

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; Manofacturas 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_2S). 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_e: 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_e, 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 = Ultimo 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 la longitud y ancho de éste 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° . Si fuera necesario hacer giros de 90° , se deberá colocar dos codos de 45° 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 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.

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:

Propiedades mínimas consideradas en la selección de geomembrana		
Propiedad	Unidad	Valor Nominal
Densidad	Kg/m3	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 digester 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 digester.

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

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 biodigester 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.

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

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:

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

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_e: 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:

Etapas	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
	Número de Vientres	558		4,249.48
	Sementales	3	4.78	14.34
	Lechones	595	0.24	142.80
	Subtotal	1,156		157.14
Cría	Destetes	1,200	1.26	1,512.00
	Subtotal	1,200		1,512.00
Finalización	Crecimiento	1,915	2.84	5,438.60
	Finalización	1,000	5.39	5,390.00
	Subtotal	2,915		10,829
GRAN TOTAL		5,271		16,747

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

Concentración inhibidora de metales pesados en procesos anaerobios		
Compuesto	Concentración Necesaria (mg/l)	Concentración Inhibidora (mg/l)
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

Concentración de Antibióticos con potencial de inhibir producción de biogás	
Compuesto	Concentración Inhibidora (mg/l)
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 ⁶ Kcal)			Bióxido de Azufre ppm V (Kg/10 ⁶ Kcal)			Óxidos de Nitrógeno ppm V (Kg/10 ⁶ 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	
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 Permissible 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 Permissible 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
A	Menor de 1,000	Menor de 3	Menor de 1
B	Menor de 1,000	Menor de 3	Menor de 10
C	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
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none"> - Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación - Los establecidos para clase B y C
Excelente o Bueno	B	<ul style="list-style-type: none"> - Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación - Los establecidos para clase C
Excelente o Bueno	C	<ul style="list-style-type: none"> - Usos Forestales - Mejoramiento de suelos - Usos Agrícolas

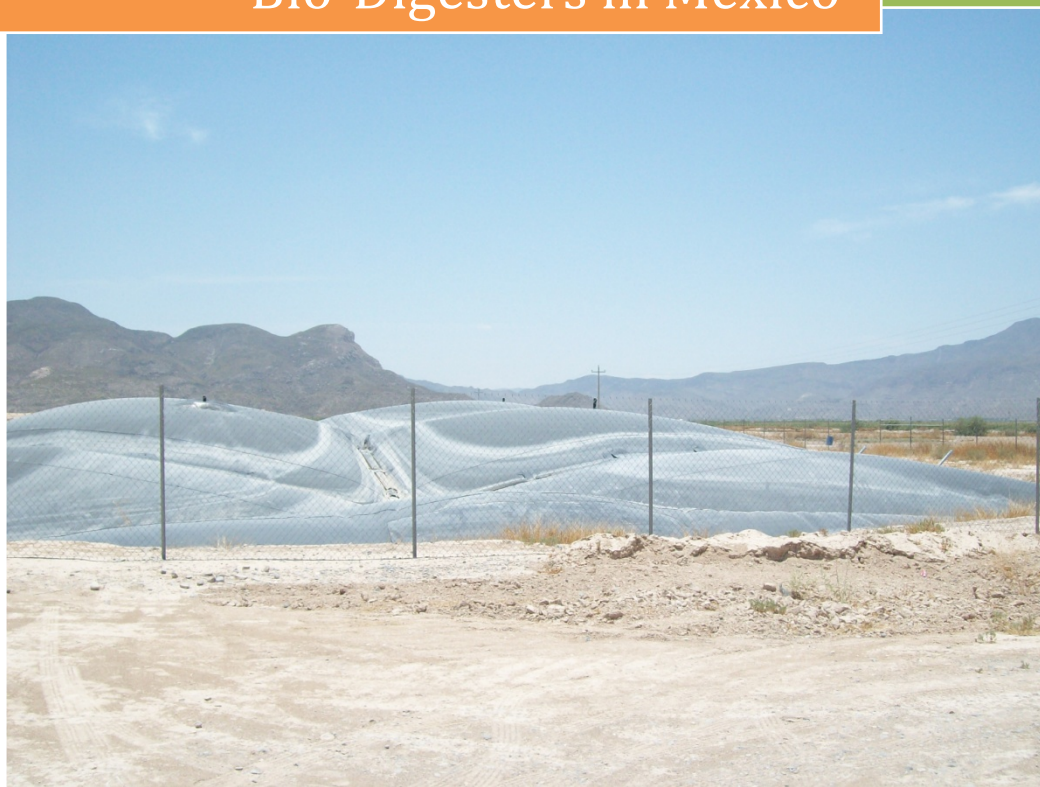
9.- Bibliografía

- 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.

March 2010

Technical Standards for the Design and Construction of Bio-Digesters in Mexico



SEMARNAT



SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES

SAGARPA



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



INDEX

Contents	Page
1. Introduction	5
2. Objective	5
3. Conditions where Standards Apply	5
4. References	6
5. Definitions	8
6. Classification	11
7. Standards	11
7.1 Bio-Digester Dimensioning	11
7.1.1 Determining Biomass	11
7.1.2 Determining Volumetric Flow of Influent	12
7.1.3 Physical, Chemical and Biological Characteristics of Influent	13
7.1.4 Geographical Factors	15
7.1.5 Determination of Hydraulic Retention Times	15
7.1.6 Bio-Digester Volume	15
7.1.7 Calculating the Production of Biogas	15
7.2 Bio-Digester Construction	16
7.2.1 Location	16
7.2.2 Separation of Solids	17
7.2.3 Mixing Tank	17
7.2.4 Bio-Digester Construction	18
7.2.5 Pipeline Systems	19
7.2.6 Mixing System	22
7.2.7 Sampling Points	22
7.2.8 Installation of the Geomembrane	22
7.2.9 Biogas Meters	23
7.2.10 Filter for the Retention of Hydrogen Sulphide	24
7.2.11 Biogas Burner	24
7.2.12 Electrical Installations	25
7.2.13 Effluents	28
7.3 Safety Measures	30
7.3.1 Restriction of Access	30
7.3.2 Perimeter Fence	30
7.3.3 Location of the Burner	30
7.3.4 Safety Notices and Warning Signs	30
7.3.5 Safety in the Pipeline Systems	30
7.3.6 Installation of Safety Valves	31

7.3.7 Prevention and Control of Fire Hazards	31
7.3.8 Equipment for Personal Safety and Protection	32
7.3.9 Secure Engine Room for the Electric Power Plant	33
7.3.10 Motor-Generators	33
7.4 Maintenance	33
7.5 Required Information for the Receipt of Projects	34
7.5.1 Executive Projects	34
7.5.2 Manuals	37
7.5.3 Protocols for Testing Equipment Safety and Quality	37
7.5.4 Materials, Equipment and System Guarantees	37
7.5.5 Presentation of Quotes	38
7.5.6 Technical Support Services	38
8. Appendices	39
9. Bibliography	47

Participating Organisations

This Technical Standards were sponsored by The United States Environmental Protection Agency

The following organisations participated in the elaboration of these standards:

Governmental Institutions

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

Supply companies participating in meetings

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; Manofacturas 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.

Special thanks to the following companies for their technical contributions to these Standards:

1. Servicios Ambientales y de Energías Renovables del Centro, S.A de C.V
2. Environmental Fabrics de México, S.de R.L de C.V
3. Constructora de Mecanismo de Desarrollo Limpio, S.A de C.V
4. Geo Proyectos y Diseños Ambientales, S.A de C.V
5. Equipamientos y Suministros Industriales, S.A de C.V
6. Biogeneradores de México
7. Plastic-Liners, S.A de C.V
8. MOPESA Motores Power, S.A

1. Introduction

These “Technical Standards” have been created to ensure the quality, durability, safety and performance in the design, construction, operation and maintenance of anaerobic covered lagoon digesters, which are designed to treat organic waste and manure from pig and dairy farms across the country, and in so doing, take advantage of the biogas produced in order to generate electrical or thermal energy, or simply neutralise it by burning it directly.

In both instances, we are contributing to the reduction of the environmental impact associated with this kind of activity.

2. Objective

These “Technical Standards” establish guidelines and criteria for the design, materials, construction, operation and maintenance, as well as safety, of anaerobic covered lagoon bio-digesters and their associated installations for energy use, developed and distributed in Mexico.

3. Conditions where Standards Apply

These “Technical Standards” apply to anaerobic covered lagoon bio-digesters which treat organic waste and manure from pig and dairy farms, as well as their installations for exploiting the biogas produced in order to generate electricity.

Although the current document is concerned with covered lagoon digester technology, given the interest manifested by companies offering other types of technology (modular and concrete, among others), we suggest that in the short term these companies be subject to the generic standards established in this document, and that in the medium term, similar documents will be developed to deal specifically with each technology type.

4. References

4.1 *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente.*

Law of Ecological Equilibrium and Environmental Protection.

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

Bylaw of the Law of Ecological Equilibrium and Environmental Protection, relating to the Evaluation of Environmental Impacts.

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

System for Units of Measurement.

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.*

Establishes the maximum permissible limit for pollutants in residual waters discharged into national water sources.

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.*

Establishes the maximum permissible limit for pollutants in residual waters discharged into urban or municipal sewage systems.

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.*

Establishes the maximum permissible limit for pollutants in treated residual waters which are re-used in public services.

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.*

Environmental Protection.- Sludges and Biosolids.- Specifications and maximum permissible limits for pollutants in the exploitation and disposal of sludges and biosolids.

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.*

Standards of Environmental Protection for the selection of site, design, construction, operation, monitoring, closure and complementary works in a site for the special handling and disposal of urban solid residues.

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.*

Atmospheric Pollution.- Fixed sources which use fossil fuels, be they solids, liquids or gases or any combination of these, which establish the maximum permissible limit of emissions of smoke, suspended particles, sulphur dioxide and nitrous oxides into the atmosphere.

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

Electrical Installations (Utilisation)

4.11 *Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2000, Condiciones de Seguridad. – Prevención, Protección y Combate de Incendios en los centros de trabajo*
Safety Conditions.– Prevention, protection and containing fires in the workplace.

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

Equipment for Personal Protection.- Selection and handling in the workplace.

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

Health and Safety Colours and Signs, and Identification of risks posed by fluids in pipelines.

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

Maintenance of Electrical Installations in the workplace.

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

Distribution of natural gas and LP gas via pipelines.

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

Second List of high-risk activities, issued by SEMARNAT.

5. Definitions

Acetogenesis.- Microbiological stage in which the Volatile Fatty Acids (VFA's) and alcohols formed in acidogenesis, are degraded principally into acetate, carbonic gases and hydrogen, by fermentative bacteria.

Acidogenesis.- Microbiological stage in which the amino acids, organic acids and sugars produced during hydrolysis are transformed into alcohols, carbon dioxide, hydrogen and volatile fatty acids (VFA's), by fermentative micro-organisms or anaerobic oxidants.

Anaerobic Bio-Digestion.- Biochemical process of microbial fermentation of organic substances in the absence of oxygen.

Aquifer.- Any geological formation in which groundwater flows or collects, and from which it can be extracted for diverse uses.

Bank.- Inclined walls of the digester excavation, with respect to the ground.

Bio-Digester.- Biological reactor which permits the anaerobic decomposition of organic matter and the formation of biogas.

Bio-Digester Heating System.- Heat exchange mechanism, allowing the injection of heat into the system to maintain the optimal temperature for the production of biogas.

Biogas.- Gaseous product of the decomposition of organic matter in the absence of oxygen, by the direct action of methanogenic bacteria. It is essentially composed of methane, carbon dioxide, hydrogen sulphide, nitrogen and hydrogen, among others.

Biogas Collection System.- System which collects the biogas from the digester and carries it to the gas handling system.

Biogas Flowmeter.- Instrument used to quantify the volumen of biogas flowing from the bio-digester to the burner or the motor-generator.

Burner.- Element in the bio-digester system that ensures the complete combustion of the methane produced in the bio-digester.

Covered Lagoon Bio-Digester.- A type of bio-digester with a gas-tight cover.

Crown.- Flat part at the top of the bio-digester

Electrical Installation.- Combination of elements in a system which carry, distribute and employ the electrical energy.

Environmental Monitoring.- Combination of activities to periodically verify the degree of compliance with established requirements to avoid environmental pollution.

Extraction of Sludges.- Procedure for removing the solids which have settled in the bottom of the digester during the process of bio-digestion.

Filter for the Retention of Hydrogen Sulphide.- System for purifying the biogas from the traces of hydrogen sulphide which contaminate it.

Filtration.- Purification of the biogas by separating the moisture and the traces of hydrogen sulphide which contaminate it.

Gas Handling System.- Equipment to dry, pressurise and volumetrically quantify the flow of biogas leaving the digester and flowing to the burner or the motor-generator.

Generation of Electricity.- Process of generating electrical energy with a motor-generator, which uses the mixture of gases produced in the bio-digester as fuel.

Geological Fault.- Displacement of part of a geological structure beneath the Earth's surface relative to another, as a result of the forces generated in the Earth's crust.

Geomembrane.- Synthetic material used to line the base, walls and cover of the bio-digester, sealing it hermetically and permitting the anaerobic conditions necessary for its operation.

Groundwater.- Water found in the subsoil, in geological formations which are partially or completely saturated.

Hydrogen Sulphide.- Inorganic acid formed by dissolving and dissociating hydrogen sulphide gas (H_2S) in water.

Hydrolysis.- Reduction of complex biopolymers, such as polysaccharides, lipids and proteins, into more basic molecules, such as simple sugars, organic acids and amino acids, by enzymes produced by facultative aerobic micro-organisms in the presence of water.

Infiltration.- Filtration of a liquid through pores or interstices in the soil, subsoil, or other natural or synthetic material.

Kilowatt.- Unit of electrical power, equivalent to 1,000 Watts.

Kilowatt-hour.- Unit of electrical energy, equivalent to 1 Kilowatt in 1 hour, which equals 3,600 joules.

Manure Collection System.- System of pipes to carry the manure from each building to the digester.

Methanogenesis.- Final stage in the process of anaerobic bio-digestion in which simple carbon compounds are converted into methane by methanogenic bacteria.

Moisture Condensation System.- System to remove moisture from the biogas.

Motor-generator.- Electromechanic appliance to generate electricity, using biogas as fuel.

Operating Manual.- Document describing the different activities involved in the operation of an anaerobic bio-digestion system.

Organic Loading Rate.- Quantity of organic matter loaded into the bio-digester.

Perimeter Fence.- Fence surrounding and protecting the area where the bio-digester and pipelines are located.

Proctor Compaction.- Test to determine the maximum density of soils, frequently expressed as a percentage.

Safety Measures.- Protocol of safety procedures to be followed, and equipment to be installed to avoid accidents during the operation of an anaerobic bio-digestion system.

Secondary Lagoon.- Container for the temporary reception and storage of the effluents from the bio-digester.

Secure Engine Room for the Electric Power Plant.- Construction which provides shelter for and protects the electrical installation and the motor-generator.

System for the Mixing and Extraction of Sludges.- Comprised of a pump connected to a head to which are jointly connected the pipes for the systems of both mixing and extracting the sludges, provoking motion throughout the bio-digester.

Technical Standards.- Series of technical guidelines regulating the design, construction and operation of systems using anaerobic digestion technology.

Thermofusion.- Thermal soldering of the geomembrane.

Useful Life.- Period of time during which a product, system, process or material is capable of, or expected to, provide the service for which it was designed or constructed.

6. Classification

The system of anaerobic digestion technology these technical standards apply to is that which, in general terms, treats organic waste using a bio-digester; and specifically, covered lagoon bio-digesters.

7. Standards

Systems using anaerobic digestion technology consist of a centralised process of waste management, whereby manure is conveyed to a digester which has a system for mixing and extracting sludges; a secondary lagoon; a system for the collection and conduction of biogas to use in the generation of electricity; and a burner.

7.1 Bio-Digester Dimensioning

In order to determine the dimensions of any digester, many factors will be considered which will permit us, initially, to assess the amount of manure actually being produced on the farm, and, based on this, to make appropriate calculations for the dimensions of the digester. These factors and calculations should be included in the calculation log which will be used to determine the potential biogas production for the system.

The principal factors to be considered are:

- Type and availability of biomass (pig and cow manure)
- Physical, chemical and biological characteristics of the biomass
- Geographical aspects of the area where the digester is to be located

7.1.1 Determining Biomass

These calculations should be based on information specific to each individual case. For example, in swine farms, the structure and development of the herd should be registered month by month, for a full year of representative operation, taking into account the different zootechnical parameters, such as breeding rate, mortality, changes in stock due to buying and sell, etc. By the same token, in the case of dairy farms, the pertinent information will be determined by the structure of the herd.

As a general reference, the daily production of manure per animal per life cycle stage can be calculated using the following formula:

$$MP_a = AW^3 \cdot DER$$

Where:

MP_a = Daily Manure Production, per animal, per stage (Kg/day-animal)

AWS = Animal Weight per Stage of development (Kg/animal)

DER = Daily Excretion Rate per stage (%)

The value of MP_a allows us to estimate the total daily manure production per stage of development on each farm, therefore giving us the following equation:

$$TMP_s = MP_s * AP$$

Where:

TMP_s = Total Daily Manure Production per stage (Kg/day)

MP_s = Daily Manure Production per stage (Kg/day-animal)

AP = Animal Population (number of animals per stage of development)

With this data, we can proceed to determine the total quantity of manure generated on the farm by using the following equation:

$$TMP_f = \sum TMP_s$$

Where:

TMP_f = Total Daily Manure Production on the farm (Kg)

For reference, Appendix 1 of this document presents an example of a biomass calculation in a production centre.

In the case of a bio-digester design not taking into account the total biomass production, the factor corresponding to the percentage to be treated should be applied.

The biomass entering the bio-digester should be recent, no more than seven days after its excretion, so that biomass with a low organic content does not enter the digester.

7.1.2 Determining Volumetric Flow of Influent

After calculating the biomass in the production centre, the volumetric flow should be considered for the digester design. We must therefore determine the amount of water that will be used within the system, as the efficiency of the anaerobic process will depend on a correct water-organic solids ratio.

The amount of water available to be used in the design of the digester will depend on how organic waste is handled on each individual farm (flushing,

scrape, pull-plug pit, manual shovelling, etc.). None of these situations contemplate the use of clean water.

Once the optimum degree of dilution has been achieved, we must avoid the incorporation of more water, so as not to further dilute or diminish the organic material to be biodegraded, resulting in a reduction in the production of biogas.

The supplier will be responsible for designing a system taking these points into consideration and ensuring that the flow of influents contains the correct water-organic solids ratio.

In the case of covered lagoon bio-digesters, a minimum water-organic solids ratio of 3:1 and maximum 9:1 should be considered. If the organic waste handling method generates a higher proportion of solids, we propose those digester designs or additional equipment which guarantee the optimum production of biogas inside the bio-digester (recirculation and/or heating systems among others).

7.1.3 Physical, Chemical and Biological Characteristics of Influent

In order to guarantee an efficient biogas production when dimensioning the digester, the supplier should take into account the physical, chemical and biological characteristics of the influents.

The principal parameters to consider are:

- content of solids (total solids, sedimented solids and volatile solids)
- pH
- influent temperature
- carbon-nitrogen ratio
- chemical and biochemical oxygen demands
- the presence of inhibitor agents

7.1.3.1 Organic Matter Content

For the digester design, we should have data showing the quantity of organic matter present in the system.

The quantity of volatile solids, chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD) should be considered, information which will also serve to quantify the organic load of the system, which forms the basic parameter for calculating the volumen of the bio-digester.

7.1.3.2 pH

This parameter will permit us to consider the alkalinity or acidity of the influent in the design: if it falls outside the optimum range, it will affect the different microbiological stages of the anaerobic bio-digestion process (hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis and methanogenesis).

If the organic matter is too acidic or alkaline, biogas production could be inhibited. The optimum performance for methane production will be achieved with a pH of 6.5-7.5.

7.1.3.3 Influent Temperature

The influent temperature should be recorded, as this, in conjunction with the outside temperature, will be an important factor when deciding the appropriate Hydraulic Retention Times (HRTs) for the influent in the digester. Moreover, the use of this temperature as a control will permit us to maintain the digester operating within the specifications of its design.

7.1.3.4 Carbon-Nitrogen Ratio (C:N)

For the correct functioning of the anaerobic digestion process, the proportion of nutrients in the influent should be borne in mind. This can be expressed as the carbon-nitrogen ratio.

When this ratio is higher ($C:N > 30:1$), there will be a high concentration of volatile fatty acids (VFA's) in the system, which will inhibit the microbiological stages of the process. Likewise, in the opposing scenario ($C:N < 20:1$), the high concentration of nitrogenous compounds will also inhibit the production of biogas.

Hence a ratio of between 20:1 and 30:1 is considered most appropriate, the optimum being 25:1.

7.1.3.5 Presence of Inhibitor Agents

Information about the influent must be available, to demonstrate that there are no concentrations of chemical or biological agents that could inhibit the production of biogas, such as disinfectants, detergents, heavy metals or antibiotics, to mention a few.

If the levels of concentration of these compounds will prevent the production of biogas, the influent should not be permitted to enter the digester.

For orientation, Appendix 2 provides a list of chemical substances and the concentrations at which they limit the process of anaerobic digestion.

7.1.4 Geographical Factors

For the accurate dimensioning of the digester, the local climatic conditions where the equipment will be installed should be taken into account, for example the outside temperature.

The minimum, maximum and average outside temperatures should be recorded and analysed, as these will greatly influence the selection of HRTs. Based on this data, a mean monthly temperature can be determined, which will serve to establish the appropriate HRT for the efficient biodegrading of the organic matter.

7.1.5 Determination of Hydraulic Retention Times

The HRT is determined specifically for each individual project, taking into account the organic load and the influent and external temperatures.

For the average climatic conditions in Mexico, the HRT is considered to be around 30 days, to accomplish a 60% elimination of volatile solids.

In those areas where the mean temperature is higher or lower than the national average, the calculation of the HRT should take into account the parameters mentioned above.

7.1.6 Bio-Digester Volume

As a minimum, calculating the volume of the digester should consider the relation that exists between the influent flow, the organic load and the appropriate HRT.

The volume of the digester should be equal to the volume of organic matter to be degraded, multiplied by the necessary HRT, with an additional volume contemplated for storing the biogas.

7.1.7 Calculating the Production of Biogas

Generally speaking, calculating the production of biogas can be realised according to the methodology recommended by the IPCC in its 2006 document “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, which establishes the following formula:

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

Where:

- Y_v = daily production of methane per volumen of influent (Lt/Lt).
 V_s = concentration of Total Volatile Solids (TVS) in grammes per volume of influent per day (gr/Lt/day).
 B_o = latest methane yield (Lt/gr of TVS as a %)
 R = HRT (days).
 M = maximum microbe growth rate per day.
 K = kinetic parameter (without a unit of measurement).

When a project is considering its incorporation into carbon trading programmes, the production of biogas will be calculated using the methodologies referred to for each reference programme.

7.2 Bio-Digester Construction

7.2.1 Location

The location for the installation of a bio-digester should follow what has been set out by the environmental norms in force. Depending on the size of the project, the producer should present an evaluation of environmental impacts or a preventative report, in the terms indicated by la Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) and its bylaws.

Likewise, for the selection of the site where the bio-digester will be located, the LGEEPA specifies that, in the case of a project designed to generate, handle and use 500 Kg or more of methane, the farm must register itself as a business with high-risk activities, and present a risk assessment and a programme for accident prevention to the appropriate environmental authority, in keeping with the “*Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas*”, issued by SEMARNAT.

The physical location for the system should take into consideration various factors for an adequate operation, such as unevenness in the terrain, optimum distances from the farm to the bio-digester, and safety and security amongst other things.

7.2.1.1 Site Location Restrictions

The following restrictions should be considered for the bio-digester location:

- a) Avoid proximity to aerodromes or airports in public service.
- b) Do not locate within nature reserves or protected areas.
- c) Install at a minimum distance of 500m from a populated zone.
- d) Do not locate in the following zones: marshes, mangroves, inlets, swamps, wetlands, estuaries, alluvial plains, archaeological zones, fractures or geological faults.
- e) The distance from bodies of surface water with a constant flow, lakes and lagoons, should be a minimum of 500m.
- f) The digester should be located away from zones liable to flooding.
- g) The distance between the furthest limit of the system and any well for the extraction of water should be a minimum of 500m.
- h) The depth of the water table should be a minimum of 7m.

7.2.2 Separation of Solids

Depending on the method employed for handling organic waste, and the amount of solid matter (fibre content and size of residue) that can be found in the influent, the installation of a system for separating solids should be considered before these solids enter the digester.

This will help avoid blockages in the pipes, slow degradation, greater retention times, and, ultimately, a bigger digester.

7.2.3 Mixing Tank

The installation of a mixing tank should be considered to concentrate the influents from the farm, be it by gravity or by a series of pumps. Such a tank will be useful for monitoring and controlling the water-solids ratio entering the bio-digester.

7.2.4 Bio-Digester Construction

7.2.4.1 Initial Review of Site

Before starting any activity, a review of the site should be carried out to establish the type of soil, subsoil and other materials to be found in the zone.

7.2.4.2 Excavation

The construction is started by tracing the outline of the bio-digester and the lines of influent and effluent, and levelling the terrain.

The lagoon should not be excavated if the water table is located less than 7m beneath the surface. In cases where the water table is to be found at a depth of 7-10m, the bio-digester will be built on the surface or partially interred, with a percentage determined by the type of soil and subsoil which can guarantee the stability of the bio-digester.

In other cases, the excavation will be carried out according to the engineering plan.

7.2.4.3 Protecting the Base of the Bio-Digester from Generated Gases

If there is evidence of a high content of organic material in the site (for example, if the digester is being installed above an existing lagoon, which has become filled with sediment), a system for the collection of gases should be installed in the bottom part of the bio-digester beneath the geomembrane, via a drainage system which leaves above the crown of the bio-digester and runs along the whole length and breadth to air the gases.

7.2.4.4 Construction of Banks

The banks should be shaped with slopes that provide the stability and resistance necessary according to the soil study.

It is recommended that the banks of the digester be shaped in a 1:3 ratio, and no greater than 1:1. (If the banks are steeper than 1:1, the walls become unstable, and less than 1:3 requires more space than necessary).

The surfaces of the banks should be compacted to 90% on the Proctor compaction scale, to guarantee that there are no protuberances, thereby avoiding damage to the geomembrane during its installation. This compacting can be done using appropriate techniques and equipment for the type of terrain, such that the surface is left clean without edges or stones.

Depending on the quality of the soil and the site, a geotextile can be installed against the walls and the base of the digester if need be, to protect the geomembrane.

The corners in the cover of the bio-digester should be formed from right angles, without making half-circles, to ensure the seams of the geomembrane are more perfectly sealed.

7.2.4.5 Crown of the Digester

The crown of the digester should be compacted to 85-90% on the Proctor compaction scale.

The width of this border should be at least 3m to each side (free of tubing, inspection chambers, gas valves, etc.) to enable the free passage of machinery. Once the system has been built, heavy traffic should not pass around the border of the digester.

An anchor trench (approximately 50 x 90cm) should be excavated along the whole perimeter of the digester, at a distance of about 1m from the start of the slope of the inner bank, to anchor the membrane to the border. Both the membrane from the walls and base, and the cover, will be seamed and anchored here, and the materials used should guarantee its stability.

A technique must be employed to avoid the growth of vegetation around the border. This procedure should only be done once the digester is completely covered and sealed and the inspection chambers are finished.

7.2.5 Pipeline Systems

7.2.5.1 Influent Pipes

The pipes for the influent will connect the mixing tank to the digester. The tubes will be dimensioned according to the daily influent consumption (m^3/hr , l/hr), taking into account the thermodynamic properties and other physical factors such as particle size. The diameter of the tubes should be calculated in such a way as to permit the adequate flow of daily

influent, according to the consumption established in the volumetric design of the digester.

The tubes should be of regular PVC or of the kind designed for sewage.

There should be an inspection chamber enabling monitoring of the influent flow and allowing access to the interior of the tubes in case of blockages.

Pipe penetrations to the geomembrane or other material covering the digester must be constructed from the base geomembrane material and welded to the membrane to prevent leakage.

When installing the piping, the tubes should be positioned on a perfectly even bed of sand within a ditch, with a minimum gradient of 1%. The ditch will be filled with the same soil from the excavation, to serve as protection for the tubing, and will be suitably compacted at the end of the installation.

Any change of direction in the tubes should be done with elbows no greater than 45°. In case of a 90° turn, two elbows of 45° should be used, with a space of at least 50cm between the two.

There should be an inspection chamber measuring 1m x 1m x 1m at each bend or connection, made of polished block inside, with a concrete base and a concrete lid of $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, incorporating a two-door hatch to facilitate supervision.

To ensure the system is hydraulically sealed within the tank of the digester, the final part of each tube should be inclined 45° and positioned 1m below the surface of the liquid.

7.2.5.2 Piping Conveying Biogas

The walls of the piping should be sufficiently thick to withstand the pressure within the digester system and, if necessary, to withstand any foreseeable external loads.

Every element of the piping must be designed to withstand the everyday operational pressure as well as the thermodynamic nature of the gas, such that the piping functions adequately and efficiently even at peak biogas demand.

In the case of tubes conveying biogas, due to the high methane content in the system, the guidelines laid out in paragraph 5.1 in NOM-003-SECRE-2002 should be considered, which state that these pipes should be made of PVC, high density polyethylene, polypropylene, or any other

material which resists corrosion, with RD 26 or equivalent and 3-12" in diameter depending on the volume of biogas.

Depending on the material used, the guidelines established in NOM-003-SECRE-2002 should be followed, for each specific material.

The diameter will also be dictated by the distance the biogas needs to be carried from the point at which it originates to where it is finally used.

Adequate support must be given to the pipeline to ensure it remains fixed and immobile, and in heavy traffic areas, the pipeline should be installed underground, with the appropriate signposting.

The pipeline must be painted yellow, and the direction of the flow of gas must be clearly indicated.

There should be condensate drains to remove the moisture from the gas at all the vertical lengths or low points in the pipeline.

7.2.5.3 Effluent Pipes

The tubing must be dimensioned according to the characteristics of the daily effluent consumption (m^3/hr , l/hr), taking into account the thermodynamic properties and other physical factors such as particle size. The diameter of the tubes should be calculated in such a way as to permit the adequate flow of daily effluent, according to the consumption established in the volumetric design of the digester.

7.2.5.4 Tubing for Extraction of Solids

Tubing must be installed to permit the removal of material sedimented in the digester during the process of biodigestion, to avoid causing obstruction and therefore a reduction in the operating volume of the digester.

It should be placed 60cm below the surface of the border and 1m from the start of the banks. The tube should be 4" in diameter, of hydraulic PVC of Schedule 40 or RD 26.5.

It will run parallel to the interior wall of the digester, reaching the bottom to allow the extraction of solids from the floor of the digester.

All pipes for the extraction of solids must be supported slightly elevated from the base, to ensure there is no damage to the geomembrane below.

The pipes should end in a screw thread on the border of the digester, in order to connect a pump, preferably electric, with sufficient capacity to extract the respective volume of sludges.

7.2.6 Mixing System

A system for mixing sludges will be installed to prevent solids from sedimenting and accumulating and thereby blocking tubes; as well as to ensure even temperatures within the bio-digester, and that the microorganisms and the substrate are in constant proximity for a more efficient interaction.

7.2.7 Sampling Points

There should be various points in the system for sampling influents and effluents, in order to check internal temperature, pH, and other physio-chemical parameters, during the normal operation of the digester.

7.2.8 Installation of the Geomembrane

In the case of covered lagoon digesters, the membrane which seals the digester hermetically should comply with the norms described in Standards GM13 and GM17 of the Geosynthetic Research Institute (GRI).

The geomembrane should satisfy the following minimum properties:

Minimum properties to be considered in the geomembrane selection		
Property	Unit of measurement	Nominal value
Density	Kg/m ³	940
Tear resistance	N/mm	210
Elastic limit (yield strength)	N/mm	25
% elasticity	%	13
Tensile strength	N/mm	43
% stretching at rupture	%	700

The manufacturer must be able to guarantee that the geomembrane will withstand the conditions of the project, for example, the chemical nature and pressure of the biogas, UV wear and tear, external and internal temperatures, and so on.

The installer must present the corresponding certificates for the prequalification, non-destructive and destructive tests (air pressure testing and vacuum testing), according to the guidelines and/or international (or, if necessary, national) standards to which these geomembranes are subjected (standards GRI-GM and ASTM, among others).

Each roll of membrane should be accompanied by the manufacturer's quality control certifications, to verify its origin and that the quality of the materials

supplied for the project is in compliance with all product and/or project specifications.

The thickness of the geomembrane covering the base of the digester must be at least 60 thousandths of an inch (1.5mm) and should be equal to that of the cover, to prevent tears in the lighter material when the pressure increases as biogas accumulates.

The useful life of these geomembranes should be at least 20 years, and they should be guaranteed for at least 10 years.

The installation must be carried out by qualified technicians with proven experience (or at least the group supervisor), and, if possible, certified by the International Association of Geosynthetics Installers (IAGI).

During the installation, all the manufacturer's recommendations should be observed for correct deployment of the material, with respect to: temperature, resistance, adequate climatic conditions, and overlapping of material by at least 5" to ensure proper welding of the seams.

A quality control and assurance report will be submitted to the owner at the end of the installation.

The geomembrane shall be deployed according to the site geometry, using specialised tools to prevent damage to the membrane.

The welding of the seams of the material must be performed by thermal fusion, while perimetral seams between pipes and the cover, as well patches and repairs, shall be performed by extrusion welding.

7.2.9 Biogas Meters

The biogas meters will be installed between the digester and the gas destruction systems (the burner and the motor-generator). It is recommended that such meters be placed after the biogas filters so that the meter, burner and/or generator are not damaged or corroded by the hydrogen sulphide.

The apparatus must measure the flow of biogas towards the respective systems for burning or exploiting it the whole time the digester is in operation.

The meter should be chosen according to the quantity of biogas produced in the digester, its position, the electrical current available to operate it, and the concentration of methane in the biogas.

It is recommended that digital meters with electronic devices permitting the transfer of data to a computer be installed (above all, in projects involving the commercialisation of carbon credits).

7.2.10 Filter for the Retention of Hydrogen Sulphide

In those systems using the biogas produced to generate electricity (or heat), a filter must be installed to remove hydrogen sulphide from the gas, since this chemical is the precursor to sulphuric acid, which will corrode metal parts in the system and reduce its useful life.

The size and capacity of the filter will depend on the amount of biogas produced and the concentration of hydrogen sulphide in parts per million (ppm). It should be placed before the biogas flowmeter and the pipeline feeding the equipment which utilises the biogas (motor-generator, boiler, etc.), be it for the generation of electricity or heat.

The filter must be replaced periodically, in accordance with the manufacturer's instructions, to ensure the adequate retention of hydrogen sulphide, and that the concentration (ppm) in the gas entering the motor-generator and/or boiler, etc., is lower than that indicated by the manufacturers of said equipment.

7.2.11 Biogas Burner

The burner must be designed according to the expected flow of gas available in the system. Its capacity should be equal to or greater than the maximum expected biogas production.

It should be manufactured, preferably, from a sheet of stainless steel (carbon steel should not be used), with a minimum diameter of 18". The interior of the combustion chamber must be insulated to resist temperatures greater than those that can be reached during the combustion of the gas.

The combustion must take place in a closed chamber within the burner to guarantee at least 90% efficiency.

The burner must be equipped with a self-ignition system, such as spark plugs or electrodes, fed by a system with a permanent electricity supply for example, solar panels equipped with batteries, which may or may not be connected directly to the grid. Such systems guarantee constant ignition by emitting sparks to ignite the gas every 2-5 seconds.

Moreover, it must have a highly efficient nozzle, and flame detectors which ensure that, should the flame go out, the gas supply is cut off to prevent the risk of explosion.

The burner must be designed to comply with the maximum permissible limits of emissions in to the atmosphere of smoke, suspended particles, sulphur dioxide and nitrous oxides, as established in the norm NOM-085-SEMARNAT-1994.

These limits will depend upon the capacity of the burner (Mj/h), and the geographic location of the project.

As a reference, Appendix 3 presents a list of pollutants and their maximum permissible limits. The procedures for determining these pollutants can be found in norm NOM-085.

7.2.12 Electrical Installations

The design, installation, devices, safety and operation of the electrical installation for the exploitation of biogas must follow the regulations laid out in the “NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Electrical Installations (usage)”, specifically Article 110 – Requirements for Electrical Installations, clause A. General Regulations.

These are outlined as follows:

7.2.12.1 Installation and Use of Equipment

The electrical equipment used in the electrical installations must be installed and used according to the instructions provided on the label, in the handbook, or in the instruction manual.

7.2.12.2 Voltage Levels

The intended voltage levels must be those at which the electrical installation circuits operate correctly. The nominal voltage of the electrical equipment must not be lower than the operational voltage of the circuit to which it is connected.

7.2.12.3 Nominal Voltage (Utilisation)

This is the value of the *used* voltage for certain equipment in the electrical system. Preferred values are:

At low voltage: 115/230V; 208Y/120V; 460Y/265 and 460V.

7.2.12.4 Conductors

The conductors normally used to convey electrical current must be made of copper.

7.2.12.5 Insulation

All cables must be installed in such a way as to ensure that the installation, when complete, is free from short circuits and connections to ground other than those necessary.

7.2.12.6 Mechanical Execution

The electrical equipment must be installed cleanly and professionally. If metal lids or plates are used in junction boxes which are not made of metal, they must be positioned at least 6mm below the surface of the junction boxes.

7.2.12.7 Mounting and Cooling of Equipment

7.2.12.7.1 Mounting

The electrical equipment must be firmly fixed to the surface on which it is mounted, to avoid vibration both within the equipment and in surrounding equipment.

7.2.12.7.2 Cooling

Electrical equipment which depends on the circulation of air and convection to cool its surfaces, must be installed in such a way as to permit air to circulate freely around it, without obstruction by walls or other equipment.

Equipment designed to be free-standing must be placed at a sufficient distance from other equipment, walls, etc. so that the hot air circulating above and around it can dissipate freely. It should also be supported above the floor to permit the circulation of air beneath the equipment. Similarly, equipment with vents must be installed where they are not obstructed.

7.2.12.8 Electrical Generator

The electrical generator must comply with the regulations specified in “Article 445 – Generators” of “NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Electrical Installations (usage)”; as well as those in “Article 705 – Sources of Connected Electrical Energy Production”, of the same norm, which covers the installation of one or more sources of electric generation which operate in parallel with one or more sources of primary electricity.

7.2.12.8.1 Overcurrent Protection

Generators must be protected by design against overcurrent, using circuit-breakers, fuses, or any other accepted method which provides adequate protection against overcurrent.

7.2.12.8.2 Conductive Capacity of Conductors

The conductive capacity of the phase conductors going from the generator terminals to the first overcurrent protective device, must not be lower than 115% of the nominal electric current of the generator.

7.2.12.8.3 Characteristics of the Generated Energy

The characteristics of the energy generated by the motor-generator must be compatible with the voltage, the wave form, and the frequency of the system to which it is connected.

7.2.12.8.4 System of Synchronisation

There must be either a manual or automatic synchronisation mechanism, to allow the interconnection between the generator and the grid (provided the intention is to be connected to the national grid). This mechanism will ensure an interconnection at the same frequency, voltage magnitude and voltage phase.

7.2.12.8.5 Disconnectors

The specifications for switches and disconnectors are laid out in article 380 of NOM-001-SEDE-2005.

7.2.12.8.6 Protection System

To guarantee the optimum installation operation, and protect the generator and other electrical equipment, the following protective devices must be included, as a minimum:

7.2.12.8.6.1 Protecting the Interconnection

- Automatic breaker (52).- For tripping the connection to the grid by activation of a protection relay
- Low voltage relay (27).- To detect low voltage.
- Overvoltage relay (59)
- Frequency relay (81)
- Three overcurrent relays (50-51)

7.2.12.9 Wiring System

The wiring system and method, and the number of conductors, must follow that specified in NOM-001-SEDE-2005.

7.2.12.10 Electric Loads

The electric loads that will be fed by the generator(s) must be evaluated in order to dimension the system correctly, bearing in mind that certain equipment or devices require up to five times their nominal current to start up.

7.2.12.11 Balance Between Lines

The loads connected to the generator must be balanced, avoiding the possibility of an imbalance between lines of greater than 10%.

7.2.12.12 Grounding of Equipment

7.2.12.12.1 Grounding for all Voltages

According to article 430-141 of NOM-001, all exposed metal parts which are not conductors, either of motors or of their controllers, must be grounded, to prevent a voltage increase with respect to the ground in case of accidental contact between live parts and frames or supports. Electrical insulation, separation and protection are suitable alternatives to grounding motors, depending on circumstances.

The general regulations established in article 250 must be taken into account.

7.2.12.13 Lightning Arresters

In accordance with article 280 and its subsections, a lightning arrester system must be included, in keeping with the characteristics of the installation, to protect the apparatus from high transient overvoltages by discharging or deflecting the follow-on overcurrent, and thereby preventing the risk of accidents to personnel, damage to equipment and installations, and the risk of fire and explosion.

7.2.13 Effluents

7.2.13.1 Waste Water

The project must take into account the construction of a secondary lagoon (with a capacity to match the volume of water leaving the system), to capture the effluents from the digester, in order to increase the

retention time of the effluent flow, providing further treatment and improving the quality of the water.

When the waste water and sludges from the digester are destined to be discharged into national water sources or urban and municipal sewage systems, or are intended for irrigation or as fertiliser, they must comply with the maximum permissible limits (MPLs) of pollutants as established in the corresponding Mexican environmental norm currently in force.

In the case of residual waters discharged into rivers, natural and artificial reservoirs, coastal waters and natural wetlands, and used in irrigation for agricultural purposes, the MPLs of basic pollutants, heavy metals, pathogen content and parasites, are those indicated in NOM-001-SEMARNAT-1996.

Appendix 4 provides a list of pollutants and their MPLs, which must be taken into account when discharging effluents into the bodies of water listed.

The sampling methods, the number of samples, and the methodology for the analysis of the pollutants mentioned, can be found in NOM-001-SEMARNAT.

When the effluents leaving the digester are destined for urban or municipal sewage systems, the pollutants and their MPLs are described in NOM-002-SEMARNAT-1996. Appendix 5 offers a list of pollutants and their MPLs for this scenario.

For residual water leaving the digester which will be re-used in public services, the maximum concentration of pollutants that this water may contain is specified in NOM-003-SEMARNAT-1997. The MPLs for these pollutants is presented in Appendix 6.

7.2.13.2 Sludges

When residual sludges from the digester are available to be exploited, the procedures stipulated in NOM-004-SEMARNAT-2002 must be followed.

The classification of the sludges is based on the MPLs of heavy metals, the quantity of fecal coliforms, the presence of *Salmonella*, and the quantity of helminth eggs.

The spreading of manure as fertiliser on fields must be subject to the Federal Law of Vegetable Health and in accordance with the corresponding norms currently in force.

Sites authorised for the final disposal of sludges and biosolids must be those approved by the relevant authority, according to the corresponding norms currently in force.

Appendix 7 presents the MPL of heavy metals, pathogen content, and the exploitation of sludges and biosolids according to their classification.

The methodologies for sampling and analysis to determine the characteristics and types of sludges, can be found in NOM-004.

7.3 Safety Measures

7.3.1 Restriction of Access

Access to the digester must be restricted from the moment of excavation, to protect the prepared surface and to avoid damaging the geomembrane lining the base.

Similarly, access to both people and animals should be restricted while filling the digester, as any surface sealed with geomembranes becomes slippery, especially when wet.

7.3.2 Perimeter Fence

Once the digester is finished, a perimeter fence must be erected (for example, chicken wire, railings or walls), to prevent unauthorised personnel from approaching the digester.

The fence must be at least 2m high, with clearly visible signs at the points of entry indicating restricted access.

If the digester is within the premises of the farm, such that access is already limited, it will only be necessary to fence off the area where biogas is handled, to protect the meters and burner.

7.3.3 Location of the Burner

The burner must be installed on a stable metal or concrete platform, at least 30m from the digester, and cables or air pipes.

7.3.4 Safety Notices and Warning Signs

As well as the signs showing restricted access to the digester and the area where biogas is handled, there must be clearly visible signs in all potential risk areas stating: “DANGER: HIGHLY FLAMMABLE GAS” and “SMOKING STRICTLY PROHIBITED”.

7.3.5 Safety in the Pipeline Systems

The pipes carrying influent or effluent to or from the digester must be hydraulically sealed, to prevent gas leaks from the digester via these pipes when the volume decreases and they are left in direct contact with the gas.

Maintenance must be given to the pipelines and tubing to ensure that their colour, labelling and identification are clearly visible and legible at all times.

Health and safety notices must be written and placed in such a way that they can be seen and understood by the personnel at whom they are directed, avoiding their obstruction at all times.

Tubes conveying biogas and sludges must be identified with the corresponding security colour as determined by the Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008.- Health and Safety Colours and Signs, and Identification of Risks Posed by Fluids in Pipelines.

In the case of biogas the pipes must be yellow, indicating that they carry a flammable, explosive fluid at high pressure, which is therefore considered dangerous.

Arrows must indicate the direction of flow in the pipes, and must be clearly visible from every point at which the whole network of pipes can be seen. The colour of the arrows must clearly contrast with the yellow pipe (for example, black), making them easily identifiable.

Signs must be displayed on the pipelines indicating the characteristics of the fluid (for example, in the case of biogas, they should state properties such as “TOXIC”, “FLAMMABLE”, etc.). The size of the text in proportion to the diameter of the tube is stated in the Norm.

The location of subterranean gas pipes must be clearly marked to prevent rupture and accidents.

7.3.6 Installation of Safety Valves

Safety valves must be installed which will automatically liberate the gas into the atmosphere if the digester reaches a certain pressure, thereby eliminating the risk of tearing the membrane or breaking the anchors. This mechanism may entail the loss of gas, but ensures the safety and integrity of the whole biodigestion system.

7.3.7 Prevention and Control of Fire Hazards

The degree of fire risk must be determined, as specified in NOM-002-STPS-2000, in order to identify areas where extinguishers should be installed.

Type A extinguishers must be located around the digester; and in electrical areas, type C (NOM-002).

When it is necessary to work close to the digester, the tubing, or the burner with equipment which may produce sparks, the equipment must be used downwind and as far away as possible from the work area.

Care must be taken that there are no leaks or filtrations of explosive or corrosive fluids which may damage the membrane, causing biogas leaks and the risk of fire or explosion.

Once the digester is constructed, neighbouring farms and communities must be informed of its location to reduce the risk of controlled burning and fires from their activities which could reach as far as the digester.

As a preventative and a safety measure, it is strongly recommended that the constructor install a stainless steel flame retardant device in the tube feeding the burner, to avoid the risk of fire. A thermic valve should also be installed in the pipe leaving the digester, to cut off the gas supply five seconds after a rise in temperature is detected in the tubing.

All personnel operating the system must be trained in safety procedures and how to contain a fire situation.

7.3.8 Equipment for Personal Safety and Protection

Operators working around the digester and areas exploiting the biogas generated must be given the necessary equipment to be able to work safely.

Around service areas (where the boilers are located) and the powerplant, workers must wear a safety helmet, overall and protective footwear.

To carry out the relevant activities concerning the operation and maintenance of the digester, the following equipment should be used: overall; respirator (for gases), or mask to avoid direct contact with gases; gloves to operate the system; and protective footwear.

When it is necessary to work on the geomembrane covering the digester, activities must be done in pairs (for example, removal of rain water), in order to guarantee the workers' safety. Workers must have with them the equipment necessary for the task to hand (in this scenario, safety vests, harnesses and lifelines, amongst others).

Climbing on the membrane with inappropriate footwear, when it is inflated, is not recommended, to avoid tearing the material. Shoes with a smooth or rubber sole should be used, as well as antistatic clothing, such as cotton.

In the case of accidental inhalation of a high dose of biogas, medical attention must be given immediately. Remove the victim to an unpolluted area where he/she can inhale fresh air; keep him/her warm and at rest; and if the victim is not breathing, give artificial respiration or administer oxygen.

7.3.9 Secure Engine Room for the Electric Power Plant

For adequate operation, the generator and electrical installations must be enclosed in a secure engine room, prohibiting access to unauthorised persons.

The generator exhaust must be channelled outside of the cabin via a chimney, to avoid inhalation of toxic gases by operators working within the structure.

The cabin must be situated at least 30m from the digester, and must bear a sign with the information "DANGER: RISK OF ELECTRIC SHOCK".

This area must be restricted and only authorised personnel should have access.

7.3.10 Motor-Generators

To avoid the risk of accidents in the operation of the electric plant, the operator's manual must be adhered to.

Before starting the motor, one must check there are no oil or coolant leaks, that no moving parts are blocked, and that there are obstructions to neither the radiator nor the exhaust.

If maintenance is to be carried out, it is important to disconnect the equipment completely, by cutting off the biogas supply and disconnecting both the main switch and the cable from the negative pole of the battery.

The security cabin must have an ABC-type extinguisher, specially designed for electrical installation fires.

7.4 Maintenance

Anaerobic Digester System

7.4.1 Periodic inspections of the state of the cover membrane must be made, to look for leaks, tears and general wear and tear.

7.4.2 Rubbish, dirt and rubble shifted by the wind must be removed.

7.4.3 Any accumulation of water on the cover must be immediately eliminated.

7.4.4 The sludges accumulated in the bottom of the digester must be periodically extracted to avoid sedimentation and reduced performance or operation.

7.4.5 Regular maintenance of the generator, pumps, blowers and all other equipment must be carried out according to the manufacturer's recommendations.

7.4.6 Filters must be replaced according to the supplier's or manufacturer's instructions.

7.4.7 A daily inspection of pipes, tubes, valves and meters must be made, to detect early on any damage or wear and tear, and be able to take the necessary measures to repair it immediately.

7.4.8 The pipe conducting the biogas to the generator must be inspected regularly to ensure there are no leaks.

7.4.9 The humidity traps in the tubes must be checked regularly to make sure they have not filled up.

7.4.10 The solenoid valve which controls the fuel supply must be examined to ensure it operates correctly, and periodically cleaned and adjusted.

7.4.11 The manufacturers of all the installed equipment must provide the system operators with a series of recommendations, including inspection programmes with specific points for revision.

7.5 Required Information for the Receipt of Projects

The designs and proposals presented by suppliers must include at least the following elements:

7.5.1 Executive Projects

An Executive Project must be presented, which embraces the following points:

7.5.1.1 General Description of the Project, in which the type of farm, the location of the project, the geographic area and the climatic conditions are described. Likewise, it must include detailed information on the operating conditions of the farm; the potential of the farm to benefit from the installation of a bio-digester and/or a system generating electricity from biogas; and the general and specific objectives of the project.

7.5.1.2 Bases for the Design

In this section, the production methods of the farm where the project is to be developed should be described: the method for handling manure; the type of feed; the physical, chemical and biological characteristics of the influent; and other factors which could influence the calculation of every component in the bio-digestion and motor-generator system.

With this in mind, the calculation log must also be included, with all the calculations used in the design of the system: for example, the formulas used to calculate the volume of the bio-digester, the production and use of biogas within the farm, and the dimensions of the secondary lagoon, the mixing tank, the pipeline system, the mixing system, the burner(s) and the generator, amongst others.

The bases for the design must also include an assessment of the potential benefits and impacts of the project, comparing the current situation of the farm with the expected situation after implementation of the project.

These benefits will depend on the scope of the project and may include such aspects as a reduction in the concentration of pollutants in wastewater, a reduction in the emission of GHGs, and/or the generation of electricity.

7.5.1.3 Process Diagram

Once the bases for the system design have been determined, the individual operations which form part of the process should be explained, describing each of the components to be incorporated in the bio-digester.

A general diagram to illustrate these processes should be included as part of the Executive Project, where the sequence of individual operations considered within the project should be established.

7.5.1.4 Previous Research

The previously conducted research which backs up the implementation of the project (for example, soil studies, a topographic study, a study of the environmental impacts, and so on), must also be presented as part of the Executive Project.

7.5.1.5 Process Flow Diagram

The Process Flow Diagram (PFD) must be presented, identifying the equipment involved, the interconnections, the principal process pipes and flow streams, conditions of temperature and pressure, sampling points, and mass-energy balances.

7.5.1.6 Piping and Instrumentation Diagram

The Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) must be presented, where process flow streams are shown, along with details of equipment, pipelines, valves and control instruments, among other information, as set out in the engineering project.

7.5.1.7 Mass-Energy Balances

The mass-energy balance proposed in the system design must be considered, in keeping with that presented in the PFD.

The mass balance will include mass flows and volumetric equivalents for each phase of the process flow.

The energy balance considers the enthalpies for each flow where the generation, or the addition, of thermal energy is involved.

7.5.1.8 Project Layout Plans

A plan showing the distribution of the components of the bio-digestion system must be incorporated, considering such aspects as operation, maintenance, safety and the economic aspect.

7.5.1.9 Technical Specifications of Equipment, Pipelines and Instruments

The technical specifications for each component in the system must be presented, for example:

- technical specifications for the construction of the bio-digester and auxiliary works
- technical specifications for the motor-generator
- technical specifications for the pipeline system
- technical specifications for the control instruments
- technical specifications for pumps, valves and auxiliary equipment
- technical specifications for the geomembrane
- technical specifications for measuring and control systems

7.5.1.10 Equipment List

A point-by-point list of all the equipment, components and systems which comprise the project.

7.5.1.11 Economic Evaluation of the Project

A breakdown must be made of the investment required by the project, together with the corresponding economic evaluation.

7.5.1.12 Further Information

Any relevant information which complements the previous points should be included.

7.5.1.13 Conclusions and General Recommendations

7.5.2 Manuals

Together with the Executive Project, manuals and instructions for each stage of the system should be included, based on operation, maintenance and safety.

7.5.2.1 Operating Manual

There must be an operating manual describing each of the activities and procedures to be developed at every stage of the design, construction and operation of the bio-digester.

Procedures, and instructions for starting up, operating and shutting down equipment, must be explained in detail, to ensure optimum operation.

The operating manual should also include necessary safety measures, in accordance with those established in these Standards and the corresponding norms in force, as well as the standard safety procedures for dealing with occupational hazards and accidents in the workplace: for example, a list of personal safety equipment, and what to do in the case of fire or explosion, or intoxication by gases, and so on.

Maintenance procedures should be included for the different components, systems and equipment in the project, and a maintenance schedule devised, establishing the type and frequency of preventive (and corrective) activities for each system component.

7.5.3 Protocols for Testing Equipment Safety and Quality

Procedures for start-up tests must be presented, to ensure the safety, quality and performance of the different equipment being installed.

7.5.4 Materials, Equipment and System Guarantees

Guarantees should be given for all the materials, equipment and apparatus used within the bio-digestion system.

7.5.5 Presentation of Quotes

Companies must present their quotations with a breakdown of costs and concepts, detailing unit prices for every piece of material, equipment and all services included in the installation of the bio-digestion system.

7.5.6 Technical Support Services

All suppliers' proposals must come with technical support services to guarantee the correct operation of the project after installation.

7.5.6.1 Supplier Guarantees

The supplier must present the conditions of the contract in the quotation, stating the guarantees his/her company offers to back up the bio-digester technology (for example, a physical guarantee for equipment and parts, a guarantee for operation and maintenance, etc.); as well as other aspects that the company establishes with the client (such as technical specifications for each component, conditions of maintenance, delivery times, and so on).

7.5.6.2 Training Farm Personnel

The supplier should also offer training schemes for the farm personnel responsible for the bio-digester to ensure its correct operation.

This training should include day-to-day operation, maintenance and safety for all of the different components, and must be supported with instruction manuals, diagrams and field trials.

7.5.6.3 Inspection Visits

The technical staff of the supply company should create a time frame for the activities to be conducted in the inspection visits to the farm. They will record each of these visits in a log book with photographs and other visual evidence to demonstrate the progress of the project.

7.5.6.4 After-Sales Services

The supplier must include the concept of 'after-sales services' within the proposal to the client. These services should include technical assistance (maintenance, orientation with respect to potential system faults or problems, etc.), amongst other things.

The type and frequency of these services should be presented in the contract or guarantee between the supplier and the farm.

8. Appendices

Appendix 1.- Example for Calculating the Production of Manure in Farms

For reference, we present a swine farm with the following animal population:

Stage of Growth	Type of Pig	Population	(%) per Stage
Reproduction	Lactating sows	80	2
	Gestating sows	410	8
	Dry sows	68	1
	Total Belly of Sow	558	11
	Boars	3	0
	Nursing pigs	595	11
	Subtotal	1,156	22
Rearing	Weaned pigs	1,200	23
	Subtotal	1,200	23
Finishing	Grower pigs	1,915	36
	Finisher pigs	1,000	19
	Subtotal	2,915	55
Total Pig Population		5,271	100

Firstly, we need to consider the average animal weight per stage of development on the farm, as shown in the following table:

Stage of Growth	Type of Pig	Population	Average Weight (Kg)
Reproduction	Lactating sows	80	191
	Gestating sows	410	182
	Dry sows	68	150
	Total Belly of Sow	558	
	Boars	3	163
	Nursing pigs	595	2.7
	Subtotal	1,156	
Rearing	Weaned pigs	1,200	14.6
	Subtotal	1,200	
Finishing	Grower pigs	1,915	40
	Finisher pigs	1,000	77.5
	Subtotal	2,915	
Total Pig Population		5,271	51.94

Using this information, and daily excretion rates per stage, we can determine the daily manure production per animal, per stage, using the following formula:

$$MP_a = AWS \cdot DER$$

Where:

MP_a = Daily Manure Production, per animal, per stage (Kg/day-animal)

AWS = Animal Weight per Stage of development (Kg/animal)

DER = Daily Excretion Rate per stage (%)

Applying this formula for each stage gives us the following results:

Type of Pig	Average Weight (Kg)	Daily Excretion Rate per stage (% live weight)	Daily Manure Production per pig, per stage (Kg)
Lactating sows	191	8.08%	15.43
Gestating sows	182	3.35%	6.10
Dry sows	150	5.04%	7.56
Boars	163	2.93%	4.78
Nursing pigs	2.70	9.00%	0.24
Weaned pigs	14.6	8.60%	1.26
Grower pigs	40	7.11%	2.84
Finisher pigs	77.5	6.95%	5.39

Knowing the daily manure production per pig, per stage, we can proceed to calculate the total daily manure production per stage of development on the farm, using the following equation:

$$TMP_s = MP_s \cdot AP$$

Where:

TMP_s = Total Daily Manure Production per stage (Kg/day)

MP_s = Daily Manure Production per stage (Kg/day-animal)

AP = Animal Population (number of animals per stage of development)

Finally, we can calculate the total sum of manure production per stage to obtain the total quantity of manure generated on the farm, using the following formula:

$$TMP_f = \sum TMP_s$$

Where:

TMP_f = Total Daily Manure Production on the farm (Kg)

In the case of this example, the following results were obtained:

Stage	Type of Pig	Pig Population	Daily Manure Production per pig, per stage (Kg)	Total Daily Manure Production per Stage (Kg)
Reproduction	Lactating sows	80	15.43	1,234.40
	Gestating sows	410	6.10	2,501.00
	Dry sows	68	7.56	514.08
	Total Belly of Sow	558		4,249.48
	Boars	3	4.78	14.34
	Nursing pigs	595	0.24	142.80
	Subtotal	1,156		157.14
Rearing	Weaned pigs	1,200	1.26	1,512.00
	Subtotal	1,200		1,512.00
Finishing	Grower pigs	1,915	2.84	5,438.60
	Finisher pigs	1,000	5.39	5,390.00
	Subtotal	2,915		10,829

GRAND TOTAL	5,271	16,747
-------------	-------	--------

As can be seen from the table, a farrow-to-finish farm with a total inventory of 5,271 pigs produces approximately 16,747 Kg (16.7 tonnes) of manure per day. However, as previously mentioned, this figure is subject to various factors, such as production methods, confinement, type of feed and type of farm.

Appendix 2.- Examples of Inhibitor Agents and the Concentrations at which they Limit the Anaerobic Digestion Process

Inhibiting Concentration of Heavy Metals in Anaerobic Processes		
Element	Necessary Concentration (mg/l)	Inhibiting Concentration (mg/l)
Copper (Cu)		>40
Cadmium (Cd)		>150
Zinc (Zn)		>150
Nickel (Ni)	0.006 - 0.5	>10
Lead (Pb)	0.02 - 200	>300
Chromium (Cr) III	0.005- 50	>120
Chromium (Cr) IV		>110

Concentration of Antibiotics with the Potential to Inhibit Biogas Production	
Antibiotic	Inhibiting Concentration (mg/l)
Bacitracin	100
Lasalocid	100
Monensin	8
Tisolina	100
Virginamicine	50
Furazolidone	200

Appendix 3.- Maximum Permissible Limits for Emissions of Smoke, Total Suspended Particles, Sulphur Dioxide and Nitrous Oxides in to the Atmosphere

Capacity of Combustion Equipment (Mj/h)	Type of Fuel Used	Smoke Density	Particles (TSP) mg/m3 (Kg/10 ⁶ Kcal)			Sulphur Dioxide ppm V (Kg/10 ⁶ Kcal)			Nitrous Oxides ppm V (Kg/10 ⁶ Kcal)			Excess of Air Combustion % Volume
		Ringelmann number of opacity	ZMCM	ZC	RP	ZMCM	ZC	RP	ZMCM	ZC	RP	
Up to 5,250	Fuel Oil or Gasoil	3	NA	NA	NA	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	NA	NA	NA	50
	Other Liquids	2	NA	NA	NA	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	NA	NA	NA	
	Gaseous	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
5,250 to 43,000	Liquids	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
	Gaseous	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	190 (0.486)	190 (0.486)	375 (0.959)	
43,000 to 110,000	Liquids	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
	Gaseous	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	
Greater than 110,000	Solids	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
	Liquids	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)	
	Gaseous	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	

ZMCM = Mexico City metropolitan zone

ZC = Critical zone

RP = Rest of the country

Appendix 4.- Maximum Permissible Limit of Pollutants in Discharged Residual Waters in National Water Sources

A) Basic Pollutants

Maximum Permissible Limits for Basics Pollutants																						
Parameters	Unit	Rivers						Natural and Artificial Reservoirs				Coastal Waters						Soil		Natural Wetlands (B)		
		Irrigation for Agricultural Purposes (A)		Urban Public Use (B)		Protection of Aquatic Life (C)		Irrigation for Agricultural Purposes (B)		Urban Public Use (C)		Fishing, Boating and Other Uses (A)		Recreation (B)		Estuaries (B)		Irrigation for Agricultural Purposes (A)				
		MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	
Temperature	° 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
Greases and Oils	mg/l	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Floating Debris	mg/l	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	
Sedimentable Solids	ml/l	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2	
Total Suspended Solids	mg/l	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125	
Biochemical Oxygen Demand	mg/l	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150	
Total Nitrogen	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	
Total Phosphorus	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																				

Abs = Absent

A, B, C = Class of Receiving Body according to the Ley Federal de Derechos.

MA and DA = Monthly Average; Daily Average

B) Heavy Metals and Cyanides

Maximum Permissible Limits for Heavy Metals and Cyanides																					
Parameters	Unit	Rivers						Natural and Artificial Reservoirs				Coastal Waters						Soil		Natural Wetlands (B)	
		Irrigation for Agricultural Purposes (A)		Urban Public Use (B)		Protection of Aquatic Life (C)		Irrigation for Agricultural Purposes (B)		Urban Public Use (C)		Fishing, Boating and Other Uses (A)		Recreation (B)		Estuaries (B)		Irrigation for Agricultural Purposes (A)			
		MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA	MA	DA
Arsenic	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
Cadmium	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
Cyanides	mg/l	1	3	1	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2	3	1	2	2	3	1	2
Copper	mg/l	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6
Chromium	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
Mercury	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
Nickel	mg/l	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Lead	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) Pathogens and Parasites

- Fecal coliform bacteria are used as an indicator of pathogen contamination in water. The maximum permissible limit for residual water discharged into national water sources and soil (agricultural irrigation), is between 1,000 and 2,000 fecal coliforms per 100ml, according to the most probable number (MPN) method.

-
- Parasite levels of contamination in water are indicated by the quantity of Helminth eggs. The maximum permissible limit for residual water applied to the land (in agricultural irrigation), is one helminth egg per litre for unrestricted irrigation, and five eggs per litre for restricted irrigation.

Appendix 5.- Maximum Permissible Limit for Pollutants in Residual Waters Discharged into Urban or Municipal Sewage Systems

Maximum Permissible Limits for Pollutants			
Parameters	Unit	Monthly Average	Daily Average
Temperature	° C	40° C	
pH		5.5 -10	
Greases and Oils	mg/l	50	75
Sedimentable Solids	ml/l	5	7.5
Total Arsenic	mg/l	0.5	0.75
Total Cadmium	mg/l	0.5	0.75
Total Cyanides	mg/l	1	1.5
Total Copper	mg/l	10	15
Hexavalent Chromium	mg/l	0.5	0.75
Total Mercury	mg/l	0.01	0.015
Total Nickel	mg/l	4	6
Total Lead	mg/l	1	1.5
Total Zinc	mg/l	6	9

For the parameters Floating Debris, Biochemical Oxygen Demand, Total Suspended Solids, Total Coliforms and the presence of Helminth Eggs, the MPLs are those indicated in NOM-001-SEMARNAT-1996.

Appendix 6.- Maximum Permissible Limit for Pollutants in Treated Residual Waters which are Re-used in Public Services

Type of Re-use	Monthly Average				
	Fecal Coliforms MPN/100 ml	Helminth Eggs (egg/l)	Greases and Oils (mg/l)	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)
Public Services with Direct Contact	240	≥ 1	15	20	20
Public Services with Indirect or Occasional Contact	1,000	≤ 5	15	30	30

The parameters for pollutants established in NOM-001 and NOM-002, will have as MPLs those levels indicated in said norms.

Appendix 7.- Specifications and Maximum Permissible Limits for Pollutants in the Exploitation and Disposal of Sludges and Biosolids.

A) Type of Biosolid According to MPLs in Concentrations of Heavy Metals

Maximum Permissible Limits for Heavy Metals In Sludges and Biosolids		
Pollutant	Type of Sludge and/or Biosolid	
	Excellent mg/Kg (dry mass)	Good mg/Kg (dry mass)
Arsenic	41	75
Cadmium	39	85
Chromium	1,200	3,000
Copper	1,500	4,300
Lead	300	840
Mercury	17	57
Nickel	420	420
Zinc	2,800	7,500

B) Classes of Biosolids According to Pathogen and Parasite Content

Maximum Permissible Limits for Pathogens and Parasites in Sludges and Biosolids			
Class	Bacteriological Indicator of Contamination	Pathogens	Parasites
	Fecal Coliforms MPN/g (dry mass)	<i>Salmonella</i> spp. MPN/g (dry mass)	Helminth Eggs /g (dry mass)
A	Less than 1,000	Less than 3	Less than 1
B	Less than 1,000	Less than 3	Less than 10
C	Less than 2,000,000	Less than 300	Less than 35

C) Exploitation of Biosolids According to Class

Exploitation of Biosolids		
Type	Class	Exploitation
Excellent	A	<ul style="list-style-type: none"> - Urban uses with direct public contact during application - Those established for class B and C
Excellent or Good	B	<ul style="list-style-type: none"> - Urban uses without direct public contact during application - Those established for class C
Excellent or Good	C	<ul style="list-style-type: none"> - Forestry uses - Improvement of soils - Agricultural uses

9.- Bibliography

- Álvarez A. R., 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 Pages.
- 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. May 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.