

# Manual del usuario de la herramienta de evaluación tecnológica de la producción de biogás a partir de aguas residuales (BioWATT)

Este manual del usuario contiene la información siguiente sobre BioWATT:

1. Propósito
2. Usuarios previstos
3. Estructura de BioWATT
4. Cómo utilizar BioWATT
5. Descripción breve del proceso de tratamiento de aguas residuales y descripciones de cuatro tecnologías de energía a partir de aguas residuales evaluadas por BioWATT.

## **1. Propósito**

El propósito de BioWATT es proporcionar una evaluación rápida y preliminar de proyectos de producción de energía a partir de aguas residuales.

Basándose en tan solo dos datos provistos por el usuario (carga hidráulica promedio y la concentración de BOD<sub>5</sub> promedio) BioWATT proporciona lo siguiente:

- Producción estimada de biogás para diversas tecnologías de producción de energía a partir de aguas residuales.
- Potencial de generación de energía a partir del biogás producido.
- Ahorros en la emisión de gas de efecto invernadero relacionado con la electricidad generada a partir del biogás.
- Evaluación preliminar de la demanda de electricidad de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, la cual se puede satisfacer a través de electricidad generada por biogás.
- Parámetros de diseño preliminares de los principales componentes de un proyecto de producción de energía a partir de aguas residuales, tales como el volumen necesario del digestor, volumen requerido del almacenador de biogás y la salida de potencia total de la generación combinada de calor y electricidad (CHP).
- Impacto en los gastos de funcionamiento (OPEX) de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales al invertir en tecnología de generación de energía.

BioWATT contiene dos módulos (básico y avanzado) para adecuarse a usuarios con diferentes conocimientos sobre los sistemas y tecnologías de tratamiento de aguas residuales. El Módulo básico necesita tan solo dos entradas por parte del usuario, mientras que el Módulo avanzado se puede personalizar para admitir múltiples datos de entrada del usuario y así obtener resultados más precisos.

**Nota:** BioWATT no se debe utilizar como un análisis con grado de inversión. Su finalidad es simplemente brindar una valoración preliminar de los proyectos de generación de energía a partir de aguas residuales

y, así, ayudar a los usuarios a determinar si es necesario contar con análisis adicionales. No se debe utilizar como sustituto de un estudio de factibilidad o diseño del proyecto.

## **2. Usuarios previstos**

Los usuarios previstos de BioWATT incluyen a los operadores de plantas de tratamiento de aguas residuales, consultores involucrados en el desarrollo de proyectos de aguas residuales y los responsables de decisiones federales, estatales o locales que desean evaluar la oportunidad para la reducción de emisiones de metano y producción de energía en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. El objetivo principal es valorar proyectos en países en vías de desarrollo.

## **3. Estructura de BioWATT**

BioWATT está basado en Microsoft Excel y está compuesto de tres hojas de cálculo.

### **1. Introducción**

Esta hoja de cálculo proporciona instrucciones sobre cómo utilizar BioWATT.

### **2. Módulo básico**

Esta hoja de cálculo ha sido diseñada para la mayoría de usuarios de BioWATT. Consiste de dos partes:

- La parte superior de la hoja es donde el usuario introduce los datos de entrada necesarios, los cuales reflejan las condiciones de un proyecto en particular. Esta hoja también contiene valores determinados que se pueden usar si no se conocen los datos de entrada específicos del proyecto.
- La parte inferior presenta un resumen de los resultados (es decir, la producción de biogás, generación de electricidad a partir del biogás, ahorros en el gas de efecto invernadero, etc.). Todos los resultados de salida se calculan en la hoja de cálculo denominada “Módulo avanzado”. Los valores seleccionados en la hoja de cálculo “Módulo avanzado” se copian en la sección de “RESUMEN DE RESULTADOS” que aparece en la hoja de cálculo denominada “Módulo básico”.

### **3. Módulo avanzado**

Esta hoja de cálculo ha sido diseñada para personas con conocimientos más avanzados sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Permite a los usuarios introducir datos específicos sobre aguas residuales y tecnología de aguas residuales, así como sobrescribir los valores predeterminados provistos en BioWATT para así obtener resultados más precisos.

## **4. Cómo utilizar BioWATT**

A continuación se presentan las instrucciones para utilizar BioWATT.

*La mayoría de los usuarios deben introducir los datos y ver los resultados en la hoja de cálculo denominada “Módulo básico”. Esta hoja de cálculo utiliza valores estándar para obtener los resultados. Los usuarios que tengan conocimientos avanzados del tratamiento de aguas residuales pueden usar la*

hoja de cálculo denominada “Módulo avanzado” para introducir datos más específicos o sobrescribir los datos predeterminados y así obtener resultados más precisos.

1. Introducir datos específicos del proyecto en las celdas VERDES.

- En la hoja de cálculo “Módulo básico”, las entradas están en la sección “DATOS DE ENTRADA”.
- La hoja de cálculo “Módulo avanzado” cuenta con entradas más detalladas para las diferentes tecnologías de producción de energía a partir de aguas residuales que son valoradas por la herramienta.

2. Ver resultados

- El resumen de resultados para las tecnologías de producción de energía a partir de aguas residuales valoradas se muestra en la hoja de cálculo “Módulo básico” debajo de “RESUMEN DE RESULTADOS.” (Todos los resultados de salida se calculan en la hoja de cálculo “Módulo avanzado”. Los valores seleccionados en la hoja de cálculo “Módulo avanzado” se copian en la sección de “RESUMEN DE RESULTADOS” de la hoja de cálculo “Módulo básico”.) Todas las salidas en ambas hojas de cálculo, “Módulo básico” y “Módulo avanzado”, están en las celdas color NARANJA.
- Se pueden obtener resultados y datos más detallados sobre las tecnologías de producción de energía a partir de aguas residuales valoradas por BioWATT en la hoja de cálculo “Módulo avanzado”. Esto es así independientemente de si el usuario depende de los datos predeterminados de la herramienta o si el usuario decide introducir datos más específicos o sobrescribe los datos provistos en la hoja de cálculo “Módulo avanzado”.

Se incluyen en ambas hojas de cálculo, “Módulo básico” y “Módulo avanzado”, notas explicativas o instrucciones de campo para ciertas entradas y salidas.

**Los usuarios de BioWATT pueden cambiar todos los valores de las celdas VERDE. Todas las demás celdas están bloqueadas. Sin embargo, los usuarios son libres para desbloquear la herramienta para realizar los cambios deseados. La clave desbloqueo es: W2E.**

## **5. Tecnologías evaluadas en BioWATT**

BioWATT evalúa cuatro tecnologías para producción de energía a partir de aguas residuales:

- Tratamiento convencional de lodos activados (CAS) con un digestor anaerobio (además de la codigestión opcional)
- Filtro percolador (TF) con un digestor anaerobio (además de la codigestión opcional)
- Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB)
- Laguna anaerobia cubierta

El texto a continuación proporciona, en primer término, una breve introducción al tratamiento de aguas residuales y, además, un resumen de cada una de las tecnologías evaluadas por BioWATT, incluyendo qué es cada una, cuándo utilizarla, las ventajas y consideraciones de estas, y las características técnicas y requerimientos de cada una.

## Introducción al tratamiento de aguas residuales

Los procesos de tratamiento de aguas residuales han sido diseñados para lograr mejoras en la calidad de las aguas residuales y están, por lo tanto, estrechamente relacionados con los estándares o expectativas establecidas para la calidad de los efluentes. Los diferentes procesos de tratamiento podrían reducir:

- **Sólidos suspendidos** (partículas físicas que pueden obstruir ríos o canales a medida que se precipitan).
- **Compuestos orgánicos biodegradables** (por ejemplo, demanda biológica de oxígeno [BOD]) que pueden servir de “alimento” a los microorganismos en el organismo receptor. Los microorganismos combinan esta materia con el oxígeno proveniente del agua para producir la energía que necesitan para prosperar y multiplicarse, de ese modo agotando los niveles necesarios de oxígeno para otros organismos acuáticos.
- **Bacterias patógenas** y otros organismos que causan enfermedades. Estas son más relevantes cuando las aguas receptoras se utilizan como fuente de agua potable, o cuando las personas podrían estar en estrecho contacto con ella.
- **Nutrientes**, incluyendo nitrógeno y fósforo. En las aguas receptoras estos nutrientes pueden provocar una amplia proliferación de algas no deseadas, las mismas que pueden convertirse en altas cargas orgánicas biodegradables.
- Los procesos de tratamiento podrían también neutralizar o eliminar **residuos industriales** y sustancias químicas tóxicas. Este tipo de tratamiento debe tener lugar, idealmente, en la planta industrial misma antes de verter sus efluentes en las alcantarillas municipales o cursos fluviales.

La terminología generalizada se refiere a tres niveles de tratamiento de aguas residuales: primario, secundario y terciario (o avanzado).

- El **tratamiento primario (mecánico)** está diseñado para eliminar sólidos gruesos, suspendidos y flotantes del agua residual. Podría incluir rejillas (o tamices) para atrapar objetos sólidos, desarenado, eliminación de grasa, y sedimentación por gravedad para eliminar sólidos suspendidos. Este nivel también es llamado “tratamiento mecánico” aunque en ocasiones se utilizan sustancias químicas para acelerar el proceso de sedimentación. El tratamiento primario sin sustancias químicas puede reducir la demanda biológica de oxígeno (BOD) de las aguas residuales entrantes entre un 20 y 35% y el total de sólidos suspendidos entre 50 y 65%. El tratamiento primario es, por lo general, la primera etapa en el tratamiento de aguas residuales. Muchas avanzadas plantas de tratamiento de aguas residuales en los países industrializados han empezado con tratamiento primario y, posteriormente, han añadido otras etapas a medida que la carga de aguas residuales ha crecido, ya que la necesidad de un mejor tratamiento ha incrementado y los recursos financieros ahora están disponibles.
- El **tratamiento secundario (biológico)** elimina la materia orgánica disuelta que se escapa en el tratamiento primario. Este se implementa frecuentemente en **sistemas aerobios** al suministrar aireación artificial (p. ej., tratamiento convencional de lodos activados [CAS]) o aireación natural

(p. ej., filtros percoladores). En tales sistemas, los microbios al ser potenciados por el suministro de aire consumen la materia orgánica como alimento y la convierten en dióxido de carbono, agua y energía para su propio crecimiento y reproducción. El proceso biológico es seguido por tanques de asentamiento adicionales (“sedimentación secundaria”) para asentar y mantener los microbios en el sistema de tratamiento. Alrededor del 85 a 95% de los sólidos suspendidos y la demanda biológica de oxígeno se pueden eliminar a través de una planta en buen funcionamiento con tratamiento secundario.

En lugar del tratamiento secundario (biológico) descrito anteriormente en sistemas aireados, esta etapa secundaria en ocasiones se puede diseñar como un **sistema anaerobio** (es decir, uno sin ningún tipo de aireación o ventilación artificial). En dichos sistemas, la materia orgánica es adicionalmente convertida en cantidades considerables de metano, que puede ser recolectado y utilizado. A dichos sistemas anaerobios les sigue, por lo general, un sistema aerobio más pequeño que permita limpiar el efluente final. Finalmente, el mismo nivel de tratamiento se puede alcanzar a través de dichos sistemas anaerobios-aerobios, así como con sistemas aerobios.

- El **tratamiento terciario** se refiere a cualquier tratamiento adicional después del secundario. Dependiendo de las tecnologías terciarias aplicadas, este puede eliminar más del 99 por ciento de todas las impurezas de las aguas residuales e incluso producir un efluente con calidad de agua potable. Las tecnologías asociadas pueden ser muy costosas y requerir de un alto nivel de conocimientos técnicos, así como de operadores bien capacitados, un suministro energético estable y sustancias químicas y equipo específico, y esto podría no estar disponible en todas partes. Un ejemplo de un proceso de tratamiento terciario típico es la modificación de una planta de tratamiento secundaria convencional para eliminar fósforo y nitrógeno adicionales.

### ***Digestión y codigestión anaerobia***

Los compuestos orgánicos biodegradables (BOD) y el excedente de microbios (“lodos”) que fueron eliminados en el tratamiento primario y secundario (aerobio) se pueden procesar en digestores anaerobios de lodos. Los digestores anaerobios son sistemas sellados en los cuales los microorganismos descomponen materiales biodegradables en ausencia de oxígeno. Además de eliminar patógenos y reducir los olores, uno de los productos finales de la digestión anaerobia es el biogás, el que se puede quemar para generar electricidad y calor, o este se puede procesar para crear gas natural renovable y combustibles de transporte. Además de la digestión de lodos, los digestores anaerobios se pueden diseñar para aceptar residuos de materias primas orgánicas adicionales (por ejemplo, grasas, aceite, lubricantes, residuos de restaurantes y comedores, desperdicios lácteos, residuos agrícolas, estiércol animal, etc.) Estas corrientes de desechos adicionales aumentan la producción de biogás y, dependiendo del tamaño de la instalación de aguas residuales, pueden ser la diferencia entre un proyecto económicamente factible y uno que no lo es.

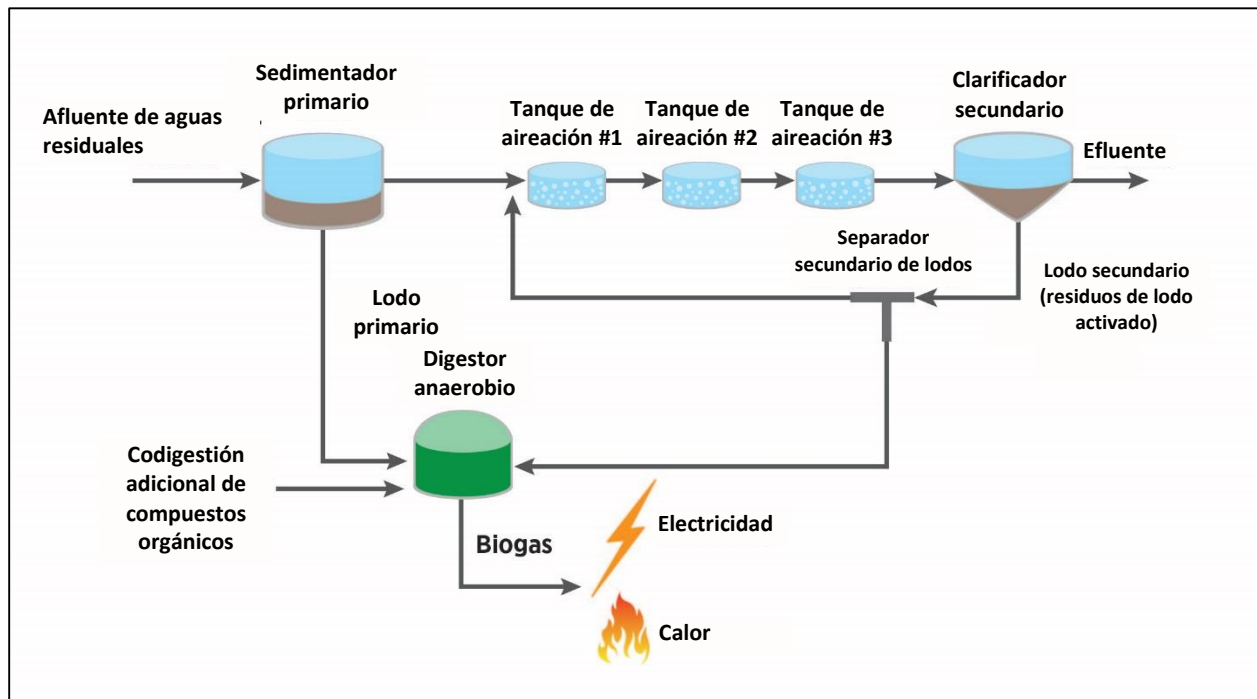
## Tecnologías de producción de energía a partir de aguas residuales evaluadas por BioWATT

### 1. Tratamiento convencional de lodos activados (CAS) con un digester anaerobio (además de la codigestión opcional)

#### ¿Qué es?

En una planta CAS típica con digestión anaerobia, el afluente de aguas residuales pasa primero a través de un sedimentador primario para eliminar los sólidos suspendidos y flotantes. Los lodos que han sido eliminados por el sedimentador primario (lodo primario) son desviados a un digester anaerobio. Después de salir del sedimentador primario, las aguas residuales ingresan al proceso de lodos activados (tratamiento secundario). Primero, las aguas residuales pasan a través de una serie de tanques de aireación para eliminar compuestos orgánicos biodegradables. Los microorganismos cultivados en el proceso de tratamiento se mantienen en suspensión, aireados y en contacto con los residuos que son tratados en estos tanques. El resultado es la descomposición de la materia orgánica en dióxido de carbono, agua y otros compuestos inorgánicos. Después de los tanques de aireación, las aguas residuales se mantienen en un clarificador secundario para sedimentar cualquier lodo restante (lodos secundarios o lodos activados). Parte del lodo secundario es enviado al principio del proceso de lodos activados, siempre que los microorganismos que accionan el proceso de tratamiento y el resto (excedente) sea desviado a un digester aerobio. El digester anaerobio produce biogás a partir del lodo primario, el lodo secundario y cualquiera otras materias primas orgánicas enviadas a las instalaciones para su codigestión.

#### Planta de tratamiento convencional de lodos activados con digestión anaerobia típica



Fuente: Iniciativa Global del Metano

### **¿Cuándo usarlo?**

El CAS se utiliza ampliamente en plantas centralizadas en países desarrollados. Aunque muchas plantas de tratamiento de lodos activados han sido construidas en países en vías de desarrollo, muy pocas funcionan tan bien como se pretendía. El lodo activado puede ser adecuado cuando sea necesaria una alta remoción de contaminación orgánica y de nutrientes, estén disponibles fondos y personal cualificado para su operación y mantenimiento y la tierra sea escasa o costosa. Debido a que los lodos activados requieren de una operación continua de sopladores de aire y bombas de lodos, es esencial contar con un suministro de energía estable. El sistema necesita generalmente alguna forma de tratamiento previo, tales como el rejado y desarenado.

### **Ventajas**

- Los lodos activados son la forma de tratamiento secundaria de aguas residuales más utilizada y mejor documentada.
- La remoción eficiente de nutrientes y material orgánico, cuando ha sido diseñada y operada profesionalmente de conformidad con los requerimientos locales.
- El proceso en sí mismo cuenta con flexibilidad y múltiples modificaciones, por lo que se puede personalizar para satisfacer necesidades específicas (p. ej., la remoción de nitrógeno).
- Bajos requerimientos de terreno.

### **Consideraciones**

- Expansivo tanto en términos de capital como de costos de funcionamiento y mantenimiento (O&M).
- Es necesario contar con un suministro de energía constante.
- Requiere de operadores capacitados que puedan monitorear el sistema y reaccionar ante cambios inmediatamente, y la disponibilidad de piezas de recambio y sustancias químicas podría ser un obstáculo.
- La trayectoria de las plantas de lodos activados en el mundo en vías de desarrollo es a menudo deficiente y muy pocas funcionan conforme a su diseño o propósito.

### **Requisitos y características técnicas**

Existe amplia literatura sobre el diseño de diversas formas de procesos de tratamiento con lodos activados. Las consideraciones generales incluyen: características de las aguas residuales, condiciones ambientales locales (incluyendo la temperatura), posible presencia de tóxicos u otras sustancias inhibitoras (¿se recibirán efluentes industriales o residuos sépticos?, por ejemplo), requerimientos de transferencia de oxígeno y cinéticas de reacción (tiempo de detención de microbios en el sistema, relacionado con la calidad y cantidad de las aguas residuales recibidas, requerimientos del efluente, requerimientos del tratamiento de lodos y otros factores enumerados anteriormente).

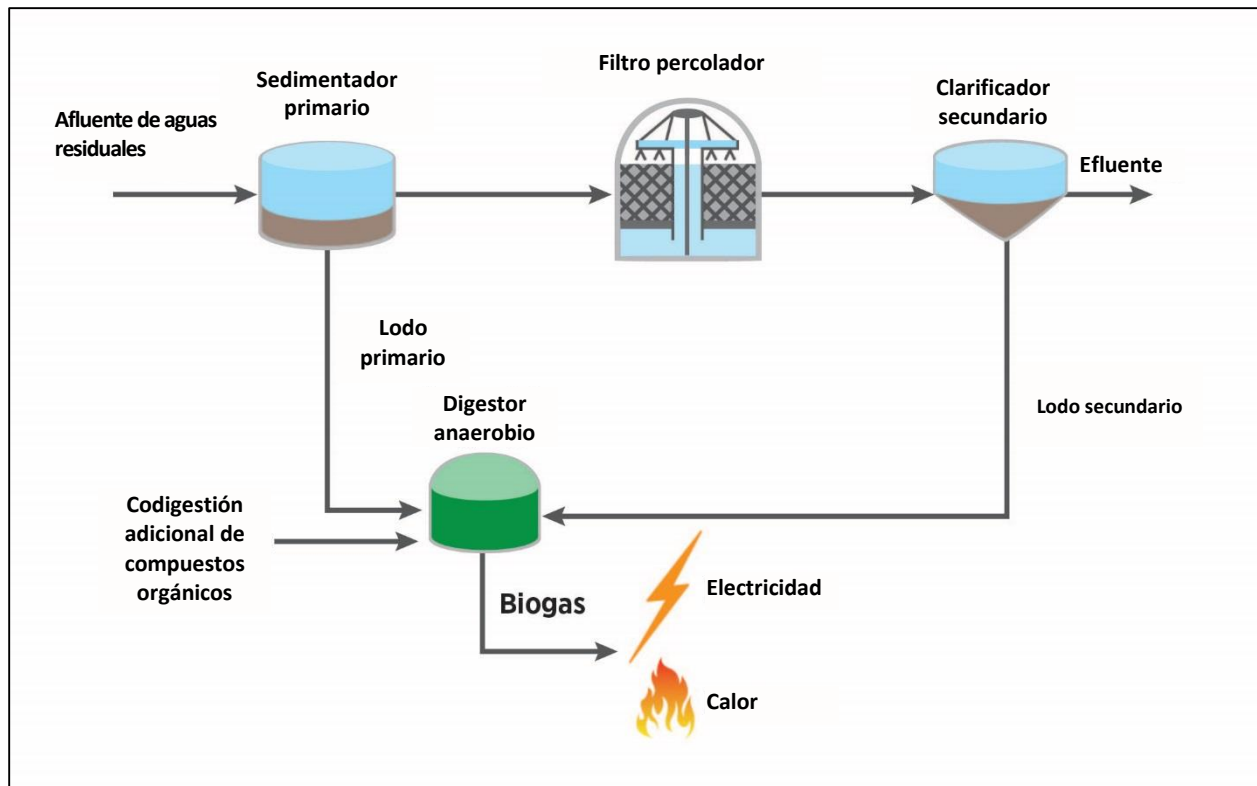
## ***2. Filtro percolador (TF) con un digester anaerobio (además de la codigestión opcional)***

### **¿Qué es?**

En la planta típica de tratamiento de aguas residuales que involucra filtros percoladores y digestión anaerobia, el afluente de aguas residuales pasa primero a través de un sedimentador primario para eliminar los sólidos suspendidos y flotantes. Los lodos que han sido eliminados por el sedimentador primario (lodo primario) son desviados a un digester anaerobio. Después de salir del sedimentador primario, las aguas residuales ingresan al filtro percolador (tratamiento secundario). Así como con el

proceso de lodos activados, los filtros percoladores se utilizan para eliminar materia orgánica de las aguas residuales, pero en lugar de bombear aire a las aguas residuales (como ocurre con el tratamiento convencional con lodos activados), los filtros percoladores consisten de un medio altamente permeable, en la actualidad elaborado con plásticos diseñados específicamente, al cual se adhieren los microorganismos. Las aguas residuales gotean en el medio desde la parte superior usando un distribuidor giratorio, mientras que la ventilación natural a través de convección de aire proporciona aireación y permite degradar el material orgánico. Después de salir del filtro percolador, las aguas residuales van hacia un clarificador secundario para sedimentar esos microbios que han sido separados del medio y eliminados (lodo secundario). Este lodo secundario es desviado a un digestor anaerobio y es digerido junto con el lodo primario, lodo secundario y cualquiera otras materias primas orgánicas enviadas a las instalaciones para su codigestión y producir biogás.

### Planta de tratamiento con filtro percolador con digestión anaerobia típica



Fuente: Iniciativa Global del Metano

#### ¿Cuándo usarlo?

Los filtros percoladores son adecuados en áreas donde no están disponibles grandes extensiones de terreno para utilizar sistemas de tratamiento con uso intensivo del suelo. Son adecuados para comunidades de pequeño, mediano y gran tamaño. A diferencia de los sistemas de tratamiento convencional con lodos activados, los filtros percoladores tienen poca demanda de energía y requieren únicamente de un nivel moderado de destrezas y conocimientos técnicos para administrarlo y operarlo.

#### Ventajas

- Proceso biológico, simple y confiable.



- Efectivo para tratar materia orgánica y nitrógeno.
- Durable.
- Bajos requerimientos de potencia.
- Bajos requerimientos de terreno.
- Nivel moderado de destrezas y conocimientos técnicos necesarios para su administración y operación.

#### **Consideraciones**

- Requiere de atención regular por parte del operador. Sin contar con atención debida e irrigación habitual del filtro, la incidencia de obstrucciones puede ser alta debido a la acumulación de biomasa en exceso.
- Podría ser necesario el tratamiento adicional para cumplir con estrictos estándares de vertido.
- La flexibilidad y control son limitados en comparación con los procesos de lodos activados.
- Cierta riesgo de moscas de filtros si las aguas residuales no se distribuyen uniformemente en toda la superficie del filtro.

#### **Requisitos y características técnicas**

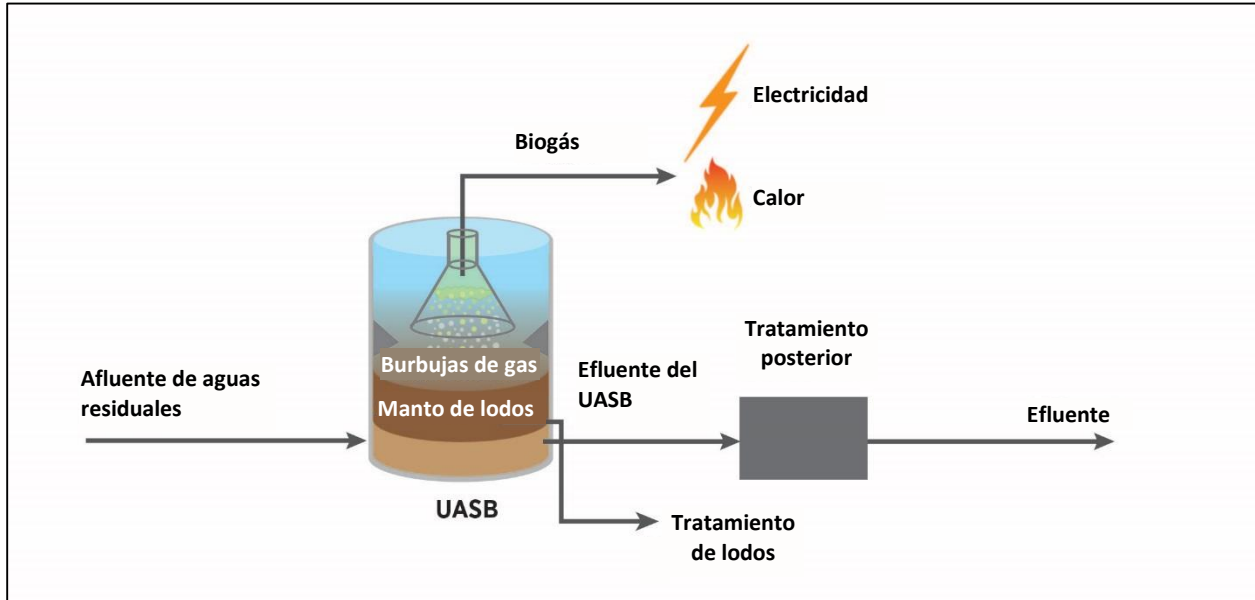
Un filtro percolador consiste de un medio permeable elaborado de una base de plástico (antiguamente también se utilizaba roca o escoria), sobre el cual se distribuyen las aguas residuales para ser coladas. Las bases varían en profundidad entre 4.3 a 12.2 metros (14 a 40 pies), y normalmente proporcionan 100-140 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (3.0 a 4.3 pies cuadrados/pies cúbicos) de área superficial y > 95% de espacio vacío. Las bases de roca o escoria cuentan con grandes diámetros y por lo general miden 0.9-2.4 metros (3 a 8 pies) de profundidad con tamaño de rocas que van de 2.5 a 10.2 cm (1 a 4 pulgadas). La mayor parte del medio de rocas proporciona aproximadamente 40-80 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (1.2-2.4 pies cuadrados/pies cúbicos) de área superficial y alrededor de 40-60 por ciento de espacio vacío. Es esencial que haya suficiente aire disponible para un buen funcionamiento del filtro percolador. Se ha constatado que para suministrar aire al sistema, la corriente natural y la fuerza del viento son normalmente suficientes si se cuenta con puertos de ventilación suficientemente grandes en el fondo del filtro y el medio cuenta con suficiente área vacía.

### **3. Reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB)**

#### **¿Qué es?**

Un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) es un tipo de digestor anaerobio. Con los UASB el proceso de sedimentación de lodos y digestión ocurre en uno o más tanques de gran tamaño, por lo que los UASB son básicamente una combinación del proceso de tratamiento primario/secundario. Únicamente los líquidos a continuación del UASB, cuyo contenido orgánico es mucho más reducido, necesitan ser aireados o tratados para eliminar patógenos. En los UASB las aguas residuales se bombean hacia arriba a través de un 'manto' de lodos granulares que da tratamiento a las aguas residuales. Las bacterias que viven en los lodos descomponen la materia orgánica por digestión anaerobia, produciendo biogás que puede luego ser captado en la parte superior del reactor. El flujo hidráulico ascendente funciona en conjunto con asentamiento por gravedad para suspender los gránulos de lodo hasta que estos alcanzan el límite de densidad y estos caen al fondo del reactor como un 'manto de lodos' que a continuación recibe tratamiento.

## Planta UASB típica



Fuente: Iniciativa Global del Metano

### ¿Cuándo usarlo?

Los UASB son adecuados para regiones cuyos climas son cálidos a lo largo del año. El mínimo de temperatura típico de las aguas residuales es de alrededor 18-20 °C. Los UASB no son adecuados para climas fríos ni para comunidades pequeñas o rurales sin mano de obra capacitada. Se adaptan especialmente a las áreas urbanas más densamente pobladas ya que estos tienen bajos requerimientos de terreno.

### Ventajas

- Pueden tratar altas cargas orgánicas en períodos de tiempo de retención hidráulica breves.
- Eficiencia típica de alrededor de 60 a 70% en la remoción de la demanda biológica de oxígeno.
- No requiere de un sistema de aireación costoso.
- Bajos requerimientos de terreno (se pueden construir bajo tierra).
- Demandas de energía más bajas que los sistemas convencionales de lodos activados.
- Los excedentes de lodo provenientes de tratamientos posteriores también se pueden digerir en los UASB.
- Baja producción de lodos.

### Consideraciones

- Ligeramente más lento en la puesta en marcha que un CAS, ya que la producción anaerobia de lodos es más lenta que la aerobia; por ende, se lleva más tiempo hasta que se acumula suficiente biomasa para un tratamiento apropiado.
- El tratamiento preliminar eficiente es imperativo (filtración eficiente o tamizado superior) para minimizar la acumulación de espuma, natas, y plásticos debajo del colector de biogás.
- Se necesita un operador calificado para monitorear el reactor, las piezas de recambio y asegurarse de que el excedente de lodo sea sacado y se recolecte adecuadamente el biogás.

- Poco costoso en su construcción y mantenimiento comparado con los procesos aerobios convencionales.
- Requiere de materiales resistentes a la corrosión.
- No todas las partes y materiales podrían estar disponibles localmente.

#### Requisitos y características técnicas

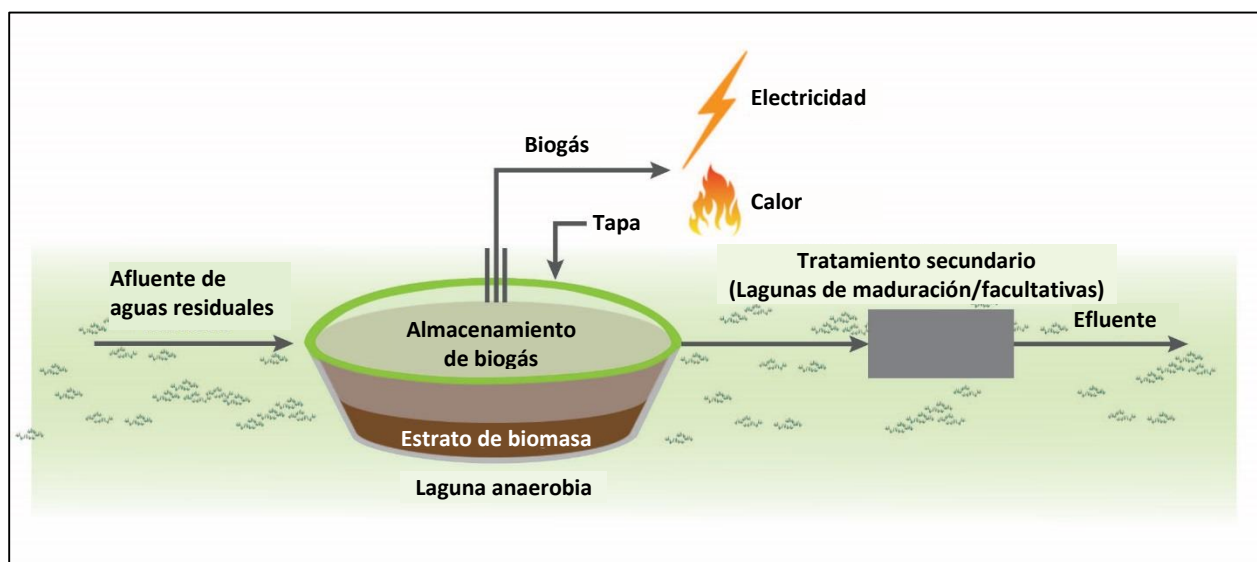
Los reactores UASB se construyen típicamente de concreto y su forma es circular o rectangular. Sin embargo, el tipo rectangular es la forma más generalizada en la actualidad. El entorno corrosivo hace imprescindible que todas las instalaciones estén elaboradas con materiales no corrosivos, tales como PE, PVC o GRP. La profundidad típica de agua en los UASB es de 3 a 6 metros, y los reactores individuales generalmente tienen un volumen < 3000 m<sup>3</sup> en plantas WWTP de gran tamaño. Los elementos esenciales para el diseño de reactores UASB son el sistema de distribución de afluente, el separador de gas y sólidos, y el diseño de retirada de afluente. El gas que se eleva hacia la parte superior es recolectado en un domo de recogida de gas. Para garantizar que el reactor esté bien mezclado y este permita la formación de gránulos para un buen contacto del manto de lodos activos y el afluente de aguas residuales, es esencial que el afluente este distribuido de manera equitativa en el fondo antes de movilizarlo hacia arriba. Además, es aconsejable instalar tuberías para muestreo de lodos y vertido en diferentes niveles del reactor.

#### 4. Laguna anaerobia cubierta

##### ¿Qué es?

Las lagunas anaerobias cubiertas son cuencas en las que se tratan las aguas residuales en ausencia de oxígeno. El afluente de aguas residuales fluye directamente hacia la laguna anaerobia después de pasar rejillas y desarenado. Los sólidos se asientan en el fondo de la laguna, donde son digeridos. Típicamente, las lagunas anaerobias son abiertas, pero cuando están cubiertas, se puede captar el biogás y utilizarlo para fines beneficiosos (por ejemplo, la generación de electricidad y calor). Las lagunas anaerobias son un proceso de tratamiento primario, pero se puede añadir un tratamiento secundario a través de lagunas de maduración y facultativas, con filtros percoladores, con CAS o con otras tecnologías aerobias.

Laguna anaerobia cubierta típica



Fuente: Iniciativa Global del Metano

### **¿Cuándo usarlo?**

Las lagunas anaerobias son más adecuadas para comunidades pequeñas o medianas en tamaño. Estas son poco costosas de construir y operar, y se trata de un método fácil y rápido para el tratamiento de aguas residuales.

### **Ventajas**

- Simple y robusto.
- La eficiencia típica es de alrededor de 50% de remoción de la demanda biológica de oxígeno y 60-80 % de remoción de sólidos suspendidos.
- Los excedentes de lodo provenientes del tratamiento secundario también se pueden digerir en las lagunas anaerobias.
- Construcción y operación económicas.
- Las comunidades pequeñas y medianas pueden administrarlas con relativa facilidad.

### **Consideraciones**

- Toma tiempo alcanzar la eficiencia de tratamiento completa.
- Requieren de cantidades de terreno mayores en comparación con los sistemas convencionales de lodos activados u otras tecnologías de tratamiento secundario.
- La estrategia para la remoción de lodos provenientes de las lagunas siempre debe ser parte del diseño y no deben dejarse al operador.

### **Requisitos y características técnicas**

Las lagunas anaerobias son generalmente cuencas rectangulares, idealmente con una relación de longitud y anchura de alrededor de 2:1 o mayor. La profundidad del agua debe ser de al menos 3 metros, idealmente 5 metros, más un mínimo de 0.5 metros de borda libre. Las lagunas individuales no deben tener un tamaño superior a las 3 hectáreas. Los lados son normalmente inclinados a 1:2-1:3 internamente y a 1:1.5-1:2 externamente, con una inclinación interna recubierta con concreto o ladrillos, especialmente en el área de transición entre agua y aire, y en el fondo. La entrada y salida deben estar opuestas diagonalmente en las esquinas de la laguna. La entrada debe estar colocada debajo de la superficie del agua y por encima del nivel del lodo, mientras que la salida debe estar protegida con una pared de escoria que esté sumergida 30 cm en el agua. Para las cubiertas plásticas, por lo general se utiliza HDPE de 1.5-2.5 mm. La cubierta tiene que ser resistente a la luz ultravioleta y sujeta alrededor del perímetro de la laguna. Se debe prestar la atención debida para mantener la cubierta en su posición bajo la presión del gas, permitiendo la migración de biogás debajo de la cubierta, considerando las fluctuaciones del nivel de agua y un drenaje seguro de aguas pluviales. Las cuencas deben ser desfangadas periódicamente; y el diseño y administración deben mostrar esto. Por ejemplo, los diseños deben incluir la dotación de una rampa, a través de la cual un vehículo o una carreta tirada por animales pueda dar marcha atrás una vez que la laguna haya sido vaciada de las aguas residuales. Alternativamente, también existen en el mercado dispositivos para dragado de lodo tanto flotantes como sumergibles.