



Universidad de Salamanca
Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Industrial

Plantas de producción de biogás

Norberto Redondo Melchor
Doctor Ingeniero Industrial

1

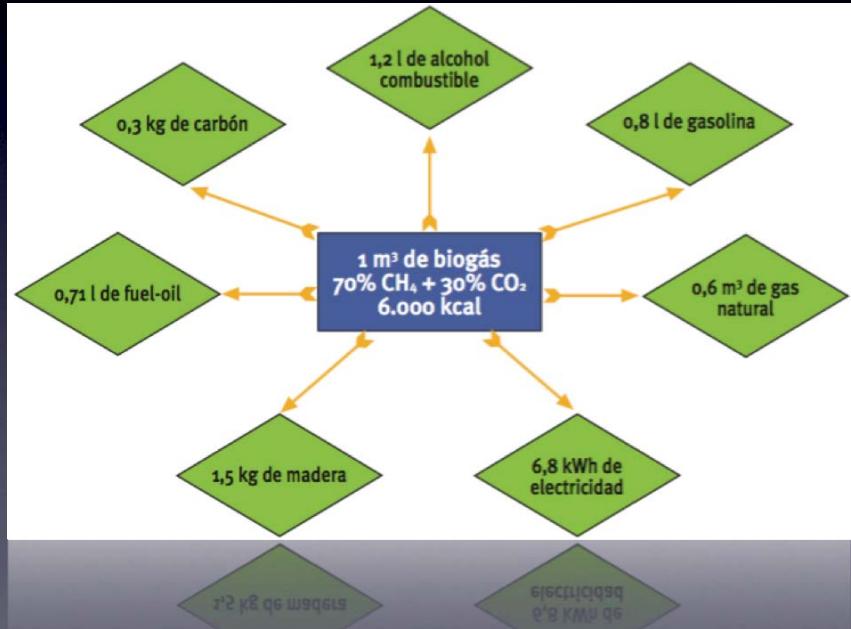
Contenidos

1. Producción de biogás
2. Prediseño de una planta de biogás

Producción de biogás

Rendimientos aproximados

Descomposición anaerobia de materia orgánica \Rightarrow
 \Rightarrow biogás:
 60-65% CH_4
 $\text{PCI} = 9.94 \text{ kWh/m}^3 \text{ CN}$
 30-35% CO_2
 $\leq 5\%$ otros (H_2S , H_2)



IDAE, Biomasa: digestores anaerobios, Madrid 2007.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

3

Producción de biogás

Proceso general

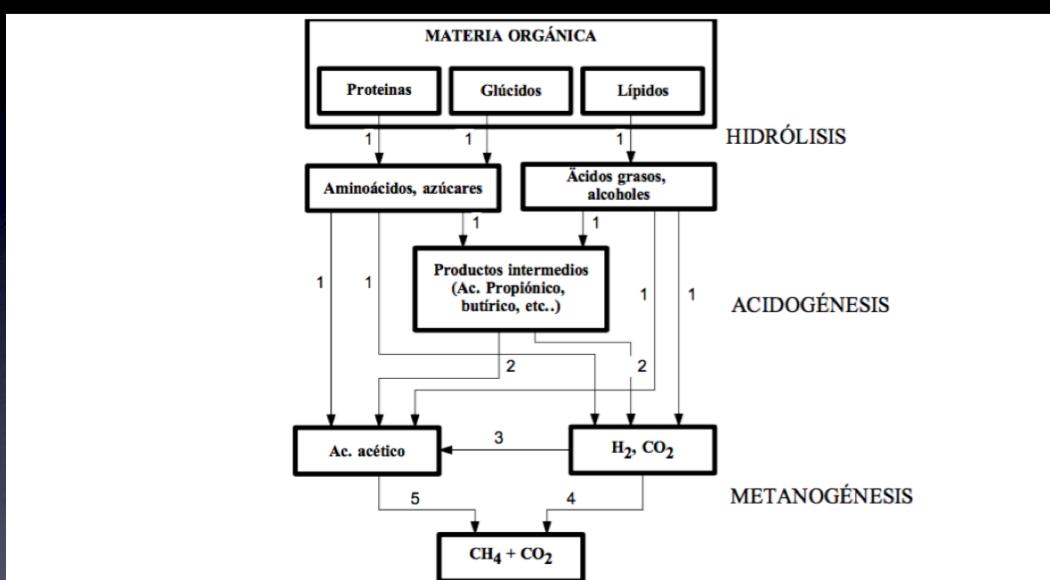


Fig. 1.- Fases de la fermentación anerobia y poblaciones bacterianas: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásicas (Pavlostathis y Giraldo, 1991).

Producción de biogás

Procesos de generación de biogás

Tabla 3.1: Clasificación de los procesos para generar biogás de acuerdo con diferentes criterios

Criterio	Factores diferenciales
Contenido de materia seca del sustrato	<ul style="list-style-type: none"> - digestión húmeda - digestión seca
Tipo de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> - intermitente - semi-continua - continua
Número de fases del proceso	<ul style="list-style-type: none"> - fase única - dos fases
Temperatura del proceso	<ul style="list-style-type: none"> - psicrofílica - mesofílica - termofílica

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit , versión en español del "Leitfaden Biogas", 5^a ed. 2010.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

5

Producción de biogás

Procesos de tanque agitado típico

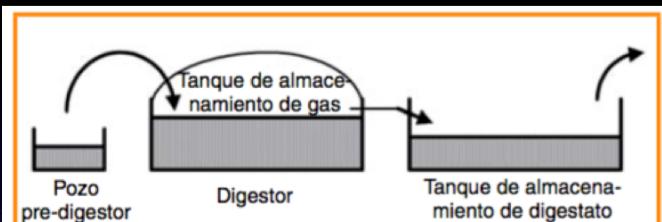


Figura 3.1: Esquema del proceso de flujo continuo

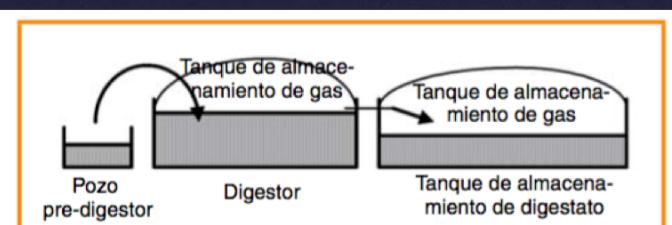


Figura 3.2: Esquema del proceso combinado de flujo continuo/tanque tampón

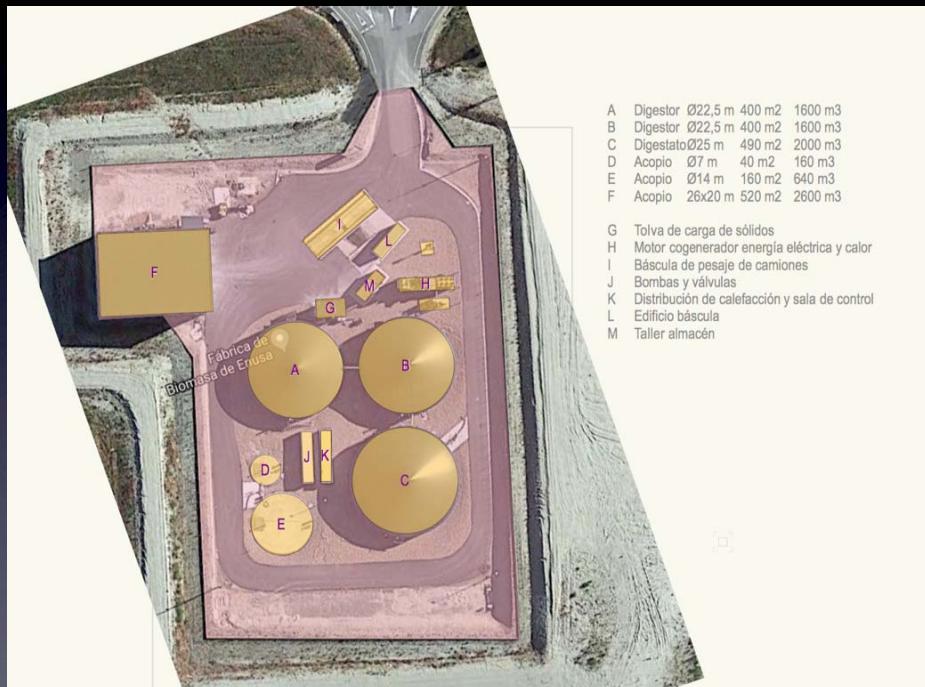
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit , versión en español del "Leitfaden Biogas", 5^a ed. 2010.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

6

Producción de biogás

Planta de ENUSA en Juzbado (Salamanca)



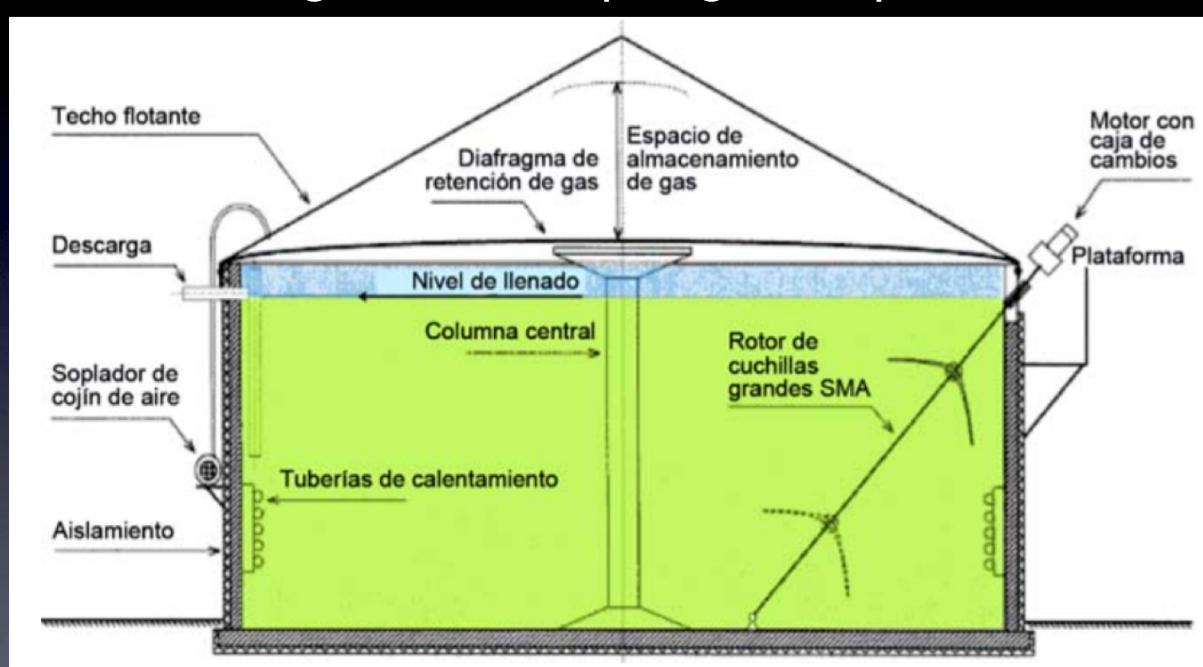
Elaboración propia

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

7

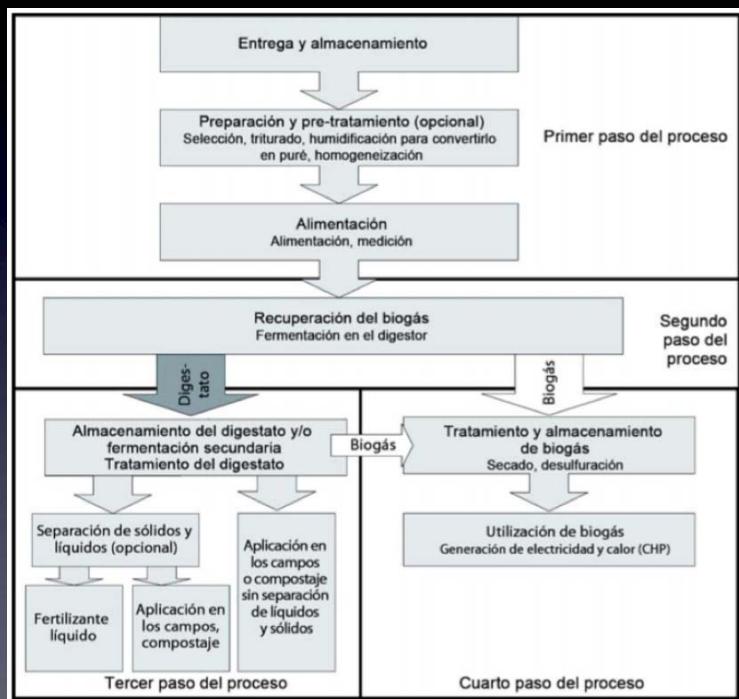
Producción de biogás

Digestor de tanque agitado típico



Producción de biogás

Proceso en la planta



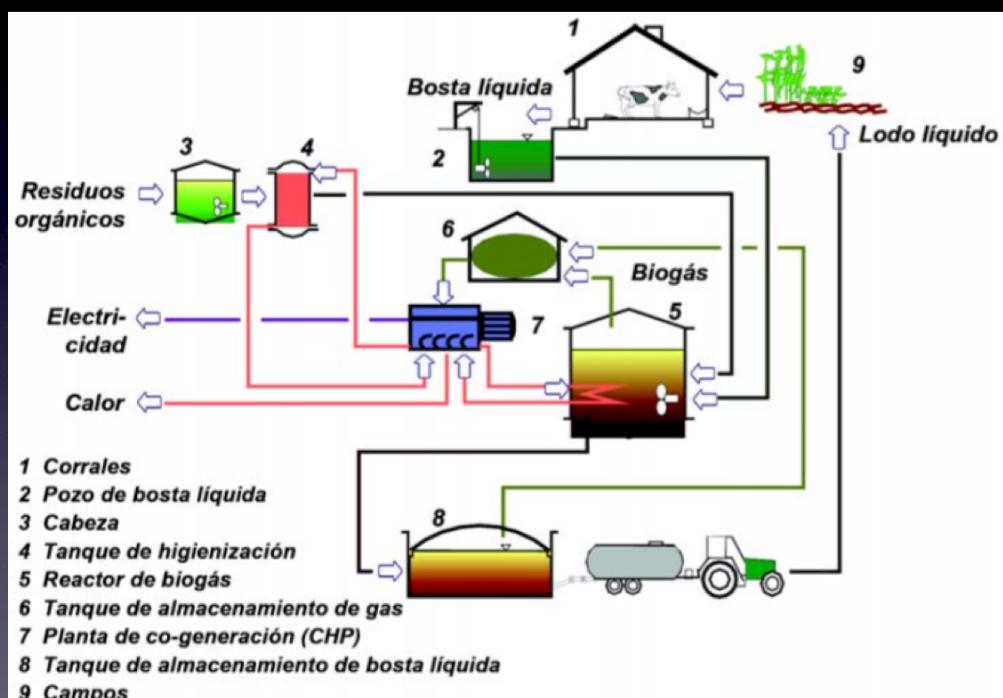
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit , versión en español del "Leitfaden Biogas", 5^a ed. 2010.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

9

Producción de biogás

Proceso completo



Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit , versión en español del "Leitfaden Biogas", 5^a ed. 2010.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

10

Producción de biogás

Condiciones ambientales de la reacción

- Oxígeno: veneno para bacterias metanogénicas
- Temperatura muy estable: bacterias...
 - Psicrófilas: hasta 20 °C
 - Mesófilas: entre 37 y 42 °C (ideal)
 - Termófilas: entre 50 y 70 °C
- pH:
 - Acidogénesis: 5.2 a 6.3
 - Metanogénesis: 6.5 a 8 (preferible)

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

11

Producción de biogás

Condiciones ambientales de la reacción

- Toxicidad:
 - Antibióticos en la alimentación
 - Desinfectantes en el lavado de instalaciones
- Inhibición:
 - Ácidos grasos volátiles
 - Amoníaco libre y nitrógeno amoniacial ($N-NH_3$)
 - Ácido sulfídrico
 - Metales pesados (Cu, Zn)

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

12

Producción de biogás

Condiciones ambientales de la reacción

Inhibidor	Concentración inhibitoria	Comentarios
Oxígeno	> 0,1 mg/l	Inhibición de arqueas metanogénicas anaeróbicas obligadas
Sulfuro de hidrógeno	> 50 mg/l H ₂ S	El efecto inhibitorio se eleva a medida que cae el valor de pH.
Ácidos grasos volátiles	> 2.000 mg/l HAc (pH = 7,0)	El efecto inhibitorio se eleva a medida que cae el valor de pH. Gran adaptabilidad de las bacterias.
Nitrógeno de amoníaco	> 3.500 mg/l NH ₄ ⁺ (pH = 7,0)	El efecto inhibitorio se eleva a medida de que se eleva el valor de pH y la temperatura. Gran adaptabilidad de las bacterias.
Metales pesados	Cu > 50 mg/l Zn > 150 mg/l Cr > 100 mg/l	Sólo los metales disueltos tienen un efecto inhibitorio. La desintoxicación se hace por medio de la precipitación de sulfuros.
Desinfectantes, antibióticos	no especificado	Efecto inhibitorio específico para el producto

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit , versión en español del "Leitfaden Biogas", 5^a ed. 2010.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

13

Producción de biogás

Codigestión

- Complementariedad de las composiciones : procesos más eficaces
- Compartir instalaciones de tratamiento
- Unificar metodologías de gestión
- Amortiguar las variaciones temporales en composición y producción de cada residuo por separado
- Reducir costes de inversión y explotación

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

14

Producción de biogás

Codigestión

Tabla II. Potenciales de producción de biogás de algunos residuos orgánicos
(Angelidaki y Ahring, 1997)

Tipo	Sólidos volátiles (%)	Producción de biogás (m ³ /tonelada)
Intestinos + contenidos	15-20	50-70
Fangos de flotación	13-18	90-130
BBO (tierras filtrantes de aceite, con bentonita)	40-45	350-450
Aceites de pescado	80-85	350-600
Suero	7-10	40-55
Suero concentrado	18-22	100-130
Hidrolizados de carne y huesos	10-15	70-100
Mermeladas	50	300
Aceite soja/ margarinas	90	800-1000
Bebidas alcohólicas	40	240
Fangos residuales	3-4	17-22
Fangos residuales concentrados	15-20	85-110
FORM (frac. org. de res. mun.) separada en origen	20-30	150-240

Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J., Bonmatí, X. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria. Porci; Monografías de actualidad, 65, pp 51-65.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

15

Producción de biogás

Codigestión

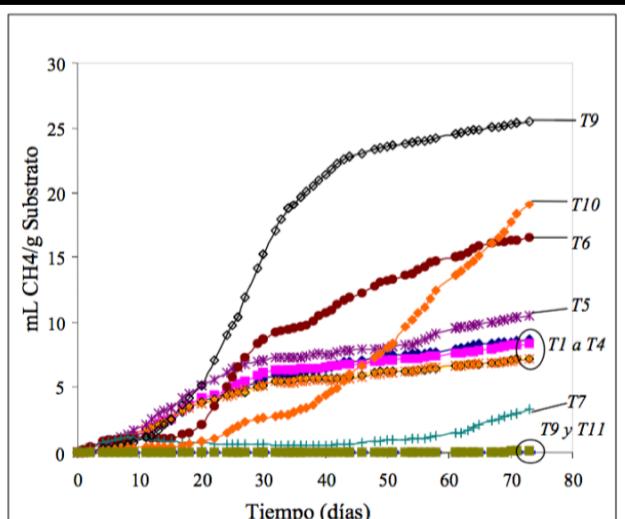


Fig. 2.- Producción acumulada de metano por unidad de substrato, tratando purines de cerdo y mezclas de éstos con residuos de industria alimentaria a 35°C, en las proporciones y nomenclatura indicadas en la Tabla IV.

Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J., Bonmatí, X. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria. Porci; Monografías de actualidad, 65, pp 51-65.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

16

Producción de biogás

Codigestión

- Requisitos previos:
 - Selección de sustratos
 - Dosificación
 - Remoción de interferentes (plásticos, metales, maderas, tierra, piedras...)
 - Triturado
 - Humectación para mezclado (predigestor)
 - Higienización a 70°C (incluso pasteurización)

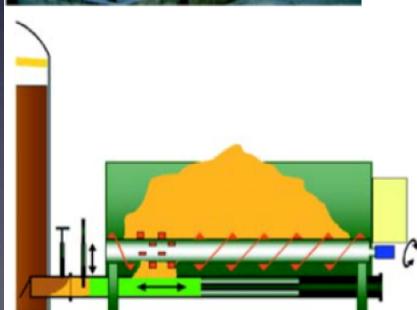
© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

17

Producción de biogás

Codigestión

Incorporación de sustrato sólido

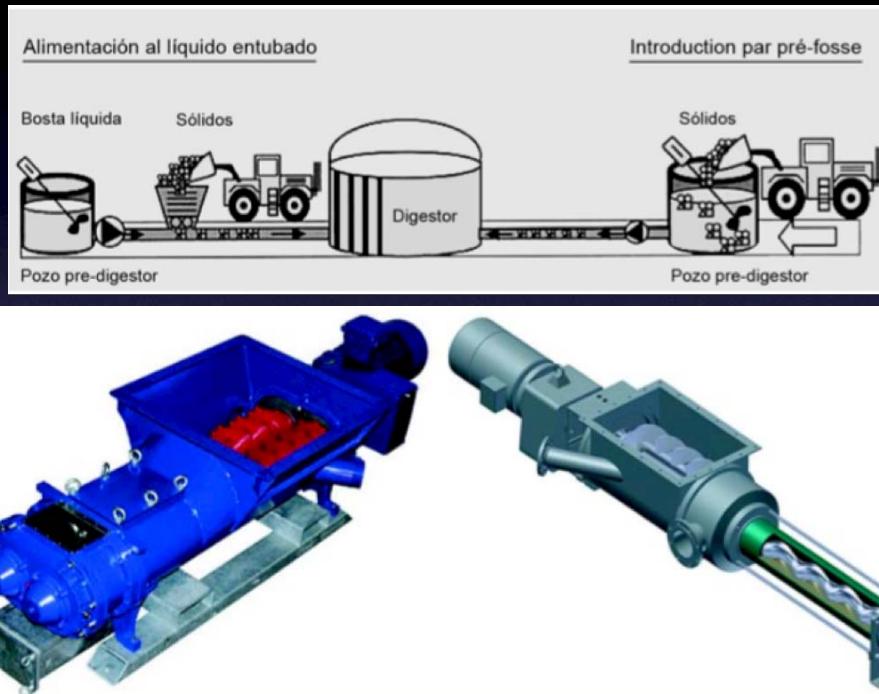


© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

18

Producción de biogás

Codigestión



© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

19

Producción de biogás

Parámetros operativos

- Tasa de carga orgánica B_R
- Tiempo de retención en el digestor TRH
- Mezclado
- Grado de degradación
- Productividad y rendimiento
- Calidad del gas

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

20

Producción de biogás

Parámetros operativos

$$B_R = \frac{\dot{m} \cdot c}{V_R \cdot 100} \quad [\text{kg VS m}^{-3} \text{ d}^{-1}]$$

Ecuación 2.1: Tasa de carga orgánica (TCO)
(\dot{m} = cantidad de sustrato añadido por unidad de tiempo [kg/d]; c = concentración de materia orgánica (sólidos volátiles) [% VS]; V_R = volumen del reactor [m^3])

$$HRT = \frac{V_R}{\dot{V}} \quad [\text{d}]$$

Ecuación 2.2: Tiempo de retención hidráulica
(V_R = volumen del reactor [m^3]; \dot{V} = volumen del sustrato añadido diariamente [m^3/d])

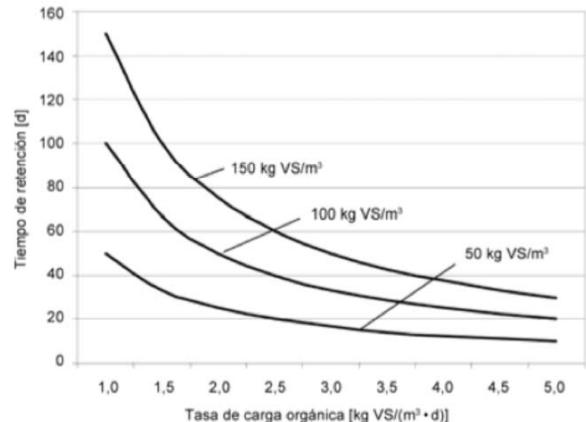


Figura 2.2: Correlación entre la tasa de carga orgánica y el tiempo de retención hidráulica para diversas concentraciones de sustrato

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, versión en español del "Leitfaden Biogas", 5^a ed. 2010.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

21

Producción de biogás

Parámetros operativos

- Funciones del mezclado en el digestor:
 - Incorporar nuevo sustrato (fresco)
 - Igualar temperaturas
 - Romper decantación (estratificación)
 - Evitar costras de escorias
 - Facilitar la liberación del gas hacia el domo superior

Producción de biogás

Parámetros operativos

- **Tipos de mezclado:**
 - Agitadores de cizallamiento (rotación horizontal)
 - Agitadores de amasado (movimiento vertical)
- **Duración del mezclado:**
 - Mezcla intermitente
 - Mezcla continua

Producción de biogás

Problemas durante el funcionamiento

- **Gases: formación de espumas (y costras)**
 - Extracción muy alta
 - Trampa de espuma
- **Sedimentos en el fondo de los digestores**
 - Fondos cónicos para bombeo extra
 - Raspadores de fondo
 - Transportadores de tornillo

Producción de biogás

Problemas durante el funcionamiento

- **Exceso de volumen: separación sólidos - líquido**
 - Prensas horizontales tipo faja o con rodillos
 - **Centrífugas**
 - Separadores de tornillo
- **Condiciones térmicas:**
 - Aislamiento de digestores
 - **Calentamiento de digestores**
 - Integrados
 - Externos

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit , versión en español del "Leitfaden Biogas", 5^a ed. 2010.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

25

Fin del bloque primero

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

26