

Anexo No.4
Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico – RAS
Título E - TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Ficha Técnica Gestión del Biogás

Contenido

Descripción de la generación de biogás.....	2
Producción de biogás en PTAR.....	9
Monitoreo de parámetros en el manejo del biogás.....	12
Quema y aprovechamiento del biogás.....	14
Oportunidades y riesgos.....	17
Referencias bibliográficas	19

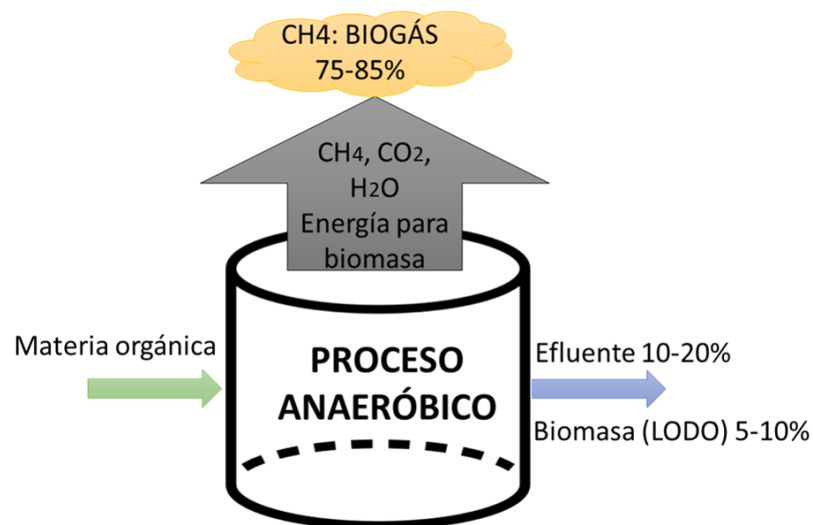
No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
Descripción de la generación de biogás		
<p>Condiciones para el tratamiento del biogás</p> <p>Tratamiento biológico de aguas residuales</p> <p>Según lo planteado por Nolasco (2010) el principal objetivo de los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales es reproducir de manera confinada y controlada los mecanismos naturales, por los cuales diversos microorganismos descomponen la materia orgánica convirtiéndola en productos minerales inertes. Para que estos procesos puedan ser eficientemente aplicados a la depuración de aguas residuales domésticas o industriales, deben lograrse tasas de degradación significativamente mayores a las alcanzadas en la naturaleza.</p> <p>Esto se logra a través del control de las condiciones físico-químicas en reactores diseñados y operados para cumplir objetivos de efluente previamente definidos. De esta forma, se obtienen concentraciones de biomasa mucho mayores que las encontradas en un cuerpo de agua natural, y la velocidad de degradación aumenta proporcionalmente, logrando así la reducción de contaminantes deseada en espacios y tiempos mucho menores que en los procesos naturales (Nolasco, 2010).</p> <p>Para crecer y reproducirse, en un medio natural los microorganismos necesitan energía para sustentar sus funciones metabólicas adicionalmente carbono y nutrientes (nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, etc.) para generar nuevo material celular.</p> <p>Todo esto es obtenido de la materia contenida en el efluente, del ambiente o de aportes del sistema de tratamiento escogido para la depuración de las aguas. De manera general, existen tres tipos de microorganismos según sus condiciones de respiración:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organismos aerobios que utilizan oxígeno disuelto para respirar. El carbono orgánico es oxidado, obteniendo como productos finales de estas reacciones bioquímicas dióxido de carbono (CO₂) y agua. • Organismos facultativos que utilizan oxígeno disuelto cuando éste se encuentra disponible. Cuando no hay oxígeno disuelto utilizan el oxígeno ligado al nitrito (NO₂) o nitrato (NO₃), etc. • Organismos anaerobios que utilizan reacciones endógenas debido a que no pueden obtener energía mediante respiración aeróbica. En condiciones anaeróbicas, el CO₂ actúa como receptor de electrones y los principales productos finales son el dióxido de carbono y el metano (la forma más reducida del carbono). <p style="text-align: center;"><i>Respiración anaerobia</i></p> <p style="text-align: center;">C₆H₁₂O₆ (carbono orgánico) 3 CH₄ + 3 CO₂ + energía para el metabolismo</p>		

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
---------	----------------------	---------------------------

El proceso anaerobio no requiere suministro de oxígeno (por consiguiente, su consumo energético es mucho menor), genera una cantidad de lodos considerablemente menor, y como producto de la degradación de la materia orgánica se obtiene metano, que puede ser utilizado con fines energéticos.

Las condiciones viables para realizar el uso y el aprovechamiento de biogás generado a partir de los tratamientos de las aguas residuales domésticas, parte desde el proceso de tratamiento biológico que se emplea, generalmente, los procesos anaerobios, gracias a la degradación de la materia orgánica junto con la ausencia de oxígeno potencializan la generación de metano que sirve para producir energía eléctrica o calorífica principalmente.






Figura 1 Proceso anaerobio



Fuente: Adaptado de: Nolasco et al., 2010 (pág. 15)

La composición del biogás que se genera a partir de procesos anaerobios en los tratamientos de las aguas residuales domésticas está conformada alrededor del 55 al 75% por metano (CH₄), además de ser un gas inflamable con un alto potencial de calentamiento global de 28 veces más que el CO₂, según el quinto reporte del IPCC (AR5), es un gas con poder calorífico que permite ser utilizado para fines de aprovechamiento energético y/o para ser quemado con el fin de ser reducido a CO₂ lo que permite disminuir su impacto como gas de efecto invernadero (GEI).

A continuación, se presenta un esquema sobre el proceso y las principales características que se realiza para el manejo del biogás para su uso final, partiendo desde la generación previamente explicada:

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
Figura 2 Proceso anaerobio		
 <p>Acumulación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La generación de gas se acumula en la parte superior de los reactores o estructuras ad hoc • En grandes instalaciones se remueve el ácido sulfhídrico para evitar corrosión • Se realiza lavados del gas para separar el CO₂ 	
 <p>Captación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se remueve el biogás por vacío entre las tuberías de entrada y salida • Se debe mantener la presión constante • Se evitan las fugas de gas 	
 <p>Conducción</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza generalmente por tuberías que sean inertes al sulfuro de hidrógeno • Las mangueras deben ir aisladas para evitar daños externos • En grandes distancias entre la captación y la utilización del biogás se utilizan tuberías rígidas o flexibles que brinden una mayor resistencia mecánica 	
 <p>Condensación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe remover el vapor de agua que se condensa al entrar a la tubería, ya que este arrastra partículas sólidas inertes y puede ocasionar i) Obstrucciones en las cañerías, ii) Disminución del rendimiento energético del biogás • Se remueve el vapor de agua por: i) En cañerías cortas por pendiente, ii) en cañerías largas mediante recipientes de recolección de agua 	
 <p>Remoción de ácido sulfhídrico</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El biogás contiene concentraciones de 0,1% a 0,5% de ácido sulfhídrico • Se debe remover por: i) Corrosión de las tuberías e instalaciones, ii) Olores, iii) Problemas de salud iv) puede generar ácido sulfúrico (H₂SO₄), que ocasiona daños en motores e instalaciones • Se remueve mediante cajas secas (circulación del gas en un recipiente hermetico con esponjillas de hierro donde reacciona y se adhiere en forma de sulfuro ferroso (FeS) 	
Fuente: Adaptado de: Nolasco et al., 2010 (pág. 42)		

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
<p>A continuación, se describen los métodos de tratamiento que se le debe dar al manejo del biogás:</p> <p>Remoción de sulfuro de hidrógeno</p> <p>Según López et al. (2017), el biogás producido en una PTAR puede contener sulfuro de hidrógeno (H₂S) en una concentración volumétrica de hasta 7 000 ppmv. La reacción del H₂S con el agua en presencia de oxígeno produce ácido sulfúrico, el cual exige que los materiales utilizados tengan una elevada resistencia a la corrosión. De esta manera, se debe disminuir la cantidad de H₂S con el fin de extender la durabilidad de los componentes del sistema y cumplir requisitos de calidad de fabricantes de plantas de cogeneración y calderas.</p> <p>Los procesos de remoción de H₂S, o desulfuración, pueden ser biológicos, químicos o físicos; la selección del proceso o la combinación de varios procesos se establece de acuerdo con el uso del biogás tratado. Si la separación de H₂S es gruesa, la desulfuración puede realizarse en el propio digestor, en el gasómetro o en un sistema para este fin. Cuando la desulfuración requerida es fina (concentraciones traza), entonces requiere un proceso externo más complejo y costoso (López Hernández, 2017).</p> <p>Eliminación de humedad</p> <p>Acorde con López et al. (2017), con el propósito de proteger los componentes del equipo de uso de biogás contra desgaste y la corrosión, además de cumplir los requerimientos de las fases de purificación siguientes, en el proceso de condensación para la captación y utilización de biogás es necesario eliminar el vapor de agua del biogás, toda vez que disminuye su rendimiento energético (Nolasco, 2010). La cantidad de vapor de agua depende de la temperatura del biogás, la humedad relativa del biogás en el digestor es de 100 %. La remoción de agua se da por los siguientes procesos: secado por condensación, secado por adsorción y el secado por absorción (FNR, 2013).</p> <p>Remoción de gas carbónico</p> <p>La remoción de CO₂ es el principal punto en la conversión del biogás en biometano, lo cual estimula el incremento del poder calorífico, a fin de obtener un índice de Wobbe apropiado, parámetro de calidad fundamental para el uso del biometano como suplente del gas natural, para la inyección en la red de gas natural, o para uso como combustible vehicular. Así mismo, la sustracción de CO₂ puede usarse como etapa intermedia en la producción de hidrógeno, para su utilización en celdas de combustible (López Hernández, 2017).</p> <p>Remoción de los siloxanos</p> <p>Las tecnologías disponibles para la remoción de siloxanos del biogás usan principalmente materiales adsorbentes como carbón activado, sílice gel, zeolitas y tamices moleculares. También se utiliza la tecnología de refrigeración-condensación. El tratamiento para la eliminación de siloxanos es</p>		

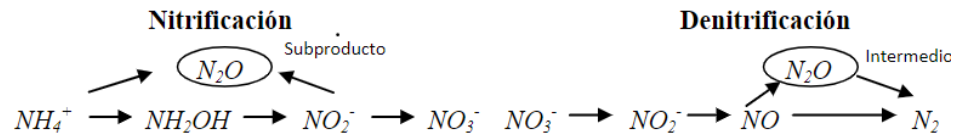
No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
<p>recomendable para aumentar los intervalos de mantenimiento de las unidades de aprovechamiento de biogás, desde un punto de vista económico (López Hernández, 2017).</p>		
<p>Remoción de oxígeno, nitrógeno y compuestos orgánicos halogenados</p>		
<p>López et al. (2017) exponen que el oxígeno y el nitrógeno no son eliminados en los procesos de lavado con agua presurizada o lavado físico con solventes. En el proceso de absorción con aminas se debe evitar la entrada de estos dos compuestos, ya que el nitrógeno no es absorbido, propiciando la dilución del gas resultante. El oxígeno puede impactar de forma irreversible la ejecución del proceso, debido a la oxidación de las aminas. Por otra parte, la remoción de compuestos orgánicos halogenados puede suceder a través de métodos de adsorción o absorción con hidrocarburos alifáticos superiores como el lavado con aceite.</p>		
<p>Remoción de ácido sulfhídrico</p>		
<p>El ácido sulfhídrico se encuentra en el biogás en concentraciones de 0,1 % a 0,5 %. Es deseable su remoción con el fin de evitar la corrosión de las tuberías e instalaciones, el fuerte olor, problemas de salud y producción de ácido sulfúrico (H₂SO₄), que ocurre cuando el sulfhídrico se combina con el oxígeno. El H₂SO₄ daña motores e instalaciones. El procedimiento más usado para remover el ácido sulfhídrico por su costo, efectividad, sencillez y baja resistencia al flujo de gas es el “método de la caja seca”, donde el gas transita a través de un recipiente hermético con esponjillas de hierro finamente divididas (Nolasco, 2010).</p>		
<p>Una vez descritos los métodos de tratamiento para el manejo del biogás, se detalla a continuación la generación de metano y óxido nitroso y el consumo energético en una PTAR.</p>		
<p>Generación de metano</p>		
<p>La digestión anaerobia genera biogás, constituido en aproximadamente dos terceras partes por metano. En un medio sin presencia de oxígeno disuelto, los microorganismos facultativos y anaerobios degradan la biomasa presente en el agua o lodo produciendo metano y dióxido de carbono (Nolasco, 2010).</p>		
<p>El gas emitido por una unidad de tratamiento anaeróbica se denomina biogás y está compuesto por diversos gases; la composición típica de biogás de una PTAR anaeróbica tiene metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno y trazas de oxígeno (Nolasco et al., 2010).</p>		
<p>Rendimientos en la producción de metano</p>		
<p>El volumen de metano producido se verá afectado por la cantidad de materia orgánica degradada y la medida en que el medio se encuentre libre de oxígeno disuelto. Esta última propiedad se ve condicionada por el diseño y mecanismos de aireación (naturales o inducidos) que posea la unidad de tratamiento.</p>		

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
<p>Según datos del IPCCⁱ, el factor de emisión para un sistema de tratamiento y eliminación de aguas servidas es una función del potencial máximo de producción (B_0) de CH_4 y del factor de corrección para el metano (MCF) para el sistema de tratamiento y eliminación de las aguas residuales, B_0 corresponde a la cantidad máxima de CH_4 que puede generarse a partir de una cantidad dada de sustancias orgánicas, así como lo expresa la DBO y la DQO contenidas en las aguas servidas. Los valores por defecto que maneja la metodología son 0,25 kg de metano por cada kg de DQO degradada y 0,6 kg de metano por cada kg de DBO degradada. Adicionalmente, el MCF indica la medida en la que se manifiesta el potencial máximo de producción del CH_4 (B_0) en cada tipo de método de tratamiento y vía o sistema de eliminación. Por lo tanto, es una indicación de la medida o grado en que cada sistema es anaerobio.</p> <p>Por otra parte, como lo describe Nolasco (2010), el mecanismo de degradación anaeróbica tiene tres pasos básicos a saber:</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Hidrólisis: el material particulado es convertido en compuestos solubles que luego pueden ser hidrolizados aún más a moléculas simples que son utilizadas por las bacterias que llevan a cabo la acidogénesis. II. Fermentación: en esta etapa, también conocida como acidogénesis, los ácidos grasos, aminoácidos y azúcares formados en el paso anterior son degradados aún más. Los principales productos de la fermentación son el acetato, el hidrógeno y el dióxido de carbono. III. Metanogénesis: esta fase es llevada a cabo por una clase de microorganismos anaerobios denominados metanógenos. Existen dos grupos de microorganismos metanógenos: los acetoclásticos (degradan el acetato a metano y dióxido de carbono) y los utilizadores de hidrógeno (generan metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono). El desarrollo de los organismos metanogénicos se ve inhibido en presencia de oxígeno disuelto. Las siguientes ecuaciones ilustran, de forma resumida, el proceso metanogénico: $CH_3COOH \text{ (acetato)} + CO_2 \rightarrow CH_4 + CO_2 + 4 H_2 + 2H_2O$ <p>La mayor o menor producción de metano es función de diferentes factores: nivel de biodegradabilidad de la materia orgánica que entra al reactor, temperatura dentro del reactor y volumen de mezcla completa real dentro del reactor. En general, cuanto mayores son estos parámetros, más aumenta el contenido del metano en el biogás; sin embargo, toxicidad, cortocircuitos hidráulicos, régimen de operación discontinua, solubilidad del metano, entre otros factores, reducen el porcentaje de metano en el biogás. Los modelos matemáticos desarrollados al momento para simular el comportamiento de estos reactores no logran predecir con precisión el contenido de metano en el biogás (Nolasco, 2010).</p> <p>Generación de óxido nitroso</p> <p>El óxido nitroso (N_2O) puede generarse como subproducto durante los procesos de nitrificación/denitrificación en plantas de tratamiento o en cursos de agua donde el efluente crudo o parcialmente tratado es descargado a un cuerpo de agua. La generación de N_2O ocurre principalmente</p>		

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
---------	----------------------	---------------------------

durante los procesos metabólicos llevados a cabo por bacterias autótrofas que oxidan el amoníaco (p. ej. Nitrosomonas) y bacterias heterótrofas que transforman nitratos en gas nitrógeno (p. ej. Pseudomonas).

Figura 3 Proceso de nitrificación y denitrificación



Fuente: Nolasco (2010) pág.

De manera general, se puede decir que una planta de tratamiento biológico de aguas residuales tiene potencial para nitrificar cuando se desarrollan las siguientes condiciones:

- Presencia de oxígeno disuelto.
- Temperatura media mayor a 15°C.
- Tiempo de residencia hidráulico mayor a 5 horas.
- Tiempo de retención de sólidos mayor a 5 días.
- Existencia de NH₃ en el afluente a tratar.
- No existencia de tóxicos en niveles que inhiban el accionar de las bacterias nitrificadoras.
- pH mayor a 6,5 y menor a 8,5.

Continuando con Nolasco (2010), los procesos de denitrificación son diseñados con el objetivo de remover nitrógeno del efluente y así evitar la eutrofización del cuerpo receptor o para controlar el nivel de nitratos en la misma. El proceso de denitrificación se obtiene introduciendo un ciclo que por lo menos cuenta con dos reactores: un tanque anóxico (sin oxígeno disuelto) antes o después de un reactor aeróbico. De esta forma, el oxígeno ligado al nitrato generado a partir de la oxidación del nitrógeno amoniacal (nitrificación) es utilizado en el reactor anóxico, liberando nitrógeno gaseoso (N₂). Debido al alto costo de este tipo de tratamiento, en los países en vías de desarrollo existen muy pocas plantas con procesos de nitrificación/denitrificación; sin embargo, investigaciones recientes muestran que plantas que normalmente nitrifican (situación relativamente común en sistemas aeróbicos en regiones con temperaturas de aguas residuales superiores a los 18°C) pueden denitrificar parcialmente en zonas de bajo nivel de mezcla (anoxia parcial). Bajo estas condiciones, puede emitirse N₂O.

Consumo de energía

Dentro de una planta de tratamiento existen cuatro componentes que consumen la mayor cantidad de energía:

- Aireación y/o mezcla: mecánica de superficie o por difusores sumergidos.
- Bombas: flujo de efluente, recirculación de lodos.
- Calefacción del sistema de tratamiento (sólo para digestión anaeróbica).
- Manejo de lodos: bombas centrífugas para deshidratación, operación de filtros.

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
<p>Dependiendo del sistema de tratamiento implementado, cada uno de estos componentes puede tener distinta implicancia dentro de la matriz energética. En procesos totalmente aeróbicos, se estima que el consumo de energía para aireación consume alrededor de 1 kW/kg DBO5 removida. Este valor es altamente variable en función del sistema de aireación utilizado (difusores de burbuja gruesa vs. difusores de poro fino), la ubicación de la planta (a mayor elevación sobre el nivel del mar, menor es la eficiencia de transferencia de oxígeno y, por ende, mayor el consumo eléctrico), y el tipo de tratamiento (solamente remoción de carga orgánica, nitrificación/desnitrificación, o solamente nitrificación; el consumo de energía eléctrica aumenta según este proceso) (Nolasco, 2010).</p> <p>El requerimiento energético de una planta de tratamiento de aguas residuales depende de la capacidad de la planta, de la tecnología de tratamiento, del tipo de tratamiento que se le dé al lodo generado y de otros factores locales específicos.</p> <p>Estudios desarrollados en plantas de tratamiento de lodos activados reportan que el consumo específico varía entre 30 y 60 KWh/(p.e x año)¹, del que aproximadamente dos tercios corresponden al sistema de aireación de la unidad de tratamiento biológico aeróbico. En plantas aeróbicas pequeñas, con capacidad de entre 1.000 y 5.000 por ejemplo, pueden alcanzarse valores de consumo específico significativamente mayores, de hasta 150 KWh/(p.e x año). Por otro lado, en lagunas de tratamiento no aireadas o reactores anaerobios sin sistema de calefacción, pueden registrarse valores de consumo menores a 10 KWh/(p.e x año). En sistemas de tratamiento anaerobios, para lograr un grado de tratamiento eficiente la temperatura del reactor suele llevarse a 30 -35 °C. La energía requerida por el sistema de calefacción depende, sobre todo, de la temperatura ambiente y del grado de dilución del agua servida a tratar. Para aguas servidas diluidas (200 mgDBO/l), la energía requerida para llevar la temperatura de 20 a 30 °C puede llegar a igualar la energía requerida en un sistema de lodos activados de la misma capacidad (Nolasco, 2010).</p>		
Producción de biogás en PTAR		
<p>A continuación, se describen algunos procesos de las PTAR anaerobias que presentan una relación con la generación de metano, la descripción detallada de estos procesos de tratamiento se presenta en el Anexo 2 del Título E.</p> <p>Lagunas facultativas: En las lagunas facultativas, la producción de metano suele ser menor a la mitad de la de una laguna anaerobia (Nolasco, 2010).</p> <p>Reactores anaerobios</p> <p>De acuerdo con Nolasco (2010) en los reactores anaerobios la producción de metano podrá ser la máxima posible, en caso de optimizar la tasa metabólica.</p>		

¹ p.e.: poblador equivalente, es el que genera 40-60 g de DBO/día.

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
<p>Según el rango térmico óptimo de las bacterias en la degradación anaerobia de la materia orgánica, pueden ser de tres tipos: psicofílicas, mesofílicas y termofílicas. Las dos últimas son generalmente las predominantes en digestores anaerobios, siendo las mesofílicas las más comunes. El rango óptimo de temperatura de las bacterias mesofílicas es de 30 °C a 40 °C, por lo que en climas templados o fríos requieren de un sistema de calefacción que garantice este rango.</p> <p>En algunos casos, los reactores anaerobios pueden necesitar de un “pulido” mediante un tratamiento aerobio adicional, a fin de obtener la calidad de efluente final requerida para descargar. El biogás generado puede ser capturado y quemado en una mecha correspondientes a la cantidad de metano quemado, o puede ser aprovechado como fuente de energía (Nolasco, 2010).</p> <p>Reactores UASB (Manta de lodos anaerobios de flujo ascendente por sus siglas en inglés):</p> <p>En la digestión se produce biogás con una alta concentración de metano que varía de 60 a 85 % v/v (porcentaje volumen a volumen) (López Hernández, 2017)</p> <p>El separador trifásico (gas-sólido-líquido) del reactor donde se da paso al biogás, debe contar con deflectores para evitar la obstrucción de gas y lodo acumulado (López Hernández, 2017).</p> <p>Para el balance de DQO, López et al. (2017) recomiendan considerar todas las vías de conversión de la materia orgánica biodegradable. Las rutas de conversión de la DQO y los flujos de metano denotan cuatro cuotas principales, una de las cuales es la DQO convertida en biogás/metano: metano presente en el biogás captado, metano disuelto en el efluente (que depende de la concentración de DQO en el afluente y la temperatura), y metano que escapa con el gas residual en la captación de biogás. La vía más compleja de controlar y verificar es la cantidad de metano que sale del sistema disuelto en el efluente, que puede ser relevante si la concentración de DQO en el efluente es muy pequeña. A pesar de que el CH₄ tiene baja solubilidad en agua y puede ser separado de forma rápida de la fase líquida, el CO₂ y el H₂S son extremadamente solubles, por lo que salen del reactor parcialmente como gas y disueltos en el efluente líquido (Chernicharo, 2008).</p> <p>Digestores de lodos: Se utilizan fundamentalmente para la estabilización de lodos primarios y secundarios generados en el tratamiento de agua residual. La estabilización facilita la generación de biogás por lo que se puede realizar un aprovechamiento en energía, además de reducir el volumen de lodo para su disposición final.</p> <p>Procesos adicionales a la generación de biogás</p> <p>Co-digestión</p> <p>López et al. (2017) la definen como el tratamiento paralelo de ciertas cantidades de material orgánico de diferentes fuentes en un sólo digestor, lo que puede demandar una adaptación técnica y un nuevo protocolo de operación. La co-digestión busca aprovechar la capacidad de un digestor existente, dado</p>		

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
<p>que generalmente tienen un potencial significativo no utilizado, así como de mejorar el contenido orgánico del sustrato, la relación C:N y el ajuste del pH. Regularmente, se usa del lodo del tratamiento de aguas residuales como sustrato principal, combinado con un sustrato o variedad de sustratos de menor cantidad, lo cual puede optimizar la producción de biogás. Las tasas típicas de adición de co-sustratos en digestores de lodos pueden variar de 5 a 20 %. Por su parte, la adición de co-sustratos podría ampliar la producción de biogás de 40 a 200 % (Braun, 2002).</p>		
<p>Se deben elegir sustratos compatibles para aumentar la producción de metano, apartándose de los que puedan reprimir su generación. El volumen de co-sustrato adicional puede impactar el tiempo de retención en el digestor anaerobio. Si se quiere incrementar la producción de biogás y disminuir olores, se requieren tiempos de retención más extensos que permitan a los sustratos ser digeridos totalmente (López Hernández, 2017)</p>		
<p>De acuerdo con los resultados experimentales del estudio “Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento” la producción de biogás a partir de la fracción orgánica de residuos municipales, se potencializa al realizar co-digestión con lodos de PTAR (UNAL, 2018).</p>		
<p>Conducción</p>		
<p>La selección de las tuberías rígidas o flexibles para la conducción de biogás debe tener en cuenta si son enterradas o elevadas, composición química buscando resistencia frente a corrosión, daños que pueda ocasionar la luz solar, personas o animales, distancia entre el punto de captación y el de utilización (Nolasco, 2010). En todo caso deben cumplir con la Resolución 501 de 2017 que asegura el cumplimiento de requisitos asociados a resistencia química, que las tuberías estén identificadas y que cuenten con información técnica actualizada.</p>		
<p>Asimismo, para la conducción y monitoreo del biogás se debe tener en cuenta: accesorios en la línea de biogás, tuberías de conducción, filtros, trampa de sedimentos y condensados, dispositivos de protección contra sobrepresión y vacío, válvulas para control de flujo, arresta flamas y válvulas de corte térmico, medidores de biogás y el dimensionamiento de la línea de biogás (López Hernández, 2017).</p>		
<p>Almacenamiento del biogás</p>		
<p>El almacenamiento es imprescindible para aprovechamiento energético del biogás. Cuando la planta solo cuenta con quemador de biogás, la instalación de un gasómetro puede ser innecesaria. No obstante, si se exige una quema eficiente del biogás o se considera la oportunidad más adelante del uso energético, debe planearse el montaje de un equipo de almacenamiento, que comúnmente es llamado gasómetro. En las plantas donde existe co-generación se recomienda instalar los gasómetros en línea sobre el gasoducto principal y no en paralelo. El gasómetro requiere la construcción de una línea de derivación que permita el uso del biogás o la opción de dirigirlo al quemador, en caso de obras de reparación. Es</p>		

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
difícil definir el método para establecer el volumen de almacenamiento necesario aplicable universalmente, dado las diferentes posibilidades en el uso del biogás (López Hernández, 2017).		
Monitoreo de parámetros en el manejo del biogás		
<p>Parámetros por monitorear en una planta de aprovechamiento de biogás: En la siguiente de tabla se presentan las frecuencias sugeridas de monitoreo y la importancia de su determinación en cuanto a los parámetros que se deben tener en cuenta en una planta de aprovechamiento de biogás.</p> <p style="text-align: center;">Tabla 1 Parámetros para monitorear en una planta de aprovechamiento de biogás</p>		

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS	
PARÁMETRO		FRECUENCIA	COMENTARIOS
Flujo del sustrato		Continuamente, en tiempo real	Es de fundamental importancia el monitoreo continuo de los flujos de entrada a los reactores UASB y a los digestores de lodo
Caracterización de nuevos sustratos (pH, TKN, sólidos totales, sólidos volátiles)		Puntual, cuando hay nuevo sustrato	En el caso de reactores UASB, deben ser evaluados aportes adicionales de sustratos; por ejemplo, de lodo de tanque séptico, lixiviado de relleno sanitario, residuos de cuartos de baño químicos, lodo de PTAR. Cuando el digestor de lodo reciba nuevos cosustratos, éstos deben ser caracterizados para evitar desestabilización del proceso
Biodegradabilidad anaerobia de nuevos sustratos (prueba BMP, potencial de biometano)		Puntual, cuando hay nuevo sustrato	Cuando el reactor UASB o el digestor de lodo reciba nuevos cosustratos debe revisarse su potencial de degradación anaerobio. Pruebas BMP son usualmente utilizadas para ese propósito
Flujo de biogás		Continuamente, en tiempo real	Puede indicar inestabilidad del proceso anaerobio. Útil para tomar decisiones con relación a inversiones para plantas de aprovechamiento de biogás
Calidad del biogás (CH ₄)		Continuamente, en tiempo real y cuando hay aprovechamiento de biogás	El conocimiento del contenido de CH ₄ es importante cuando se planea o ya existe el aprovechamiento de biogás. Cambios en el contenido de CH ₄ pueden indicar inestabilidad del proceso
Calidad del biogás (H ₂ S, CO ₂ y O ₂)		Continuamente, en tiempo real y cuando hay aprovechamiento de biogás	Parámetros auxiliares para control de proceso. El contenido de O ₂ es importante para identificar eventuales formaciones de mezclas explosivas motivadas por contaminación del biogás con aire. Su medición es importante, sobre todo, para reactores UASB
Temperatura del biogás		Continuamente, en tiempo real	Parámetro de fácil medición y para control de proceso. Útil para expresar la producción de biogás en CNTP
Presión del biogás		Continuamente, en tiempo real	Parámetro de fácil medición y para control de proceso. Útil para expresar la producción de biogás en CNTP
Temperatura en el reactor anaerobio		Continuamente, en tiempo real	La temperatura debe ser medida, obligatoriamente, en el caso de digestores de lodo que trabajan en el régimen mesofílico y presentan sistema de calentamiento, revestimiento térmico, o ambos. Se recomienda también la medición de la temperatura en reactores UASB y en el caso de digestores de lodo en condiciones psicofílicas
DQO del sustrato		Dos a cuatro veces por semana	Útil para la evaluación de la eficiencia de degradación de la materia orgánica
DBO del sustrato		Dos a cuatro veces por semana	Útil para la evaluación de la eficiencia de degradación de la materia orgánica
Sólidos totales y volátiles del sustrato		Dos a cuatro veces por semana	Útil para la evaluación de la eficiencia de degradación de la materia orgánica. En los digestores de lodo, la determinación es necesaria para control de bombeo y mezcla
pH del sustrato		Dos a cuatro veces por semana	Se recomienda en el caso de digestores de lodo y de reactores UASB

Fuente: Adaptada de López et al., 2017 (pág. 168)

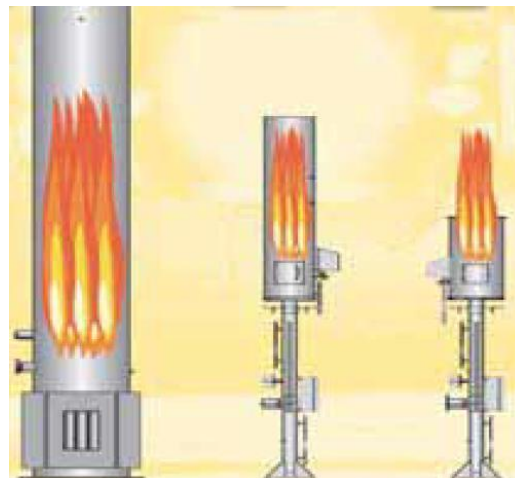
No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
---------	----------------------	---------------------------

Los aspectos particulares del manejo del biogás en cuanto a las actividades de operación y mantenimiento en estos sistemas se orientan principalmente a la purga periódica de lodos digeridos y los métodos de tratamiento de biogás. La purga se hace cuando se hayan alcanzado las metas de remoción de carga orgánica carbonácea. En esta operación se conducen los lodos decantados en el fondo hacia el sistema de deshidratación mediante bombeo o gravedad.

Quema y aprovechamiento del biogás

Quema de Biogás: Este proceso se realiza en instalaciones donde el volumen de biogás obtenido y los precios de la energía no justifican el aprovechamiento energético del biogás. El uso final que se le dé al biogás dependerá de las necesidades del contexto; usualmente se conocen tres tipos de quemadores: cerrado, semicerrado o híbrido, y abierto, los cuales se describen a continuación.

Figura 4 Tipos de quemadores



Fuente: López et al., 2017 (pág. 100)

La ventaja de los quemadores abiertos es que puede verificarse su desempeño a simple vista a través de la llama aparente. Adicionalmente, son de menor precio que los quemadores cerrados. Entre las desventajas están menor eficiencia de combustión y mayor área de seguridad requerida por la radiación de calor que ocasiona la llama. En los quemadores cerrados la llama queda encerrada en una cámara de combustión, normalmente de acero al carbón, con aislamiento térmico de cerámica que admite temperaturas internas de aproximadamente 1.000 °C y externas a la pared de acero inferiores a 80 °C. por su parte, los quemadores semicerrados acoplan características de los dos quemadores anteriores, por una parte, no incluyen aislamiento, la cámara de combustión es más pequeña y en algunos modelos la llama es observable, por otra parte, no cuentan con control de la temperatura en la cámara de combustión, las emisiones no pueden ser medidas y el bajo tiempo de permanencia en la cámara, conlleva a una menor eficiencia de combustión de los gases (López Hernández, 2017).

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
<p>Noyola et al. (2006) exponen las características generales que los quemadores deben cumplir en su diseño: la temperatura del gas a la salida debe ser al menos de 900 °C, el tiempo de residencia del biogás en el quemador de al menos de 3 segundos, el contenido de H₂S en el biogás que será quemado debe ser inferior a 50 ppmv. (de lo contrario, es aconsejable eliminar este compuesto por algún método de desulfurización), y para evitar la generación de dioxinas, la concentración de hidrocarburos halogenados en el biogás debe ser inferior a 150 mg/m³.</p>		
<p>Como patrón general, los quemadores deben instalarse de manera que su flama, gases calientes y componentes no configuren riesgo alguno para las personas, por lo cual López et al. (2017) recomiendan que los gases de escape y humos de llama deben estar a una altura de mínimo 3 m, y además contar con un área de seguridad alrededor del quemador, con diámetro de 5 m en caso de ser cerrado, y 15 m en caso de ser abierto, que esté libre de vegetación, edificios y rutas de tránsito.</p>		
<p>De acuerdo con lo descrito por López et al. (2017) se presentan las especificaciones técnicas generales de los quemadores:</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad desde 50m³/h hasta 1500m³/h para quemadores abiertos. • Capacidad desde 250 m³/h a 10.000m³/h para quemadores cerrados (más eficientes, menores riesgos). • Temperatura de salida al menos de 900°C. • Tiempo de residencia del biogás en el quemador al menos de 3 segundos. • El contenido de H₂S en el biogás que será quemado debe ser inferior a 50 ppmv. Si no es así, se recomienda eliminar este compuesto por algún método de desulfurización. • Concentración de hidrocarburos halogenados en el biogás debe ser menor de 150mg/ m³ (para evitar generación de dioxinas). • Se recomienda para una buena combustión una relación de aire:biogás 10-15:1 		
<p>Recomendaciones técnicas generales de los quemadores:</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Distancia entre el quemador y el digestor de 30 metros mínimo. • Distancia entre otra infraestructura y el quemador 20 metros mínimo. • Los gases de escape y humos de llama deben estar a una altura mínima de 3 metros. • Contar con un área de seguridad alrededor del quemador, con diámetro de 5 m en caso de ser cerrado, y 15 m en caso de ser abierto; el área cubierta por esa distancia debe estar libre de vegetación (arbustos, árboles), edificios y rutas de tránsito. 		
<p>Quemadores de bajo costo</p>		
<p>Existen una serie de quemadores que no cumplen con los criterios de diseño adecuados ni con los requisitos de seguridad necesarios, sin embargo, cumplen la función de reducir el metano generado de los tratamientos de aguas residuales domésticas (López Hernández, 2017).</p>		

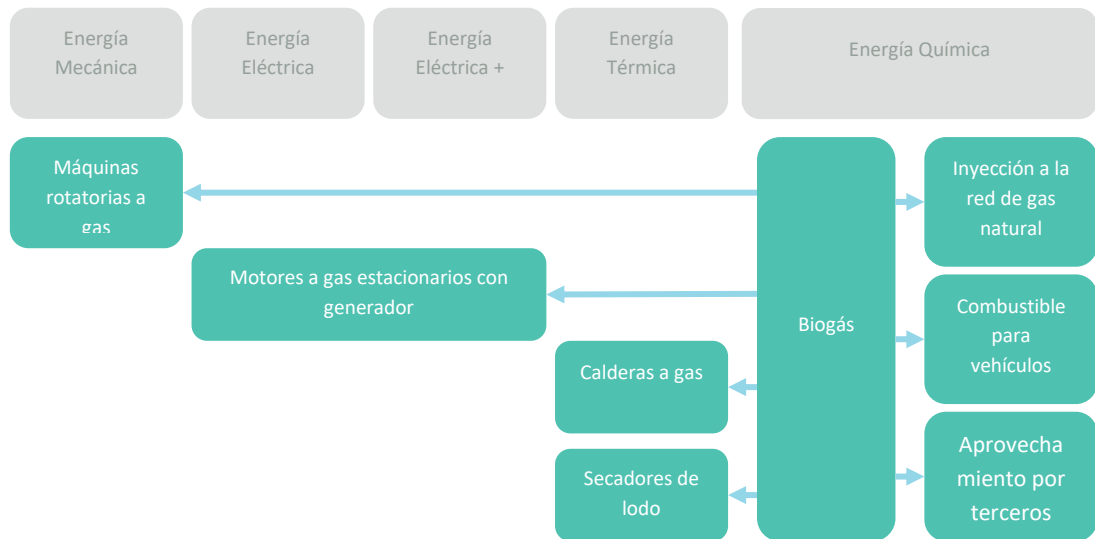
No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
---------	----------------------	---------------------------

Especificaciones técnicas generales de los quemadores de bajo costo

- Deben ser dimensionados teniendo en cuenta la capacidad máxima de volumen de biogás generado en el proceso con un factor de seguridad de más del 10%.
- Temperatura de salida al menos de 900°C.
- Los componentes del quemador a una distancia de hasta 1 metro de la flama deben ser de lámina de acero inoxidable de espesor adecuado.
- La tobera de salida de la llama debe estar localizada al menos a 3 metros sobre el nivel del terreno.
- El escudo deflector contra viento y lluvia debe ser de al menos 600 mm de largo o su longitud al menos cinco veces el diámetro del quemador, lo que resulte en una mayor longitud.
- Se debe instalar al menos un arrestaflama horizontal con válvula de goteo (drip trap) a una distancia no mayor a 4 m de la base del quemador para evitar retroceso de flama.
- Todos los componentes eléctricos y el tablero, excepto la bujía o los electrodos de ignición, deben instalarse a una altura no mayor de 2m del nivel del terreno
- Si la ignición es automática, se recomienda que el monitoreo se haga por medio de termopar.

Aprovechamiento de Biogás: Una vez realizado un tratamiento apropiado, la energía química del biogás puede usarse directamente en inyección a la red de gas natural, combustible para vehículos o también puede ser entregado a terceros ubicados cerca de la planta para su aprovechamiento, después de atender las necesidades propias. La siguiente figura muestra los posibles usos del biogás de acuerdo con (López Hernández, 2017).

Figura 5 Uso del biogás



Fuente: López et al. (2017), tomado de Silveira et al. (2015) pag. 139

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
<p>Con base en Nolasco (2010) el Biogás puede servir como combustible para un motor o generador mediante simples adaptaciones, se debe realizar lavado y secado, con el objeto de eliminar constituyentes tales como anhídrido sulfuroso y vapor de agua. Los motores que funcionan con diesel pueden ser utilizados con biogás como combustible reemplazando hasta en 80% del combustible original. En los motores a gasolina puede utilizarse 100% biogás. Los motores más comúnmente adaptados para el uso de biogás son los motores diesel. La adaptación en motores diesel consiste en conectar la entrada de biogás al conducto que une el filtro de aire con el múltiple de admisión. El ingreso del biogás en el filtro de aire produce una aceleración del motor, para contrarrestar este efecto el control automático de la bomba de inyección hace que disminuya el suministro de diesel. Esta adaptación es posible en los motores de cuatro tiempos, pero no es recomendable en los de dos tiempos.</p> <p>La energía química del biogás a su vez puede convertirse en energía térmica mediante la producción de agua caliente o vapor en calderas de biogás, las cuales utilizan quemadores de combustibles duales, que además del biogás pueden quemar otros gases o aceites combustibles como el diesel, gas natural o gas LP, equilibrando la insuficiencia de biogás. La eficiencia de la caldera puede ser mayor a 90 %. El calor generado frecuentemente es usado para calentar el digestor anaerobio de lodos. En caso de tener excesos de biogás, debe ser quemado por cuestiones de seguridad y reducción de emisiones de GEI. En la misma línea, la energía térmica producida puede utilizarse en secadores de lodo (López Hernández, 2017).</p> <p>Por otra parte, acorde con López et al. (2017), el biogás puede utilizarse para generar energía mecánica mediante un motor o generador, y a la vez energía térmica a través de un intercambiador de calor que calienta el agua por las temperaturas altas de los gases de escape y del agua de refrigeración. Este sistema se denomina cogeneración y si bien el rendimiento es considerable, los costos de inversión inicial son elevados, la demanda de energía debe ser continua y requiere de un extenso pretratamiento para evitar daños en el equipo donde principalmente se deben eliminar siloxanos, sulfuro de hidrógeno, contenido de humedad y elementos traza. De esta manera, en las calderas o calefactores que regularmente utilizan propano o gas natural, se puede reemplazar con biogás. En plantas de tratamiento anaerobias en clima frío, el biogás puede usarse para calentar los reactores anaerobios, acelerando así el proceso de degradación orgánica y, por ende, la generación de gas metano. Entre los cogeneradores de electricidad y calor se tienen motogeneradores de gas, turbinas, máquinas rotativas a gas e inyección a la red de gas natural.</p> <p>A pesar de los múltiples beneficios que se desprenden del aprovechamiento del biogás por cogeneración de energía, existen también algunas dificultades relacionadas con el nivel de tratamiento requerido, el cual es variable, dependiendo de las necesidades de la tecnología de cogeneración utilizada.</p>		
Oportunidades y riesgos		
<p>La gestión del biogás genera una serie de oportunidades, ventajas y efectos positivos, pero a su vez también se pueden identificar una serie de riesgos y desventajas que se describen a continuación:</p>		

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
<p>Oportunidades</p> <p>Debido a que se trata de un proceso anaeróbico, se genera biogás que puede ser utilizado como fuente de energía, lo mismo que olores, que deben ser controlados, a continuación, se describen las oportunidades del manejo del biogás:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El metano generado es un subproducto valioso que puede ser usado como combustible o como generador de energía • Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero • Disminución de olores • Incentiva el desarrollo bajo en carbono al reemplazar combustibles no renovables por renovables • Potencial para bonos de carbono CER (Certificado de Reducción de Emisiones por sus siglas en inglés). <p>Riesgos</p> <p>Según lo expuesto por López et al. (2017), el biogás tiene un alto potencial de riesgo por su composición y propiedades, los accidentes debido a la exposición al gas en trabajos en pozos de visita, lugares confinados y en el mantenimiento de plantas pueden ocasionar daños considerables a la salud y, en casos extremos, incluso la muerte. Los riesgos asociados al manejo del biogás son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asfixia por expulsión del aire en espacios cerrados o por presencia de componentes gaseosos con acción asfixiante • Riesgos a la salud por ciertos compuestos del biogás como el envenenamiento por exposición al gas con gran concentración de H₂S • Explosión por la formación de mezclas gaseosas explosivas • El proceso de digestión toma un largo plazo, de hasta 30 días, lo que implica una estructura de grandes dimensiones. <p>De esta forma, recomiendan el diseño, construcción, operación y monitoreo de equipos y procesos en la línea de biogás, acorde con los requisitos técnicos de seguridad.</p>		

No. 1.B	FICHA TÉCNICA	GESTIÓN DEL BIOGÁS
Referencias bibliográficas		
<p>Andreoli, C. V. (2010). Lodos de esgoto: tratamento e disposicao fnal. 4. Bello Horizonte: Universidad Federal de Minas Gerais.</p> <p>Braun, R. W. (2002). Potential of Co-digestion [en línea]. IEA Bioenergy. Obtenido de http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/publi-task37/Potential%20of%20Codigestion%20short%20Brosch221203.pdf</p> <p>Chernicharo, C. S. (2008). Improving the design and operation of UASB reactors for treating domestic wastewater: Management of gaseous emissions. X Latin American Workshop and Seminar on Anaerobie Digestion. 504–512.</p> <p>FNR. (2013). Leitfaden Biogas. Von der Gewinnung zur Nutzung. Leipzig: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe eV.</p> <p>López Hernández, J. E. (Julio de 2017). Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales. <i>Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 1er.</i> Ciudad de México, México: México: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ GMBH.</p> <p>Mantilla, G. S. (2017). Energía limpia del agua sucia: aprovechamiento de lodos residuales. México: Asociación Mexicana de Empresas de Agua y Saneamiento de México Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.</p> <p>Nolasco, D. A. (2010). Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales. Banco Interamericano de Desarrollo.</p> <p>UNAL, T. (2018). Estimación del Potencial de Conversión a Biogás de la Biomasa en Colombia y su Aprovechamiento. Bogotá D.C.: UNAL.</p>		

ⁱ El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado en 1988 para que facilitara evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.