

Enero 2010

# Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México



**SEMARNAT**



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

**SAGARPA**



SECRETARÍA DE AGRICULTURA,  
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,  
PESCA Y ALIMENTACIÓN



---

---

## ÍNDICE

Contenido	Pág
1. Introducción	6
2. Objetivo	6
3. Campo de Aplicación	6
4. Referencias	7
5. Definiciones	9
6. Clasificación	13
7. Especificaciones	13
7.1 Dimensionamiento del Sistema de Biodigestión	13
7.1.1 Determinación de Biomasa	13
7.1.2 Determinación de Flujo Volumétrico del influente	14
7.1.3 Características Físicas, Químicas y Biológicas del Influyente	15
7.1.4 Aspectos Geográficos	17
7.1.5 Selección Tiempo de Retención Hidráulica	17
7.1.6 Volumen del Biodigestor	17
7.1.7 Cálculo de la Producción de Biogás	18
7.2 Construcción del Sistema de Biodigestión	18
7.2.1 Ubicación	18
7.2.2 Separador de Sólidos	19
7.2.3 Fosa de Mezclado	20
7.2.4 Obra Civil del Biodigestor	20
7.2.5 Sistema de Tuberías	22
7.2.6 Sistema de Agitación	24
7.2.7 Colocación puntos de muestreo	24
7.2.8 Colocación de Geomembrana	24
7.2.9 Medidores de Biogás	26
7.2.10 Filtro de retención de Ácido Sulfhídrico	26
7.2.11 Quemador de Biogás	27
7.2.12 Instalaciones Eléctricas	27
7.2.13 Efluentes	32
7.3 Medidas de Seguridad	33
7.3.1 Restricción del Acceso	33
7.3.2 Cerco Perimetral	33
7.3.3 Ubicación del Quemador	34
7.3.4 Señalizaciones	34
7.3.5 Seguridad en el Sistema de Tuberías	34
7.3.6 Instalación de Válvulas de Alivio	35

---

7.3.7 Prevención y Control de Incendios	35
7.3.8 Equipos de Protección Personal y Seguridad Personal	36
7.3.9 Caseta de seguridad planta energía eléctrica	36
7.3.10 Motogenerador	37
7.4 Mantenimiento	37
7.5 Requerimientos de Información para recepción de Proyectos	38
7.5.1 Proyecto Ejecutivo	38
7.5.2 Manuales	41
7.5.3 Protocolos de Pruebas de Calidad y Seguridad del Equipo	41
7.5.4 Garantía de Materiales, Equipos, Sistemas	41
7.5.5 Presentación de Cotizaciones	42
7.5.6 Servicios de Soporte Técnico	42
8. Anexos	44
9. Bibliografía	52

---

## Instancias participantes

Durante el desarrollo de las presentes especificaciones técnicas participaron:

Dependencias Gubernamentales

### **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)**

Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables  
Dirección de Regulación Ambiental Agropecuaria

### **Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación**

Fideicomiso de Riesgo Compartido

### **Empresas Proveedoras participantes durante las reuniones**

Armando Rodríguez Sánchez; Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás; Biogeneradores de México; Centro de Transformación Orgánica, S.P.R de R.L; Constructora de Mecanismo de Desarrollo Limpio, S.A de C.V; Construliner, S.A ; Construtek Edificios Prefabricados S.A de C.V; Environmental Fabrics de México, S.de R.L de C.V; Equipamientos y Suministros Industriales, S.A de C.V; Geo-Productos Mexicanos, S.A de C.V; Geo Proyectos y Diseños Ambientales, S.A de C.V; JIDOKA. Avalon Inmobiliaria; Manufacturas y Mantenimiento Industrial Sánchez Materiales Geosintéticos VASE; Microturbinas de Eco Generación S.A de C.V; MOPESA Motores Power, S.A; M y S Biodigestores; INTERSISA; Plastic-Liners, S.A de C.V; Proyectos Estructuras y Construcciones Civiles, S.A de C.V; Sarlo de México, S.A de C.V; Servicios Ambientales y de Energías Renovables del Centro, S.A de C.V; Suministros y Mantenimiento Avipecuario.

**Especial agradecimiento por su aporte técnico a estas especificaciones, a las siguientes empresas.**

Servicios Ambientales y de Energías Renovables del Centro, S.A de C.V

Environmental Fabrics de México, S.de R.L de C.V

Constructora de Mecanismo de Desarrollo Limpio, S.A de C.V

Geo Proyectos y Diseños Ambientales, S.A de C.V

Equipamientos y Suministros Industriales, S.A de C.V

Biogeneradores de México

Plastic-Liners, S.A de C.V

MOPESA Motores Power, S.A

---

## **1. Introducción**

Las presentes “Especificaciones Técnicas”, han sido elaboradas para asegurar la calidad, durabilidad, rendimiento y la seguridad en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de biodigestión anaerobia tipo laguna cubierta, para tratar los desechos orgánicos y efluentes, provenientes de las granjas porcinas y establos lecheros del país, garantizando también el manejo, y aprovechamiento del biogás producido durante este proceso, para la obtención de energía eléctrica y/o térmica, o en su caso, su destrucción a través de la quema directa.

De esta manera se contribuirá a disminuir al mínimo los impactos ambientales ocasionados por este tipo de actividades.

## **2. Objetivo**

Estas “Especificaciones Técnicas” establecen los criterios de diseño, características de materiales, lineamientos de construcción, operación y mantenimiento, así como los criterios de seguridad para biodigestores tipo laguna cubierta y sus sistemas de aprovechamiento energético, desarrollados y comercializados en la República Mexicana.

## **3. Campo de Aplicación**

Estas “Especificaciones Técnicas”, aplican a los biodigestores tipo laguna cubierta que tratan los efluentes y excretas de los establos lecheros y granjas porcinas y los sistemas de aprovechamiento energético del biogás producido.

Si bien el presente documento está orientado a sistemas de biodigestión tipo laguna cubierta, derivado del interés de empresas que ofrecen otro tipo de tecnologías (modulares, concreto, y otros), se ha estimado conveniente que estas empresas estarán sujetas al cumplimiento de los estándares genéricos establecidos en este documento, y que a mediano plazo, se avanzará en el desarrollo de estándares particulares para cada tipo de tecnología.

---

## 4. Referencias

4.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente.

4.2 Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

4.3 NOM-008-SCFI-1993.- Sistema General de Unidades de Medida.

4.4 Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en Aguas y Bienes Nacionales.

4.5 Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales a los Sistemas de Alcantarillado Urbano o Municipal.

4.6 Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes para las Aguas Residuales Tratadas que se Reúsen en Servicios al Público.

4.7 Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental.- Lodos y Biosólidos.- Especificaciones y Límites Máximos Permisibles de contaminantes para su Aprovechamiento y Disposición final.

4.8 Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de Protección Ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

4.9 Norma Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-1994, Contaminación atmosférica- Fuentes Fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los Niveles Máximos Permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, Bióxido de Azufre y óxidos de Nitrógeno.

4.10 Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (Utilización)

4.11 Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2000, Condiciones de Seguridad – Prevención, Protección y Combate de Incendios en los centros de trabajo”

4.12 Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008.- Equipo de Protección personal- Selección, uso y manejo en los Centros de Trabajo.

---

4.13 Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008.- Colores y Señales de Seguridad e Higiene, e Identificación de riesgos por fluidos en tuberías.

4.14 Norma Oficial Mexicana NOM-029-STPS-2005.- Mantenimiento de las Instalaciones eléctricas en los centros de trabajo.

4.15 Norma Oficial Mexicana NOM-003-SECRE-2002.- Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos.

4.16 Segundo Listado de Actividades altamente riesgosas, emitido por la SEMARNAT.

---

## 5. Definiciones

**Acetogénesis.-** Etapa microbiológica donde los Ácidos Grasos Volátiles (AGV's) y los alcoholes formados en la Acidogénesis, son degradados a acetato, gas carbónico e hidrogeno principalmente, por medio de bacterias fermentativas.

**Acidogénesis.-** Etapa microbiológica donde los aminoácidos, ácidos orgánicos y azúcares producidos en la Hidrólisis, son transformados a alcoholes, dióxido de carbono, hidrógeno y ácidos grasos volátiles (AGV's), mediante microorganismos fermentativos o por oxidantes anaerobios.

**Acido sulfhídrico.-** Acido inorgánico formado por la disolución y disociación en agua del sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). En estado gaseoso se le conoce con el nombre de sulfuro de hidrógeno.

**Acuífero.-** Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas, que pueden ser extraídas para su explotación o aprovechamiento.

**Aguas Subterráneas.-** Agua que se encuentra en el subsuelo, en formaciones geológicas parcial o totalmente saturadas.

**Biogás.-** Gas producto de la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno por acción directa de bacterias metanogénicas. Está compuesto básicamente de gas metano, bióxido de carbono, ácido sulfhídrico, nitrógeno e hidrogeno, entre otros.

**Biodigestión anaerobia.-** Proceso bioquímico de fermentación microbiana de sustancias orgánicas en ausencia de oxígeno.

**Biodigestor Tipo Laguna.-** Elemento que permite la descomposición anaeróbica de la materia orgánica y la formación de biogás.

**Carga del biodigestor.-** Proceso de alimentación de excretas o estiércol

**Caseta de seguridad del motogenerador.-** Construcción que protege a la instalación eléctrica y equipos de aprovechamiento energético del biogás

**Cerca perimetral.-** Elemento de protección colocado alrededor de la instalación del biodigestor y sus periféricos.

**Corona.-** Parte superior y plana del biodigestor.

**Especificaciones Técnicas.-** Conjunto de elementos técnicos que regulan el diseño, construcción y operación de Sistemas de Biodigestión.

---

**Falla Geológica.-** Desplazamientos relativos de una parte de la roca con respecto a la otra, como resultado de los esfuerzos que se generan en la corteza terrestre.

**Filtración.-** Separación de la humedad contenida y depuración del biogás, de las trazas de ácido sulfhídrico que lo contaminan.

**Filtro de retención de ácido sulfhídrico.-** Sistema de depuración del biogás de las trazas de ácido sulfhídrico que lo contaminan.

**Generación de energía eléctrica.-** Proceso de generación de energía eléctrica mediante motogeneradores que utilizan como combustible la mezcla de gases producido por el biodigestor.

**Geomembrana.-** Material sintético utilizado para cubrir la base, las paredes y la parte superior del biodigestor, con objeto de volverlo totalmente hermético y permitir las condiciones anaeróbicas necesarias para su operación.

**Grado Proctor.-** Grado de compactación de los materiales.

**Hidrólisis.-** Reducción de biopolímeros de gran contenido molecular como polisacáridos, lípidos y proteínas a moléculas más sencillas como azúcares simples, ácidos orgánicos y aminoácidos, por acción de enzimas producidas por microorganismos aerobios facultativos, en presencia de agua.

**Infiltración.-** Penetración de un líquido a través de poros o intersticios de un suelo, subsuelo o cualquier material natural o sintético.

**Instalación Eléctrica.-** Conjunto de elementos que conducen, distribuyen, y utilizan la energía eléctrica.

**Kilowatt.-** Unidad de potencia eléctrica, equivalente a 1, 000 Watts.

**Kilowatt-hora.-** Unidad de Energía Eléctrica, equivalente a un Kilowatt en una hora, igual a 3,600 joules.

**Laguna secundaria.-** Elemento para recepción y almacenaje transitorio de los efluentes del biodigestor.

**Manual de Operación.-** Documento que describe las diferentes actividades involucradas en la operación del sistema de biodigestión anaeróbica.

**Medidor de flujo de biogás.-** El instrumento utilizado para cuantificar el volumen de biogás que fluye del biodigestor hacia el quemador o al motogenerador.

**Metanogénesis.-** Etapa final del proceso de biodigestión anaeróbica que implica la conversión de compuestos simples de carbono en metano por la acción de bacterias metanogénicas.

---

**Monitoreo Ambiental.-** Conjunto de acciones para la verificación periódica del grado de cumplimiento de los requerimientos establecidos para evitar la contaminación ambiental.

**Motogenerador eléctrico.-** Dispositivo electromecánico generador de energía eléctrica utilizando el biogás como combustible.

**Quemador.-** Sistema para llevar a cabo la combustión completa del metano, que es generado en el Biodigestor.

**Remoción de lodos.-** Procedimiento empleado para descargar el biodigestor de los sólidos asentados en el proceso.

**Seguridad.-** Protocolo de procedimientos a seguir y equipos a instalar, para evitar accidentes durante la operación del sistema de biodigestión anaeróbica.

**Sistema de recolección de excretas.-** Sistema de tuberías instalado para conducir las excretas de cada edificio al biodigestor

**Sistema de calentamiento del biodigestor.-** Intercambiador de calor que permite inyectar calor al sistema, para mantener una temperatura apta para la producción de biogás.

**Sistema de agitación y extracción de lodos.-** Conformado por una bomba conectada a un cabezal al que están interconectadas las tuberías del sistema de agitación y expulsión de lodos, que provoca turbulencia en todos los espacios de la fosa del biodigestor..

**Sistema de colección de biogás.-** Sistema que colecta el biogás dentro del biodigestor y lo conduce hacia el sistema de manejo de gases.

**Sistema de manejo de gases.-** Equipo que seca, presuriza y cuantifica volumétricamente el flujo del biogás que sale del biodigestor y va hacia el quemador y/o al motogenerador de energía eléctrica.

**Sistema de medición de gases.-** El instrumento utilizado para cuantificar el volumen de biogás que fluye del biodigestor hacia el quemador o al motogenerador.

**Sistema de condensación de humedad.-** Sistema que retira la humedad contenida en el biogás.

**Talud.-** La inclinación de las paredes de la excavación del biodigestor, con respecto al suelo.

**Termofusión.-** Fenómeno de soldado térmico de la geomembrana.

---

**Vida útil.-** Período de tiempo en el que un sistema proceso o material es capaz de dar el servicio para el que fue diseñado, construido o fabricado.

---

## 6. Clasificación

El sistema de biodigestión anaeróbica al cual aplican estas especificaciones técnicas, es el que procesa residuos orgánicos, de manera general, a través de un biodigestor, y en específico, a los biodigestores tipo laguna cubierta.

## 7. Especificaciones

El sistema de biodigestión anaeróbico, consiste de un proceso centralizado de manejo de excretas, las cuales son enviadas a un biodigestor, con un sistema de agitación y remoción de lodos, una laguna secundaria, un sistema de recolección, conducción y utilización del biogás para generación de energía eléctrica y un quemador.

### 7.1 Dimensionamiento del Sistema de Biodigestión

Para el dimensionamiento de los sistemas de biodigestión se considerarán factores, que permitan, en primera instancia, conocer la cantidad real disponible de excretas dentro la unidad productiva, así como una serie de factores que se describirán a continuación, mismos que podrán utilizarse para realizar estimaciones adecuadas de su dimensionamiento, los cuales deberán quedar registrados en las memorias de cálculo que determinen el potencial de producción de biogás del sistema.

Los factores base que deberán considerarse en el dimensionamiento de biodigestores serán:

- Tipo y disponibilidad de la biomasa (excretas porcinas y estiércol bovino)
- Características Físicas, Química y Biológicas de la biomasa
- Aspectos Geográficos de la zona

#### 7.1.1 Determinación de Biomasa

Estos cálculos deberán basarse en la información proveniente de cada caso en particular, por ejemplo, para granjas porcinas, de la estructura y desarrollo de la pira mes con mes, durante el año de operación representativo, en donde se registren los movimientos en la existencia de animales en consideración de los diferentes parámetros zootécnicos, tales como tasas de pariciones, mortalidad, entradas y salidas por compra venta, entre otros. Asimismo, para el caso de establos, la información provendrá de la estructura del hato dentro de la explotación.

Como referencia, la producción de excretas generadas diariamente por animal por etapa, se podrá estimar haciendo uso de la siguiente fórmula:

---

---

$$PE_e = PAE * TDE$$

Donde:

PE<sub>e</sub>: Producción Diaria de Excretas por cerdo por etapa (Kg/día-animal)

PAE: Peso del Animal por Etapa de Desarrollo (Kg/animal)

TDE: Tasa Diaria de Excreción por etapa (%)

El valor de PE<sub>e</sub>, permite estimar la producción diaria total de excretas por etapa, generadas dentro de las unidades productivas, por lo que se establecerá la siguiente relación:

$$PDT = PE * PAT$$

Donde:

PDT: Producción Diaria Total de Excretas por etapa (Kg/día)

PE: Producción Diaria de Excretas por etapa (Kg/día-animal)

PAT: Población Animal (Número de animales por Etapa de Desarrollo)

Con este dato, se procederá a determinar la cantidad total de excretas generadas en la granja, mediante el uso de la siguiente relación:

$$PTU = \Sigma PDT$$

Donde:

PTU: Producción Diaria Total de Excretas en la Unidad Productiva.

Como referencia, en el Anexo 1 de estas especificaciones, se presenta un ejemplo de estimación de biomasa dentro de las unidades productivas.

En caso de que el diseño no considere la producción total de biomasa, se deberá aplicar el factor correspondiente al porcentaje a ser tratado.

La biomasa que entrará al biodigestor, deberá ser fresca, siendo recomendable con menos de 7 días después de su generación, a efecto de que no se ingrese al biodigestor, biomasa con baja carga orgánica.

### **7.1.2 Determinación de Flujo Volumétrico del influente**

Posterior a la estimación de biomasa dentro de la unidad productiva, para el diseño del biodigestor, se deberá considerar el flujo volumétrico que se dispondrá dentro del mismo. Para esto, se identificará la cantidad de agua que se ocupará dentro del sistema. Lo anterior, debido a que la eficiencia del

---

proceso anaeróbico dependerá de una correcta relación agua-contenido de sólidos.

La cantidad de agua disponible para ser utilizada en el diseño del biodigestor, dependerá del sistema de manejo de excretas y estiércoles con el que cuentan las unidades productivas (Golpe de Agua, Escrepa, fosa inundada, manual, entre otros).

En ninguno de los casos, se considerará el uso y aplicación de agua limpia.

Una vez alcanzado el grado de dilución óptima, se deberá evitar la incorporación adicional de agua, a efecto de no provocar una disminución en la materia orgánica a biodegradar, conllevando a una reducción de producción de biogás.

El proveedor diseñará el sistema de biodigestión tomando las consideraciones antes descritas, y asegurará que la estimación del flujo del influente contendrá la relación adecuada agua-sólidos.

Para el caso de los biodigestores tipo laguna se podrá considerar hasta una relación mínima agua sólidos de 3:1 y máxima de 9:1. Para el caso de que el sistema de manejo de excretas y estiércoles, establezca una relación de sólidos mayor, se propondrán aquellos diseños de biodigestores o equipamientos adicionales que garanticen la óptima producción de biogás dentro del Biodigestor (sistemas de recirculación y/o calentamiento, entre otros).

### **7.1.3 Características Físicas, Químicas y Biológicas del Influyente**

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

Entre los principales parámetros a considerar, se encuentran:

- Contenido de Sólidos (Sólidos Totales, Sólidos Sedimentables, Sólidos Volátiles)
- pH
- Temperatura del influente
- Relación Carbono-Nitrógeno
- Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno
- Presencia de Agentes Inhibidores

#### **7.1.3.1 Contenido de Materia orgánica**

Para el diseño del biodigestor, 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 biodigestor.

#### **7.1.3.2 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.

#### **7.1.3.3 Temperatura del influente**

Se deberán tener registros de la temperatura del influente, ya que en conjunto con la temperatura ambiente, será un factor importante para elegir el Tiempo de Retención adecuado de residencia del influente en el biodigestor. Además, su control permitirá mantener la operación del biodigestor en los rangos de diseño.

#### **7.1.3.4 Relación Carbono-Nitrógeno (C:N)**

Para el proceso de biodigestión anaerobia, se deberá considerar la relación de nutrientes encontrada en el influente. Esta puede expresarse en función de la relación carbono-nitrógeno.

Cuando esta relación es más alta ( $C:N > 30:1$ ), 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.

---

### **7.1.3.5 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 biodigestor.

Como orientación, en el Anexo 2, se presentan algunas sustancias químicas y su concentración que hace limitante al proceso de digestión anaerobia.

### **7.1.4 Aspectos Geográficos**

Para el dimensionamiento del biodigestor, se considerarán las condiciones climáticas locales en donde se instalará cada proyecto en específico, como por ejemplo las temperaturas ambientales.

Se deben recopilar y analizar las temperaturas mínimas, medias y máximas del medio ambiente, ya que estas tendrán gran influencia en la selección del tiempo de retención. En base a estos datos se determinará una temperatura media mensual que servirá como base para establecer el Tiempo de Retención adecuado para la eficiente degradación de la materia orgánica.

### **7.1.5 Selección del Tiempo de Retención Hidráulica**

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 nuestro país, se considera que el Tiempo de Retención será de alrededor de 30 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.

### **7.1.6 Volumen del Biodigestor**

Como mínimo, el cálculo del volumen del biodigestor considerará la relación que existe entre el flujo del influente, carga orgánica y el Tiempo de Retención Seleccionado.

---

El volumen del digestor debe ser igual al volumen del material a degradar, multiplicado por el tiempo de digestión necesario y un volumen adicional para el almacenamiento de gas.

### 7.1.7 Cálculo de la producción de biogás

De manera general, el cálculo de la producción de biogás se podrá realizar de acuerdo con la metodología que recomienda el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, en su documento “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, la cual establece la siguiente formula.

$$Y_v = \left[ \frac{B_o * V_s}{R} \right] \left[ 1 - \frac{K}{RM-1 + K} \right]$$

Donde:

$Y_v$  = Producción diaria de metano por volumen de influente, Lt/Lt.

$V_s$  = Concentración de Sólidos Volátiles totales (TVS) en gramos por volumen de influente por día.

$B_o$  = Último rendimiento de metano, Lt/gr de TVS en %

$R$  = Tiempo de retención en días.

$M$  = Tasa máxima de crecimiento microbiano por día.

$K$  = Parámetro cinético, adimensional.

Para el caso de que el proyecto considere su incorporación a programas donde se comercializan bonos de carbono, la producción de biogás tendrá que ser estimada utilizando las metodologías que se consideren en cada uno de los programas de referencia.

## 7.2 Construcción del Sistema de Biodigestión

### 7.2.1 Ubicación

La ubicación para la instalación de un biodigestor, deberá considerar lo establecido en la normatividad ambiental vigente. Dependiendo de la magnitud del Proyecto, la unidad productiva, deberá presentar una evaluación de impacto ambiental o un informe preventivo del mismo, en los términos que indica la Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), y sus reglamentos.

---

Asimismo, para la selección del sitio, la LGEEPA indica que la explotación pecuaria deberá darse de alta como empresa con actividades altamente riesgosas y presentar ante la autoridad ambiental un estudio de riesgo y un programa de prevención de accidentes, en el caso de que el proyecto este diseñado para generar, manejar y usar 500 Kg de metano en adelante, de acuerdo a lo indicado en el “*Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas*”, emitido por la SEMARNAT.

La ubicación física del sistema deberá tomar en consideración diversos factores, tales como el desnivel del terreno, distancias óptimas de la unidad al biodigestor, factores de seguridad, entre otros, lo que permitirá una adecuada operación del sistema.

#### **7.2.1.1 Restricciones para la Ubicación del Sitio**

Se deberán considerar al menos las siguientes restricciones para la ubicación del biodigestor:

- a) Evitar la cercanía de aeródromos de servicio público o aeropuertos.
- b) No ubicarlo dentro de áreas naturales protegidas.
- c) Se deberá instalar a una distancia mínima de 500 m de cualquier núcleo poblacional.
- d) No ubicarlo en zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, zonas arqueológicas, fracturas o fallas geológicas.
- e) La distancia con respecto a cuerpos de aguas superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 m como mínimo.
- f) Se deberá localizar fuera de zonas de inundación.
- g) La ubicación entre el límite del sistema y cualquier pozo de extracción de agua, deberá ser de 500 m.
- h) El manto freático deberá encontrarse a una profundidad mínima de 7 metros.

#### **7.2.2 Separador de Sólidos**

Dependiendo del sistema de manejo de excretas y estiércoles y de la cantidad de material sólido (contenido de fibras y tamaño de los residuos) que puedan encontrarse en el influente, se considerará la instalación de un separador de sólidos antes de ingresar al biodigestor.

---

Lo anterior a efecto de que por el tamaño del sólido se eviten taponamientos en las tuberías, degradación lenta, mayor tiempo de retención, y por ende, mayor tamaño de biodigestor.

### **7.2.3 Fosa de Mezclado**

Se considerará la instalación de una fosa de mezclado que concentre los influentes provenientes de la unidad productiva, ya sea, aprovechando la gravedad o mediante sistemas de bombeo.

Dicha fosa, servirá para monitorear y controlar la relación agua-sólidos que ingresarán al biodigestor.

### **7.2.4 Obra Civil del Biodigestor**

#### **7.2.4.1 Estudio Inicial del Sitio**

Antes de iniciar cualquier actividad, se deberá realizar un estudio de mecánica de suelos que establezca el tipo suelo, materiales y subsuelo que se encuentra en la zona.

#### **7.2.4.2 Excavaciones**

El inicio de la construcción se comenzará con los trazos y nivelaciones del terreno y líneas de influente y efluente.

No se deberá excavar si el manto freático se encuentra a menos de 7 m. En los casos de que el manto freático este a una distancia cercana a la superficie (de 7 a 10 m), el biodigestor se construirá superficial o semienterrado, en un porcentaje que estará en función del tipo de suelo y subsuelo, que garantice la estabilidad al biodigestor.

Para el resto de los casos, se hará la excavación conforme a lo determinado por el diseño de ingeniería.

#### **7.2.4.3 Protección de la base del Biodigestor por generación de gases.**

Si hay evidencia de alto contenido de materia orgánica en el terreno (por ejemplo, en caso de que se esté instalando sobre una laguna existente, la cual ha sido desazolvada), se deberá instalar un sistema de colección de gases en la parte inferior del biodigestor (debajo de la geomembrana), a través de un sistema de drenado de gases que salga sobre la corona del digestor y recorra toda lo largo y ancho de esté para ventearlos.

---

#### **7.2.4.4 Construcción de Taludes**

Los taludes se deberán conformar con pendientes que proporcionen estabilidad duradera acorde al estudio de mecánica de suelos.

Se recomienda, conformar el talud de las paredes del biodigestor en una relación de 1:3 y no mayor de 1:1. (Si los taludes aumentan más de 1:1, las paredes se volverán inestables. y menor de 1:3 se requerirá más espacio no necesario).

Las superficies de los taludes deberán tener una compactación del 90% proctor para garantizar que no exista ningún tipo de protuberancias, evitando con ello daños durante la colocación de la geomembrana.

Dependiendo de la calidad del terreno, si este lo amerita, se deberá instalar un geotextil contra las paredes y el fondo del biodigestor, para protección de la geomembrana.

La parte superior del digestor deberá estar construida sin hacer medios círculos en las esquinas para mejor calidad en las uniones de la geomembrana.

La compactación de los taludes se realizaran empleando técnicas y equipos adecuados al tipo de terreno, de tal forma que se deje la superficie sin bordos o piedras que lastimen a la geomembrana durante su colocación.

#### **7.2.4.5 Corona del Digestor**

Las coronas del digestor deberán tener una compactación del 85% al 90% proctor.

El ancho de la corona, será de un mínimo de 3 m (libre de tuberías, registros, salida de gas, etc.) a cada lado para el tránsito de maquinaria. Una vez construido el sistema, no se deberá realizar maniobras con maquinaria pesada sobre la corona del biodigestor.

Por todo el perímetro del biodigestor, se debe excavar una zanja (aproximadamente de 50 X 90 cm) para el anclaje de la membrana sobre la corona del talud, a una distancia aproximada de un metro desde el inicio de la pendiente del talud interior. En esta “zanja” se fijará y anclará la geomembrana, tanto de la fosa como la de la cubierta. Los materiales con los que se fijé la geomembrana deberán garantizar su estabilidad.

---

Se aplicará un método que evite crecimiento de vegetación sobre la corona. Este procedimiento se podrá hacer únicamente cuando ya esté tapado el digestor al 100% y los registros terminados.

## **7.2.5 Sistemas de Tuberías**

### **7.2.5.1 Tuberías del influente**

La tubería del influente será instalada para conectar tanque de mezclado con la entrada de alimentación del biodigestor.

La tubería será dimensionada en función a las características del gasto diario del influente ( $m^3/hr$ ,  $l/hr$ ), tomando en consideración sus propiedades termodinámicas, físicas, como el tamaño de partículas, cuyos parámetros se utilizarán para el cálculo del diámetro de la tubería, de tal manera que se permita el flujo del gasto establecido en el diseño volumétrico del biodigestor.

El material de la tubería será PVC tipo norma o alcantarillado.

Deberá contar con un registro que permita verificar el flujo y proporcione acceso al interior de la tubería en caso de taponamientos.

La conexión de la tuberías con la geomembrana o sistemas de soporte deberán ser impermeabilizadas con el mismo material de la geomembrana para lograr su fijación y sellado.

La instalación de la tubería se deberá colocar dentro de una zanja sobre una cama de arena nivelada perfectamente, con una pendiente mínima del 1%.

Se protegerá y se rellenará la zanja con material producto de la excavación para la protección de la tubería. y como acabado final se realizará una adecuada compactación.

Cuando en la instalación de la tubería, se requiera hacer cambios de dirección, no se deberá poner codos mayores a  $45^\circ$ . Si fuera necesario hacer giros de  $90^\circ$ , se deberá colocar dos codos de  $45^\circ$  con una separación de 50 cm como mínimo entre cada codo.

Se deberá hacer un registro, en cada desviación o conexión, fabricado de 1m x 1m x 1m de block pulido en el interior, con base de concreto y deberá contar con una tapa de concreto de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , en dos hojas para su fácil manejo para la supervisión.

Para asegurar el sello hidráulico dentro la laguna del digestor, la tubería deberá de tener una inclinación necesaria, la cual se podrá hacer

---

poniendo un tubo con una inclinación de 45° en la parte final, colocándolo 1 metro por debajo del espejo del fluido.

### **7.2.5.2 Tubería de conducción de biogás**

La tubería se debe seleccionar con el espesor de pared suficiente para soportar la presión de diseño del biodigestor, y en su caso, resistir cargas externas previstas.

Cada componente de la tubería deberá de ser diseñada para resistir las presiones de operación y las características termodinámicas del gas, a efecto de que estas operen adecuada y eficientemente en el momento de máxima demanda de biogás.

Para el caso de las tuberías de conducción de biogás, en específico por el contenido de metano que tendrá el sistema, se considerará lo establecido en el apartado 5.1 de la NOM-003-SECRE-2002.

Como referencia, la tubería de conducción de biogás será de PVC, polietileno de alta densidad, polipropileno o cualquier otro material que resista la corrosión con RD 26 o equivalente en diámetros de 3" a 12" dependiendo del volumen de biogás.

Dependiendo del material de estas tuberías, se seguirá lo establecido en los lineamientos considerados en la NOM-003-SECRE-2002, para cada uno de estos materiales.

El diámetro de la tubería también estará en función de la distancia a recorrer desde el punto en el que se origine el biogás hasta el punto en el que se la dará el uso final.

Se deben instalar soportes adecuados que garanticen la inmovilidad de la tubería y en zonas con alto flujo de personal o equipo se deben instalar tuberías subterráneas con la debida señalización.

Se deberán identificar la tubería con color amarillo e indicar el sentido del flujo del biogás.

Se deberán instalar trampas de humedad para remover el agua en todos los puntos bajos o tiros verticales de tubo de conducción de gas.

### **7.2.5.3 Tubería del efluente**

La tubería será dimensionada en función a las características del gasto diario del efluente ( $m^3/hr$ ,  $l/hr$ ), tomando en consideración sus propiedades termodinámicas, físicas, como el tamaño de partículas, cuyos parámetros se utilizaran para el cálculo del diámetro de la tubería,

---

de tal manera que se permita el flujo del gasto establecido en el diseño volumétrico del biodigestor.

#### **7.2.5.4 Tubería de extracción de sólidos**

Se deberá instalar la tubería de extracción de sólidos, para remover el material sedimentado en el interior del digestor debido al proceso, para evitar que se llegue a azolvar y que disminuya el volumen de operación del biodigestor.

Se localizará a 60 cm de profundidad sobre la corona y a 1 m del inicio del talud. Será de tubería de 4" de diámetro, de PVC hidráulico de céd 40 o RD 26.5.

Correrá paralelamente a la pared interior del biodigestor llegando a la plantilla para poder extraer los sólidos de la parte inferior.

Todas las tuberías de extracción de sólidos estarán desplantadas en la plantilla sobre soportes que no dañen la geomembrana de la base. Sobre la corona se dejará una conexión roscada para la colocación de una bomba de preferencia eléctrica, con una capacidad de acuerdo al volumen de lodos a extraer.

#### **7.2.6 Sistema de Agitación**

Se instalarán sistemas de agitación que prevengan la sedimentación y acumulación de sólidos, el taponamiento de tuberías, así como para garantizar perfiles de temperatura constantes dentro del biodigestor, y una eficiente interacción entre microorganismos y el sustrato.

#### **7.2.7 Colocación de puntos de muestreo**

Se deberá contar con puertos de muestreo del influente y efluente del sistema, que permitan verificar temperatura interna, pH, y otros parámetros físico-químicos, durante la operación del biodigestor.

#### **7.2.8 Colocación de geomembrana**

Para los biodigestores, la membrana que se colocará para la hermeticidad del biodigestor, deberá cumplir con las normas descritas en los estándares GM13 y GM 17 del Instituto de Investigación de Geosintéticos (GRI por sus siglas en inglés).

La geomembrana, que se considere utilizar para la implementación de los proyectos, deberá cumplir como mínimo con las siguientes propiedades:

<b>Propiedades mínimas consideradas en la selección de geomembrana</b>		
<b>Propiedad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Nominal</b>
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	940
Resistencia al Desgarre	N	210
Resistencia al Límite Elástico	N/mm	25
Estiramiento al Límite Elástico	%	13
Resistencia a la Rotura	N/mm	43
Estiramiento a la rotura	%	700

Asimismo, el proveedor garantizará que la geomembrana seleccionada resista las condiciones del proyecto, como por ejemplo, características del biogás, presión del biogás, desgaste por radiación ultravioleta, temperaturas ambientales e internas, entre otras.

El instalador deberá presentar certificados de las pruebas de inicio, rendimiento y destructivas (presión de aire y vacío) de acuerdo con los lineamientos o estándares internacionales o en su caso, nacionales a los que sujeten estas geomembranas (estándar GRI-GM, ASTM, entre otros).

Los certificados de calidad de cada rollo entregados por las empresas, deberán ser originales, para comprobar el origen y calidad del material a instalar.

El espesor de la geomembrana que cubrirá la base del biodigestor deberá ser de al menos 60 milésimas de pulgada (1.5 mm) y debe ser igual al de la cubierta, para evitar rupturas en el material más débil, en caso de incrementos de presión por acumulación de biogás.

La vida útil de estas geomembranas deberá ser de más de 20 años, y se deberá garantizar por al menos 10 años.

El trabajo de instalación debe ser ejecutado por técnicos calificados (al menos el responsable del grupo de instaladores), con experiencia probada, de ser posible, certificados por la Asociación Internacional de Instaladores de Geosintéticos (IAGI por sus siglas en inglés).

Durante la instalación, se deben observar todas las recomendaciones de los fabricantes de geomembranas para el despliegue de materiales, como son: temperaturas, resistencias, condiciones climáticas adecuadas, traslape del material de al menos 5 pulgadas para la termo fusión.

Deberá de entregar un reporte de control de calidad al final del proyecto.

---

El tendido del material dependiendo de la geometría del proyecto se deberá realizar, utilizando herramientas especializadas que prevengan daños en la geomembrana.

La soldadura en los traslapes debe ser hecha por el método de termofusión.

Las soldaduras perimetrales entre el revestimiento primario y la cubierta, así como las reparaciones de las soldaduras con defectos, deberán realizarse con soldadura por extrusión.

### **7.2.9 Medidores de biogás**

Los medidores de biogás se instalarán entre el biodigestor y los sistemas de destrucción del gas (quemador y motogenerador). Es recomendable que dichos medidores sean colocados después de los filtros de biogás, para que el propio medidor, quemador y/o motogenerador, no sufran daños por corrosión derivados del Ácido Sulfhídrico.

El equipo deberá cuantificar el flujo de biogás hacia los sistemas de quema y/o aprovechamiento en todo momento de operación del digestor.

El medidor se seleccionará dependiendo de la cantidad de biogás que se produzca en el biodigestor, su ubicación, corriente eléctrica disponible para energización y de la concentración de metano en el biogás.

Se recomienda instalar medidores digitales que cuenten con dispositivos tecnológicos que permitan incorporar y transferir los datos a computadoras (sobre todo para casos de proyectos de comercialización de bonos de carbono).

### **7.2.10 Filtro de retención de Ácido Sulfhídrico**

En aquellos sistemas que realicen el aprovechamiento del biogás para generar energía eléctrica o térmica, se deberá instalar un filtro para la retención del ácido sulfhídrico, debido a que éste ácido es precursor de ácido sulfúrico, mismo que corroe las partes metálicas y acorta el tiempo de vida útil de los equipos.

El tamaño del filtro y su capacidad estará en función del volumen de biogás producido y de la concentración en partes por millón (ppm) del ácido sulfhídrico y se instalará antes del medidor del flujo de biogás y la línea de alimentación en donde se ubique el equipo de generación de electricidad y/o el aprovechamiento térmico (motogenerador, caldera, entre otros).

El filtro se deberá reemplazar con cierta periodicidad, conforme a las indicaciones del fabricante para asegurar que la retención y la concentración

---

del ácido sulfhídrico (ppm) que contiene el gas que está entrando a los equipos de aprovechamiento sea inferior al indicado por los fabricantes de estos equipos.

### **7.2.11 Quemador de Biogás**

El quemador será diseñado en función al flujo de biogás que se considere disponer en este sistema. Tendrá una capacidad de al menos igual a la producción máxima de biogás prevista.

Deberá ser fabricado de preferencia con placa de acero inoxidable (no usar acero al carbón), con un diámetro mínimo de 18". Contendrá un elemento aislante en el interior de la cámara de combustión que resista temperaturas superiores a las que se puedan alcanzar durante la combustión del gas.

La combustión dentro del quemador se debe llevar a cabo en una cámara cerrada que garantice eficiencias superiores al 90%.

Deberá estar equipado con un sistema de encendido automático tal como bujías o electrodos, alimentados por un sistema permanente con suministro de energía eléctrica, como pueden ser paneles solares equipados con baterías y en su caso conectado directamente a la red de suministro convencional. Dichos sistemas deberán garantizar el encendido constante al emitir chispas para ignición del gas cada 2 a 5 segundos.

Además contará con boquillas de alta eficiencia y detectores de flama que aseguren que, en caso de extinción de la flama, se corte el suministro de biogás y se evite así, la posibilidad de explosión.

El quemador que se considere instalar dentro de la unidad productiva, tendrá que estar diseñado para cumplir con los Límites Máximos Permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, que establece la NOM-085-SEMARNAT-1994.

Estos Límites estarán en función de la capacidad del quemador (Mj/h), y de la localización geográfica del Proyecto.

Como referencia, se presenta el Anexo 3, donde se presentan los tipos de contaminantes y sus Límites Máximos Permisibles. Los procedimientos para la determinación de estos contaminantes, se presentan en la NOM-085.

### **7.2.12 Instalaciones Eléctricas**

El diseño, la instalación, los dispositivos, la seguridad y la operación de la instalación eléctrica de aprovechamiento energético del biogás, se deberá apegar a lo especificado en la **“NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas” (utilización)**.

---

Se deberán apegar a lo que indica el Artículo 110 - **Requisitos de las Instalaciones Eléctricas**, inciso **A. Disposiciones Generales**.

En particular a los puntos que se presentan a continuación::

#### **7.2.12.1 Instalación y uso de los equipos**

Los equipos y en general los productos eléctricos utilizados en las instalaciones eléctricas deben usarse o instalarse de acuerdo con las indicaciones incluidas en la etiqueta, instructivo o marcado.

#### **7.2.12.2 Niveles de Tensión**

Los niveles de tensión eléctrica considerados deben ser aquellos a los que funcionan los circuitos de la instalación eléctrica. La tensión eléctrica nominal de un equipo eléctrico no debe ser inferior a la tensión eléctrica real del circuito al que está conectado.

#### **7.2.12.3 Tensión Eléctrica nominal de utilización**

Es el valor para determinados equipos de utilización del sistema eléctrico. Los valores de tensión eléctrica de utilización son:

En baja tensión: 115/230 V; 208Y/120 V; 460Y/265 y 460 V; como valores preferentes.

#### **7.2.12.4 Conductores**

Los conductores normalmente utilizados para transportar corriente eléctrica deben ser de cobre.

#### **7.2.12.5 Aislamiento**

Todos los cables deben instalarse de modo que, cuando la instalación esté terminada, el sistema quede libre de cortocircuitos y de conexiones a tierra distintas de las necesarias.

#### **7.2.12.6 Ejecución mecánica de los trabajos**

Los equipos eléctricos se deben instalar de manera limpia y profesional. Si se utilizan tapas o placas metálicas en cajas o cajas de paso no metálicas éstas deben introducirse como mínimo 6 mm por debajo de la superficie externa de las cajas.

---

## 7.2.12.7 Montaje y enfriamiento de equipo

### 7.2.12.7.1 Montaje

El equipo eléctrico debe estar firmemente sujeto a la superficie sobre la que vaya montado, para evitar vibraciones y transferencias de éstas a otros equipos.

### 7.2.12.7.2 Enfriamiento

El equipo eléctrico que dependa de la circulación natural del aire y de la convección para el enfriamiento de sus superficies expuestas, debe instalarse de modo que no se impida la circulación del aire ambiente sobre dichas superficies por medio de paredes o equipo instalado al lado.

**7.2.12.7.3** El equipo diseñado para su montaje en el suelo, debe dejarse a una distancia que permita la disipación del aire caliente que circula hacia arriba entre las superficies superior y las adyacentes. El equipo eléctrico dotado de aberturas de ventilación debe instalarse de modo que las paredes u otros obstáculos no impidan la libre circulación del aire a través del equipo.

## 7.2.12.8 Generador Eléctrico

El generador eléctrico, deberá cumplir con las especificaciones indicadas en el “**Artículo 445 – Generadores**” de la “**NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas**” (utilización).

También con lo indicado en el “**Artículo 705-Fuentes de Producción de Energía Eléctrica Conectada**”, de la misma norma, cuyo alcance cubre la instalación de una o más fuentes de generación de energía eléctrica que operan en paralelo con una o más fuentes primarias de electricidad.

### 7.2.12.8.1 Protección contra sobrecorriente

Los generadores deben estar protegidos por diseño contra sobrecargas, basándose en interruptores automáticos, fusibles, u otro medio aceptable que proporcione adecuada protección contra sobrecorriente.

---

#### **7.2.12.8.2 Capacidad de conducción de corriente de los conductores**

La capacidad de conducción de corriente de los conductores de fase que van desde las terminales del generador hasta el primer dispositivo de protección de sobrecorriente, no debe ser menor del 115% de la corriente eléctrica de placa nominal del generador.

#### **7.2.12.8.3 Características de la energía generada**

Las características de la energía generada por el generador del sistema de biodigestión, debe ser compatible con la tensión eléctrica, la forma de la onda y la frecuencia del sistema al cual esté conectado.

#### **7.2.12.8.4 Sistema de sincronización**

Se deberá contar con un mecanismo de sincronización manual o automático, para permitir la interconexión entre el generador y la red, siempre que se pretenda trabajar interconectado a la red de suministro de CFE. Este mecanismo permitirá que la interconexión se haga a la misma frecuencia, el mismo voltaje y la misma secuencia de fases.

#### **7.2.12.8.5 Desconectadores**

Las especificaciones de los interruptores y desconectadores, se establecen en el artículo 380 de la **NOM-001-SEDE-2005**.

#### **7.2.12.8.6 Sistema de protecciones**

Con objeto de garantizar el correcto funcionamiento de la instalación, y proteger el generador y demás equipos eléctricos, se deberá disponer de al menos las protecciones siguientes:

##### **7.2.12.8.6.1 Protecciones de Interconexión**

- Interruptor automático (52).- Para desconexión de la red por accionamiento de algún relevador de protección
- Relevador de baja tensión (27).- Para detectar baja tensión.
- Relevador de sobre tensión (59)
- Relevador de frecuencia (81)
- Tres relevadores de sobre corriente (50-51)

---

### **7.2.12.9 Sistema de alambrado**

El método de alambrado, las canalizaciones y número de conductores, se deberá apegar a lo indicado en el capítulo 3 de la **NOM-001-SEDE-2005**.

### **7.2.12.10 Cargas Eléctricas**

Se debe de evaluar las cargas eléctricas que serán alimentadas por el o los motogeneradores, con objeto de dimensionar correctamente el sistema, considerando que ciertos equipos o dispositivos demandan hasta 5 veces su corriente nominal en el arranque.

### **7.2.12.11 Balanceo entre líneas**

Las cargas que se conecten al motogenerador, deberán estar balanceadas, evitando en su caso, que entre ellas exista un desbalanceo mayor al 10%.

### **7.2.12.12 Puesta a tierra de los equipos**

#### **7.2.12.12.1 Puesta a tierra para todas las tensiones eléctricas**

De acuerdo con la **NOM-001**, en su artículo 430-141, se deberán poner a tierra las partes metálicas expuestas no conductoras de motores y de sus controladores para impedir una tensión eléctrica más elevada con respecto a tierra, en el caso de un contacto accidental entre las partes vivas y los armazones y/o gabinetes. El aislamiento eléctrico, separación o resguardos son alternativas adecuadas de la puesta a tierra de motores en ciertas condiciones.

Se deberán considerar las disposiciones generales establecidas en el artículo 250.

### **7.2.12.13 Apartarrayos**

De acuerdo con el artículo 280 y sus incisos, se deberá instalar un sistema de apartarrayos, en función de las características de la instalación, para protegerla a través de limitar las sobretensiones transitorias descargando o desviando la sobrecorriente así producida, y evitando que continúe el paso de la corriente eléctrica, capaz de repetir esta función y así evitar accidentes al personal, daños a los equipos e instalación y riesgos de incendio y explosión.

---

## 7.2.13 Efluentes

### 7.2.13.1 Aguas Residuales

El proyecto deberá de considerar, la construcción de una laguna secundaria que capte los efluentes resultantes del biodigestor, con una capacidad igual al volumen de agua saliente del sistema, con objeto de aumentar el tiempo de retención del flujo del efluente para su tratamiento adicional que permita el mejoramiento de su calidad.

Cuando las aguas residuales y lodos provenientes del Biodigestor, tengan como destino su descarga a cuerpos de agua considerados como bienes nacionales ó sistemas de alcantarillado urbano y municipal ó su aprovechamiento para riego o fertilización, deberán cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP's) de contaminantes, establecidos en las normas ambientales mexicanas vigentes en esta materia.

Para el caso de que las descargas de aguas residuales sean destinadas a ríos, embalses naturales y artificiales, aguas costeras, humedales naturales y su uso en riego agrícola, los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes Básicos, Metales Pesados, contenidos de patógenos y parásitos, serán los que se indican en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Como referencia, en el Anexo 4 del presente documento, se presentan los contaminantes y sus LMP's que se deberán considerar para la descarga de efluentes en los cuerpos de agua de referencia.

Los métodos de muestreo, el número de muestras y metodologías para el análisis de los contaminantes indicados, se encuentran establecidos en la NOM-001-SEMARNAT.

Cuando los efluentes provenientes del biodigestor se destinen a sistemas de alcantarillado urbano o municipal, los contaminantes que deben considerarse y sus LMP's, se indican en la NOM-002-SEMARNAT-1996.

Dentro del Anexo 5 de estas especificaciones, se presentan los contaminantes y sus LMP's que se considerarán en este caso.

Por otro lado, si las descargas de aguas residuales provenientes del biodigestor, se reusaran en servicios al público, la concentración límite de contaminantes que deberán contener esas aguas, serán los establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997. Los LMP's para estos contaminantes, se presentan en el Anexo 6 de este documento.

---

### **7.2.13.2 Lodos Residuales**

Cuando los lodos residuales del biodigestor se dispongan y/o aprovechen, su utilización deberá hacerse bajo los procedimientos estipulados en la NOM-004-SEMARNAT-2002.

La clasificación de los lodos estará en función de los LMP's de los metales pesados, cantidad de coliformes fecales, presencia de *Salmonella*, y cantidad de Huevos de Helminto.

La aplicación de los lodos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos se sujetará a lo establecido en la Ley Federal de Sanidad Vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia.

Los sitios para la disposición final de lodos y biosólidos, serán los que autorice la autoridad competente, conforme a la normatividad vigente en la materia.

En el Anexo 7, se presenta como referencia los LMP's de metales pesados, su contenido de patógenos y el aprovechamiento de lodos y biosólidos en función a su clasificación.

Las metodologías de muestreo y análisis para determinar las características y el tipo de lodos, se presentan en la NOM-004.

## **7.3 Medidas de Seguridad**

### **7.3.1 Restricción del Acceso**

Se deberá restringir el acceso al digestor desde el momento de la excavación de la laguna para proteger a la superficie ya preparada e impermeabilizada, evitando que se dañe la geomembrana instalada.

Así también se deberá restringir el acceso al momento del llenado, tanto a personas como a animales, ya que cualquier superficie impermeabilizada con geomembranas se vuelve resbalosa, especialmente si está mojada.

### **7.3.2 Cerco Perimetral**

Una vez terminado el digestor se debe instalar un cerco perimetral (por ejemplo de malla ciclónica, reja o paredes), para evitar que personal no autorizado o animales accedan al digestor.

El cerco perimetral, deberá ser por lo menos de 2 metros de altura, y se colocaran letreros de aviso de restricción de acceso en puertas de entrada.

---

Si el digestor está dentro de las instalaciones de la granja de manera tal que el acceso es limitado, sólo será necesario construir un cerco alrededor del sistema de manejo de biogás para proteger el equipo de medición y quema de biogás.

### **7.3.3 Ubicación del Quemador**

Los quemadores se deben instalar sobre una plataforma estable metálica o de concreto localizada lo suficientemente alejada del digestor y de cables o tuberías aéreas. La distancia mínima recomendada para la instalación del quemador es a 30 metros del digestor.

### **7.3.4 Señalizaciones**

Además de una señal de acceso restringido en el digestor y el sistema de manejo de biogás, Se deberá instalar anuncios visibles en las áreas de seguridad que indiquen las siguientes leyendas “PELIGRO: GAS ALTAMENTE INFLAMABLE” y “SE PROHIBE FUMAR”.

### **7.3.5 Seguridad en el Sistema de Tuberías**

Se deberá instalar en las tuberías de entrada o de salida de residuos, sellos hidráulicos, que eviten la fuga del gas del interior del biodigestor por la tubería cuando el volumen baja de nivel, y la tubería queda en contacto directo con el gas.

Se deberá dar mantenimiento al sistema de tuberías a efecto de que el color, la señalización y la identificación de las mismas permitan su visibilidad y legibilidad permanente.

Las señales de seguridad e higiene deberán ubicarse de tal manera que puedan ser observadas e interpretadas por los trabajadores a los que estén destinadas, evitando que puedan ser obstruidas.

Las tuberías de conducción de biogás y lodos residuales, deberán identificarse con el color de seguridad correspondiente dado por la Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008.- Colores y Señales de Seguridad e Higiene, e Identificación de riesgos por fluidos en tuberías.

Para el caso del biogás, la tubería deberá ser de color amarillo, indicativo de que se trata de un fluido con características inflamables, explosivos y de alta presión, que es considerado como un fluido “Peligroso”.

Se deberá colocar una flecha que indique la dirección del flujo dentro de la tubería, de tal forma que sea visible desde cualquier punto de las zonas donde se encuentra toda la red de tuberías. El color de esta flecha deberá contrastar con el de la tubería con objeto de poder ser identificada con claridad.

---

Se colocará en la tubería leyendas que identifiquen las características del fluido. (Como referencia, para el caso del biogás se colocaran leyendas alusivas a las propiedades en las que se encuentra el fluido, por ejemplo “TÓXICO”, “INFLAMABLE”, entre otros). La proporción del tamaño del texto con respecto al diámetro de la tubería se expresa en la Norma.

La ubicación de tubería subterránea de gas será marcada con señales para prevenir accidentes o rupturas.

### **7.3.6 Instalación de Válvulas de Alivio**

Se deberán instalar válvulas de alivio que liberen automáticamente el gas a la atmosfera cuando el digestor alcance una presión determinada eliminando así el riesgo de desgarre de la membrana o desanclaje del sistema. Este sistema puede ocasionar la pérdida del gas, pero mantiene la integridad del digestor.

### **7.3.7 Prevención y Control de Incendios**

Se deberá determinar el grado de riesgo de incendio, de acuerdo a lo establecido en la NOM-002-STPS-2000, con objeto de identificar las zonas donde se deben de instalar extintores.

Para el biodigestor, se deberá Instalar equipos contra incendio, tipo A y en el caso de las áreas eléctricas, instalar equipo tipo C (NOM-002).

Cuando se tenga que trabajar cerca del biodigestor, sus tuberías, o quemador, y con equipos que puedan producir una chispa, se deberá colocar el equipo a contraviento del área de trabajo y lo más alejado posible.

Se deberá cuidar que no existan filtraciones de fluidos explosivos o corrosivos que puedan dañar la membrana de la cubierta, ocasionando fuga de biogás y el riesgo de un incendio.

Una vez construido el digestor, se deberá informar a los empleados de granjas e instalaciones vecinas, de la ubicación del digestor, para prevenir que dentro de sus actividades eviten las quemas controladas o un incendio que pueda alcanzar el digestor.

Como medida de prevención y seguridad, se recomienda instalar un equipo arresta flamas de acero inoxidable en la tubería de alimentación del quemador, para evitar el riesgo de incendio. También se instalará una válvula térmica a la salida del biodigestor para cierre del suministro de gas 5 segundos después de haber detectado un incremento en la temperatura de la tubería.

---

Se deberá capacitar al personal de operación del sistema en procedimientos de seguridad y combate contra incendios.

### **7.3.8 Equipos de Protección y Seguridad Personal**

Se deberá suministrar a los operadores los aditamentos necesarios para trabajar con seguridad dentro de las instalaciones del biodigestor y las áreas de aprovechamiento energético.

En las aéreas de servicios, (calderas), y planta de generación de energía, deberán portar casco, overol y zapatos de seguridad.

Overol; respirador contra gases y vapores, o en su caso mascarilla que evite el contacto directo con los gases; guantes para la operación del sistema, y calzado adecuado para la realización de las actividades concernientes a la operación y mantenimiento del biodigestor.

Cuando se requiera trabajar sobre la geomembrana del biodigestor, se hará en parejas (por ejemplo, remoción del agua de lluvia u otros trabajos), con objeto de garantizar la seguridad de los trabajadores. En este sentido, estos trabajadores deberán portar el equipo necesario para realizar estas actividades (chalecos salvavidas, arneses, cuerdas de salvamento, entre otros).

No se recomienda subir a la geomembrana inflada con calzado inapropiado para evitar rasgaduras. En ese sentido, al trabajar sobre la cobertura del biodigestor, será con zapatos de suela lisa o de goma y se deberán usar prendas antiestáticas como el algodón.

En caso de Inhalación accidental de una alta concentración de biogás, se deberá suministrar atención médica de forma inmediata. Trasladar la víctima a un área no contaminada para que inhale aire fresco; mantenerla caliente y en reposo. Si la víctima no respira, administrarle oxígeno suplementario o respiración artificial.

### **7.3.9 Caseta de Seguridad para la planta de generación de energía eléctrica**

El motogenerador y las instalaciones eléctricas para su funcionamiento y operación deberán ubicarse en una caseta de seguridad que limite el acceso a personas ajenas.

El tubo de escape del motogenerador deberá ser canalizado hacia el exterior de la caseta, mediante una chimenea para evitar la inhalación de gases tóxicos por el personal que opere dentro de estas instalaciones.

---

La caseta del sistema de generación eléctrica, se deberá situar a no menos de 30 m del biodigestor y en ella deberá colocarse un anuncio que indique la siguiente leyenda “PELIGRO: RIESGO DE DESCARGAS ELÉCTRICAS”.

Esta área debe ser restringida y sólo debe tener acceso personal autorizado.

### **7.3.10 Motogenerador**

Para evitar riesgos de accidentes en la operación de la planta de generación de energía eléctrica, se deberá atender lo establecido en el manual de operación del equipo.

Previo al arranque del equipo, deberá verificarse que no existan fugas del refrigerante o aceite, que no estén bloqueadas las partes móviles, y que no exista obstrucción enfrente del radiador, ni a la salida de los gases de escape.

Si se van a realizar actividades de mantenimiento, es importante desenergizar totalmente el equipo, cerrando el paso del biogás, desconectando el interruptor principal y el cable del polo negativo de la batería.

Se deberá contar dentro de la caseta con un extintor ABC, especial para incendios en instalaciones eléctricas.

## **7.4 Mantenimiento**

### **Biodigestor**

**7.4.1** Se deberá realizar inspecciones periódicas del estado de la cubierta, buscando detectar fugas, rasgaduras y daños en general.

**7.4.2** Se deberá realizar una remoción de basura y escombros arrastrados por el viento.

**7.4.3** Se eliminará inmediatamente cualquier acumulación de agua de la cubierta.

**7.4.4** Se realizará periódicamente la extracción de los lodos acumulados en la parte baja del biodigestor para evitar el azolvamiento y la operación incorrecta.

**7.4.5** Se realizará el mantenimiento programado de motogenerador, bombas, sopladores y todos los equipos, de acuerdo a las recomendaciones de los proveedores.

**7.4.6** Se deberá realizar la regeneración o sustitución de filtros de acuerdo a las indicaciones del proveedor o fabricante.

---

**7.4.7** Se hará una inspección diaria de tuberías, válvulas y equipo de medición, para detectar a tiempo cualquier daño que presenten y en caso de haberlo, instrumentar las acciones necesarias para su inmediata reparación.

**7.4.8** Verificar que la tubería de conducción del biogás al motogenerador no presente fugas.

**7.4.9** Se debe verificar que las trampas de condensación de humedad no se hayan saturado.

**7.4.10** Revisar que la válvula solenoide de corte de combustible, funcione correctamente, y hacerle limpieza y ajuste periódicamente.

**7.4.11** Los fabricantes de todos los equipos instalados deberán entregar recomendaciones a los operadores del sistema, que incluyan programas de inspección a puntos específicos a verificar.

## **7.5 Requerimientos de Información para recepción de los Proyectos**

Las propuestas que presenten las empresas proveedoras, deberán de considerar como mínimo, los siguientes puntos:

### **7.5.1 Proyecto Ejecutivo**

Se deberá presentar un Proyecto Ejecutivo, que contemple los aspectos siguientes:

**7.5.1.1 Descripción General del Proyecto**, en donde se detalle el tipo de unidad productiva, la ubicación del Proyecto, zona geográfica, condiciones climatológicas. Asimismo deberá describir las condiciones de operación de la unidad, la potencialidad para la instalación de un sistema de biodigestión y/o sistemas de autogeneración de energía eléctrica a partir de biogás, así como el objetivo general y específicos del Proyecto.

### **7.5.1.2 Bases de Diseño**

En este apartado deberán describirse los sistemas de producción de la unidad productiva donde se desarrollará el proyecto, sistemas de manejo de excretas, tipos de alimentación, características físicas, químicas y biológicas del influente y demás factores que intervengan en el cálculo de cada uno de los componentes del sistema de biodigestión y/o motogenerador.

Bajo este contexto, se deberán incluir todas las memorias de cálculo utilizadas para el diseño del sistema, como por ejemplo, formulas para calcular el volumen del biodigestor, producción y uso de biogás dentro de la unidad, dimensionamiento de laguna secundaria, fosa de mezclado,

---

sistemas de tuberías, sistemas de agitación, quemadores, motogenerador, entre otros.

Las bases de diseño, considerarán la medición de los beneficios e impactos potenciales del proyecto, comparando la situación actual de la unidad con la situación esperada por la implementación de este sistema.

Estos beneficios estarán en función del alcance del proyecto, y podrán ser reflejados en disminución de concentración contaminante de aguas residuales, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y/o generación de energía eléctrica.

#### **7.5.1.3 Diagramas de Proceso**

Una vez determinadas las bases para el diseño del sistema, se procederá a describir las operaciones unitarias que formaran parte del proceso, considerando cada uno de los componentes a incorporar en el biodigestor.

Dentro del proyecto ejecutivo se presentará un diagrama general de procesos, donde se establezca el tren de operaciones unitarias considerado en el Proyecto.

#### **7.5.1.4 Estudios Previos**

Se deberán de presentar estudios que avalen la implementación del Proyecto, como por ejemplo, estudios de mecánica de suelos, estudio topográfico, estudios de impacto ambiental, entre otros.

#### **7.5.1.5 Diagramas de Flujo**

Se presentarán los diagramas de flujo del proceso, identificando el equipo involucrado en el proyecto, así como sus interconexiones, líneas de flujo principales, condiciones de temperatura y presión, zonas de toma de muestras, así como balances de materia y energía.

#### **7.5.1.6 Diagrama de Tubería e Instrumentación**

Se presentará el Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI), donde se muestren las líneas de flujo del proceso con los detalles de equipos, tuberías, válvulas, instrumentos de control, entre otros, conforme lo establecido en la Ingeniería del Proyecto.

---

### **7.5.1.7 Balances de Materia y Energía**

Se considerará el balance de materia y energía planteado para el diseño del sistema, conforme en lo presentado en el diagrama de flujo de proceso.

El balance de materia incluirá flujos másicos y equivalencias volumétricas para cada fase de las corrientes de proceso.

El balance de energía considerará las entalpías para cada corriente donde se involucre la generación o adición de calor.

### **7.5.1.8 Planos de Localización del Proyecto**

Se incorporará un plano y un diagrama de distribución de planta (Layout), de las componentes del sistema de biodigestión.

Esta distribución deberá considerar aspectos de operación, de mantenimiento, seguridad y económicos.

### **7.5.1.9 Especificaciones Técnicas de Equipos, tuberías e instrumentos**

Se presentarán las especificaciones técnicas de cada uno de los componentes que considera el sistema de biodigestión, por ejemplo

- Especificaciones técnicas para la construcción del Biodigestor y obras auxiliares
- Especificaciones técnicas para el motogenerador
- Especificaciones técnicas del sistema de tuberías
- Especificaciones técnicas de instrumentos de control
- Especificaciones técnicas de bombas y válvulas y equipos auxiliares
- Especificaciones técnicas de la geomembrana
- Especificaciones técnicas de los sistemas de medición y control.

**7.5.1.10 Lista de Equipo**, en donde se dé a conocer el listado de todos los equipos, componentes y sistemas que integrarán al Proyecto.

### **7.5.1.11 Evaluación Económica del Proyecto**

Se considerarán todas las inversiones a realizar durante la implementación del proyecto, junto con la evaluación económica del mismo.

---

### **7.5.1.12 Información Adicional**

Se describirá aquella información complementaria a los puntos anteriores y que es de relevancia para la implementación del Proyecto.

### **7.5.1.13 Conclusiones y recomendaciones generales**

## **7.5.2 Manuales**

Junto con el Proyecto Ejecutivo, se deberán entregar manuales e instructivos para cada etapa del sistema de biodigestión, en función a su operación, mantenimiento y seguridad.

### **7.5.2.1 Manual de Operación**

Se deberá contar con un manual de operación que describa cada una de las actividades y procedimientos a desarrollar para cada etapa del diseño, construcción y operación del sistema de biodigestión.

Se detallarán procedimientos e instructivos de arranque, operación y finalización de equipos para una correcta operación de los mismos.

Dentro del Manual de Operación, deberán estar descritas las medidas de seguridad, mismas que deberán estar en concordancia con lo establecido en estas especificaciones y con las normas vigentes aplicables en la materia, incluyendo además los procedimientos para atender condiciones de riesgos laborales y accidentes potenciales durante la operación del sistema, por ejemplo, en caso de incendios o explosiones, en caso de intoxicación por gases, contener listados de equipo de seguridad personal, entre otros.

Se deberán incluir procedimientos de mantenimiento de las diferentes componentes, sistemas y equipos contemplados en el proyecto, considerando esquemas de acciones preventivas y correctivas en el sistema, estableciendo los periodos y tipo de mantenimiento de cada una de las componentes del sistema de biodigestión.

### **7.5.3 Protocolos de Pruebas de Calidad y Seguridad del Equipo**

Se presentarán los procedimientos de pruebas de arranque para asegurar la calidad, operación y seguridad de los diferentes equipos que se instalarán.

### **7.5.4 Garantía de Materiales, Equipos, Sistemas**

Se deberá hacer entrega de las garantías de materiales, equipos y sistemas que serán utilizados en el sistema de biodigestión.

---

### **7.5.5 Presentación de propuesta económica**

Las empresas presentaran sus propuestas económicas, desglosando las cotizaciones de equipos, conceptos de inversión y precios unitarios de cada uno de los materiales, equipos y trabajos que serán utilizados en el sistema de biodigestión.

### **7.5.6 Servicios de Soporte Técnico**

Las propuestas presentadas por las empresas proveedoras, deberán contar con componentes de servicios de soporte técnico para garantizar la correcta operación del proyecto.

#### **7.5.6.1 Garantías del Proveedor de Biodigestores**

El proveedor deberá presentar previamente las condiciones del contrato a celebrar con el usuario, en donde se especificarán las garantías que ofrece la empresa, las que se acompañan con los sistemas (por ejemplo, garantía física del equipo, garantía de funcionamiento, mantenimiento, etc.); así como otros aspectos que la empresa establece con sus clientes (por ejemplo, especificaciones técnicas de cada uno de los componentes, condiciones de mantenimiento, tiempos de entrega, entre otros).

#### **7.5.6.2 Capacitación al personal de la unidad productiva**

El proveedor contemplará esquemas de capacitación para el personal responsable del equipo dentro de la unidad productiva, a efecto de garantizar el buen funcionamiento del biodigestor

Esta capacitación incluirá aspectos de operación, mantenimiento y seguridad de los diferentes componentes y será apoyada con manuales, instructivos, diagramas y pruebas en campo.

#### **7.5.6.3 Visitas de Inspección**

El personal técnico de las empresas proveedoras presentará un cronograma de actividades para realizar visitas de inspección de las acciones del Proyecto.

Llevará registros de cada una de estas visitas de supervisión e inspección, y las sustentará en bitácoras de control y evidencia gráfica del avance de las acciones.

#### **7.5.6.4 Servicios Post-Venta**

La empresa proveedora considerará servicios post-venta dentro de las propuestas a la unidad productiva.

---

Estos servicios incluirán asistencia técnica del sistema (mantenimiento, orientación a unidades productivas sobre problemas potenciales del sistema), entre otros

El tipo y periodo de estos servicios se presentarán en el contrato o garantía entre el proveedor y la unidad productiva.

## 8. Anexos

### Anexo 1.- Ejemplo de la estimación de producción de excretas dentro de las Unidades Productivas

Como referencia, se presenta un ejemplo de una granja porcina, cuya población animal se encuentra conformada de la siguiente manera.

Etapa	Tipo de Cerdo	Población Porcina	(%) por Etapa
Reproducción	Hembras Lactantes	80	2
	Hembras Gestantes	410	8
	Hembras Secas	68	1
	<b>Número de Vientres</b>	<b>558</b>	<b>11</b>
	Sementales	3	0
	Lechones	595	11
	<b>Subtotal</b>	<b>1,156</b>	<b>22</b>
Cría	Destetes	1,200	23
	<b>Subtotal</b>	<b>1,200</b>	<b>23</b>
Finalización	Crecimiento	1,915	36
	Finalización	1,000	19
	<b>Subtotal</b>	<b>2,915</b>	<b>55</b>
<b>Total Población Porcina</b>		<b>5,271</b>	<b>100</b>

Como primer paso, se deben de considerar los pesos promedio de los cerdos para cada una de las etapas con las que cuenta la granja. Para este ejercicio, se consideraron los siguientes datos:

Etapa	Tipo de Cerdo	Población Porcina	Peso Promedio (Kg)
Reproducción	Hembras Lactantes	80	191
	Hembras Gestantes	410	182
	Hembras Secas	68	150
	<b>Número de Vientres</b>	<b>558</b>	
	Sementales	3	163
	Lechones	595	2.7
	<b>Subtotal</b>	<b>1,156</b>	
Cría	Destetes	1,200	14.6
	<b>Subtotal</b>	<b>1,200</b>	
Finalización	Crecimiento	1,915	40
	Finalización	1,000	77.5
	<b>Subtotal</b>	<b>2,915</b>	
<b>Total Población Porcina</b>		<b>5,271</b>	<b>51.94</b>

Con estos datos y utilizando factores de tasas diarias de excreción por etapa, es posible determinar la producción de excretas generadas diariamente por animal por etapa.

Para lo anterior se utiliza la siguiente formula.

$$PEe = PAE * TDE$$

Donde:

PE<sub>e</sub>: Producción Diaria de Excretas por cerdo por etapa (Kg/día-animal)

PAE: Peso del Animal por Etapa de Desarrollo (Kg/animal)

TDE: Tasa Diaria de Excreción por etapa (%)

Aplicando la fórmula para cada etapa, se obtienen los siguientes resultados:

Tipo de Cerdo	Peso (Kg)	Tasa diaria de excreción por etapa (% Peso Vivo)	Producción Diaria Excretas por Cerdo por etapa (Kg)
Hembras Lactantes	191	8.08%	15.43
Hembras Gestantes	182	3.35%	6.10
Hembras Secas	150	5.04%	7.56
Sementales	163	2.93%	4.78
Lechones	2.70	9.00%	0.24
Destetes	14.6	8.60%	1.26
Crecimiento	40	7.11%	2.84
Finalización	77.5	6.95%	5.39

Conociendo la producción diaria de excretas por cerdo por etapa, se procede a calcular la producción diaria total de excretas por etapa dentro de la granja. Bajo este contexto, se puede establecer la siguiente relación:

$$PDT = PE * PAT$$

PDT: Producción Diaria Total de Excretas por etapa (Kg/día)

PE: Producción Diaria de Excretas por etapa (Kg/día-animal)

PAT: Población Animal (# Animales por Etapa)

Por último, se procederá a realizar la sumatoria de la producción total de excretas por etapa, para obtener la cantidad total generada en la granja. Lo anterior se podrá determinar de la siguiente manera.

$$PTU = \Sigma PDT$$

Donde:

PTU: Producción Diaria Total de Excretas en la Unidad Productiva.

Para este ejemplo, los datos resultantes fueron los siguientes:

Etapa	Tipo de Cerdo	Población Porcina	Producción Diaria Excretas por etapa (Kg)	Producción Diaria Total por etapa (Kg)
Reproducción	Hembras Lactantes	80	15.43	1,234.40
	Hembras Gestantes	410	6.10	2,501.00
	Hembras Secas	68	7.56	514.08
	<b>Número de Vientres</b>	<b>558</b>		<b>4,249.48</b>
	Sementales	3	4.78	14.34
	Lechones	595	0.24	142.80
	<b>Subtotal</b>	<b>1,156</b>		<b>157.14</b>
Cría	Destetes	1,200	1.26	1,512.00
	<b>Subtotal</b>	<b>1,200</b>		<b>1,512.00</b>
Finalización	Crecimiento	1,915	2.84	5,438.60
	Finalización	1,000	5.39	5,390.00
	<b>Subtotal</b>	<b>2,915</b>		<b>10,829</b>
<b>GRAN TOTAL</b>		<b>5,271</b>		<b>16,747</b>

Como puede observarse, una granja de ciclo completo, con un inventario total de 5,271 cerdos, producirá diariamente, aproximadamente 16,747 Kg de Excretas (16.7 Ton). Sin embargo como se mencionó anteriormente, esto se sujetará a diversos factores, como sistemas de producción, confinamiento, alimentación y tipos de unidades.

## Anexo 2.- Ejemplos de Concentraciones de Compuestos Inhibidores del proceso de digestión anaerobia

<b>Concentración inhibidora de metales pesados en procesos anaerobios</b>		
<b>Compuesto</b>	<b>Concentración Necesaria (mg/l)</b>	<b>Concentración Inhibidora (mg/l)</b>
Cobre (Cu)		>40
Cadmio		>150
Zinc		>150
Niquel	0.006 - 0.5	>10
Plomo	0.02 - 200	>300
Cromo III	0.005- 50	>120
Cromo IV		>110

<b>Concentración de Antibióticos con potencial de inhibir producción de biogás</b>	
<b>Compuesto</b>	<b>Concentración Inhibidora (mg/l)</b>
Bacitracina	100
Lasalocid	100
Monensina	8
Tisolina	100
Virganimisina	50
Furazolidona	200

**Anexo 3: Límites Máximos Permisibles de emisión a la atmósfera de Humos, Partículas Suspendidas Totales, Bióxido de Azufre y Óxidos de Nitrógeno.**

Capacidad del Equipo de Combustión (Mj/h)	Tipo de Combustible Empleado	Densidad del Humo	Partículas (PST) mg/m3 (Kg/10 <sup>6</sup> Kcal)			Bióxido de Azufre ppm V (Kg/10 <sup>6</sup> Kcal)			Óxidos de Nitrógeno ppm V (Kg/10 <sup>6</sup> Kcal)			Exceso de Aire Combustión % Volumen
		Número de mancha u opacidad	ZMCM	ZC	RP	ZMCM	ZC	RP	ZMCM	ZC	RP	
Hasta 5,250	Combustóleo o gasóleo	3	NA	NA	NA	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	NA	NA	NA	50
	Otros Líquidos	2	NA	NA	NA	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	NA	NA	NA	
	Gaseosos	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
De 5,250 a 43,000	Líquidos	NA	75 (0.106)	350 (0.426)	450 (0.568)	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	190 (0.507)	190 (0.507)	375 (1.0)	40
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	190 (0.486)	190 (0.486)	375 (0.959)	
De 43,000 a 110,000	Líquidos	NA	60 (0.805)	300 (0.426)	400 (0.568)	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	30
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	
Mayor de 110,000	Sólidos	NA	60 (0.090)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.16)	1,100 (4.31)	2,200 (8.16)	110 (0.309)	110 (0.309)	375 (1.052)	25
	Líquidos	NA	60 (0.085)	250 (0.355)	350 (0.497)	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	110 (0.234)	110 (0.234)	375 (1.0)	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	

## Anexo 4.- Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales

### A) Contaminantes Básicos

Límites Máximos Permisibles para Contaminantes Básicos																						
Parámetros	Unidad	Ríos						Embalses Naturales y Artificiales				Aguas Costeras						Suelo		Humedales Naturales (B)		
		Uso en Riego Agrícola (A)		Uso Público Urbano (B)		Protección de Vida Acuática (C)		Uso en Riego Agrícola (B)		Uso Público Urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en Riego Agrícola (A)				
		P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura	° C	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A	N.A	40	40
Grasas y Aceites	mg/l	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante	mg/l	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
Sólidos Sedimentables	ml/l	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150	
Nitrógeno Total	mg/l	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A	
Fósforo Total	mg/l	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A	
pH		5-10																				

Aus: Ausente

A, B, C: Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos. P.M y P.D: Promedio Mensual, Promedio Diario

### B) Metales Pesados y Cianuros

Límites Máximos Permisibles para Metales Pesados y Cianuros																					
Parámetros	Unidad	Ríos						Embalses Naturales y Artificiales				Aguas Costeras						Suelo		Humedales Naturales (B)	
		Uso en Riego Agrícola (A)		Uso Público Urbano (B)		Protección de Vida Acuática (C)		Uso en Riego Agrícola (B)		Uso Público Urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en Riego Agrícola (A)			
		P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	mg/l	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	mg/l	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	mg/l	1	3	1	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2	3	1	2	2	3	1	2
Cobre	mg/l	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6
Cromo	mg/l	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	0.5	1
Mercurio	mg/l	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	mg/l	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	mg/l	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	mg/l	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

### C) Patógenos y Parásitos

- Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El Límite Máximo Permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas al suelo (uso en riego agrícola), es de 1,000 y 2,000 como Número más Probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml.
- Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los Huevos de helminto. El Límite Máximo Permisible para las descargas vertidas al suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido.

**Anexo 5.- Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Sistemas de Alcantarillado Urbano o Municipal**

Límites Máximos Permisibles de Contaminantes			
Parámetros	Unidad	Promedio Mensual	Promedio Diario
Temperatura	°C	40°C	
pH		5.5 -10	
Grasas y Aceites	mg/l	50	75
Sólidos Sedimentables	ml/l	5	7.5
Arsénica Total	mg/l	0.5	0.75
Cadmio Total	mg/l	0.5	0.75
Cianuro Total	mg/l	1	1.5
Cobre Total	mg/l	10	15
Cromo Hexavalente	mg/l	0.5	0.75
Mercurio Total	mg/l	0.01	0.015
Níquel Total	mg/l	4	6
Plomo Total	mg/l	1	1.5
Zinc Total	mg/l	6	9

Para los parámetros: Materia flotante, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, coliformes totales y presencia de huevos de helminto, serán los que se indican en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

**Anexo 6.- Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales Tratadas que se reusen en Servicios al Público**

Tipo de Reúso	Promedio Mensual				
	Coliformes Fecales NMP/100 ML	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites (mg/l)	DBO5 (mg/l)	SST (mg/l)
Servicios al Público con Contacto Directo	240	≥ 1	15	20	20
Servicios al Público con Contacto Indirecto u Ocasional	1,000	≤ 5	15	30	30

Los Parámetros de contaminantes establecidos en la NOM-001 y NOM-002, tendrán como LMP's los mismos establecidos en dichas normas.

## Anexo 7.- Especificaciones y Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para el aprovechamiento y disposición final de Lodos y Biosólidos

### A) Tipo de Biosólido en función a los LMP's de concentración de metales pesados

Límites Máximos Permisibles para metales pesados en Lodos y Biosólidos		
Contaminante	Tipo de Lodo y Biosólido	
	Excelentes mg/Kg en base seca	Buenos mg/Kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1,200	3,000
Cobre	1,500	4,300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2,800	7,500

### B) Clases de Biosólido en función a su contenido de patógenos y parásitos

Límites Máximos Permisibles para Patógenos y Parásitos en Lodos y Biosólidos			
Clase	Indicador Bacteriológico de Contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de Helminto/g en base seca
<b>A</b>	Menor de 1,000	Menor de 3	Menor de 1
<b>B</b>	Menor de 1,000	Menor de 3	Menor de 10
<b>C</b>	Menor de 2,000,000	Menor de 300	Menor de 35

### C) Aprovechamiento de Biosólido en función a su Clase

Aprovechamiento de Biosólidos		
Tipo	Clase	Aprovechamiento
<b>Excelente</b>	<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación</li> <li>- Los establecidos para clase B y C</li> </ul>
<b>Excelente o Bueno</b>	<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación</li> <li>- Los establecidos para clase C</li> </ul>
<b>Excelente o Bueno</b>	<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usos Forestales</li> <li>- Mejoramiento de suelos</li> <li>- Usos Agrícolas</li> </ul>

---

## 9.- Bibliografía

- Álvarez A. R y Riera Víctor (2004). Producción Anaeróbica de biogás. Aprovechamiento de los residuos del proceso anaeróbico. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. Proyecto 09 CNI-IIDEPROQ. 100 Páginas.
- Bouallagui, H., Touhami, Y., Ben Cheick, R. (2004). Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Process Biochemistry*. **40**, 989-995.
- Consorcio Ambiental y de Servicios, S.A de C.V. (1999). Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario Metropolitano Poniente "Picachos".
- Environmental Protection Agency (EPA). *Agstar Handbook*. 2000 a.
- Fernández, G., Vázquez, E. (2002). Inhibidores del proceso anaerobio: compuestos utilizados en porcicultura. *Energía*, 63-71.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido. Aprovechamiento de biogás para la generación de energía eléctrica en el Sector Agropecuario. Documento de Trabajo. Mayo 2007.
- IPCC. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. (2006)
- Mata-Álvarez, J., Mance, S. (2004). *Biomass Fermentation Fundamentals and General Aspects*. Dept Chemical Engineering. University of Barcelona.
- Moncayo Romero, G. *Dimensionamiento, Diseño y Construcción de Biodigestores y Plantas de Biogás*. Manual Práctico de Diseño. Aqualimpia Beratende Ingenieure.
- Monnet, F. (2003). *An introduction to Anaerobic Digestion of organic wastes*. Final Report. Remade Scotland.
- Muñoz, M. *Modelo de Gestión Limpia para Sólidos Municipales*. Ecuador. Año 2004.
- Ostrem Karena. (2004). *Greening Waste. Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid waste*. M.S Thesis in Earth Resources Engineering. Columbia University.
- Regional Information Service Center for South East Asia on Appropriate Technology. *Review on Current Status of Anaerobic Digestion Technology for Treatment of Municipal Solid Waste*. Institute of Science and Technology Research and Development. Chiang Mai University
- Robles, M.F. (2005). *Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios*. Instituto Politécnico Nacional, 1ª Edición.

- 
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).- Actividades Altamente Riesgosas.  
Web:  
<http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/materialesyactividadesriesgosas/Pages/actividadaltamenteriesgosa.aspx>
  - Taiganides, E., Espejo. R., Sánchez. E. Manual para el manejo y control de aguas Residuales y Excretas porcinas en México. Año 1994.