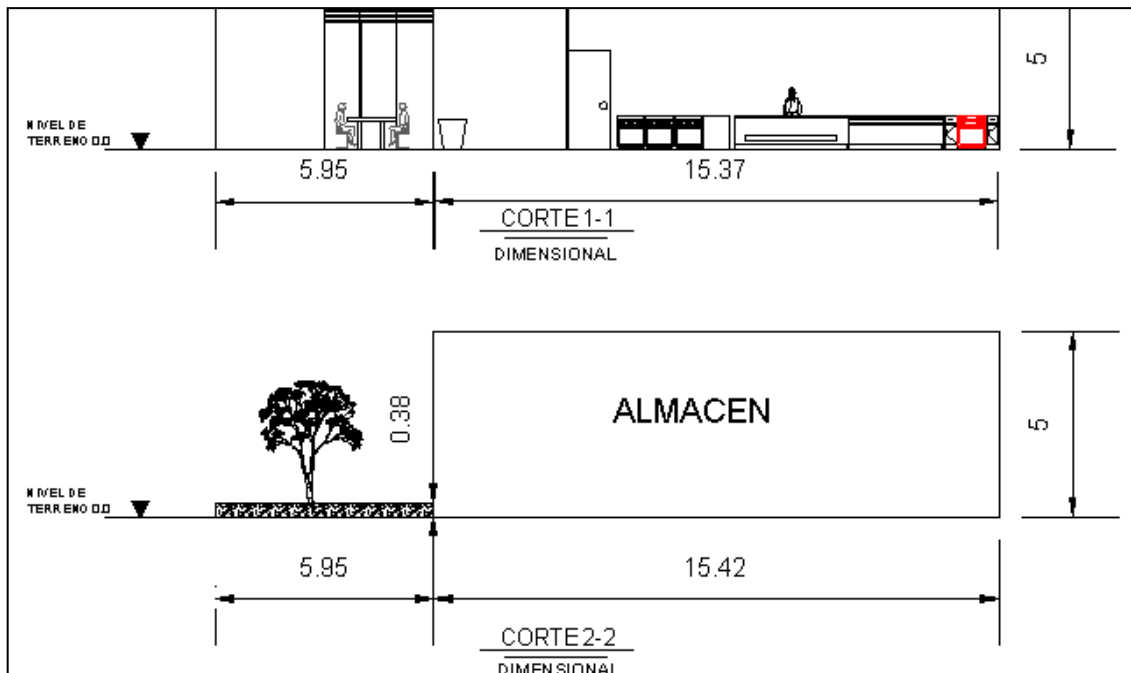


Figura 3.6 Corte 1-1 y corte 2-2 de la zona de estudio para la planta de biogás

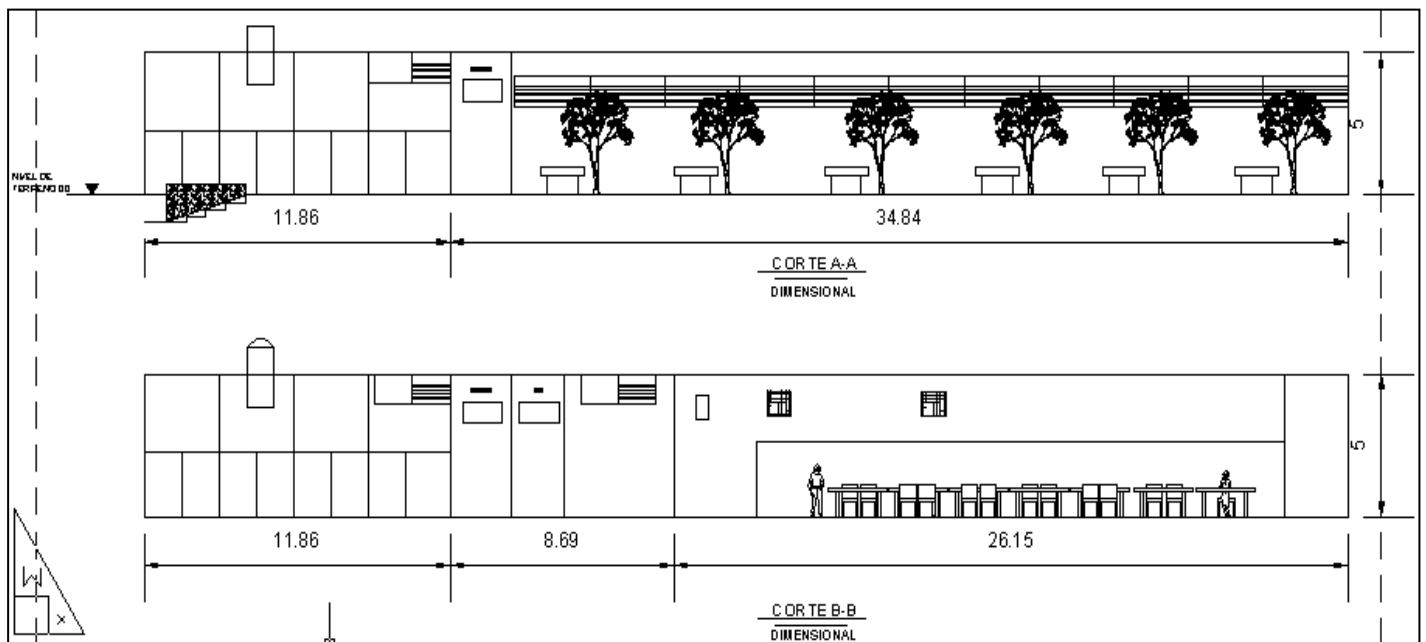


Figura 3.7 Corte A-A y corte B-B de la zona de estudio para la planta de biogás

### 3.2 Uso de software para el diseño de la planta de biogás

Para la producción de metano se usará biowatts para estimar el potencial energético de la biomasa debido a su degradación anaerobia esto es dependiendo del residuo orgánico que se ocupe y también tiene la capacidad de obtener la previsión de producción de calor.

En la Figura 3.8 muestra la cantidad de biometano, su rendimiento potencial, kilowatts-hora y cantidad de efluentes generados dependiendo del sustrato, tiempo de retención y concentración de sólidos.

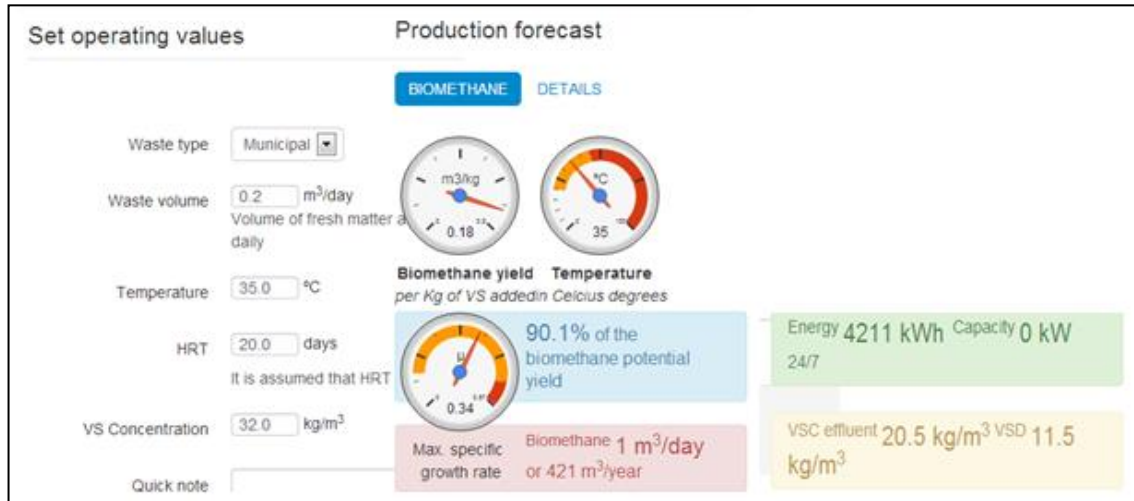


Figura 3.8 Cantidad de biometano, energía y efluente de la planta de biogás (Biowatts, 2012)

Se trabaja en rango mesofílico ya que es el que presenta mejor estabilidad dentro de un reactor y se considera el tiempo de retención de 20 días por las condiciones climáticas de México para alcanzar un mínimo de 60% de destrucción de los sólidos volátiles se considera una temperatura de 35° C. En la Figura 3.9 se muestra la generación de biogás dependiendo del tiempo de retención y temperatura.

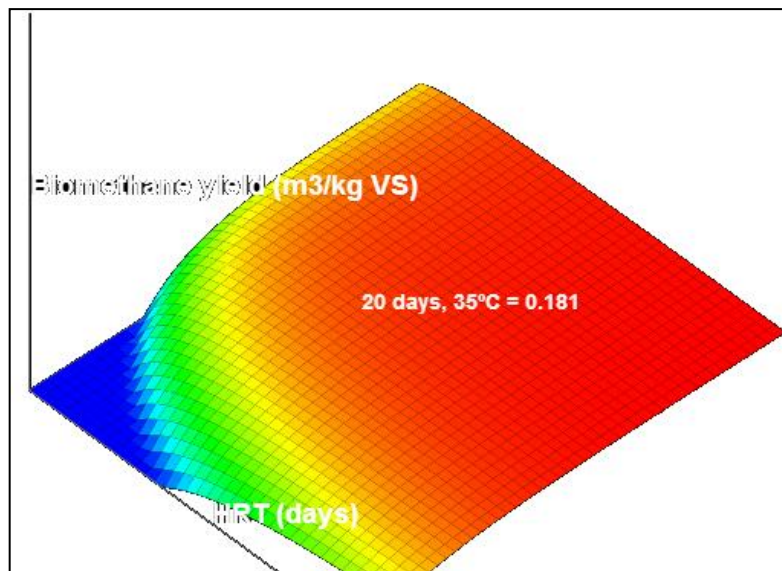


Figura 3.9 Generación de biogás respecto a tiempo de retención y temperatura (Biowatts, 2012)

### 3.3 Residuos sólidos urbanos en Ciudad Universitaria

En Ciudad Universitaria se genera una cantidad importante de residuos, se hace una recolección de 40 toneladas de basura diariamente, de las cuales 30% se presume no pertenecen a la comunidad universitaria. Se hacen trabajos de limpieza barriendo 36 km de vialidades, 104 hectáreas de plazas

y andadores, también se podan 200 hectáreas de áreas verdes donde los desechos son utilizados en la planta de composta (CAHSS UNAM, 2004).

### **3.3.1 Manejo de desechos**

La UNAM invierte en la transferencia de los residuos alrededor de tres millones de pesos al año por lo que se busca manejar los residuos de la mejor manera posible como fomentar el reciclaje, la elaboración de compost entre otros. Como Ciudad Universitaria es autónoma la rigen sus reglas también en aspectos de residuos urbanos y estas son: manual de procedimientos de comercialización, recolección y retribución de residuos sólidos reciclables y el plan de manejo el cual consiste en:

1. Implantación: Talleres de capacitación, charlas y conferencias
2. Instrumentación: Incremento de contenedores, modificación de rutas para la recolección eficiente
3. Operación: Seguir indicaciones de seguridad, higiene y sanidad, separación de residuos y dar fuerza y difusión al reciclaje

Se cuenta con un programa de manejo de residuos sólidos reciclables (papel y cartón) en el que la retribución puede ser papel bond o papel sanitario a conveniencia de las dependencias participantes que son:

1. Servicios Administrativos: 170,000 kg recolectados
2. Dirección General de Bibliotecas: 62,000 kg recolectados
3. Dirección General de Obras y Conservación 22,000 kg recolectados
4. ENEP 1 Gabino Barreda 15,000kg recolectados
5. Facultad de Arquitectura 9,000 kg recolectados
6. Dirección General de Administración Escolar 8,000 kg recolectados
7. Dirección General de Finanzas 8,000kg recolectados
8. Dirección General Proveeduría 6,000 kg recolectados
9. Revalidación de Estudios 4,000 kg recolectados
10. Dirección General de Servicios de Computo Académico (D.G.S.C.A.) 3,000 kg recolectados

Para que la implementación de las normas funcione de una mejor manera deben darse a conocer a toda la comunidad universitaria para llevar a cabo un buen manejo de los residuos.

En cuanto al acopio se realiza en contenedores y botes de campana que tienen un color designado para el tipo de residuo, los grises son de residuos inorgánicos (plásticos, pet, envolturas de comida, latas, alambre, etc.) y los contenedores verdes de residuos orgánicos (cáscaras de fruta, restos de comida, etc.), entre otras soluciones se tiene la planta de compost que fue fundada en 1983 por la necesidad de reciclar los desechos verdes (hojas, ramas y pasto) que el Departamento del Distrito Federal se negaba a llevarse. Los residuos verdes son depositados en contenedores especiales y son enviados a la planta de compost que recibe la cantidad de 24 metros cúbicos diarios de las 200 hectáreas de áreas verdes de Ciudad Universitaria. El proceso de reciclaje puede tardar entre 4 y 6 meses para ser utilizado de manera eficiente en la recuperación del suelo, nutrir la tierra y pastos del campus. La compost generada en esta planta es utilizada en los viveros que se localizan en el Estadio Olímpico Universitario (CAHSS UNAM, 2004).

### **3.4 Antecedentes de los residuos del restaurante en el caso de estudio**

En el restaurante de la Facultad de Química se generan al día entre 40 kg y 80 kg. Si se separan los residuos inorgánicos, la cantidad diaria de residuos orgánicos es de 20 kg a 30 kg, por lo que es urgente que se aplique una solución. Hace años iban por las sobras de vegetales para ser utilizados como alimento de los cerdos pero actualmente ya no son requeridos.



Es muy preocupante la generación excesiva de residuos por lo que se buscan opciones para el aprovechamiento de estos o mejor aun para evitar el desperdicio de la comida. Una solución que propone el personal del restaurante es invitar a sus comensales a no desperdiciar lo que consumen (Figura 3.10) o a pedir la cantidad que consumirán, así se evitará tirar comida innecesariamente.

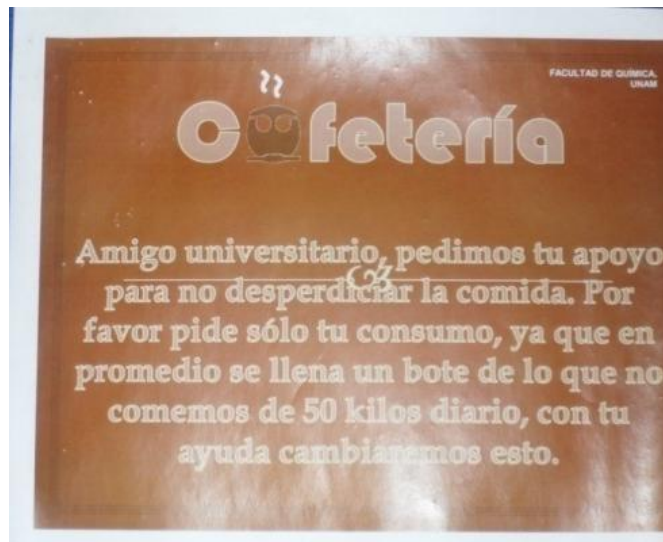


Figura 3.10 Placa colocada en el restaurante de la Facultad de Química

**a) Comensales que asisten al restaurante**

Los comensales que asisten de lunes a sábado van desde estudiantes, profesores o gente externa y de todas las edades donde el horario es de lunes a viernes de 8 am a 7 pm y sábado de 8 am a 12 pm, donde la cantidad de asistentes se muestra en la Figura 3.11

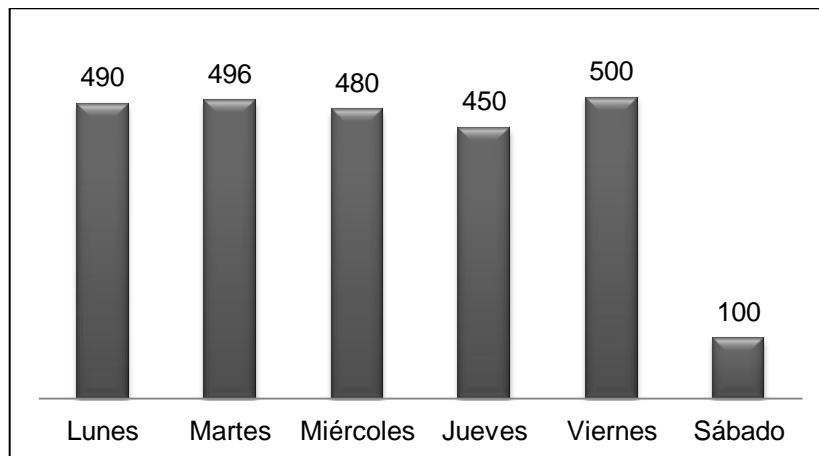


Figura 3.11 Comensales por día que asisten al restaurante de la Facultad de Química

Ahora considerando la cantidad de comensales que asisten al restaurante los 6 días de la semana se hace un estimado de la cantidad de residuos generados en una semana (Figura 3.12) en el restaurante del caso de estudio.

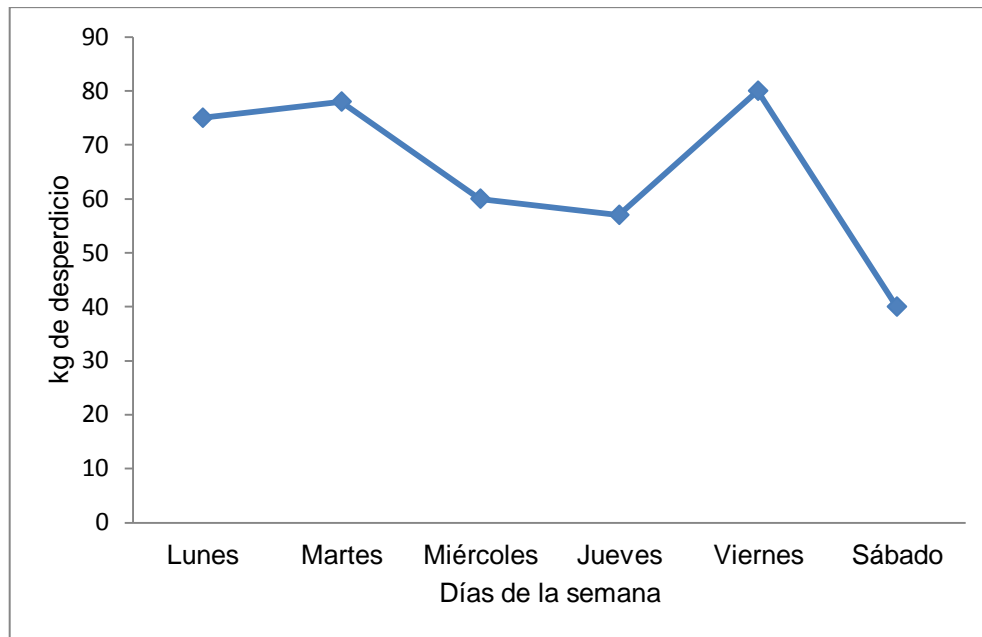


Figura 3.12 Desperdicios generados en una semana en el restaurante

El costo de la luz va incluido en la renta, pero el gas LP no está incluido, este genera gastos mensuales de \$10,000 con una capacidad de 500 litros.

Por ser un restaurante grande con una importante cantidad de comensales, es un lugar ideal para una pequeña planta de biogás que apoye a sus consumos diarios de gas y reduzca costos creando un beneficio en el manejo de los residuos orgánicos.

### 3.5 Antecedentes de planta de biogás en otro restaurante

La planta de biogás existente en Ciudad Universitaria es la planta del restaurante “El cibarium” ubicada cerca del anexo de ingeniería. En esta planta se procesa la materia orgánica para generar biogás y consisten en dos etapas:

1. La primer etapa consiste en un mezclado por medio de aspás
2. La segunda etapa se tiene un tanque de polietileno de alta densidad donde se lleva a cabo la metanogénesis (Figura 3.13)

Dentro de la planta contiene también:

1. Triturador cuyo fin es que los microorganismos entren en contacto directo con la materia orgánica para después poder degradar el sustrato
2. Una bolsa de polietileno de alta densidad de espesor de 1mm
3. Un sistema de purificación de gas
4. Medidor de presión
5. Medidor del flujo

En menos de 20 días se genera el compost con calidades de carbono-nitrógeno adecuadas para el suelo ya que no contiene microorganismos por ser un sistema cerrado.



Figura 3.13 Tanque de polietileno de alta densidad

En una tercera etapa se tendrá un vivero en la parte de arriba de la planta de biogás (Figura 3.14) donde utilizando el compost se sembraran lechugas, jitomates para ser preparados en el mismo restaurant como platillos orgánicos.



Figura 3.14 Parte superior de la planta de biogás

La planta genera una cantidad aproximada de 3 m<sup>3</sup> de gas diarios para su posterior uso en el restaurant, por el momento no generará electricidad pero no se descarta en un futuro.

# CAPÍTULO 4 RESULTADOS

## 4.1 Localización de sitio

El restaurante de estudio está localizado dentro de las instalaciones de la Facultad de Química de Ciudad Universitaria (Figura 4.1) ubicada en Circuito interior, Ciudad Universitaria, colonia Copilco, delegación Coyoacán, CP 04510 Ciudad de México D.F.



Figura 4.1 Localización del restaurante de la Facultad de Química

## 4.2 Levantamiento topográfico

### a) Croquis

La Figura 4.2 muestra el croquis de la zona de estudio donde incluye la cocina y la zona donde irá la planta de biogás y la Figura 4.3 es un croquis de la misma zona en vista tipo isométrico todas las longitudes están expresadas en metros.

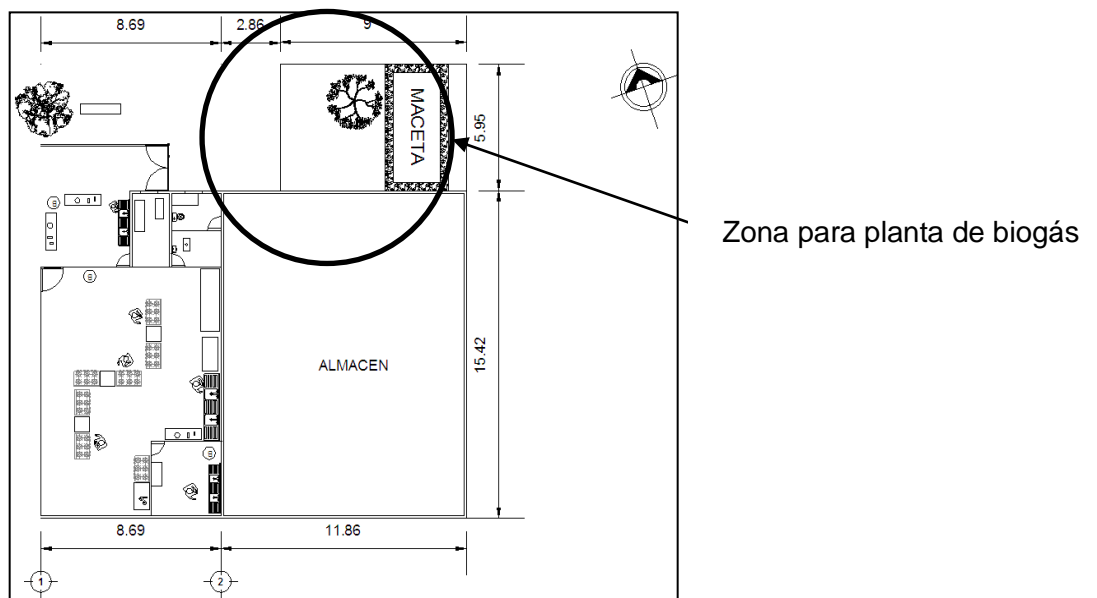


Figura 4.2 Croquis del restaurante de la Facultad de Química y la zona de estudio de la planta de biogás

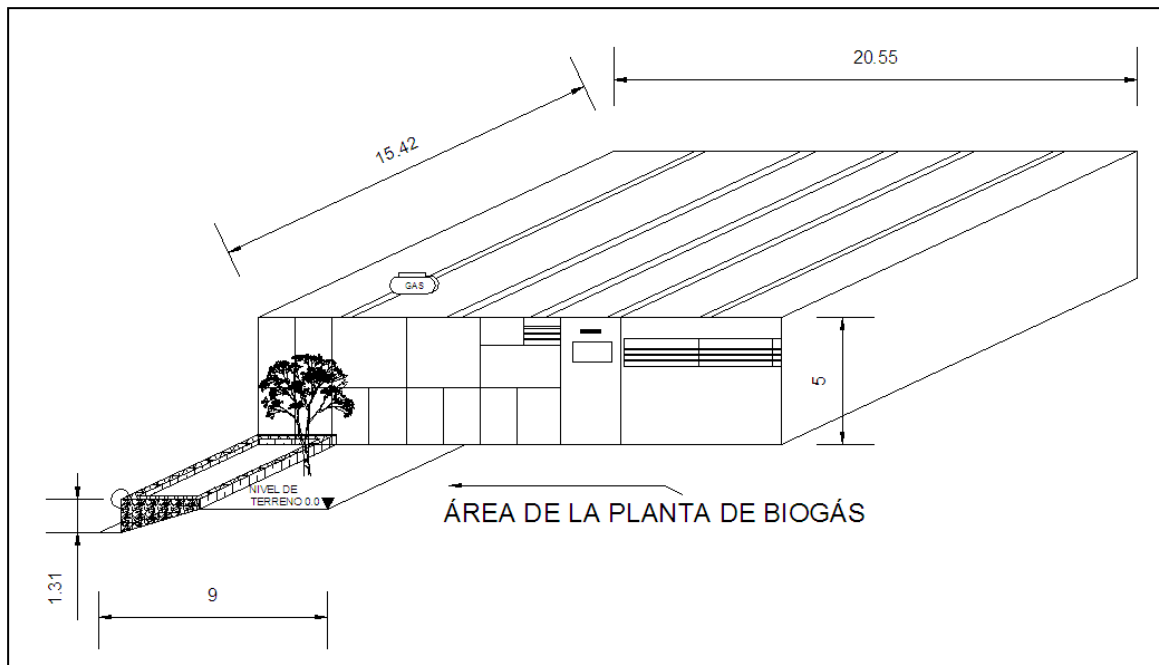


Figura 4.3 Vista en isométrico del restaurante de la Facultad de Química y el área de la planta de biogás

#### b) Descripción del terreno

El terreno donde se colocará la planta se encuentra limitado por lo siguiente (Figura 4.4):

1. Al noroeste se encuentra el edificio A de la facultad de química, el edificio es de salones
2. Al sureste se encuentra un almacén de material
3. Al este está la ciclopista y la cancha de fútbol
4. Al oeste está la entrada al restaurante



Figura 4.4 Zona de estudio para la planta de biogás

La zona de Ciudad Universitaria es zona de lomas por lo que los suelos son muy rocosos, lo que más se observa es el basalto que es una roca volcánica abundante en el lugar.

### **c) Selección del sitio**

Los factores que influyen en la localización de la planta de biogás son:

1. La planta debe estar cerca de donde el biogás será utilizado, ya que el costo de las tuberías puede elevar considerablemente el costo de la obra
2. Debe estar cerca del suministro del sustrato
3. Estar alejada de cualquier manto freático
4. Mantener una temperatura constante
5. La topografía de la zona es ideal para que el sustrato actúe por gravedad

### **4.3 Propuesta del manejo de residuos en el caso de estudio**

Para tener un buen control de los residuos generados en el restaurante se debe llevar una separación adecuada de los residuos. Los residuos inorgánicos pueden ser separados de manera más eficiente haciéndolo por tipo como: latas, vidrio, botellas, cartón entre otros, recordando aplastar las botellas de plástico y latas para reducir el espacio que ocupan y puedan ser fácilmente identificables para un reciclado posterior. En cuanto a los residuos orgánicos pueden usarse para la creación de compost, esto se puede hacer intercalando capas de materia orgánica seca y materia orgánica fresca y terminando con una capa seca para evitar fauna nociva.

En la actualidad los aceites de cocina son reciclados, para la creación de biocombustibles por lo que es recomendable juntarlo en un recipiente y nunca debe tirarse al drenaje para evitar la contaminación del agua ya que un litro de aceite puede contaminar hasta mil litros de agua.

Los recipientes desechables también son un gran problema ya que en su mayoría tardan mucho en degradarse, se puede evitar su uso excesivo fomentando a los clientes traer su propio recipiente para llevar comida y premiarlos con descuento en sus alimentos o un regalo.

Y en la solución final se propone el reactor anaerobio, ya que puede usarse la materia orgánica para producción de biogás y después de concluido el proceso anaerobio, el lodo digerido sea utilizado como fertilizante natural con menos daños al ambiente usándolo de manera adecuada.

### **4.4 Área propuesta para la instalación de la planta de biogás**

El área propuesta que se ha designado para la construcción de la planta de biogás está cercana al restaurante por lo que es el lugar adecuado para su construcción. El área total del lugar es una zona rectangular de 9 m por 5.95 m (Figura 4.5) con un área total de 53.55 m<sup>2</sup> dentro de esta área se encuentra una maceta de basalto que se usará como cimentación del reactor, también se encuentra un árbol y una planta que se propone sean reubicados para tener un poco más de espacio y no maltratarlos en el proceso de construcción.

Dentro de esta área hay un desnivel de 1.31 m (Figura 4.6) dentro de este desnivel se encontrará el digestor enterrado. El área será suficiente para colocar todas las instalaciones necesarias para su buen funcionamiento.

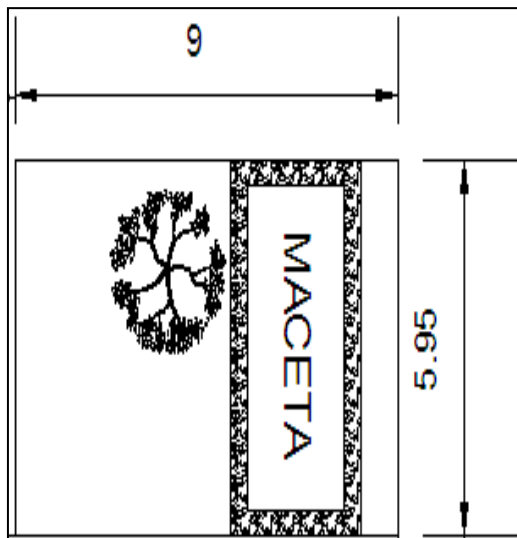


Figura 4.5 Área designada a la planta de biogás

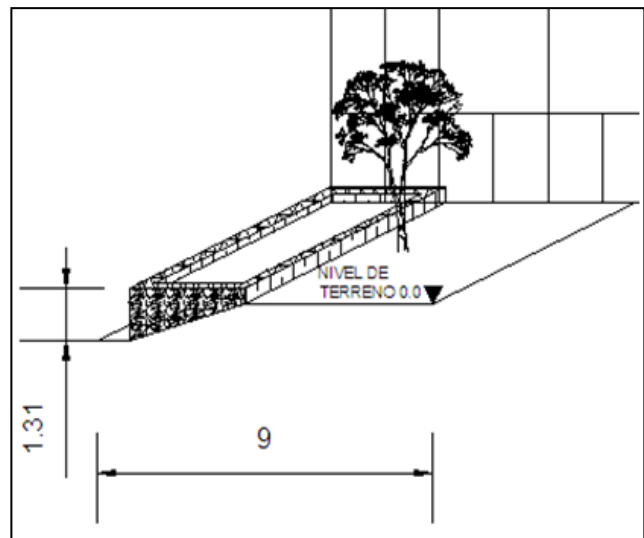


Figura 4.6 Desnivel en el área propuesta

#### 4.5 Diseño de la planta de biogás

La planta se diseñará de acuerdo a los elementos que la constituyen que son:

- ✓ Digestor
- ✓ Campana de acero
- ✓ Tubería de gas
- ✓ Instalaciones hidro-sanitarias
- ✓ Triturador de residuos
- ✓ Tanque de acopio
- ✓ Tanque de salida
- ✓ Instalación de energía eléctrica

Los cuales son necesarios para un óptimo funcionamiento de la planta de biogás.

##### 4.5.1 Diseño del digestor

Para obtener el volumen del digestor se desarrollan las siguientes expresiones:

###### a) Sustrato alimentado

$$S_d = B + W$$

(2-3)

###### 1) Para W: Se agregan 2 litros de agua por cada kg de sustrato

$$S_d = 40 \text{ kg/día} + 80 \text{ kg/día} = 120 \text{ kg/día}$$

$$S_d \text{ a m}^3/\text{día}$$

- ✓ Para el sustrato

$$S_d = 120 \text{ kg/día} / 540 \text{ kg/m}^3 = 0.22 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$S_d = 0.22 \text{ m}^3/\text{día}$$

### b) Volumen del digestor

$$V_d = S_d(\text{m}^3/\text{día}) \times T_r(\text{día})$$

(2-2)

$$V_d = 0.22 \text{ m}^3/\text{día} \times 20 \text{ días}$$

$$V_d = 4.4 \text{ m}^3 \text{ en } 20 \text{ días}$$

En seguida se propone el radio que tendrá el digestor para después obtener su altura.

Volumen de un cilindro (digestor)

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Se despeja la altura del volumen de un cilindro

$$h = V / \pi \cdot r^2$$

Se propone el radio de 0.8 m

$$h = 4.4 \text{ m}^3 / (\pi \cdot (0.8 \text{ m})^2) = 2.18 \text{ m}$$

Se le da un 30 % de seguridad = 0.66

La altura total será de  $h = 2.18 \text{ m} + 0.66 \text{ m} = 2.84 \text{ m}$

Por seguridad se asigna una altura y un diámetro del digestor mayor 30% de seguridad

$h = 2.84 \text{ m}$  Al diámetro se le da un 30 % igualmente  $0.48 \text{ m} + 1.6 \text{ m} = 2.08 \text{ m}$   $d = 2.08 \text{ m}$

**Nota: Estos cálculos son del diámetro interno, las paredes del digestor medirán 9 cm de espesor (Figura 4.7)**

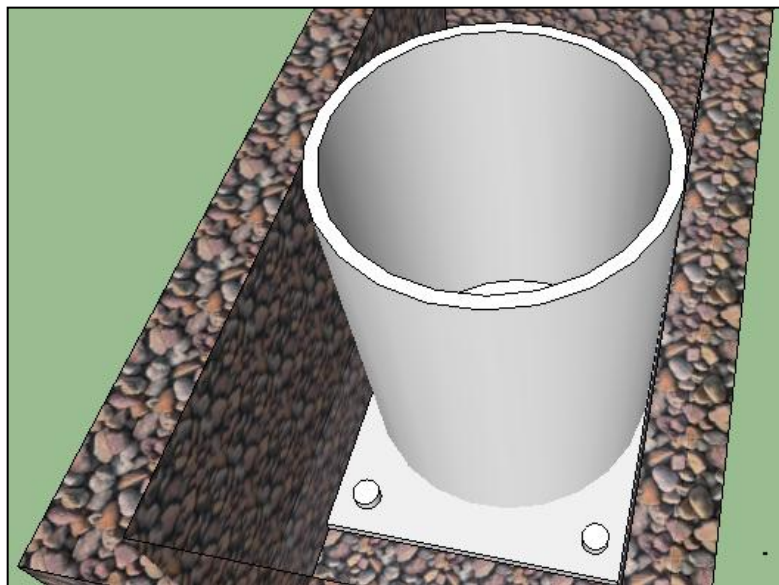


Figura 4.7 Reactor anaerobio de la planta de biogás



## 4.5.2 Almacenamiento del biogás

### a) Campana flotante de acero

El volumen de gas equivale a 1/3 del volumen líquido

Volumen diario generado

$$Vg = \left(\frac{1}{3}\right) * VI \quad (2-10)$$

Volumen generado al día

$$Vg = \left(\frac{1}{3}\right) * 0.22 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Vg = 0.073 \text{ m}^3/\text{día}$$

Ahora con un tiempo de retención de 20 días se tiene lo siguiente:

$$Vg = \left(\frac{1}{3}\right) * VI$$

$$Vg = \left(\frac{1}{3}\right) * 4.4 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Vg = 1.47 \text{ m}^3 \text{ por 20 días de tiempo de retención}$$

### b) La altura de la campana de acero para biogás

Se conocen las dimensiones del digestor por lo tanto se despeja la altura total (INGAL, 2009).

$$H = Vg / (\pi d^2 / 4) \quad (2-9)$$

$$H = 1.47 \text{ m}^3 / (\pi * (2.08 \text{ m})^2 / 4) = 0.43 \text{ m}$$

Pero se le dará un 30 % más de altura por seguridad

$$H = 0.43 + 0.129 = 0.6 \text{ m}$$

El diámetro de la campana es el mismo del digestor para buscar la hermeticidad buscada

$$d = 2.08 \text{ m}$$

## 4.5.3 Preparación del sustrato

El sustrato que se usará son los residuos orgánicos generados en el restaurante de estudio los cuales son: vegetales, frutas, leguminosas, tubérculos, y alimentos de origen animal ya que por su alto contenido de carbono, nitrógeno y azufre ayudan al desarrollo de microorganismos que favorecen la producción del biogás. Estos residuos se colectarán de la comida sobrante o los residuos orgánicos generados en la preparación de alimentos. Como algunos residuos pueden ser de tamaño considerable deben ser triturados, para este proceso se utilizará una trituradora de alimentos InSink Erator SS300 ® para ser usado debe ser arrancado con anticipación antes de ingresar los residuos después mientras se introducen debe agregarse agua (los 2 litros/kg de residuos)

continuamente para no forzar el motor. No se deben ingresar en una sola carga los 40 kg/día que recibirá el reactor, se deben ingresar en el transcurso del día.

Ya finalizada la trituración para la limpieza del triturador de debe dejar correr el agua por 3 minutos para su propia limpieza y esta agua se puede guardar para la carga del día siguiente evitando así el desperdicio de la misma.

Cuando el sustrato ha sido triturado, pasa al tanque de acopio de 200 litros en donde se medirá su pH (con un potenciómetro) que debe estar en rango de 6.5-7.5 para que la producción de biogás y calidad sea buena. En caso de no estar en esos rangos se debe ajustar el pH con un álcali (amoníaco, hidróxido de amonio, hidróxido de potasio, fosfato trisódico) para aumentarlo o un ácido (ácido clorhídrico, ácido acético) para disminuirlo. Cuando el valor del pH es el ideal, se abre la llave de paso para que el sustrato sea introducido al reactor donde se llevará a cabo la degradación anaerobia. A partir del 5 día se comienza a generar biogás que provoca que la campana de acero comience a flotar en ese momento se vuelve fácil de manejar, así que desde la parte alta de la misma se debe mecer haciendo ligeros impulsos y los contrapesos (Figura 4.8) harán movimientos internos uniformes que permiten la agitación de la mezcla, la campana de acero debe moverse de 3 a 4 veces a la semana por 2 minutos así se evitarán formaciones de natas que impiden la salida del biogás hacia la campana de acero.

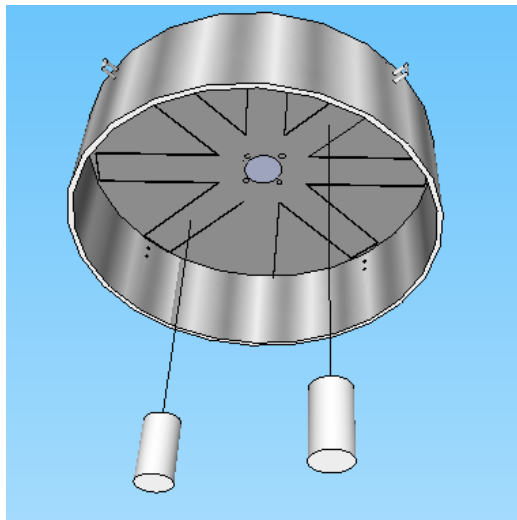


Figura 4.8 Campana de acero y sus contrapesos

En cuanto a la temperatura se encuentra en condiciones de etapa mesofílica (25°C a 45°C) en todo el intervalo se produce biogás pero se busca que la temperatura no varíe mucho para que la producción de biogás sea constante.

#### 4.5.4 Lodo digerido

La salida del lodo transcurre a partir del día 20 después de la primera carga, a partir del quinto día se empieza a generar el biogás y por esta razón debe mezclarse el sustrato con los contrapesos de la campana de acero y esto provoca una pequeña salida de lodo la cual es normal. Después de transcurrido el tiempo de retención en el reactor se usará el lodo digerido en el riego de la vegetación de la Facultad de Química, diluyéndose a razón de 1:10 ó 1:15 con agua para evitar que la vegetación se quemé.

Otro uso que se le puede dar es como acondicionador en un suelo sin follaje donde podría sembrarse cualquier tipo de vegetación ya que ayuda a la recuperación del suelo, contribuye a la formación de humus estable, previene la erosión y aumenta la permeabilidad. Para este uso puede mezclarse a razón de 1:1 y se deja actuar de 4 a 5 horas antes de cosechar.

Si se desea usar para fumigar se mezcla a razón de 1 litro de agua por cada 4 litros de lodo digerido y aplicar ligeramente en proporciones pequeñas para no quemarla y nunca rociar sobre las flores, lo ideal es rociar en los alrededores, nunca sobre la planta.

#### 4.5.5 Aprovechamiento del biogás

La cantidad de biogás generado es: 0.073 m<sup>3</sup>/día y se usan 0.052m<sup>3</sup>/día de gas LP, como el poder calorífico del biogás es distinto al del gas LP se usa la siguiente expresión para determinar las kilocalorías por día de ambos gases:

Ley de los gases ideales

$$PV=nRT \quad (4-1)$$

Donde:

P=Presión del gas (atm)  
 n=Número de moles (mol)  
 R=Constante universal de los gases ideales(L atm/mol k)  
 T=Temperatura del gas (k)  
 V=Volumen del gas (L)

Como es una misma masa gaseosa el número de moles es constante al igual que la constante universal, se puede afirmar que existe una constante directamente proporcional a la presión y volumen del gas, e inversamente proporcional a su temperatura.

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \quad (4-2)$$

Para el biogás

$$\frac{1 \text{ (atm)}V_1}{(25 + 273.15)\text{k}} = \frac{0.88 \text{ (atm)} * 73 \text{ l/día}}{(35 + 273.15)\text{k}}$$

Despejando V<sub>1</sub>

$$V_1=62.15 \text{ l/día}$$

En el caso del gas LP se requiere hacer una conversión especial de m<sup>3</sup> a litros

$$3.897*0.052\text{m}^3/\text{día}=0.2026 \text{ litros}$$

$$\frac{1 \text{ (atm)}V_1}{(25+273.15)\text{k}} = \frac{0.88 \text{ (atm)}*0.2026 \text{ l/día}}{(35+273.15)\text{k}}$$

$$V_1=0.1725 \text{ l/día}=0.044 \text{ m}^3/\text{día}$$

Ahora se hace la conversión a Kcal/día

$$P_c \cdot V \quad (4-3)$$

Donde:

$P_c$ =Poder calorífico del gas (Kcal/Nm<sup>3</sup>)

$V$ =Volumen (m<sup>3</sup>/día)

Biogás

$$4200 \text{ kcal/Nm}^3 \cdot (0.062 \text{ m}^3/\text{día}) = 260.4 \text{ kcal/día}$$

Gas LP

$$22,300 \text{ kcal/Nm}^3 \cdot (0.044 \text{ m}^3/\text{día}) = 981.2 \text{ kcal/día}$$

Se puede observar que el poder calorífico del gas LP es mayor por lo que se saca el porcentaje de energía que satisface el biogás con una simple regla de tres:

$$\begin{array}{l} 981.2 \text{ kcal/día} - 100\% \\ 260.4 \text{ kcal/día} - x \end{array}$$

El porcentaje de biogás respecto al gas LP es de 26.54%

#### a) Tuberías del biogás

La tubería se debe seleccionar con el espesor de pared necesario para soportar la presión. Cuando se utilice tubería de polietileno para la conducción del biogás, la máxima presión de operación de la tubería debe ser igual o menor a la presión de diseño, la cual se determina con la siguiente expresión:

Ahora el diámetro de la tubería

$$P = 2 \cdot Sh \cdot \frac{t}{D - t} \cdot 0.32 \quad (4-4)$$

Donde:

$P$ =presión del biogás 80,000 (kPa)

$Sh$ =Resistencia hidrostática a largo plazo 4018 (kPa) para tubería de PVC

$T$ =espesor de la tubería 2.8 (mm)

$D$ =Diámetro exterior de la tubería (mm)

Los valores son proporcionados por cualquier distribuidor de tuberías de PVC, por lo tanto sustituyendo en la ecuación:

$$80,000 \text{ kPa} = 2 \cdot 4018 \text{ kPa} \cdot \frac{2.8 \text{ mm}}{D - 2.8 \text{ mm}} \cdot 0.32$$

D=2.89 mm, se usa un diámetro comercial siendo el más pequeño el de ½"=13 mm.

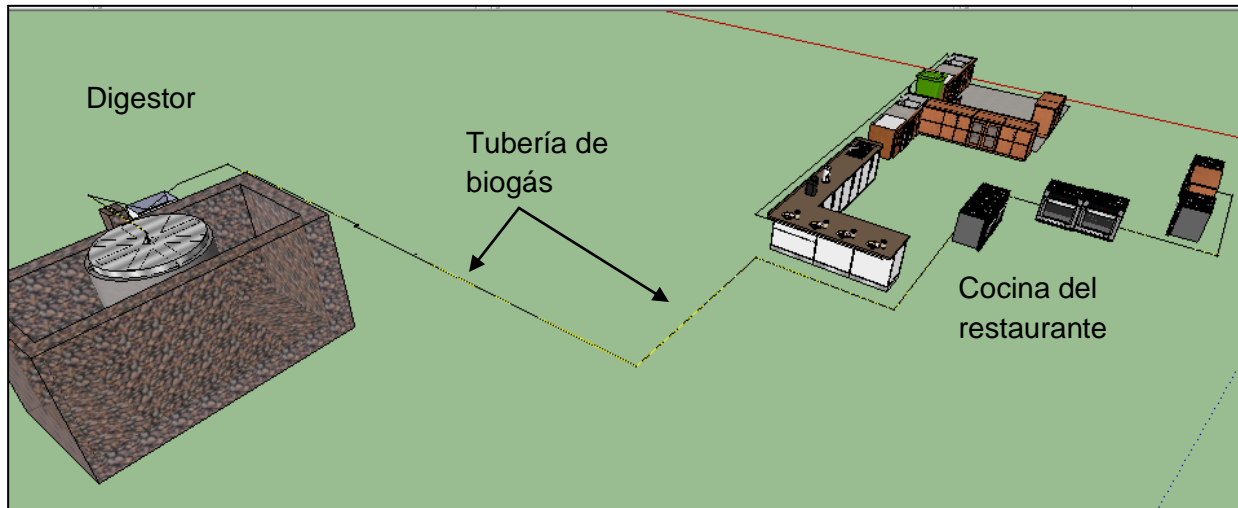


Figura 4.9 Vista en isométrico de la instalación de la tubería de biogás

Se incluirá también una trampa de agua (Figura 4.10) que será la encargada de dirigir el agua que se acumula dentro de la tubería la cual tiene el punto más bajo de la instalación y sus respectivas llaves de paso para la seguridad tanto de la planta de biogás como del restaurante.

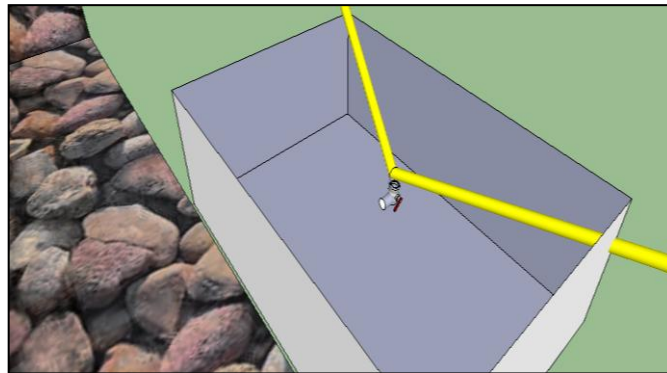


Figura 4.10 Trampa para agua contenida en el biogás

#### 4.6 Obra civil

La obra civil interviene directamente con realizar un proyecto de la manera más adecuada y obtener de ella beneficios que mejoren la vida, el proyecto debe ir de la concepción de lo que se quiere realizar, hasta la construcción de la misma.

Con la construcción de una planta de biogás se debe conocer el lugar adecuado y toda la instalación que requiere tanto de biogás como de las tuberías básicas de agua, drenaje, los fenómenos naturales que afecten la obra, el costo que se generará con esta obra y los beneficios que se obtendrán de ella.

#### 4.6.1 Ingeniería estructural

Para el diseño del digestor se ha escogido la metodología de los esfuerzos de trabajo bajo cargas de servicio ya que supone un agrietamiento nulo en el tanque de concreto considerando esfuerzo cortante, flexión, empuje hidrostático y empuje en cargas dinámicas en caso de un sismo.

Diseño del digestor por método elástico

Datos:

Medidas del digestor

H= 2.84 m y d=2.08 m

Cargas

1. Peso de la pared

$$W_p(\text{kg/m})=H(\text{m})\cdot t(\text{m})\cdot W_c(\text{kg/m}^3) \quad (2-12)$$

$$W_p(\text{kg/m})=2.84 \text{ m} \cdot 0.09 \text{ m} \cdot 2500 \text{ kg/m}^3=639 \text{ kg/m}$$

2. Empuje hidrostático máximo

$$P_o(\text{kg/m}^2)=q_o(\text{kg/m}^2)=W(\text{kg/m}^3)\cdot H(\text{m}) \quad (2-13)$$

$$P_o(\text{kg/m}^2)=q_o(\text{kg/m}^2)=540 \text{ kg/m}^3 \cdot 1.295 \text{ m}=699.3 \text{ kg/m}^2$$

3. Peso de placa de fondo

$$W_f(\text{kg/m})=0.25 D_e(\text{m})\cdot t_f(\text{m})\cdot W_c(\text{kg/m}^3) \quad (2-14)$$

$$W_f(\text{kg/m})=0.25 \cdot 2.17 \text{ m} \cdot 0.09 \text{ m} \cdot 2500 \text{ kg/m}^3=122.06 \text{ kg/m}$$

4. Peso de campana de acero

$$W_c(\text{kg/m})=H(\text{m})\cdot t(\text{m})\cdot W_a(\text{kg/m}^3) \quad (2-15)$$

$$W_c(\text{kg/m})=0.6 \text{ m} \cdot 0.003 \text{ m} \cdot 7850 \text{ kg/m}^3$$

5. Peso total de la estructura a plena carga

$$Q_o(\text{kg/m})=(W_p+W_f+W_c)+0.25 \cdot 2.08 \cdot D(\text{m})(q_o+q) \quad (2-16)$$

$$Q_o(\text{kg/m})=(639+122.06+14.13)(\text{kg/m})+0.25 \cdot 2.08(699.3+400)(\text{kg/m}^2)=1346.826 \text{ kg/m}$$

6. Peso de la estructura vacía

$$Q=639 \text{ kg/m}+122.06 \text{ kg/m}+14.03 \text{ kg/m}=775.19 \text{ kg/m} \quad (2-17)$$

Estados de carga

1. Factor de tanque

$$L=H^2+(D_i\cdot t_p) \quad (2-18)$$

$$L=(2.84 \text{ m})^2+(2.08 \text{ m} \cdot 0.09 \text{ m})= 8.25 \text{ m}^2 \sim 9 \text{ m}^2$$

## 2. Factor de fondo

$$L = \frac{t_f}{D_i} = \frac{0.09\text{m}}{2.08\text{m}} = 0.043 \quad (2-19)$$

Obteniendo los coeficientes de ponderación de la tabla

Como no se encuentran los valores directamente se realiza una interpolación

$C_0 = -0.0134$ ,  $C_1 = 0.9565$ ,  $C_2 = 0.1040$ ,  $C_3 = 0.5915$ ,  $C_4 = 18.695$ ,  $C_5 = 0.166$ ,  $C_6 = -5.495$

Momentos de empotramiento

### 1. En la pared (2-20)

$$M_p(\text{kg m/m}) = C_0 * P_0(\text{kg/m}^2) * H^2(\text{m})$$

$$M_p(\text{kg m/m}) = -0.0134 * 699.3 \text{ kg/m}^2 * (2.84 \text{ m})^2 = -75.58 \text{ kg m/m}$$

### 2. En el fondo

$$M_f(\text{Kg m/m}) = -0.031250 (Q(\text{kg/m}) + 0.25 * D_e(\text{m}) * q(\text{kg/m}^2)) * D_e(\text{m}) \quad (2-21)$$

$$M_f(\text{Kg m/m}) = -0.031250 (775.19 \text{ kg/m} + 0.25 * 2.17 \text{ m} * 400(\text{kg/m}^2)) * 2.17 \text{ m} = -67.28 \text{ kg m/m}$$

Momentos empotramiento corregidos

$$M_{pc} = M_p + \left( \frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) (M_p + M_f) \quad (2-22)$$

$$M_{pc} = M_p + \left( \frac{0.9565}{0.9565 + 0.1040} \right) (-26.61 - 67.28) = -111.29 \text{ kg m}$$

$$M_{fc} = M_f + \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right) * (M_p + M_f) \quad (2-23)$$

$$M_{fc} = M_f + \left( \frac{0.1040}{0.9565 + 0.1040} \right) * (-26.61 - 67.28) = -76.49 \text{ kg m}$$

Momento máximo en la placa de fondo

$$M_{fo}(\text{kg m/m}) = 0.0450 * Q_0(\text{kg/m}) * D(\text{m}) \quad (2-24)$$

$$M_{fo}(\text{kg m/m}) = 0.0450 * 1346.826 \text{ kg/m} * 2.08 \text{ m} = 126.06 \text{ kg m/m}$$

Tensión anular máxima en la pared

$$T_p(\text{kg}) = 0.35 * C_3 * P_0(\text{kg/m}^2) * H(\text{m}) * D(\text{m}) + 0.6173 * C_4 (M_{pc} + M_p) * \frac{D(\text{m})}{H(\text{m})} \quad (2-25)$$

$$T_p = 0.35 * 0.5915 * 699.3 \text{ kg/m}^2 * 2.84 \text{ m} * 2.08 \text{ m} + 0.6173 * 18.695 (-111.29 - 75.58) * \frac{2.08 \text{ m}}{2.84 \text{ m}} = -724.25 \text{ kg}$$

Paredes del tanque

Se debe cumplir que el espesor prefijado para la pared sea mayor o igual al término dado por:

$$6.8 \times 10^{-4} T_p \quad (2-26)$$

$$t_p(\text{cm}) > 6.80 \times 10^{-4} |T_p(\text{kg})|$$

$$9 \text{ cm} \geq 6.80 \times 10^{-4} |-724.25(\text{kg})|$$

$9 \text{ cm} \geq 0.4925$  por lo tanto cumple

Fuerza sísmica en el tanque

$$S(\text{kg/m}) = Z \cdot C_p [Q(\text{kg/m})] + W_{me}(\text{kg/m}) \quad (2-27)$$

$$W_{me} = 0.20 \cdot D(\text{m}) \cdot q_o(\text{kg/m}^2) = 0.20 \cdot 2.08 \text{ m} \cdot 699.3 \text{ kg/m}^2 = 290.91 \quad (2-28)$$

$$S(\text{kg/m}) = 1 \cdot 0.20 [775.19 \text{ kg/m} + 290.91 \text{ kg/m}] = 213.22 \text{ kg/m}$$

Esfuerzo cortante sobre la pared, se calculan las fuerzas cortantes

$$V_1(\text{kg}) = C_5 \cdot P_o(\text{kg/m}^2) \cdot (H(\text{m}))^2 + C_6 [M_{pc} + M_p](\text{kg m/m}) + \pi S(\text{kg/m}) \cdot D(\text{m}) \quad (2-29)$$

$$V_1(\text{kg}) = 0.166 \cdot 699.3 \text{ kg/m}^2 \cdot (2.84 \text{ m})^2 + 5.495 [-111.29 - 75.58](\text{kg m/m}) + \pi \cdot 213.22(\text{kg/m}) \cdot 2.08 \text{ m}$$
$$V_1(\text{kg}) = 3356.42 \text{ kg}$$

$$V_2(\text{kg}) = 0.25 Q_o(\text{kg/m}) \cdot D(\text{m}) - [M_{fc} + M_f](\text{kg m/m}) + \pi S(\text{kg/m}) \cdot D(\text{m}) \quad (2-30)$$

$$V_2(\text{kg}) = 0.25 \cdot 1346.826 \text{ kg/m} \cdot 2.08 \text{ m} - [-76.49 - 67.28](\text{kg m/m}) + \pi \cdot 213.22 \text{ kg/m} \cdot 2.08 \text{ m} = 2237.41 \text{ kg}$$

Se usa el más desfavorable  $V_1 = 3356.42 \text{ kg}$

Verificación del esfuerzo cortante:

Se comprueba que:

$$V_1(\text{kg}) \leq 50(f'c(\text{kg/cm}^2)) \cdot 0.50 \cdot t_f \quad (2-31)$$

$$V_1(\text{kg}) \leq 50(250(\text{kg/cm}^2)) \cdot 0.50 \cdot 9 \text{ cm}$$

$3356.42 \leq 56250$  Por lo tanto resiste por esfuerzo cortante en la pared

Ahora por flexión en la pared

Se comprueba que:

$$|M_{pc}(\text{kgm})| < 0.50 \phi (f_c^*) d_f \quad (2-32)$$

$$d_f = t_f - 5 \text{ cm} = 9 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = 4 \text{ cm}$$

$\phi = 0.65$  (valor teórico)

$$|-76.49 \text{ kgm}| < 0.50 \cdot 0.65 \cdot 200 \cdot 4 \text{ cm}$$

$76.49 < 260$  Por lo tanto se cumple



#### 4.6.2 Ingeniería geotécnica

El proyecto del diseño de un digestor deberá basarse en un estudio de mecánica de suelos realizado en el sitio de estudio. Este estudio permite saber las características mecánicas del subsuelo hasta una profundidad en la que los esfuerzos transmitidos por la estructura dejen de ser significativos, para ello se realizan exploraciones de campo, pruebas de campo y de laboratorio. Con base en los resultados se definirá el tipo de cimentación más adecuado y se revisará que no se rebase ningún límite de falla. Por lo que la cimentación requiere de dos combinaciones de carga, la primera en condiciones estáticas y la segunda en condiciones dinámicas.

Se calcula como cajón de cimentación

a) Primera combinación de cargas

Para  $D_f/B < 2$  y  $B/L < 1$

$$\frac{D_f}{B} = \frac{2.94}{2.27} = 1.29 \quad \frac{B}{L} = \frac{2.27}{5.16} = 0.43 \text{ por lo tanto si cumple}$$

$$N_c = 5.14 (1 + 0.25D_f/B + 0.25B/L) \quad (2-35)$$

$$N_c = 5.14 (1 + 0.25(\frac{2.94 \text{ m}}{2.27 \text{ m}}) + 0.25(\frac{2.27 \text{ m}}{5.16 \text{ m}})) = 7.37$$

$P_v = \gamma D_f$  para esta expresión debe tenerse el valor del peso volumétrico del suelo con el estudio de sondeo, como este trabajo es teórico se supone un valor ya que se carece del estudio  $\gamma = 1.58 \text{ t/m}^3$

$$P_v = \gamma D_f = 2 \text{ t/m}^3 * 2.94 \text{ m} = 5.88 \text{ t/m}^2 \quad (2-38)$$

$$F_R = 0.7$$

Peso de la estructura = Acciones  $\leq$  resistencias = capacidad de carga

$$\frac{Q \text{ o } F_c}{A} < \left[ \bar{p}_v (N_q - 1) + \frac{\gamma B N_\gamma}{2} \right] F_R + p_v \quad (2-34)$$

El ángulo de fricción y la cohesión también se suponen ya que al igual que el peso volumétrico del suelo se obtienen por el sondeo del suelo

$$\phi = 12$$

$$C = 3$$

En seguida se obtiene el coeficiente  $N_q$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 (45^\circ + \phi/2) \quad (2-36)$$

$$N_q = e^{\pi \tan 12} \tan^2 (45^\circ + 12/2) = 2.97$$

Por ser cimentación rectangular

$$N_q = 2.97 * 1 + (2.27 \text{ m} / 5.16 \text{ m}) \tan 12 = 3.24$$

Ahora se calcula el coeficiente de capacidad de carga

$$N_\gamma = 2 (3.24 + 1) \tan 12 = 1.80 \quad (2-37)$$

$$N_\gamma = 1.80 * (1 - 0.4(2.27/5.16)) = 1.48$$

$$\bar{P}_v = P_v$$

$$q_a = P_v(N_q - 1) + \frac{1}{2} B \gamma N_{\gamma} FR + P_v \quad (2-39)$$

$$q_a = 5.88 (3.24 - 1) + \frac{1}{2} 2.27 * 1.58 * 1.48 * 0.7 + 5.88 = 20.91 \text{ t/m}^2$$

Las acciones:

El factor de carga para la 1ª combinación es 1.4 para la 2ª combinación es 1.1

Suma de cargas

$$Q_o = 639 + 122.06 + 14.13 + 0.25 * (699.3 + 400) = 1050.015 \text{ kg}$$

$$Q_o * 1.4 / 5.16 * 2.27 = 125.50 \text{ kg/m}^2 = 0.1255 \text{ t/m}^2 \quad (2-40)$$

$0.1255 \text{ t/m}^2 < 20.91 \text{ t/m}^2$  por lo tanto se cumple

Para condiciones estáticas, la cimentación es adecuada, no tiene problemas de resistencia

b) Segunda combinación de cargas

$$Q_o * F_c / A' \quad (2-41)$$

$$e = M_v / S = 126.06 \text{ kg m/m} / 213.22 \text{ kg/m} = 0.59 \text{ m} \quad (2-45)$$

$$B' = B - 2e \quad (2-43)$$

$$B' = 2.26 \text{ m} - 2(0.59) = 1.08 \text{ m}$$

$$L' = L - 0.3(2e) \quad (2-44)$$

$$L' = 5.16 - 0.3(2 * 0.59) = 4.806 \text{ m}$$

$$A' = B' L' \quad (2-42)$$

$$A' = 1.08 \text{ m} * 4.806 \text{ m} = 5.190$$

Sustituyendo en la expresión (2-41):

$$1050.015 \text{ kg} * 1.1 / 81.22 = 14.22 \text{ kg/m}^2 = 0.0142 \text{ t/m}^2$$

$0.0142 \text{ t/m}^2 < 20.91 \text{ t/m}^2$  por lo tanto se cumple en condiciones dinámicas

### 4.6.3 Ingeniería hidráulica

Para suministrar agua potable a la planta de biogás se conectará de la misma tubería de la cocina del restaurante (Figura 4.11) ya que la toma principal está en el extremo opuesto de la planta y como solo se necesita una toma de agua para la limpieza, no es necesario hacer toda la instalación, en cuanto al costo del suministro de agua no se hará un cargo extra ya que está incluido en el pago de renta mensual del restaurante.

La tubería será de PVC de 1/2" ya que se conectará a la existente en el restaurante la cual mide 1/2" respectivamente y no se cambia el diámetro debido a que la presión varía dependiendo del diámetro y se pretende que la presión permanezca constante a lo largo de la tubería.

La longitud total será de 11 m y se conectará con un accesorio en t de la instalación original del restaurante, con esta adaptación la línea de conducción proveerá de agua a la planta de biogás.

Dentro de la planta de biogás se tendrán dos tomas de agua, la primera se usará para la limpieza de la planta con conexión al drenaje y la segunda estará conectada al triturador y este a su vez al tanque medidor de pH.

La red de distribución de agua potable principal de Ciudad Universitaria opera por gravedad, así que la instalación hidráulica no necesita una bomba para distribuir agua en la planta de biogás.

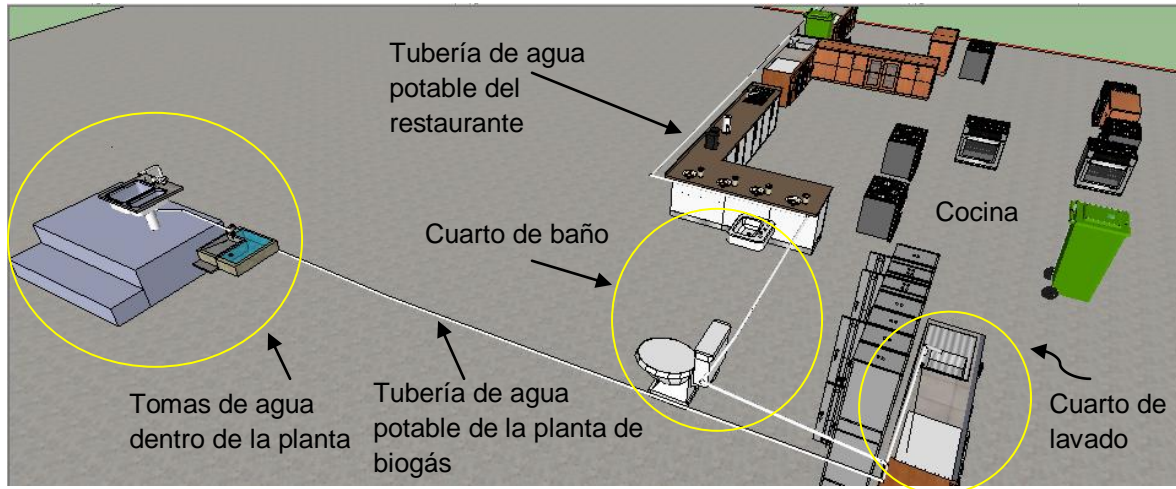


Figura 4.11 Vista en isométrico de la instalación de agua del restaurante a la planta de biogás

#### a) Drenaje en la planta de biogás

El diseño del drenaje considera las siguientes tres funciones:

1. Recolectar el agua
2. Transportar el agua a través del drenaje
3. Descargar el agua

Dentro de la planta se encontrarán dos tomas de agua (Figura 4.12) pero solo una de estas se conectará al drenaje por lo que la instalación solo necesita una sola línea de conducción para enviar el agua a la red cercana a la planta.

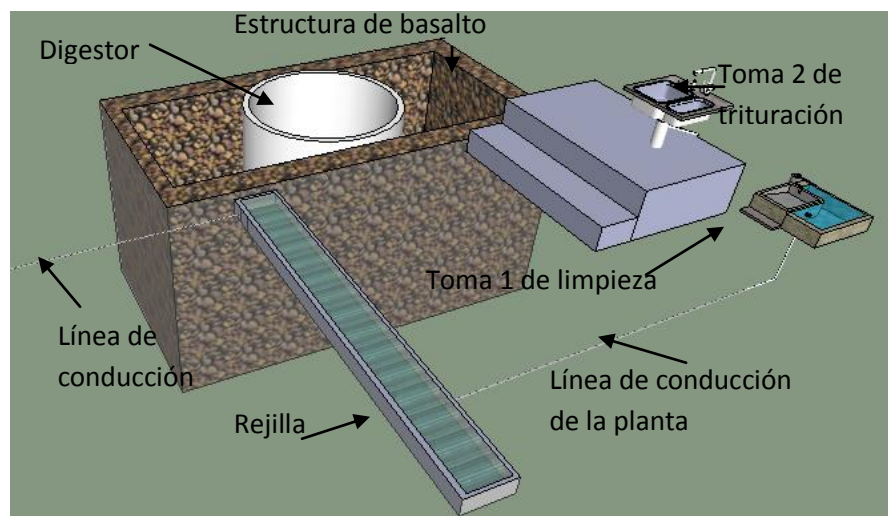


Figura 4.12 Drenaje interno de la planta de biogás

La red principal y redes secundarias del drenaje en Ciudad Universitaria ya están diseñadas por lo que solo deberá conectarse la línea de conducción de la planta de biogás a la red secundaria que se encuentra a diez metros de la planta (Figura 4.13), la línea de conducción será de polietileno de alta densidad corrugada por fuera y de pared interior lisa que evita que se obstruya, las conexiones de las tuberías tienen que ser enroscadas en vez de pegadas y debe tener una pendiente de 1% para que el agua descienda por gravedad, tendrá una longitud de 15.61 m

Para obtener el diámetro de la tubería se tiene el siguiente procedimiento:

$Q=0.1453$  (lt/s) (gasto de agua potable tomado directamente en la toma de agua)

El gasto considerado en drenaje es el 20% del gasto de agua potable

$Q=0.20 \times 0.1453$  (lt/s) =  $0.0287$  (lt/s) a metros cúbicos  $2.87 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

$Q=VA$  (2-33)

$2.87 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 5 \text{ m/s}$  (velocidad máxima por material de PEAD)  $\times \pi r^2$

Se despeja el radio:

$r = 1.352 \times 10^{-3} \text{ m}$

Obteniendo el diámetro

$D = 2 \times 1.352 \times 10^{-3} \text{ m} = 2.703 \times 10^{-3} \text{ m}$  a pulgadas  $D = 0.1064''$

Ahora haciendo el cálculo con la velocidad mínima:

$Q=VA$

$2.87 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 0.3 \text{ m/s}$  (velocidad mínima por material de PEAD)  $\times \pi r^2$

Se despeja el radio:

$r = 5.518 \times 10^{-3} \text{ m}$

Obteniendo el diámetro

$D = 2 \times 5.518 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.01103 \text{ m}$  a pulgadas  $D = 0.4345''$

Ahora que se tiene el diámetro se busca el diámetro comercial y es el que considera, en este caso es:

100 mm = 4'' que es el más pequeño.

El drenaje será de tipo superficial lineal con rejilla conectado entre sí a un canal inclinado ligeramente, donde el agua se trasladará al extremo izquierdo donde se dirigirá el agua a la línea de conducción que será descargada a la red secundaria que está a 10 m.

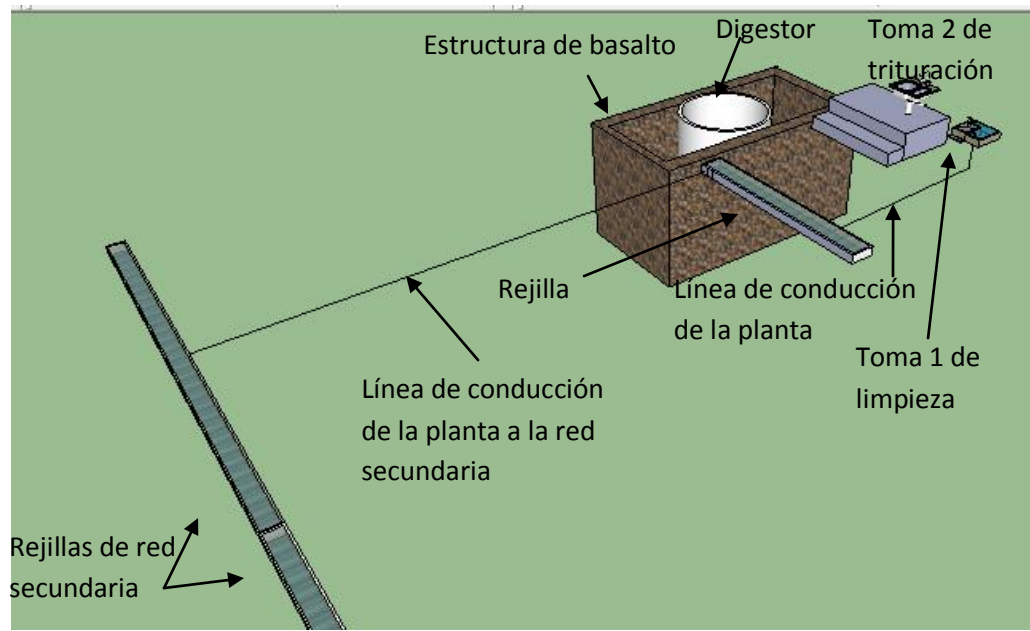


Figura 4.13 Vista isométrica del drenaje de la planta de biogás

## 4.7 Ejecución de la obra

### a) Por concepto de obra

Para la ejecución de la obra se deben tener en cuenta los conceptos de obra y los estudios de suelo necesarios para que la construcción de la planta de biogás sea óptima.

Los conceptos de la obra de la planta de biogás se enumeran de la siguiente manera:

#### 1) Estudio del suelo

##### 1. Mecánica de suelos

Se realizan estudios de mecánica de suelos para determinar el tipo de suelo, el primer estudio que se realiza es la perforación y muestreo con tubo Shelby, por ser un suelo en zona de lomas el tubo Shelby no será suficiente para sacar una muestra por lo que debe usarse una broca tricónica donde se deberá obtener un estrato sano que será el que se tomará como óptimo.

##### 2. Trazo y nivelación

Se realiza en forma manual con uso de una escuadra de madera de ángulo recto cuyos lados midan 30 cm, 40 cm y 50 cm respectivamente. Esto permitirá marcar, cuando así lo requiera el proyecto, cruces de ejes o ángulos de 90° y se lleva un control adecuado de la nivelación en todo el transcurso de la obra apoyándose del restaurante para nivelar todo el proyecto. También dentro del digestor debe llevarse un control adecuado de la nivelación.

#### 2) Limpieza del terreno

##### 1. Desyerbe y reubicación de vegetación

Se realiza el desyerbe en la maceta de basalto y reubicación de la planta y árbol que se encuentran en la zona de obra para evitar que se les dañe.

## 2. Demolición

Se realiza la demolición alrededor de la zona para la colocación de los muros que protegerán a la planta de biogás.

## 3. Excavación

Se excava el área de la maceta y la altura se determina sumando la losa de cimentación mas la altura del reactor y se excavan zanjas de 20 cm de profundidad y 30 cm de ancho para la colocación de los muros.

## 4. Compactación

Por la reacción que tiene el suelo a acomodarse debe compactarse y para esto se usa un compactador manual para compactar el suelo en el fondo de la maceta.

### 3) Muros

#### 1. Cimentación superficial

- En la zanja que se excavo se cuela en el fondo de la capa una plantilla de 3 cm de concreto pobre
- Se colocan los QualyCimientos pre-ensamblados en grupos de 2 ó 3 hojas (Figura 4.14)
- Se coloca la malla electrosoldada para el firme y se amarra firmemente del QualyCimiento
- Se alinean y ploman los QualyCimientos sujetándolos con tensores,
- Se cuela y vibra el firme de concreto de  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ .

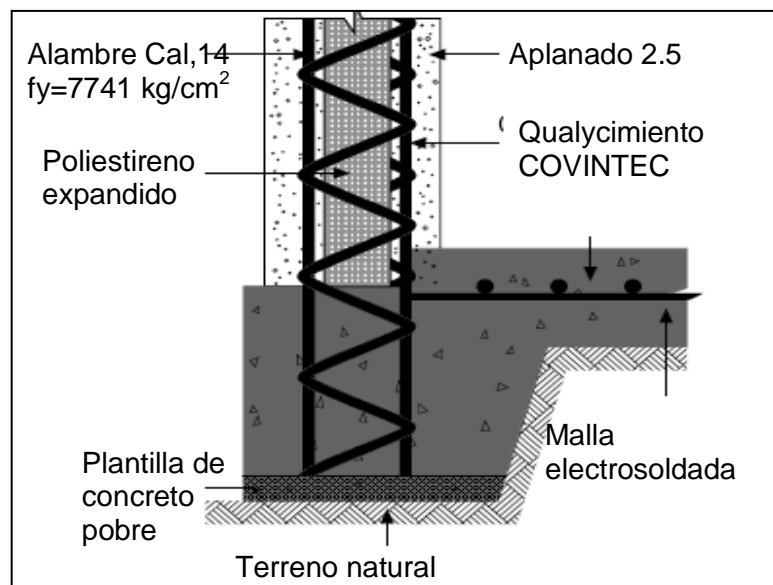


Figura 4.14 Colocación de muros de panel (COVINTEC, 2013)

## 2. Uniones

En todas las Uniones del Sistema Covintec para muros y losas se hace con auto-ensamble, debiendo usar las mallas esquinero para unir los muros en sus diferentes situaciones.

## 3. Puertas y ventanas sobre el panel

Se marca y recorta la malla del Sistema Covintec con una sierra circular, sierra reciproca o con cizallas, y se refuerza el contorno por ambos lados con malla “zig-zag”. Las mallas zig-zag deben sobresalir 30 cm., del contorno de las ventanas o de las puertas. Además instalar mallas diagonales en cada arista de 40 cm (por ambas caras).

Ya reforzado el contorno se remueve el poliestireno en todo el perímetro de la puerta o ventana y se rellena este espacio con mortero o concreto para formar un marco rígido. En el marco superior según sea el claro se retirará el poliestireno y se refuerza para formar una cadena de cerramiento de concreto con armado integrado.

## 4. Plomear y alinear

Es indispensable asegurarse de plomar y alinear los muros, y se mantienen éstos escuadrados entre si, utilizando alambre y reglas metálicas para alinear, y puntales y/o tensores para asegurar el plomado.

## 5. Aplanado

El recubrimiento de muros y superficie inferior de losas se aplica manualmente o con lanzadoras de mortero, se utiliza mezcla de cemento, cal, arena y agua en proporción de volumen 2:1:9:1.5, que es equivalente a mezclar 2 botes de cemento (19 l), 1 bote de cal (19 l), 9 botes de arena (19 l), y 1.5 botes de agua (19 l). Para obtener mayor resistencia se sustituyen 3 botes de arena por granzón. La aplicación del mortero se realiza en dos capas, la primera debe alcanzar un espesor de 1 cm, (hasta cubrir la malla); la segunda se aplica una vez que ha secado la primera y hasta alcanzar un espesor total de 2.5 cm. Para obtener la mayor resistencia y evitar fisuras, es necesario mantener la superficie húmeda durante el periodo de curado (especialmente durante las primeras 48 horas).

### 4) Losa superior (Techo)

#### 1. Madrinas y contraflechas

Se arman sobre madrinas de polines separadas 90 cm. entre sí, dejando contraflechas (Tabla 4.1). Las madrinas se colocan en el sentido largo del tablero, siempre perpendiculares al sentido del zig-zag de las QualyLosas, pudiéndose remover 14 días después de haber colado, dejando sólo puntales al centro del claro hasta los 30 días.

Tabla 4.1 Contraflechas para entrepiso y azotea (COVINTEC, 2013)

Contraflechas para entrepiso y azotea						
Claro de losa	m	2.50	3.25	4.06	4.5	5
Losa libremente apoyada en dos extremos	cm	1	3	3.5	3.5	4
Losa continua o apoyada en tres o más extremos	cm	1	1.5	2	2.5	3

## 2. Armado de losas

Las losas tienen el acero de refuerzo integrado cubriendo claros hasta de 5 m., de una sola pieza, simplemente apoyada. El lado más largo de la losa, que es en el sentido en el que corre el zigzag, debe orientarse al claro corto de la losa (perpendicular a las madrinas). Siempre con piezas completas y con el acero grueso hacia abajo. Las losas se unen entre sí con el “Sistema Autoensamble”. Para facilitar la aplicación de mortero por el lecho inferior de la losa, se recomienda aplicar una primera capa de 3 mm de espesor estando esta ya armada, un día antes del colado. Ya instaladas las losas, es recomendable caminar sobre tablas para protegerlas antes y durante el colado.

## 3. Colado de concreto en la losa

En construcciones de uso habitacional, la losa no requiere de acero de refuerzo adicional en claros de hasta de 5 m. Colar una capa de compresión de concreto del espesor de 5 cm, con un concreto de resistencia  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ . Una vez descimbrado y libre el lecho inferior de la losa, aplicar una segunda capa de mortero hasta alcanzar un espesor de 1.5 cm. El acabado final de la losa deberá de ser impermeabilizado con el método deseado. Para obtener la mayor resistencia y evitar la aparición de fisuras, es indispensable mantener la superficie húmeda durante el período de curado (especialmente las primeras 48 horas).

## 5) Construcción del digestor

La estructura de basalto se formo del basalto en la zona con un mejoramiento en su base

### 1. Campana de acero

Consiste en un cilindro bien conformado (Figura 4.15) con una diferencia entre el diámetro del digestor la campana de acero no mayor a 2 cm, durante la construcción se debe hacer un control adecuado de la soldadura en las uniones para asegurar la completa hermeticidad y se colocan unas agarraderas que también son soldadas que servirán para mover la campana para mezclar el sustrato. Se coloca una hélice también de acero para sostener los contrapesos que serán encargados de evitar que se formen natas en la superficie del sustrato y mantener en su sitio la campana de acero sobre todo cuando empieza a flotar debido al biogás, los contrapesos miden 1.50 m y 1.80 m respectivamente. Finalmente se hace un orificio en la parte central superior de la campana de acero para permitir la salida del biogás hacia la tubería que alimentara al restaurante.

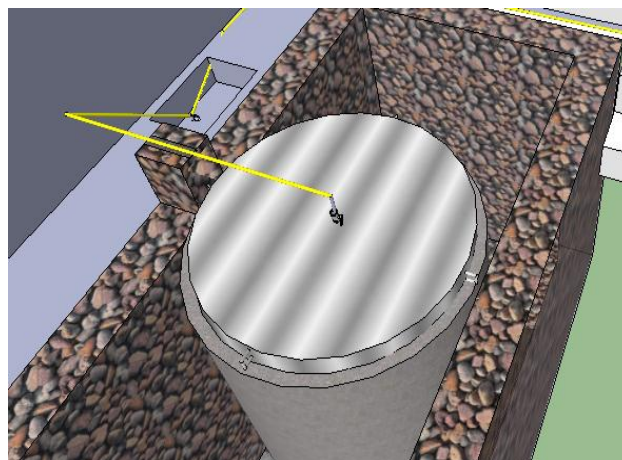


Figura 4.15 Campana de acero sobre el digestor



## 2. Digestor de concreto

La losa de soporte será de concreto reforzado con varillas de 3/8" a cada 15 cm de doble emparrillado, se le colocará la cimbra y el desmoldante.

El refuerzo del cuerpo cilíndrico del digestor será con varillas de 3/8" a cada 15 cm que deberá ser colocado en cada una de las dos direcciones perpendiculares entre sí para soportar los esfuerzos que puedan llegar a presentarse, entre las varillas del armado cilíndrico del tanque se colocará un tubo de PVC de 4" a una altura de 1.5 m y un tubo de PVC de 6" a una altura de 2 m los cuales servirán para la entrada y salida del sustrato en el reactor. La base del reactor tendrá 4 varillas que se intersecan entre sí en el centro y 3 anillos a cada 0.34 m a modo de distribuir el acero en toda la base.

En cuanto a la cimbra del reactor será un molde de acero compuesto por una serie de juntas de acero moldeado.

La base del digestor se colará primero y una vez que endurezca, se procederá a colocar la cimbra de la pared cilíndrica del tanque para posteriormente colar el muro circular del tanque, vibrando y compactando para evitar formación de burbujas. Una vez que el tanque ha fraguado se le coloca un impermeabilizante por dentro y por fuera para evitar que se filtre y posteriormente se puede colocar la campana de acero sobre él.

El digestor junto con la losa de soporte estarán dentro de una estructura cúbica de basalto (Figura 4.16) ya existente en la zona, la cual funcionará como un cajón de cimentación para el reactor.

La losa de soporte se une a la estructura de basalto por medio de unos anclajes que serán introducidos simultáneamente a ambas estructuras, así se evitará algún movimiento del digestor dentro de la estructura de basalto.

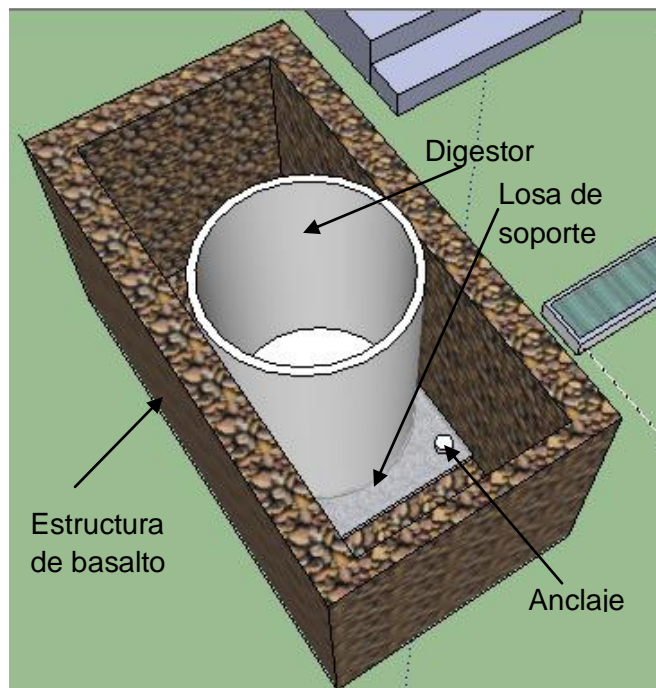


Figura 4.16 Digestor sobre losa de soporte dentro de estructura de basalto

## 6) Drenaje

Para la instalación del drenaje (Figura 4.17) se procede a excavar una zanja de 10 m de largo por 20 cm de ancho y 20 cm de profundidad en la que se compacta el suelo y posteriormente se coloca una cama de grava para la colocación de la tubería, esta debe tener una inclinación de 1% que indica que esta a 10 cm debajo del punto de referencia y conectarse a la red secundaria ya existente en la zona.

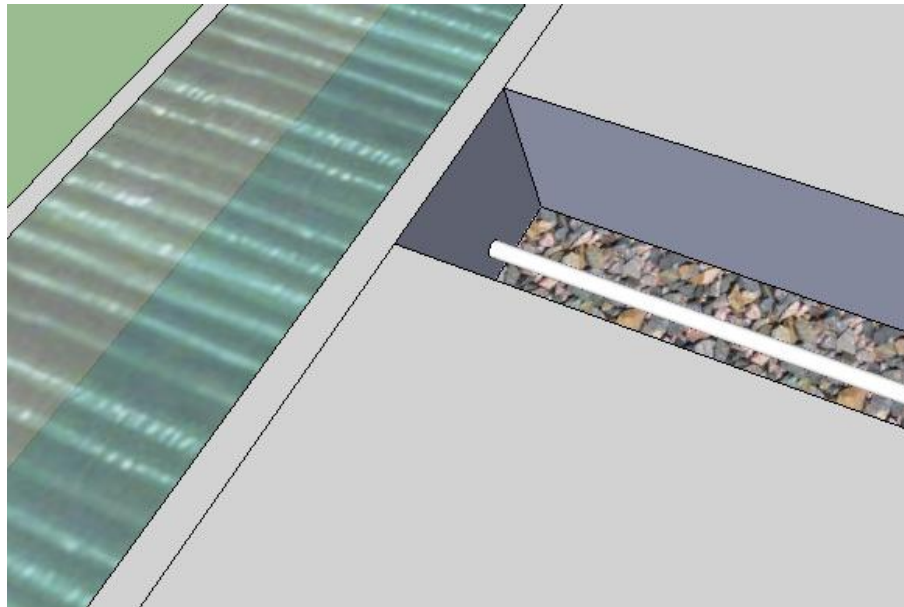


Figura 4.17 Línea de conducción conectada a la red secundaria

## 7) Instalaciones de la planta de biogás

### 1. Instalación eléctrica

La instalación eléctrica se usará únicamente para el triturador, así que solamente bastará poner un contacto para su alimentación.

### 2. Trituración del sustrato

Para el manejo del sustrato se tendrá una toma de agua con un triturador de 3 HP de potencia para llevar a cabo la trituración. El triturador tendrá una salida por medio de una tubería de PVC de  $\frac{1}{2}$ " la cual dirigirá el sustrato al tanque de acopio.

### 3. Tanque de acopio y medición de pH

El tanque de acopio será de 200 litros el cual servirá para llevar una medición de pH del sustrato. El tanque de acopio tendrá una salida por medio de una tubería de 6" con llave de paso.

### 4. Tanque de almacenamiento

Una vez ocurrido el tiempo de retención en el digestor, la salida será a través de un tubo de PVC de 4" hacia un tanque de almacenamiento donde podrá extraerse el lodo digerido para uso posterior.

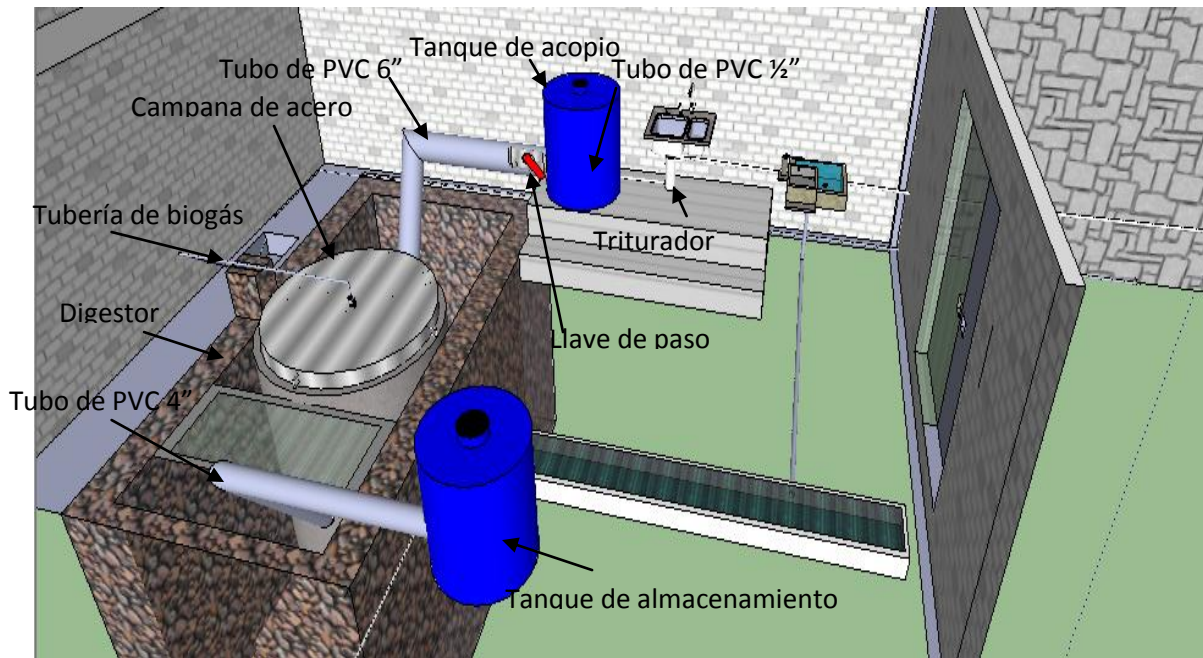


Figura 4.18 Instalaciones de planta de biogás

#### 4.8 Factor económico de la obra

Para determinar el costo de la planta de biogás se realiza un catálogo de conceptos de obra (Tabla 4.2) donde se incluye: mano de obra, materiales y equipo necesarios para su ejecución. En este catálogo de conceptos se usaron los costos del tabulador general de precios unitarios donde se incluye mano de obra, los materiales y el equipo.

Tabla 4.2 Catálogo de conceptos de obra de la planta de biogás

N°	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
	<b>SUELO</b>				
	<b>MECÁNICA DE SUELOS</b>				
1	Perforación y muestreo con tubo Shelby, de 0.00m a 20.00m	m	1	\$282.85	\$282.85
2	Perforación y muestreo con trépano y broca tricónica de 7.5 cm de diámetro en suelos duros o cementados. Incluye registros de datos, agua y bentonita.	m	2	\$263.30	\$526.60
	<b>TRAZO Y NIVELACIÓN</b>				
3	Trazo y nivelación con equipo de topografía para desplante de obras de edificación, incluye: materiales para señalamiento.	m <sup>2</sup>	11.71	\$3.73	\$43.68
				<b>TOTAL</b>	<b>\$853.13</b>

Tabla 4.2 (Continuación) Catálogo de conceptos de obra de la planta de biogás

N°	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
	<b>LIMPIEZA DEL TERRENO</b>				
	<b>DESYERBE</b>				
4	Desyerbe, reubicación del árbol y limpia de terreno realizada a mano , incluye acarreo libre hasta 20 m	m <sup>2</sup>	1	\$3.83	\$3.83
	<b>DEMOLICIÓN</b>				
5	Demolición en cualquier zona por medios mecánicos. Incluye manos de obra, maquinaria y equipo necesario para la correcta ejecución	m <sup>3</sup>	0.30	\$56.23	\$33.74
	<b>EXCAVACION</b>				
6	Excavación a mano, zona "A" , clase 1 de 2.01 a 4.00 m de profundidad. Incluye afine, traspaleos y extracción a borde de zanja	m <sup>3</sup>	0.60	\$88.51	\$89.11
	<b>CARGA Y ACARREO</b>				
7	Carga y acarreo en carretilla, de material producto de demolición a estaciones subsecuentes de 20 m	m <sup>3</sup>	0.30	\$39.10	\$11.73
8	Carga y acarreo en carretilla, de material producto de extracción en bancos, cortes o excavaciones a primera estación de 20 m	m <sup>3</sup>	0.60	\$28.65	\$17.19
				<b>TOTAL</b>	<b>\$155.60</b>
	<b>MUROS</b>				
	<b>COMPACTACIÓN</b>				
9	Suelo mejorado, con tepetate puesto en obra y cemento al 8% del peso volumétrico compacto, compactación al 95% Proctor con rodillo vibratorio, para mejorar la base de cimentaciones de estructuras preparación con uso de mezcladora	m <sup>3</sup>	0.60	\$514.45	\$308.67
	<b>COLOCACIÓN DE MUROS</b>				
10	Colocación de muros de carga de poliestireno. Incluye: Aplanado por ambas caras, mano de obra, material y equipo necesario para la ejecución	m <sup>2</sup>	96	\$285.00	\$27,360.00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$27,668.67</b>

Tabla 4.2 (Continuación) Catálogo de conceptos de obra de la planta de biogás

N°	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
	<b>LOSA</b>				
	<b>COLOCACIÓN DE LOSAS</b>				
11	Colocación de losas de carga de poliestireno. Incluye: aplanado por ambas caras, mano de obra, material y equipo necesario para la ejecución	m <sup>2</sup>	53.55	\$350.00	\$18,742.50
				<b>TOTAL</b>	<b>\$18,742.50</b>
	<b>DIGESTOR Y LOSA DE SOPORTE</b>				
	<b>EXCAVACIÓN</b>				
12	Excavación a mano, zona A, clase 1 de 2.01 m a 4 m de profundidad. Incluye: afine, traspaños y extracción a borde de zanja	m <sup>3</sup>	36.00	\$88.51	\$3,186.36
	<b>CARGA Y ACARREO</b>				
13	Carga y acarreo en carretilla, de material producto de la excavación a estaciones subsecuentes de 20 m	m <sup>3</sup>	36	\$39.10	\$1,407.60
	<b>COMPACTACIÓN</b>				
14	suelo mejorado, con tepetate puesto en obra y cemento al 8% del peso volumétrico compacto, compactación al 95% Proctor con rodillo vibratorio, para mejorar la base de cimentaciones de estructuras preparación con uso de mezcladora	m <sup>3</sup>	12	\$514.45	\$6,173.40
	<b>BASE DE BASALTO</b>				
15	Colocación de basalto junteado con mortero de cemento arena 1:5 con basalto ya existente en la base	m <sup>2</sup>	12	\$70.00	\$840.00
	<b>ACERO</b>				
16	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo grado 42 de 9.5 mm (3/8"). Incluye: Acero de refuerzo, alambre recocido para amarres, silletas, separadores traslapes, bayonetas, columpios, ganchos, desperdicios; la mano de obra para el acarreo libre, enderezado, trazo, corte, habilitado, elevación, colocación, amarres, retiro de material sobrante, limpieza y la herramienta y equipo para su correcta ejecución.	ton	0.12	\$16,319.83	\$1,958.38
	<b>ENCOFRADO METÁLICO</b>				
17	Molde metálico para tanque circular con orificios	pza	1	\$12,000.00	\$12,000.00

Tabla 4.2 (Continuación) Catálogo de conceptos de obra de la planta de biogás

N°	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
	<b>MALLA ELECTROSOLDADA</b>				
18	Malla electrosoldada 66-66. Incluye: La malla, traslapes, alambre recocido, anclas o separadores, mano de obra para la carga, acarreo libre horizontal y vertical, descarga, corte, habilitado, colocación, amarres, retiro de desperdicio, herramienta y quipo necesario para su correcta ejecución.	m <sup>2</sup>	2.97	\$34.29	\$101.91
	<b>CIMBRA</b>				
19	Cimbra y acabado aparente para losas hasta 4 m. Incluye: suministro de la madera en parte proporcional alambre, clavos y demás dispositivos de fijación, desmoldantes, atezadores, mano de obra, acarreo, herramienta y equipo necesario para su correcta ejecución.	m <sup>2</sup>	1.05	\$163.27	\$172.09
	<b>CONCRETO</b>				
20	Suministro y colocación de concreto hidráulico estructural clase 1, resistencia normal de f'c=250 kg/cm <sup>2</sup> , en planta por proveedor, bombeable, para elementos estructurales. Incluye: suministro del concreto puesto en el sitio por proveedor, mano de obra para el bombeo, colocación, muestreo y pruebas, vibrado, curado y desperdicio; limpieza, herramienta y equipo necesario para su correcta ejecución.	m <sup>3</sup>	4.30	\$1,923.15	\$8,269.55
	<b>ENTRADA Y SALIDA DE SUSTRATO</b>				
21	Tubo de PVC de 4" de diámetro, unión cementar. Incluye: los tubos, las piezas especiales, limpiador, lubricante, empaques o cemento de contacto, unión de los tubos, colocación de las piezas especiales, pruebas, limpieza, herramienta y equipo necesario para su correcta ejecución.	tramo de 6m	3.26	\$150.00	\$489.00
22	Tubo de PVC de 6" de diámetro, unión cementar. Incluye: los tubos, las piezas especiales, limpiador, lubricante, empaques o cemento de contacto, unión de los tubos, colocación de las piezas especiales, pruebas, limpieza, herramienta y equipo necesario para su correcta ejecución.	tramo de 6m	4.15	\$160.00	\$664.00

Tabla 4.2 (Continuación) Catálogo de conceptos de obra de la planta de biogás

N°	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
	<b>ANCLAJE</b>				
23	Suministro y colocación de juego de 4 anclas de 25mm de diámetro x 1 m de longitud para sujetar base de digestor en basalto	4 pzas	1	\$1,300.00	\$482.15
	<b>IMPERMEABILIZACIÓN</b>				
24	Impermeabilización de tanque a base de concreto, una capa de recubrimiento cementicio, tankote plus y una segunda capa de de recubrimiento impermeable sellokote previa preparación de la superficie.	m <sup>2</sup>	13.13	\$58.47	\$767.71
				<b>TOTAL</b>	<b>\$36,512.14</b>
	<b>CAMPANA DE ACERO</b>				
25	Suministro y montaje de estructura ligera, formada con placas de acero A.36. Incluye: Las placas de acero A-36, des calibre, soldadura, oxígeno, acetileno, pintura anticorrosiva, la mano de obra para el trazo, corte, habilitado, presentación, armado, soldado, esmerilado, retiro del material sobrante, limpieza, aplicación de pintura, carga, acarreo libre horizontal y vertical, montaje, equipo y herramientas necesarias para su correcta ejecución.	m <sup>2</sup>	7.32	\$27.92	\$204.37
				<b>TOTAL</b>	<b>\$204.37</b>
	<b>INSTALACIONES HIDRO-SANITARIAS</b>				
	<b>TUBERIA HIDRÁULICA</b>				
26	Tubo de PVC, con extremos lisos de 1/2" de diámetro. Incluye los tubos, las piezas especiales, limpiador, lubricante, empaques o cemento de contacto, agua para pruebas, la mano de obra para el acarreo, unión de los tubos, colocación de las piezas especiales, limpieza, herramienta y equipo necesario para su correcta ejecución.	m	11	\$130.93	\$1,440.23
27	Codo de PVC unión cementar 90° por 1/2" de diámetro	pza	1	\$164.95	\$164.95
28	codo de PVC unión cementar de 45° de 1/2" de diámetro	pza	1	\$185.73	\$185.73
29	Te sencilla de PVC unión cementar de 1/2 de diámetro	pza	1	\$69.32	\$69.32
30	Abrazadera "u"SC-137 de 1/2" de diámetro	pza	4	\$7.12	\$28.48

Tabla 4.2 (Continuación) Catálogo de conceptos de obra de la planta de biogás

N°	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
	<b>ANCLAJE</b>				
23	Suministro y colocación de juego de 4 anclas de 25mm de diámetro x 1 m de longitud para sujetar base de digestor en basalto	4 pzas	1	\$1,300.00	\$482.15
	<b>IMPERMEABILIZACIÓN</b>				
24	Impermeabilización de tanque a base de concreto, una capa de recubrimiento cementicio, tankote plus y una segunda capa de de recubrimiento impermeable sellokote previa preparación de la superficie.	m <sup>2</sup>	13.13	\$58.47	\$767.71
				<b>TOTAL</b>	<b>\$36,512.14</b>
	<b>CAMPANA DE ACERO</b>				
25	Suministro y montaje de estructura ligera, formada con placas de acero A.36. Incluye: Las placas de acero A-36, descalibre, soldadura, oxígeno, acetileno, pintura anticorrosiva, la mano de obra para el trazo, corte, habilitado, presentación, armado, soldado, esmerilado, retiro del material sobrante, limpieza, aplicación de pintura, carga, acarreo libre horizontal y vertical, montaje, equipo y herramientas necesarias para su correcta ejecución.	m <sup>2</sup>	7.32	\$27.92	\$204.37
				<b>TOTAL</b>	<b>\$204.37</b>
	<b>INSTALACIONES HIDRO-SANITARIAS</b>				
	<b>TUBERIA HIDRÁULICA</b>				
26	Tubo de PVC, con extremos lisos de 1/2" de diámetro. Incluye los tubos, las piezas especiales, limpiador, lubricante, empaques o cemento de contacto, agua para pruebas, la mano de obra para el acarreo, unión de los tubos, colocación de las piezas especiales, limpieza, herramienta y equipo necesario para su correcta ejecución.	m	11	\$130.93	\$1,440.23
27	Codo de PVC unión cementar 90° por 1/2" de diámetro	pza	1	\$164.95	\$164.95
28	codo de PVC unión cementar de 45° de 1/2" de diámetro	pza	1	\$185.73	\$185.73
29	Te sencilla de PVC unión cementar de 1/2 de diámetro	pza	1	\$69.32	\$69.32



Tabla 4.2 (Continuación) Catálogo de conceptos de obra de la planta de biogás

N°	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
30	Abrazadera "u"SC-137 de 1/2" de diámetro	pza	4	\$7.12	\$28.48
31	<b>LIMPIEZA</b>				
32	Fregadero de lámina de acero inoxidable C-110. Incluye: llave de nariz, canasta y cespól de plomo	pza	1	\$1,469.67	\$1,469.67
33	Lavadero con concreto de pileta de 83x 67 cm	pza	1	\$580.38	\$580.38
34	Llave de paso de 1/2"	pza	1	\$188.85	\$188.85
35	<b>TUBERÍA SANITARIA</b>				
36	Suministro y colocación de tubo de polietileno corrugado de 102 mm de diámetro con campana y empaque. Incluye acarreo libre de 20 m bajada al fondo de la zanja, acomodo, alineación, rebabeo, y unión a topo por termofusión.	m	15.61	\$63.11	\$985.15
37	Cama de grava para asiento de ductos. Incluye: acarreo, libre a 20 m	m <sup>3</sup>	0.15	\$207.89	\$30.83
38	Relleno de zanjas para tubería, con material producto de la excavación, arriba de colchón mínimo de 30 cm sobre el lomo del tubo, colocado y compactado en capa de 20 cm con rodillo vibratorio al 905 Proctor, previa incorporación de agua necesaria.	m <sup>3</sup>	0.44	\$58.44	\$26.00
39	colocación de basalto junteado con mortero de cemento arena 1:5 con basalto ya existente	m	11.48	\$70.00	\$803.60
40	Excavación a mano, zona A, clase 1 de 2.01 m a 4 m de profundidad. Incluye: afine, traspaleos y extracción a borde de zanja	m <sup>3</sup>	6.56	\$88.51	\$580.63
				<b>TOTAL</b>	<b>\$6,553.81</b>
	<b>INSTALACIONES DE BIOGÁS</b>				
	<b>CAJA</b>				
41	Construcción de caja tipo 1-1-A de 60m x 60 para manipulación de trampa de agua: Incluye: cimbra, descimbra, acabado común, materiales, herramienta y equipo para su correcta ejecución.	pza	1	\$1,000.00	\$1,000.00

Tabla 4.2 (Continuación) Catálogo de conceptos de obra de la planta de biogás

N°	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
	<b>REJILLA</b>				
42	Instalación de coladera de piso y 1 rejilla de 80 cm de largo x 20cm de ancho. Incluye: materiales manos de obra para el acarreo libre fabricación y colocación del mortero, instalación, emboquillado, limpieza, el equipo y la herramienta necesaria para la correcta ejecución.	pza	6	\$173.96	\$1,043.76
	<b>RELLENO</b>				
43	Relleno de zanjas con material producto de la excavación, compactado al 85% Proctor, con rodillo vibratorio. Incluye: Acarreo libre hasta 20 m, incorporación de agua medio compacto, extendido, nivelación, herramienta y equipo necesario para su correcta ejecución.	m <sup>3</sup>	5.68	\$45.48	\$258.33
	<b>TUBERÍA</b>				
44	Tubo de PVC para gas, con extremos lisos de 1/2" de diámetro. Incluye los tubos, las piezas especiales, limpiador, lubricante, empaques o cemento de contacto, la mano de obra para el acarreo, unión de los tubos, colocación de las piezas especiales, limpieza, herramienta y equipo necesario para su correcta ejecución.	m	35.86	\$130.93	\$4,695.15
45	Codo de PVC unión cementar 90° por 1/2" de diámetro	pza	6	\$28.05	\$168.30
46	Codo de PVC unión cementar de 45° de 1/2" de diámetro	pza	2	\$185.73	\$371.46
47	Te sencilla de PVC unión cementar de 1/2 de diámetro	pza	4	\$69.32	\$277.28
48	Abrazadera "u"SC-137 de 1/2" de diámetro	pza	12	\$7.12	\$85.44
				<b>TOTAL</b>	<b>\$7,899.72</b>
	<b>INSTALACIONES EN LA PLANTA</b>				
49	Tanque de acopio de 200 litros	pza	1	\$210.00	\$210.00
50	Triturador marca InSink Erator SS300 de 3 HP	pza	1	\$7,000.00	\$7,000.00
51	Tubería de 1/2" de PVC	m	0.61	\$130.93	\$79.87

Tabla 4.2 (Continuación) Catálogo de conceptos de obra de la planta de biogás

N°	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
52	Rejilla de seguridad en estructura de tanque	pza	1	\$810.00	\$810.00
53	Instalación de cable				
54	Tanque de salida de 200 litros	pza	1	\$210.00	\$210.00
55	Instalación de cable, calibre 2. Incluye: Instalación, enchufe, herramientas y equipo para su correcta ejecución.	m	10	\$70.00	\$700.00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$9,009.87</b>
				<b>TOTAL NETO</b>	<b>\$107,599.81</b>

Para la ejecución de la planta de biogás se elaboró un programa de obra (Tabla 4.3) para conocer el tiempo de ejecución de la planta de biogás.

Tabla 4.3 Programa de obra de la planta de biogás

Programa de Obra				
Actividad		FEBRERO	MARZO	ABRIL
		20.00%	70.00%	10.00%
Trazo y nivelación	\$118,531.95	█		
Excavación		█		
Rellenos			█	
Cimentación			█	
Cimbra			█	
Muros			█	
Digestor			█	
Losas			█	
Limpieza				█
Impermeabilización				█
Entrega				█

El total neto del catálogo de conceptos solo incluye el costo directo de la obra pero no el costo de presupuesto, para obtener el costo de presupuesto se tiene que incluir el financiamiento, utilidad neta y gastos administrativos, como el proyecto no está hecho por una empresa en sí, no se consideran los gastos administrativos en este presupuesto final.

Para el presupuesto final de la obra (Tabla 4.4) se consideran los costos directos incluidos la mano de obra, materiales y equipo para su ejecución y los costos indirectos que incluyen el financiamiento al 2% y la utilidad a un 8% para la construcción de la planta de biogás.

Tabla 4.4 Presupuesto final de la planta de biogás

<b>Presupuesto</b>			
C.D.	Costos Indirectos		Precio de Venta
	Financiamiento	Utilidad	
\$107,599.81	\$ 2,152.00	\$8,780.14	\$118,531.95

El proyecto final tendrá un costo total de **\$118,531.95**

#### **4.9 Seguridad y salud**

Para la construcción de la planta de biogás se debe tomar en cuenta la seguridad dentro y fuera de la misma y designar a un coordinador en materia de seguridad, encargado de prevenir riesgos de accidentes tanto de los trabajadores como de personas ajenas a la obra.

El coordinador de seguridad debe supervisar las siguientes actividades dentro de la construcción de la planta de biogás:

1. Obra en buen estado en orden y limpia
2. Limitar toda la zona de obra con cinta de seguridad
3. Señalización de las zonas de riesgo
4. Delimitación y acondicionamiento de las zonas de almacenamiento y depósito de los distintos materiales tanto de material de construcción como algún escombros
5. Que el personal de obra cuente con equipo de seguridad en buenas condiciones y siempre vigilar que se use adecuadamente
6. Botiquín de primeros auxilios
7. Extintor en caso de incendio

Para la demolición del concreto donde se ubicará la zanja de las tuberías se usará un martillo demoledor manual y para su buen uso se debe usar protección ocular (lentes especiales), mascarilla anti-polvo, calzado de seguridad antideslizante, casco, guantes y protección para los oídos y como medida preventiva no debe existir presencia de gases o líquidos inflamables ya que el equipo es eléctrico y produce chispas que podrían provocar una explosión.

En cuanto a la excavación debe vigilarse que la zona este bien acordonada y con la señalización adecuada y los trabajadores deben tener cuidado de no resbalarse usando el zapato adecuado antideslizante.

La construcción de la campana de acero requerirá de soldadura así que debe usarse equipo de seguridad que consiste en: guantes de seguridad, pantalla de protección de cara y ojos, mandil de cuero, calzado de seguridad, protección respiratoria. Se debe evitar soldar en lugares encerrados, con la ropa impregnada de algún producto inflamable, ni húmeda ya que podría conducirse la electricidad a través de ella.

Dentro de la obra también se realizarán instalaciones eléctricas para el funcionamiento del triturador e iluminación de la planta. Al instalarse el triturador debe tener espacio suficiente en caso de que necesite ser reparado en algún momento o limpieza del mismo, debe encontrarse en un lugar seguro alejado de la entrada y debe seguirse el manual de uso para evitar accidentes, es preferible que el cableado y la instalación en general este protegida para evitar su deterioro, también los fusibles deben estar dentro de un receptáculo debido a que manejan alto voltaje.

Al finalizar la obra, la planta de biogás debe ser una zona segura, contar con un botiquín, con indicaciones de uso del reactor, manual del triturador y demás accesorios y tener un extinguidor en caso de incendio.

#### **4.10 Impacto ambiental**

Para que la construcción de la planta de biogás sea posible debe tenerse la idea y visión para determinar el lugar adecuado y hacerse la estructura del impacto ambiental durante todo el proyecto desde la selección del sitio donde se construirá la planta, la preparación del sitio, durante la construcción usar materiales de mejor calidad para que en su operación funcione correctamente y al término de su vida útil no produzca daño. La única manera que podría producirse un impacto ambiental negativo es que el reactor sufriera un daño y existiera una fuga del sustrato y del biogás.

El digester como tal cumple una función ecológica ideal ya que recicla los residuos orgánicos que se generan en el restaurante, favoreciendo a que se reduzca la contaminación por generación de residuos y gracias a que estos gases que se generan de los restos de comida no sean expulsados al medio ambiente por lo que una planta de biogás tiene impacto ambiental positivo.

#### **4.11 Aportación social**

La planta de biogás aporta energía renovable, verde y limpia ya que al generarse la degradación anaerobia dentro del reactor ayuda a reducir los efectos negativos de los residuos orgánicos en descomposición expuestos a la intemperie y se obtiene biogás listo para su consumo. Contribuye a la mitigación del calentamiento global al reducir la exposición del metano al ambiente cuyo daño es 21 veces mayor al dióxido de carbono y del óxido nitroso ( $N_2O$ ) el cual tiene efectos negativos de 310 veces mayores al dióxido de carbono, estas emisiones son reducidas en el proceso de degradación anaerobia en un 10 %.

En cuanto al lodo digerido, este puede ser utilizado como fertilizante natural por su alto valor agronómico sin causar efectos dañinos de salud que causan los fertilizantes artificiales y sus industrias productoras que generan emisiones muy dañinas. También debido a su uso constante ayuda a evitar la erosión del suelo, aporta nutrientes, tiene mayor permeabilidad, evita la contaminación por nitratos, reduce olores, no contiene microorganismos patógenos.

En cuanto a los beneficios económicos, la inversión es recuperable en poco tiempo ya después se tiene un beneficio económico al no invertir en gas para el uso en la cocina, además de contribuir a que la vegetación de la zona para que esté en buenas condiciones.

# CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

## 5. Conclusiones

En base a los objetivos propuestos al inicio de este trabajo se ha diseñado la planta de biogás que mitigue el daño ocasionado por la generación de residuos orgánicos del restaurante de la Facultad de Química en Ciudad Universitaria.

Para la propuesta de solución, se concluye que la construcción de la planta de biogás es una solución viable y rentable de acuerdo a lo siguiente:

1. La planta de biogás tiene la capacidad de generar 0.073 m<sup>3</sup>/día de biogás necesario para su demanda energética.
2. Se dejará de invertir \$2,654 al mes por el uso de gas LP
3. Se obtienen beneficios del biogás a por lo menos 25 años de la vida útil de la planta de biogás
4. Se aprovecharán 40 kg/día de materia orgánica, contribuyendo a no exponerla directamente al medio ambiente
5. Se obtendrá lodo digerido suficiente para el riego y recuperación de suelos en áreas cercanas
6. La limpieza del digester es anual
7. El lodo digerido aumenta la producción de la vegetación de un 30% a un 50% y mantiene a la fauna nociva alejada de la vegetación.

Las desventajas del proyecto son:

1. Costo considerable de inversión inicial
2. Uso de energía eléctrica para el triturador
3. Manipulación de 3 a 4 veces por semana de la campana de acero para la mezcla del sustrato y así evitar formación de natas que obstruyen la salida del biogás

En cuanto al procedimiento constructivo, no requiere de gran maquinaria para su ejecución y bastarán algunos trabajadores para cada concepto de obra.

Se considera que los residuos también tienen un ciclo, solo que hay que saber manejarlos para que sean aprovechados de la mejor manera posible y fomentar este tipo de tecnologías que ayuden al medio ambiente y a nosotros mismos ya que no hay basura como tal solo un mal manejo de los residuos.

## REFERENCIAS

- Acuña, M. 1984. Manual técnico para construcción y mantenimiento de digestores. Ed INE. Bogotá, Colombia.
- Álvarez, J.y Caneta, L. 2004. Biomasa y biogás. Editado por Universidad Nacional del Nordeste. Pág. 2-15. Buenos Aires, Argentina.
- Alvarez, R. 2004. Producción anaeróbica de biogás, aprovechamiento de los residuos del proceso anaeróbico. Editado por Universidad Mayor de San Andrés. Pág. 8-30. La Paz., Bolivia.
- Bautista, J. 2011. Historia del biogás. Editado por Metabioresor. Pág. 1-11. París, Francia.
- Biowatts, 2012. Plataforma en línea para los proyectos de degradación anaerobia. Fundador y creador Marani, J. Baden, Alemania.
- CAHSS UNAM, 2004. Manejo de residuos sólidos. Publicación del Comité Asesor de Higiene, Sanidad y Seguridad, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. México.
- Camps, M. y Marcos, F. 2008. Los Biocombustibles. Editado por AEDOS. Pág. 12-280. Madrid, España.
- CFE, 2008. Manual de Diseño de obras civiles, diseño por sismo. Publicación de la Comisión Federal de Electricidad. México, D.F. México.
- Chacón, J. 2007. Tecnología del biogás. Editado por CUBASOLAR. Pág. 9-20. La Habana, Cuba.
- COVINTEC,2012. Manual técnico para la construcción de muros y losas de panel. Publicación de construcción de vivienda tecnológica. México D.F. México
- Crespo, C. 2004. Mecánica de suelos y cimentaciones. Editado por LIMUSA. Pág. 17-41. México D.F. México.
- DALDUR, 2010. Funcionamiento de una planta de biogás. Publicación de Desarrollos Industriales Alternativos. México, D.F. México.
- DGOC, 2006 Manejo del agua en Ciudad Universitaria. Publicación de la Dirección General de Obras y conservación. México, D.F. México.
- DPROYB, 1987. Documentación del Proyecto de biogás. Publicación de la Difusión de la tecnología del biogás en Colombia. Bogotá, Colombia.
- El Universal, 2011. Biogás de Bordo alimentará de energía al metro. Periódico El Universal. México D.F. México.

- ENEREN, 2008. El Burgo tendrá la mayor planta de biogás de España. Publicación Energía y Renovable. Madrid, España.
- Enriquez, G. 2000. El ABC de las instalaciones de gas, hidráulicas y sanitarias. Editado por LIMUSA. Pág. 88-104. México D.F. México.
- Envitec, 2007. La planta más grande del mundo. Publicación de Energía de plantas de biogás. Berlín, Alemania.
- Filigrana, D. 2004. Silos y tanques de concreto reforzado, cálculo estructural simplificado. Editado por Universidad del Valle. Bogotá, Colombia.
- FUCOHSO, 2008. Manual sobre digestores. Publicación de Fundación cosecha sostenible. Tegucigalpa, Honduras.
- García, J. 2008 Manual Técnico de Construcción. Editado por Fernando Porrúa. Pág. 14-234. México, D.F. México.
- GDF, 2012. Tabulador general de precios unitarios. Publicación del gobierno del Distrito Federal. México, D.F. México.
- GODF, 2004. Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Publicado por la Gaceta oficial del Distrito Federal. México, D.F. México.
- Greenpeace, 2012. Como reciclar, reducir y reutilizar en restaurantes. Organización no gubernamental ecologista. Vancouver, Canadá.
- Guardado, J. 2006. Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. Editado por CUBASOLAR. Pág 35-50. La Habana, Cuba.
- Hilbert, J. 2009 Manual para la producción del biogás. Editado por Instituto de ingeniería rural. Pág. 42-57. Buenos Aires, Argentina.
- IDAE, 2007. Biomasa, digestores anaerobios. Publicación del Instituto para la diversificación y ahorro de energía. Madrid, España.
- Ilyas, S. 2006. A case study to bottle the biogás in cylinders as a source of power for rural industries development in Pakistan. *World Applied Sciences Journal*. 27(1):127-130.
- INE, 2012. La evaluación del impacto ambiental. Publicación del Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. México.
- INGAL, 2009. Estudio para la evaluación socioeconómica y ambiental de tres prototipos de digestores en predios de pequeños productores lecheros. Publicación de Ingeniería Alemana. Berlín, Alemania.
- Ludwi, S. 1984. La planta de Biogás: Bosquejo y detalle de plantas sencillas. Editado por Vieweg. Pág. 1-80. Berlín, Alemania.



- Magaña, J., Torres, E. y Martínez M. 2006. Producción de biogás a nivel laboratorio. Editado por Red de revistas científicas de América latina y el Caribe. Pág. 1-37. Guanajuato, México.
- Márquez, E., Incera, R. 2008. Energías Renovables horizontes en México y en el Mundo. Editado por CFE. Pág. 4-118. México D.F. México.
- Martí, N. 2006. Precipitación del fósforo en el proceso de digestión anaerobia. Tesis de licenciatura de Ingeniería Química. Facultad de Química, Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Mendoza, E. 2007 Factores de consistencia de costos y precios unitarios. Editado por FUNDEC. Pág. 12-180. México, D.F. México.
- ONNCE, 2004. Normas Mexicana de Construcción. Publicación del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. México, D.F. México.
- Ortega, M. 2002. Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process. Editado por Dissersation. Pág. 4-50. Florida, EE.UU.
- Sánchez, J. 2003. Energías renovables. Editado por Fundación natura Pag. 97-114. Bogotá, Colombia.
- SEDESOL, 2012. El Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en México. Publicado por la Secretaría de Desarrollo Social. México D.F. México.
- SEMARNAT, 2010. Especificaciones técnicas para el diseño y construcción de digestores en México. Publicación de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. México.
- SEMARNAT, 2012. Impacto Ambiental. Publicación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. México.
- SENER, 2002 Norma Oficial Mexicana NOM-003.SECRE-2002. Publicación de la Secretaría de Energía. México, D.F. México.
- SIMEPRODE, 2007. Una planta de biogás producirá toda la energía del metro de Monterrey en México. Publicado por el Sistema integral para el manejo ecológico y procesamiento de desechos. Monterrey, Nuevo León, México.
- Sosa, R. y Chao, R. 2007. Digestores. Editado por Instituto de Investigaciones Porcinas. Pág. 100-210. La Habana, Cuba.
- STPS, 2012. Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo. Publicación de la Secretaria del Trabajo y Previsión Social. México, D.F. México.
- Tchobanoglous, G. 1994. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Editado por McGraw Hill / Interamericana de España, S.A. Págs. 5-20 Barcelona, España.

- TendTec, 2004. Primer planta del mundo que obtiene biogás de los residuos de las cocinas. Publicación de Tendencias Tecnológicas. Tokio, Japón.
- Weiland, P. 2000. Anaerobic waste digestion in Germany status and recent developments. ***Biodegradation***. 12(1): 415-421