

PROCESOS ANAEROBICOS

Erika Andrea Gonzalez Ramos
20181180082

Juan Esteban Belalcazar Ortiz
20181180046

Gustavo Adolfo Navarro Farfan
20181180085

Angela Patricia Muñoz Martinez
20181180003

Table of Contents

01

Definición

02

Principios

Operación unitaria
Procesos anaerobios

03

Aplicaciones

Enfocadas a la
ingeniería Ambiental

04

Equipo

Mayormente usado
para este proceso

05

Variables equipo

Entorno a su
diseño

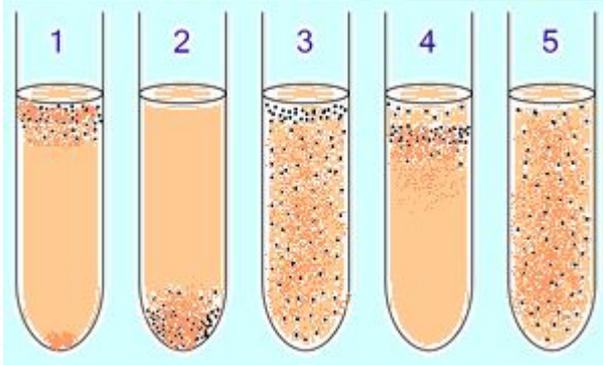
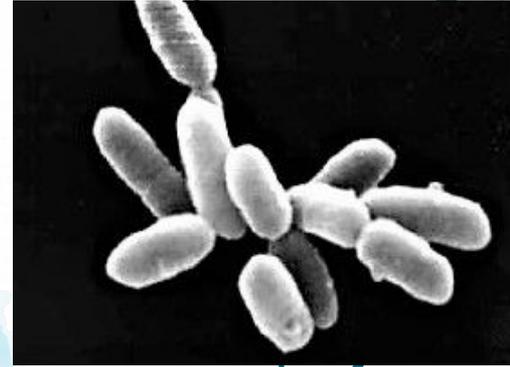
06

Ejercicio

Balance de materia

DIGESTIÓN ANAERÓBIA

01



Nula presencia de oxígeno.

Desarrollado alrededor de la digestión o degradación de la materia orgánica

Arqueobacterias y respiración celular (receptor de electrones)

M.O. a CO_2 , CH_4 , H_2S y N_2

02

PRINCIPIOS

Su funcionamiento



PROCESOS DE DEGRADACIÓN

Fermentativas y Acidogénicas

Toma la MO hidrolizada y la fermentan

Metanogénicas

Excesos de acidez
Acetoclásticas
Hidrogenotróficas

Hidrolíticas

Degradan MO en fracciones más simples y solubles

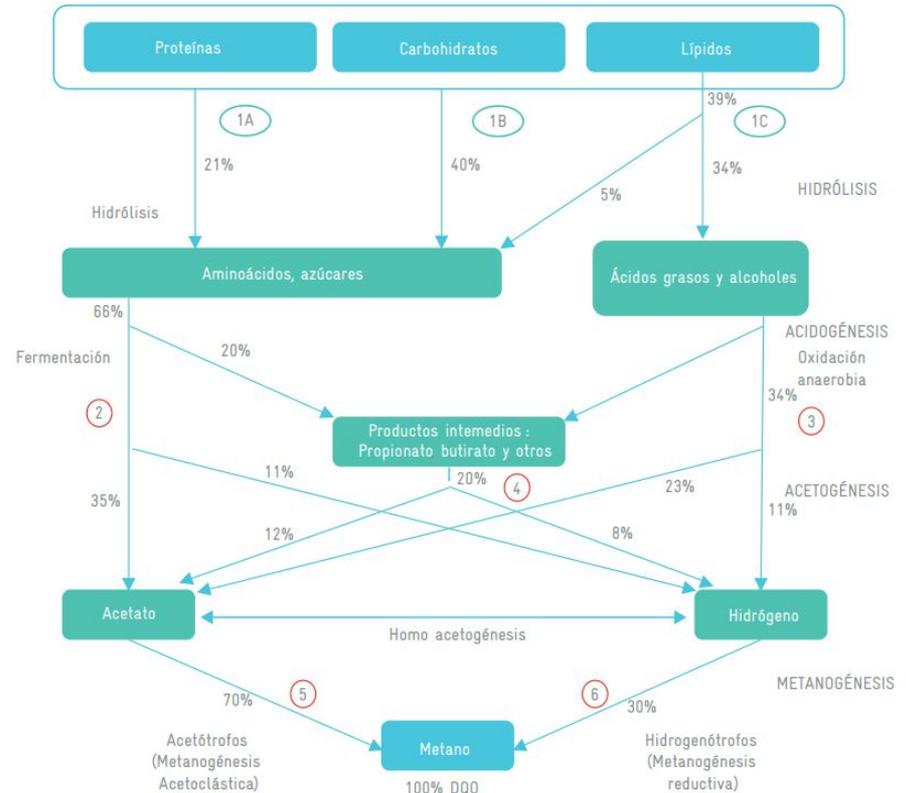
Acetogénicas

Crecimiento Lento

Productoras y consumidoras de H₂

Sulfato Reductoras

Compuestos azufrados
Eficiencia doble



VARIABLES IMPORTANTES

Temperatura

Límites y especies estenoicas

[] MO y Nutrientes

Inhibición o estimulantes del crecimiento bacteriano (N y P)

pH

Inhibición

Oxígeno, sulfuro de hidrógeno, ácidos grasos volátiles, nitrato de amonio



03

APLICACIONES

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

DIGESTIÓN ANAEROBIA

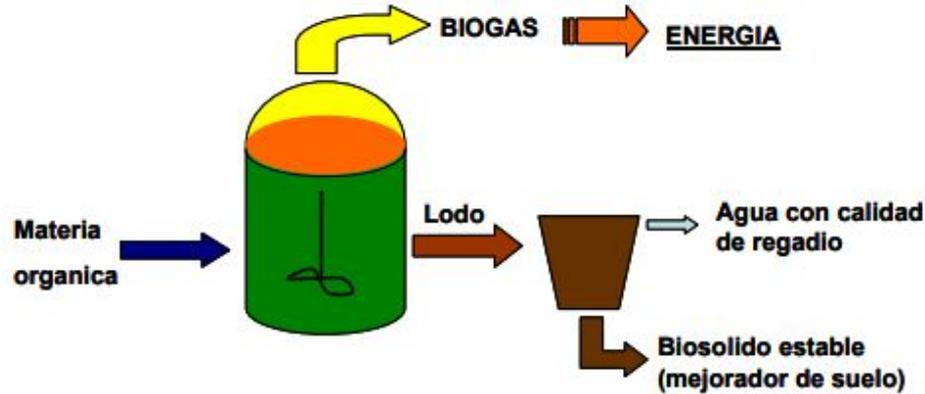


Figura 1. Esquema básico del proceso de digestión anaerobia.

Hidrólisis
macromolecular

Fermentación
de productos

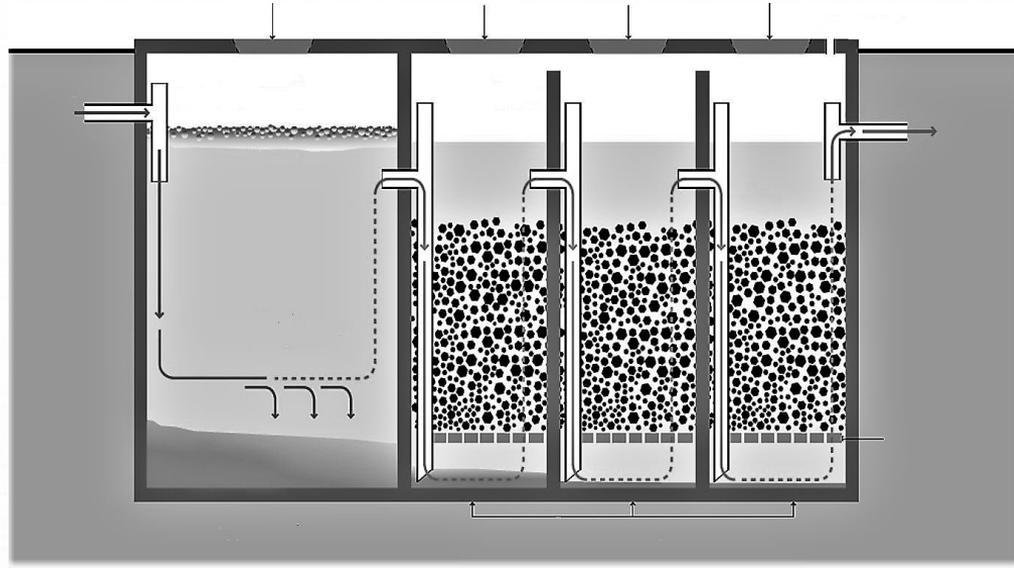
Formación de
acetato

Formación de
metano

BIOFILTRACIÓN ANAEROBIA

*Tratamiento de efluentes de la
industria farmacéutica*

Remoción de DQO
de 82 a 90%.



Carbón activado
granular para remover
tóxicos.

04

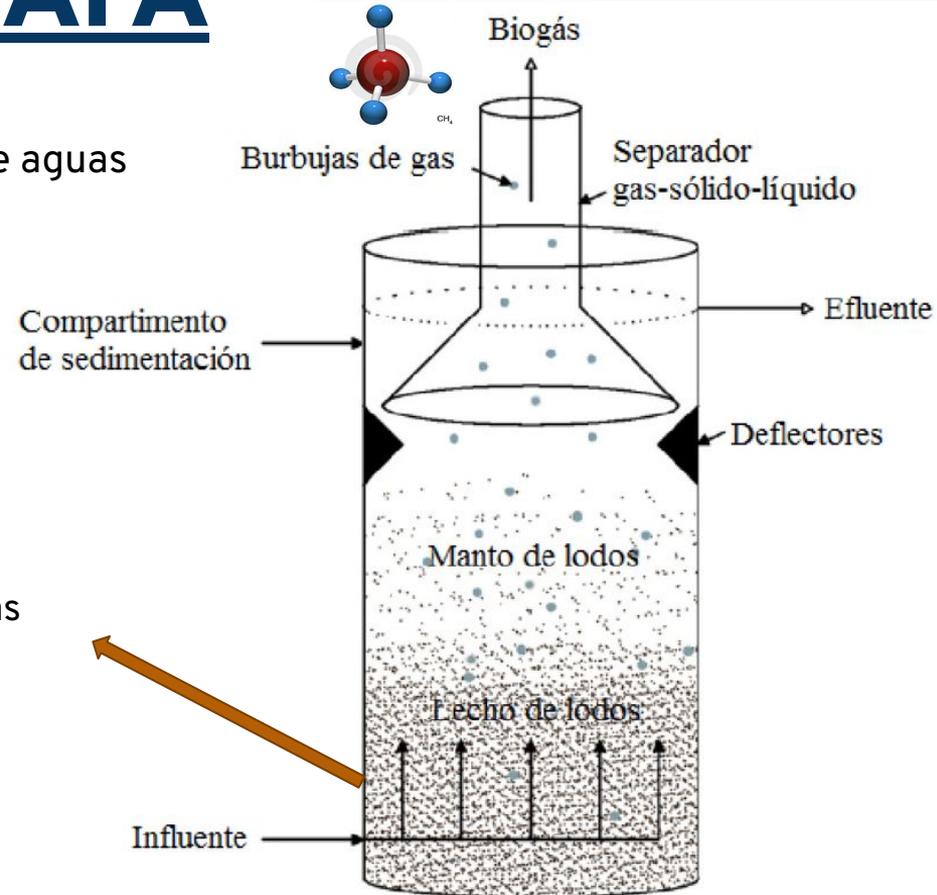
EQUIPO

*Más utilizado en procesos anaerobios

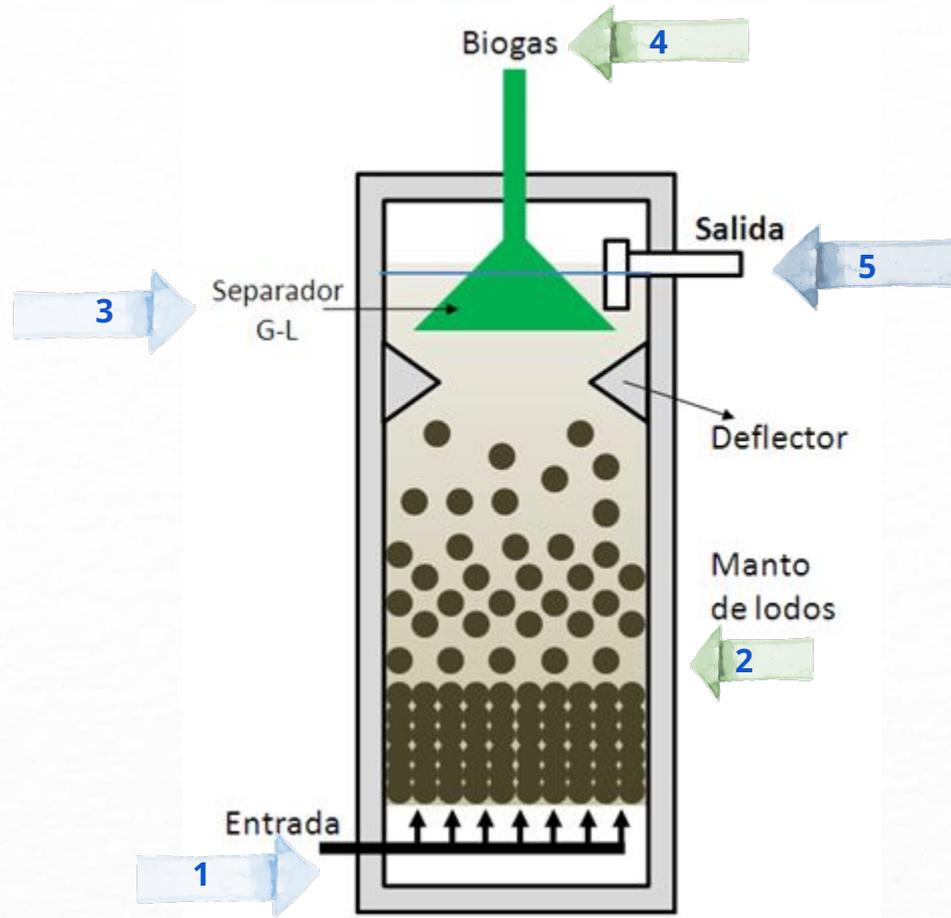
REACTOR UASB/RAFA

Tecnología aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica

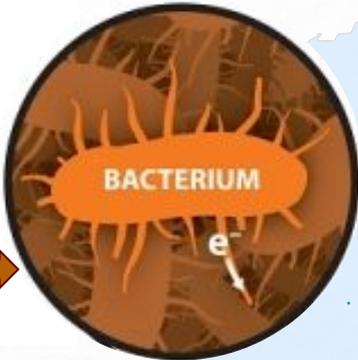
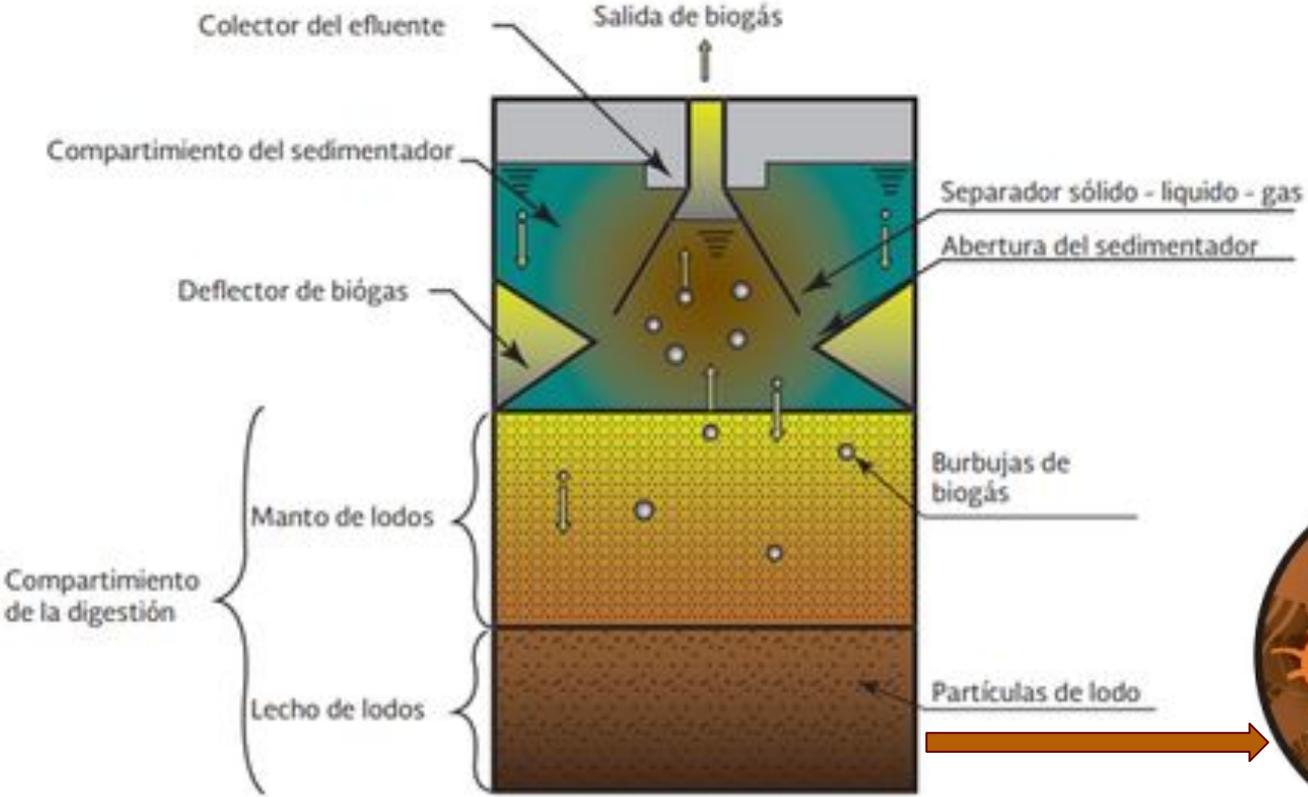
- + Eficiencias de remoción comprendidas entre el 60 y 80% de la DQO y la DBO.



¿CÓMO FUNCIONA?



Biomasa



05

VARIABLES DE DISEÑO

***Basados en el diseño de un reactor UASB para la Empresa Metropolitana de Aseo de manizales para el tratamiento de lixiviados provenientes del relleno sanitario.*

Parámetros a considerar:

Altura Efectiva

No menor a 1m

Forma

Cilíndrica o rectangular

Caudal de diseño

7 ml/min

Material

Plexigás

Tiempo de Resistencia Hidráulico

Máx 2 días

Diametro tubería

8.4 cm



→ 6 Kg DQO/ m³

Cálculos de diseño

Variables conocidas parámetros de diseño			
Diámetro de la tubería (cm)	Caudal Mínimo (ml/min)	Carga (KgDQO/m ³ d)	Tiempo de Residencia (d)
8.4	7.01	6	0.8

✓ Volumen del reactor: $V_R = TRH * Q;$ (ec. 2)

$$V_R = 0.8 d * (7.01 ml / min) * (1440 min / d) = 8075.5 ml ;$$

✓ Área del reactor: $A_R = \pi \frac{D^2}{4};$ (ec. 1)

$$A_R = \pi \frac{(8.4)^2 (cm^2)}{4} = 55.42 cm^2 ;$$

Cálculos de diseño

✓ Altura efectiva del reactor: $L = \frac{4 \cdot V_R}{\pi \cdot D^2}$; (ec. 2)

$$L = \frac{4 \cdot 8075.5 \text{ cm}^3}{\pi \cdot (8.4 \text{ cm})^2} = 147.5 \text{ cm};$$

✓ Flujo másico: $F = V_R \cdot C \text{ arg } a$; (ec. 3)

$$F = 8174.1 \text{ cm}^3 \cdot 6 \frac{\text{KgDBO}_5}{\text{m}^3 \text{ d}} = 0.049 \frac{\text{KgDBO}_5}{\text{d}};$$

✓ Carga hidráulica: $C_H = \frac{Q}{A_R}$; (ec. 5)

$$C_H = \frac{7.01 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{55.42 \text{ cm}^2} = 0.126 \frac{\text{cm}}{\text{min}} = 0.076 \frac{\text{m}}{\text{h}};$$

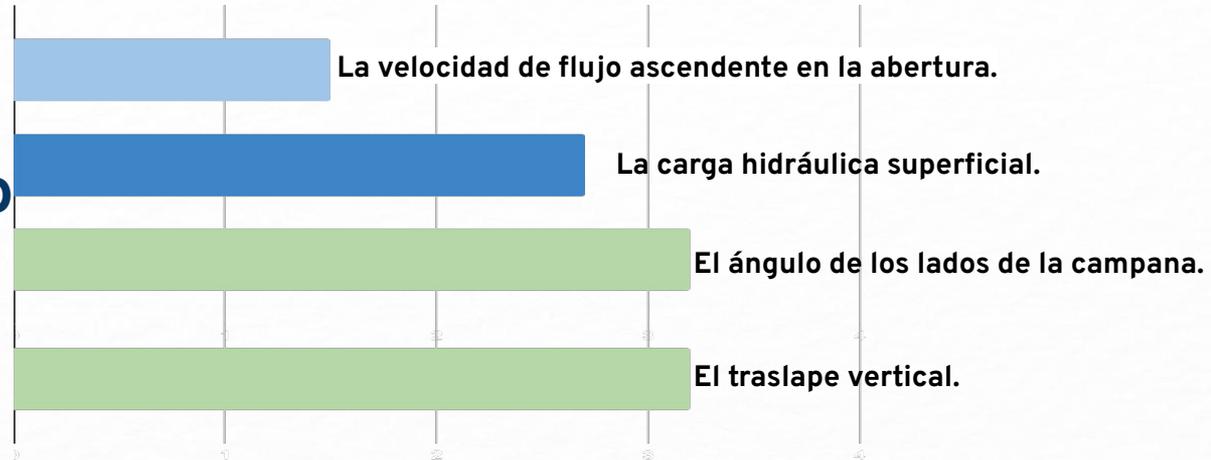
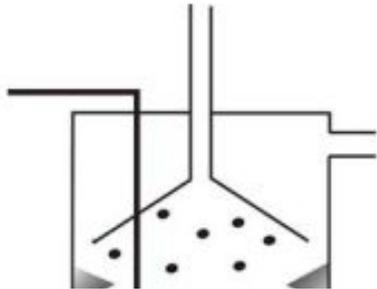
Cálculos de diseño

✓ Velocidad de flujo en la campana: $V_F = 4(C_H)$; (ec. 6)

$$V_F = 4 \left(0.076 \frac{m}{h} \right) = 0.304 \frac{m}{h}$$

SEPARADOR GAS-LÍQUIDO-SOLIDO

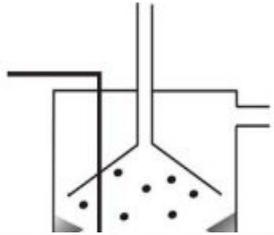
GLS



Cálculos de diseño GLS

✓ Área de abertura: $A_{ABERTURA} = \frac{Q}{V_F}$; (ec. 7)

$$A_{ABERTURA} = \frac{4.2 * 10^{-4} \frac{m^3}{h}}{0.304 \frac{m}{h}} = 1.38 * 10^{-3} m^2 = 13.8 cm^2 ;$$



✓ Área de sección transversal de la campana:

$$A_{CAMPANA} = A_R - A_{ABERTURA} = \pi R_C^2 ; \quad (ec. 8)$$

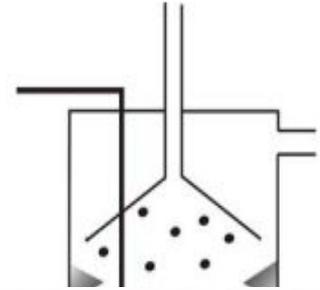
$$55.42 - 13.8 = \pi R_C^2 ;$$

$$R_C = 3.7 cm ;$$

Donde R_C es el radio mayor de la campana. Por lo tanto:

$$A_{CAMPANA} = 41.62 cm^2 ;$$

Cálculos de diseño GLS



✓ Ancho de la abertura:

$$W_A = R_R - R_C ;$$

(ec. 9)

$$W_A = 4.2 \text{ cm} - 3.7 = 0.5 \text{ cm}$$

$$W_G = R_R - W_A - 0.5(H_T) ;$$

(ec. 10)

$$W_G = 4.2 - 0.5 - 0.5(2) = 3.5 \text{ cm} ;$$

Cálculos de diseño GLS

✓ Traslapo:

$$T_V = 1.5(W_A);$$

(ec. 12)

$$T_V = 1.5(0.5\text{cm}) = 0.75\text{cm};$$

✓ Ancho de los deflectores:

$$W_D = T_V + W_A;$$

(ec. 13)

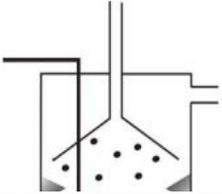
$$W_D = 0.75\text{cm} + 0.5\text{cm} = 1.25\text{cm};$$

✓ Longitud de los deflectores:

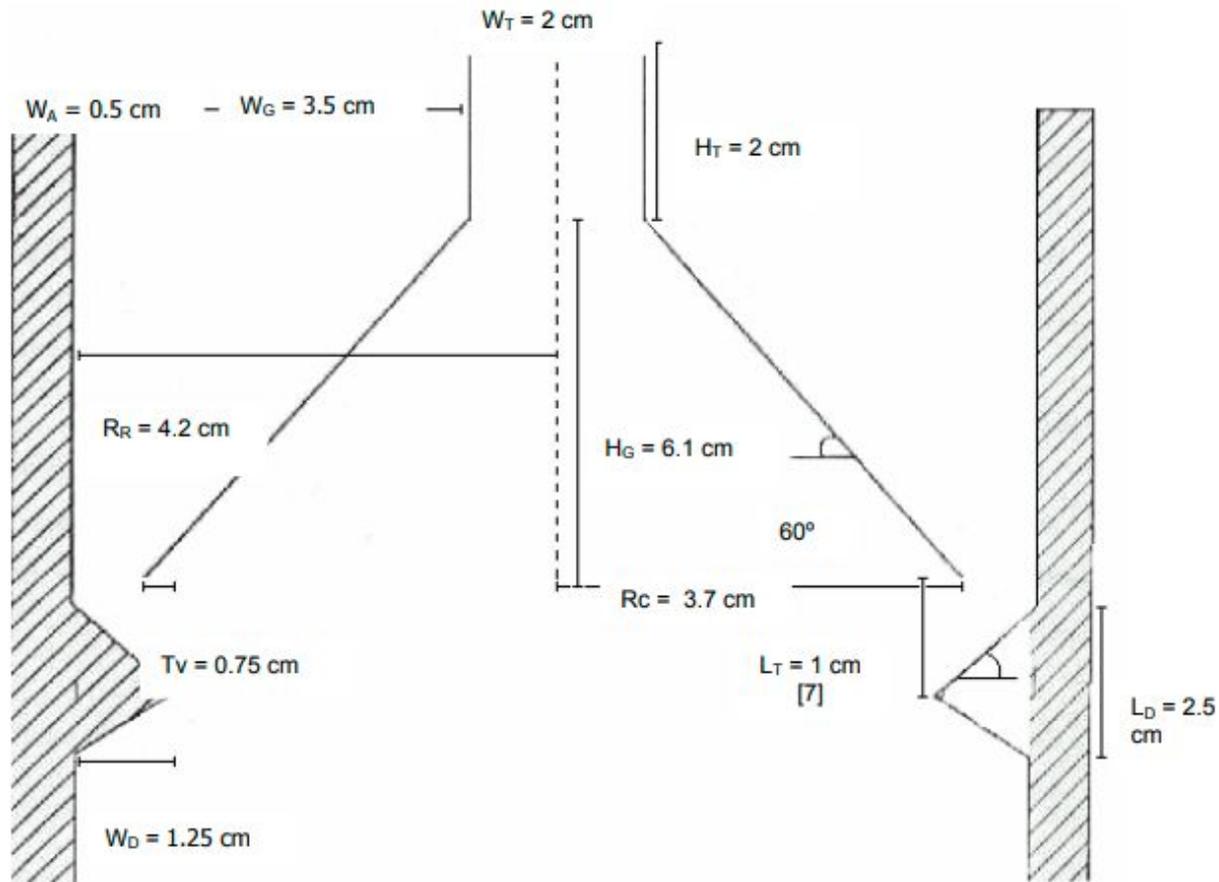
$$L_D = 2W_D \tan 45^\circ;$$

(ec. 14)

$$L_D = 2(1.25\text{cm}) \tan 45^\circ = 2.5\text{cm};$$



Diseño separador GLS





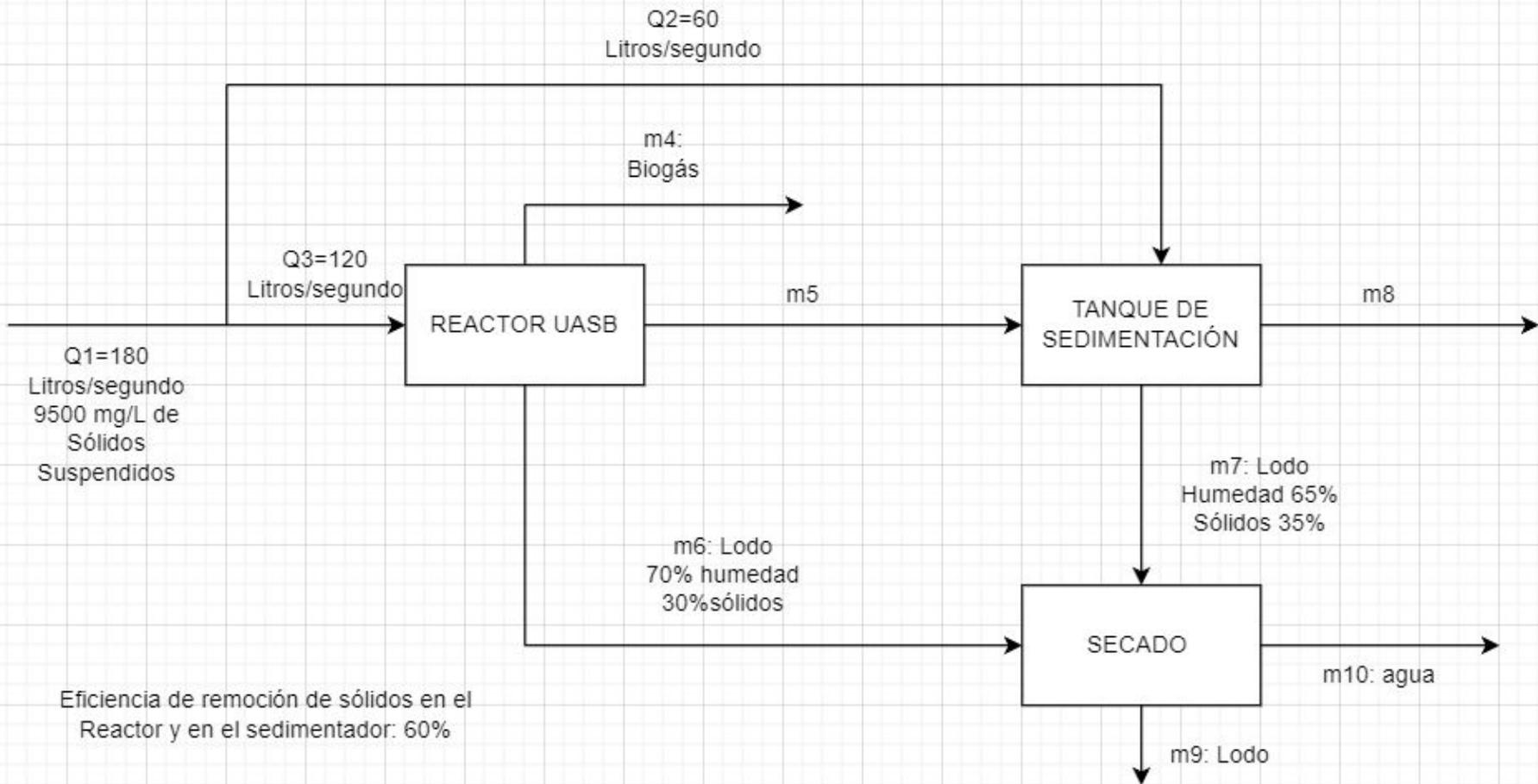
06

EJERCICIO PRÁCTICO

Planteado por los estudiantes

Enunciado

En una empresa de curtiembres, se aplica un sistema de tratamiento de aguas residuales como se muestra en la figura para eliminar el contenido de sólidos suspendidos. El sistema de tratamiento está compuesto por un reactor UASB con capacidad de tratar 120 L/s y un sedimentador, sin embargo circulan inicialmente 180 L/s de agua residual, por lo que parte del flujo se deriva directamente al sedimentador, en donde se mezcla con el agua previamente tratada en el reactor. Adicionalmente en ambos procesos de tratamiento se generan lodos, con composiciones de humedad y sólidos dadas en la figura, a los cuales se les aplica un proceso de secado para separar los lodos del agua. Teniendo en cuenta que la concentración inicial de sólidos suspendidos es de 9500 mg/L, que la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos tanto para el sedimentador como para el reactor es del 60% y que en el reactor el 15% de la masa que entra se convierte en biogás, calcule todas las masas y composiciones desconocidas y determine si la concentración final de sólidos suspendidos cumple con el límite máximo permisible señalado por la normatividad colombiana (600 mg/L)



$$BC = 1 \text{ segundo}$$

$$Q \text{ en } 1 = 180 \text{ Litros}$$

$$Q \text{ en } 2 = 60 \text{ Litros}$$

$$Q \text{ en } 3 = 120 \text{ Litros}$$

Asumiendo la densidad de aguas residuales como 1000 Kg/m³

$$m_1 = 180 \text{ Litros} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Litros}} * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 180 \text{ Kg en } 1$$

$$m_2 = 60 \text{ Kg}$$

$$m_3 = 120 \text{ Kg}$$

A continuación, se calcula la masa de sólidos suspendidos en la corriente 1 a partir de su concentración

$$m_{SS}(1) = 9500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 180 \text{ L} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000000 \text{ mg}} = 1,71 \text{ Kg de sólidos suspendidos en } 1$$

Calculamos las composiciones en la corriente 1, que aplican para las corrientes 2 y 3 (derivación de flujo)

$$W_{ss, 1} = \frac{1,71 \text{ Kg sólidos suspendidos}}{180 \text{ Kg solución}} = 0,0095 = 0,95\% \text{ de sólidos suspendidos en } 1$$

$$W_{agua, 1} = \frac{(180 \text{ Kg} - 1,71 \text{ Kg}) \text{ agua}}{180 \text{ Kg solución}} = 0,9905 = 99,05\% \text{ de agua en } 1$$

A partir del cálculo de las composiciones se calculan las masas de sólidos y agua en las corrientes 2 y 3

$$m_{\text{agua}, 2} = 0,9905 * 60 \text{ Kg} = 59,43 \text{ Kg de agua en 2}$$

$$m_{\text{SS}, 2} = 0,0095 * 60 \text{ Kg} = 0,57 \text{ Kg de sólidos suspendidos en 2}$$

$$m_{\text{agua}, 3} = 0,9905 * 120 \text{ Kg} = 118,86 \text{ Kg de agua en 3}$$

$$m_{\text{SS}, 3} = 0,0095 * 120 \text{ Kg} = 1,14 \text{ Kg de sólidos suspendidos en 3}$$

Balance en el Reactor UASB

Balance global

$$m_3 = m_4 + m_5 + m_6$$

Teniendo en cuenta que la masa 4 es la del biogás y corresponde al 15% de la masa que entra al reactor (m_3)

$$m_4 = 0,15 * 120 \text{ Kg} = 18 \text{ Kg de biogás}$$

$$120 \text{ Kg} = 18 \text{ Kg} + m_5 + m_6$$

Sabiendo que se remueven 60% de sólidos, la masa de sólidos en 6 es el 60% de la masa de sólidos en 3

$$m_{ss,6} = 0,6 * 1,14 \text{ Kg} = 0,684 \text{ Kg de sólidos suspendidos en 6}$$

Sabiendo que los sólidos representan el 30% del lodo en la corriente 6, se calcula la masa 6

$$m_{ss,6} = W_{ss,6} * m_6$$

$$\frac{0,684 \text{ Kg SS}}{0,3} = m_6$$

$$2,28 \text{ Kg} = m_6$$

Y con la masa 6, calculamos la masa de agua en la corriente 6 así como la masa en la corriente 5, reemplazando en el balance global

$$m_{agua,6} = W_{agua,6} * m_6$$

$$m_{agua,6} = 0,7 * 2,28 \text{ Kg}$$

$$m_{agua,6} = 1,596 \text{ Kg de agua en 6}$$

$$m_3 = m_4 + m_5 + m_6$$

$$m_5 = m_3 - m_4 - m_6 = 120 \text{ Kg} - 18 \text{ Kg} - 2,28 \text{ Kg}$$

$$m_5 = 99,72 \text{ Kg}$$

Balance para los sólidos

$$m_{ss,3} = m_{ss,5} + m_{ss,6}$$

$$1,14 \text{ Kg} - 0,684 \text{ Kg} = m_{ss,5}$$

$$0,456 \text{ kg de sólidos suspendidos} = m_{ss,5}$$

$$99,72 \text{ Kg} - 0,456 \text{ Kg} = m_{\text{agua},5}$$

$$99,264 \text{ Kg agua} = m_{\text{agua},5}$$

Composiciones en la corriente 5:

$$W_{ss,5} = \frac{0,456 \text{ Kg}}{99,72 \text{ Kg}} = 0,0045 = 0,45\% \text{ de sólidos suspendidos en 5}$$

$$W_{\text{agua},5} = \frac{99,264 \text{ Kg}}{99,72 \text{ Kg}} = 0,9954 = 99,54\% \text{ de agua en 5}$$

Balance en el sedimentador

Balance global

$$m_2 + m_5 = m_7 + m_8$$

$$60 \text{ Kg} + 99,72 \text{ Kg} = m_7 + m_8$$

$$159,72 \text{ Kg} = m7 + m8$$

Sabiendo que la masa de sólidos en la corriente 7 es el 60% de la masa de sólidos que entra en el sedimentador (corrientes 2 y 5), dado que es la eficiencia de remoción:

$$m_{ss,7} = 0,6 * (0,57 \text{ Kg} + 0,456 \text{ Kg}) = 0,615 \text{ Kg de sólidos suspendidos en 7}$$

Sabiendo que los sólidos representan el 35% del lodo en la corriente 7, se calcula la masa 7

$$m_{ss,7} = W_{ss,7} * m7$$

$$\frac{0,615 \text{ Kg SS}}{0,35} = m7$$

$$1,76 \text{ Kg} = m7$$

Y con la masa 7, calculamos la masa de agua en la corriente 7 así como la masa en la corriente 8, reemplazando en el balance global

$$m_{agua,7} = W_{agua,7} * m7$$

$$m_{agua,7} = 0,65 * 1,76 \text{ Kg}$$

$$m_{agua,7} = 1,144 \text{ Kg de agua en 7}$$

$$m2 + m5 = m7 + m8$$

$$60 \text{ Kg} + 99,72 \text{ Kg} - 1,76 \text{ Kg} = m8$$

$$157,96 \text{ Kg} = m8$$

Y con la masa 7, calculamos la masa de agua en la corriente 7 así como la masa en la corriente 8, reemplazando en el balance global

$$m_{\text{agua},7} = W_{\text{agua},7} * m_7$$

$$m_{\text{agua},7} = 0,65 * 1,76 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{agua},7} = 1,144 \text{ Kg de agua en 7}$$

$$m_2 + m_5 = m_7 + m_8$$

$$60 \text{ Kg} + 99,72 \text{ Kg} - 1,76 \text{ Kg} = m_8$$

$$157,96 \text{ Kg} = m_8$$

Se hace el balance para los sólidos, con el fin de hallar la concentración final de sólidos suspendidos

$$m_{ss,2} + m_{ss,5} = m_{ss,7} + m_{ss,8}$$

$$0,57 \text{ Kg} + 0,456 \text{ Kg} - 0,615 \text{ Kg} = m_{ss,8}$$

$$0,411 \text{ Kg sólidos suspendidos} = m_{ss,8}$$

Calculamos la concentración en mg/L de sólidos suspendidos

Masa de agua residual= 157,96 Kg

Masa de sólidos suspendidos=0,411 Kg

$$\begin{aligned} & \text{Concentración ss, 8} \\ = & \frac{0,411 \text{ Kg SS}}{157,96 \text{ Kg agua residual}} * \frac{1000000 \text{ mg SS}}{1 \text{ Kg SS}} * \frac{1000 \text{ kg agua residual}}{1 \text{ m}^3 \text{ agua residual}} \\ & * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ agua residual}}{1000 \text{ Litros agua residual}} = 2601,92 \text{ mg SS/Litro} \end{aligned}$$

El agua vertida no cumple con los parámetros de la normatividad colombiana para sólidos suspendidos, ya que el valor de concentración obtenido es 2601,92 mg/L y el LMP es de 600 mg/L para curtiembres

Calculamos finalmente las composiciones de la corriente 8, así

$$157,96 \text{ Kg} - 0,411 \text{ Kg} = m_{\text{agua, 8}}$$

$$157,549 \text{ Kg agua} = m_{\text{agua, 8}}$$

$$W_{ss, 8} = \frac{0,411 \text{ Kg}}{157,96 \text{ Kg}} = 0,0026 = 0,26 \% \text{ de sólidos suspendidos en 8}$$

$$W_{\text{agua, 8}} = \frac{157,549 \text{ Kg}}{157,96 \text{ Kg}} = 0,9974 = 99,74\% \text{ de agua en 8}$$

Balance en el secador

Balance global

$$m_6 + m_7 = m_9 + m_{10}$$

$$2,28 \text{ Kg} + 1,76 \text{ Kg} = m_9 + m_{10}$$

Balance para el agua

$$m_{\text{agua, 6}} + m_{\text{agua, 7}} = m_{10}$$

$$1,596 \text{ Kg} + 1,144 \text{ Kg} = m_{10}$$

$$2,74 \text{ Kg agua} = m_{10}$$

Reemplazando en balance global, calculamos la masa de lodo

$$2,28 \text{ Kg} + 1,76 \text{ Kg} = m_9 + m_{10}$$

$$2,28 \text{ Kg} + 1,76 \text{ Kg} - 2,74 \text{ Kg} = m_9$$

$$1,3 \text{ Kg lodo} = m_9$$

Comprobando en balance global del sistema

$$m_1 = m_4 + m_8 + m_9 + m_{10}$$

$$180 \text{ Kg} = 18 \text{ Kg} + 157,96 \text{ Kg} + 1,3 \text{ Kg} + 2,74 \text{ Kg}$$

$$180 \text{ kg} = 180 \text{ kg}$$

A stylized map of South America is centered on the page. The map is filled with a light teal color, with a darker blue wash at the bottom representing the continent's southern part. The word "GRACIAS" is written in a large, bold, dark blue sans-serif font across the middle of the map. The background is white with scattered dark blue dots and a thin dark blue line that curves across the top right and bottom right corners.

GRACIAS