



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

2

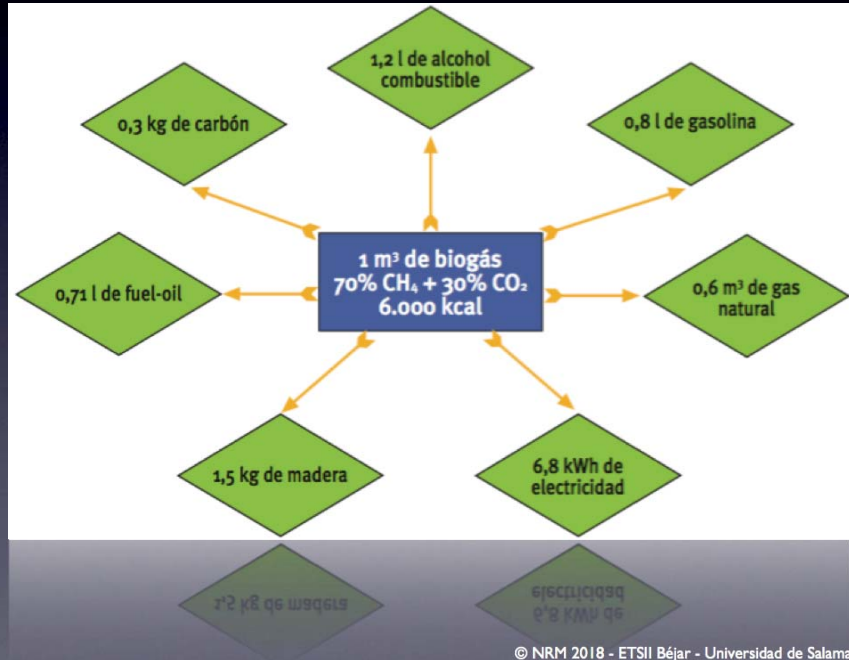
# Producción de biogás

## Rendimientos aproximados

Descomposición anaerobia de materia orgánica ⇒

⇒ biogás:

60-65% CH<sub>4</sub>  
PCI = 9.94 kWh/m<sup>3</sup> CN  
30-35% CO<sub>2</sub>  
≤ 5% otros (H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>)



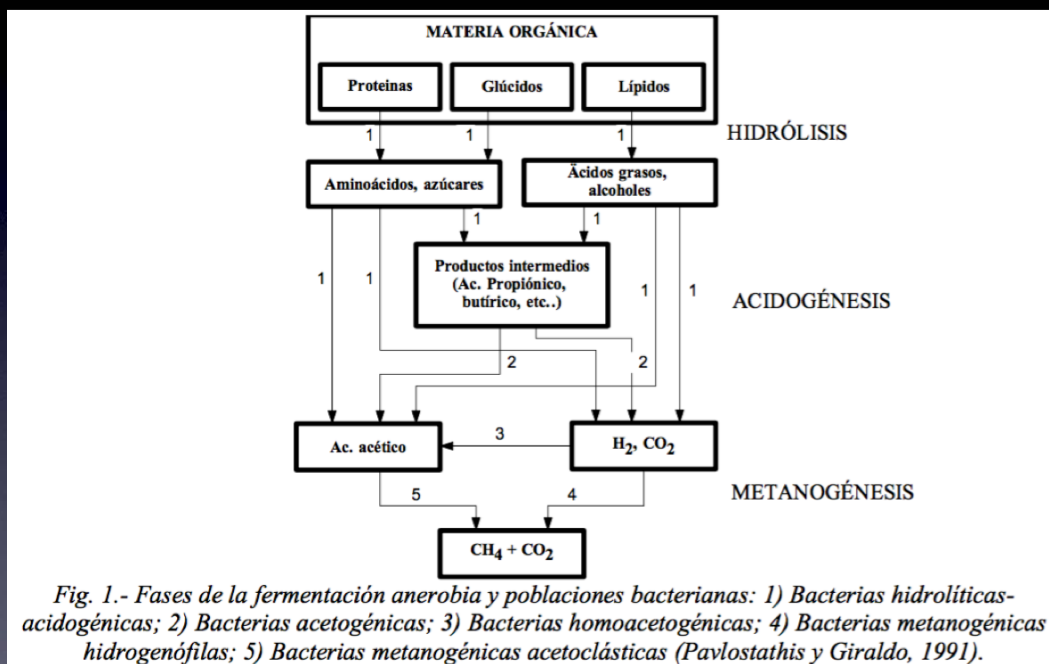
IDAE, Biomasa: digestores anaerobios, Madrid 2007.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

3

# Producción de biogás

## Proceso general



Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J., Bonmati, 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

4

# 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	- digestión húmeda - digestión seca
Tipo de alimentación	- intermitente - semi-continua - continua
Número de fases del proceso	- fase única - dos fases
Temperatura del proceso	- psicrófila - mesófila - termófila

Húmeda  $\leq$  15% materia seca

Semi-continua con depósito tampón cubierto

1° Hidrólisis - 2° Metanogénesis

# Producción de biogás

## Procesos de tanque agitado típico

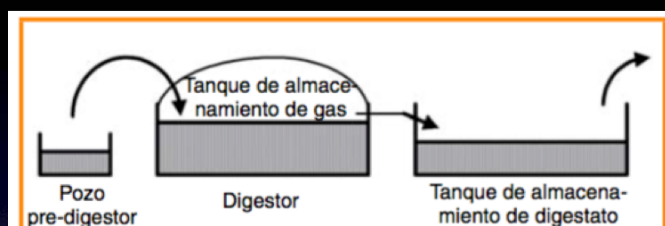


Figura 3.1: Esquema del proceso de flujo continuo

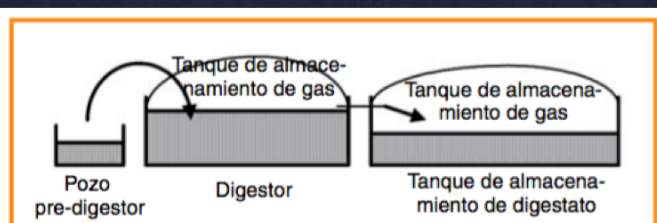
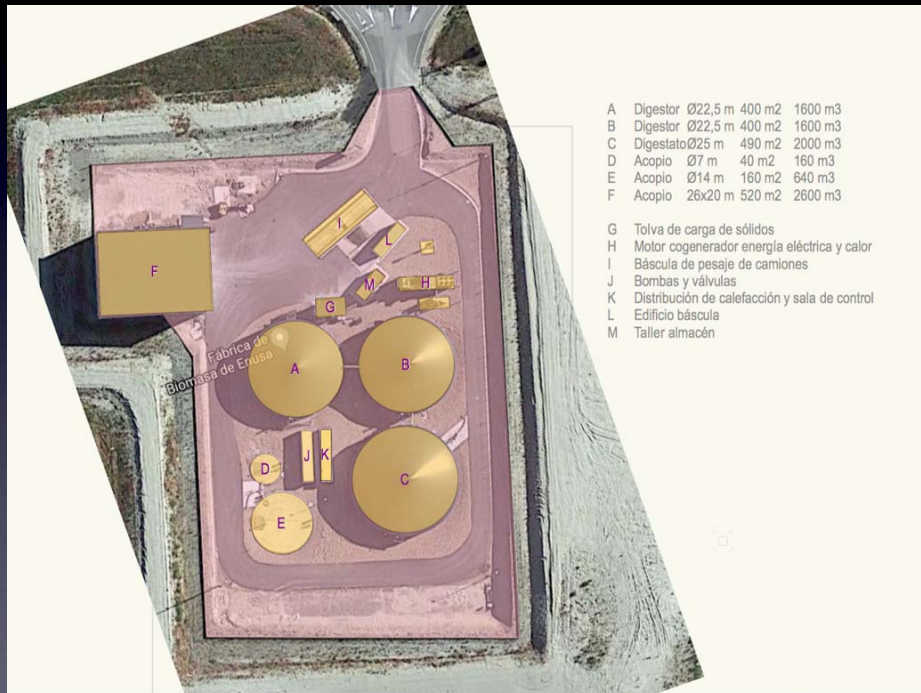


Figura 3.2: Esquema del proceso combinado de flujo continuo/tanque tampón

# Producción de biogás

## Planta de ENUSA en Juzbado (Salamanca)



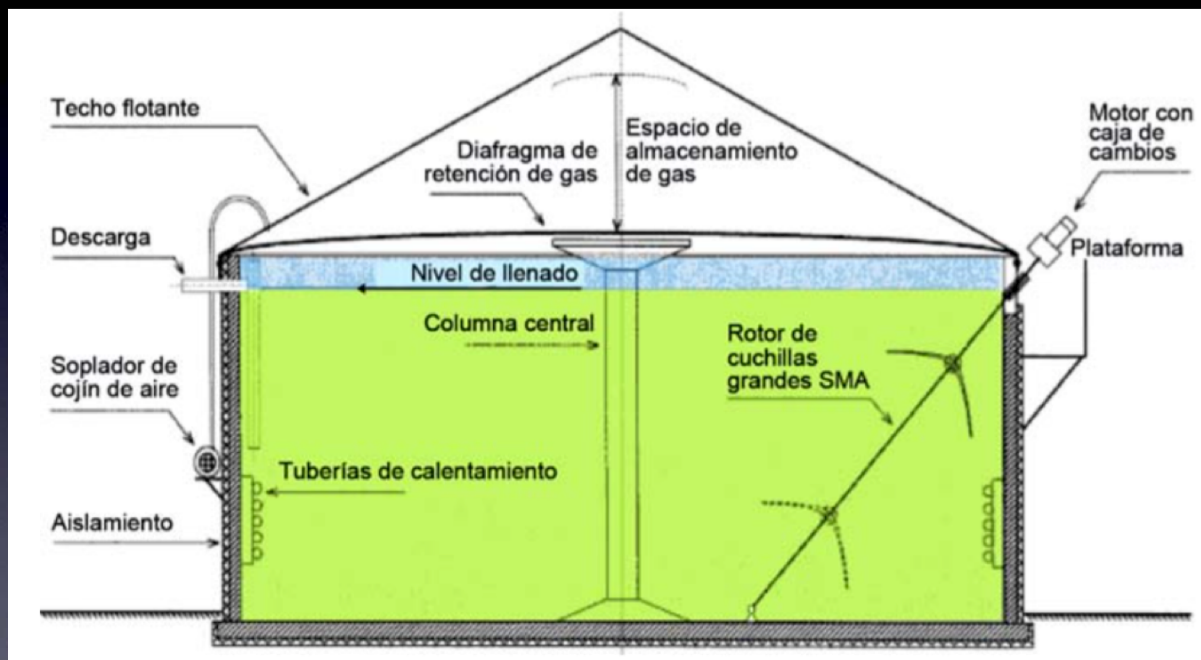
Elaboración propia

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

7

# Producción de biogás

## Digestor de tanque agitado típico

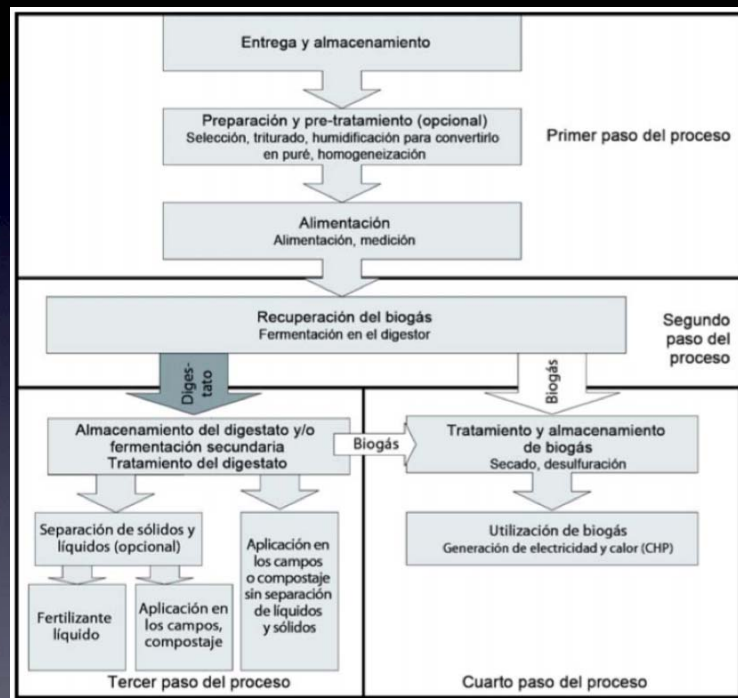


8



# Producción de biogás

## Proceso en la planta



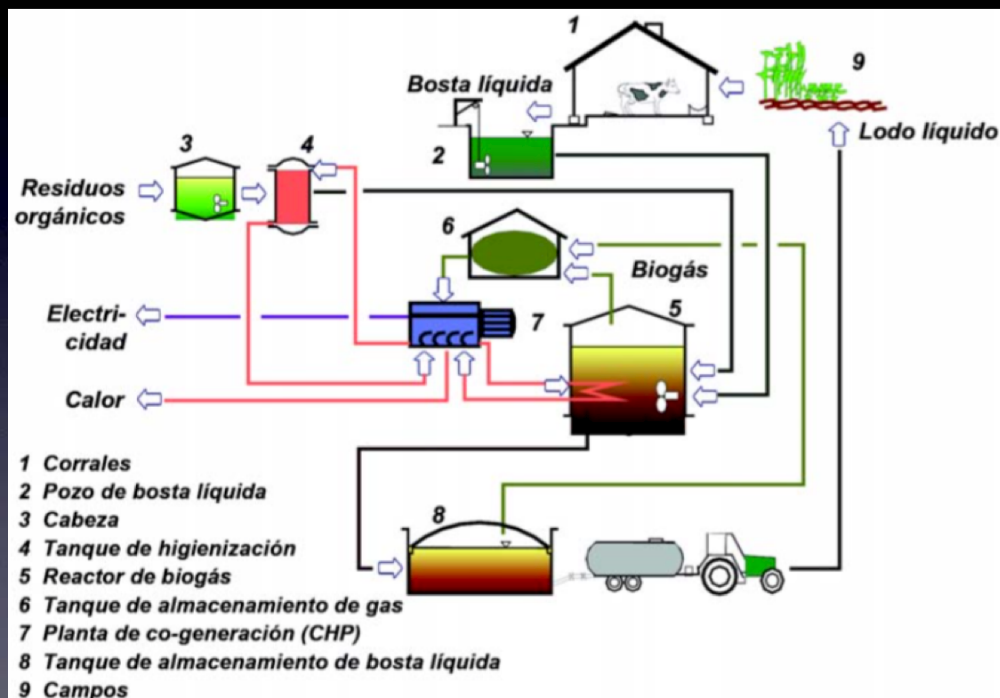
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, versión en español del "Leitfaden Biogas", 5ª ed. 2010.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

9

# Producción de biogás

## Proceso completo



Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, versión en español del "Leitfaden Biogas", 5ª 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
- Inibición:
  - Ácidos grasos volátiles
  - Amoníaco libre y nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ )
  - 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 <sub>2</sub> 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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> (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", 5ª 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 <sup>3</sup> /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

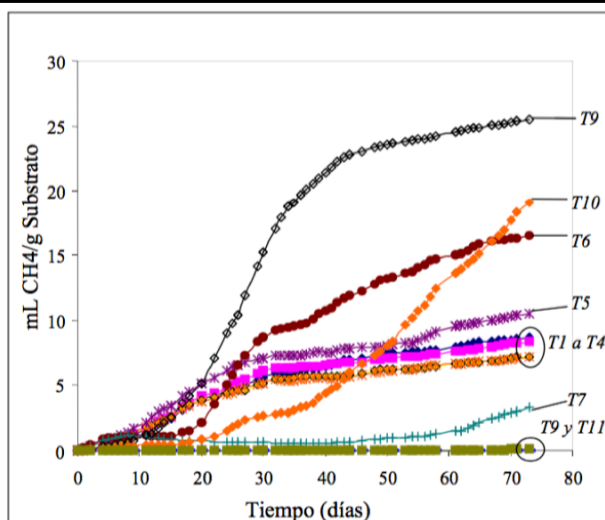
Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J., Bonmatí, X. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria. Porcí; Monografías de actualidad, 65, pp 51-65.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

15

# Producción de biogás

## Codigestión



*Fig. 2.- Producción acumulada de metano por unidad de sustrato, 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. Porcí; 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)

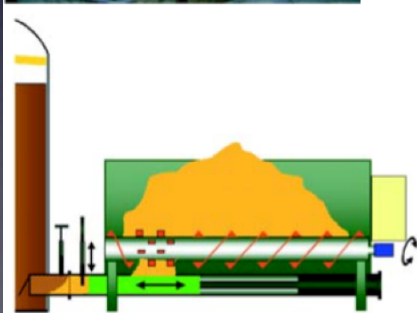
© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

17

# Producción de biogás

## Codigestión

### Incorporación de sustrato sólido

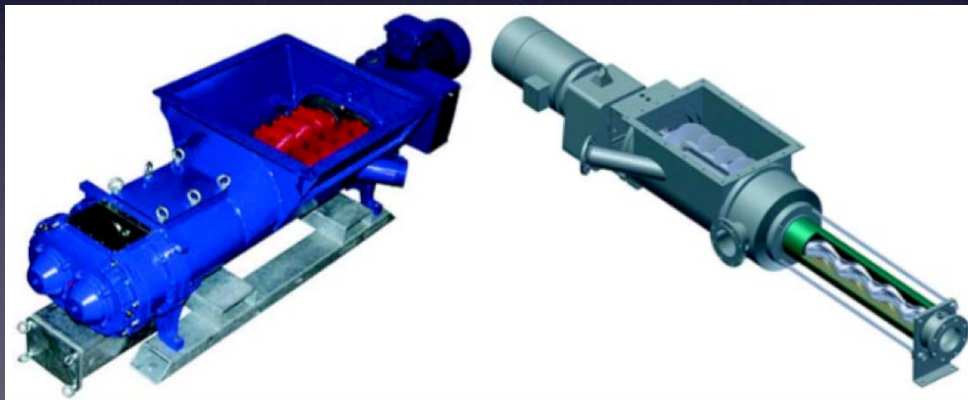
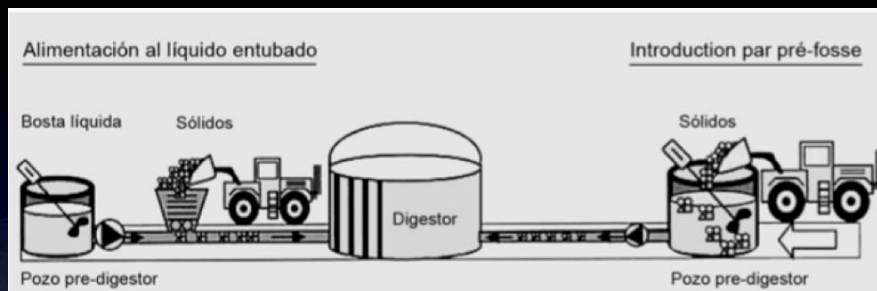


© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

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 [ $\text{m}^3$ ])

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

Ecuación 2.2: Tiempo de retención hidráulica

( $V_R$  = volumen del reactor [ $\text{m}^3$ ];  $\dot{V}$  = volumen del sustrato añadido diariamente [ $\text{m}^3/\text{d}$ ])

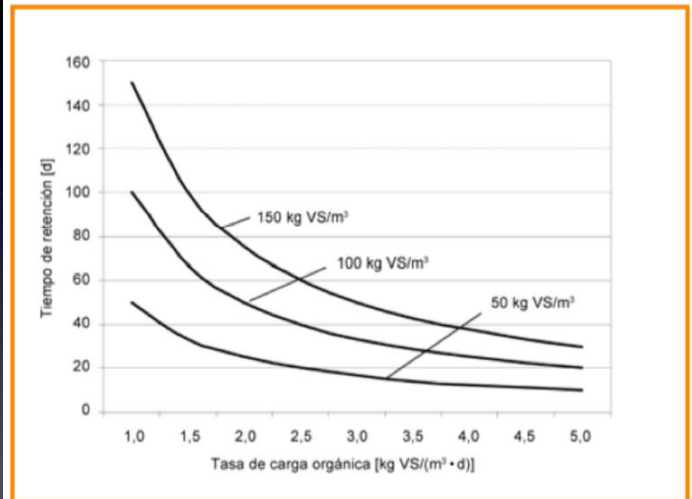


Figura 2.2: Correlación entre la tasa de carga orgánica y el tiempo de retención hidráulica para diversas concentraciones de sustrato

# 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", 5ª ed. 2010.

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

25

# Fin del bloque primero

© NRM 2018 - ETSII Béjar - Universidad de Salamanca

26