

ANEXO C: CÁLCULOS

C.1 Cálculos previos.....	16
C.2 Dimensionado digestor tubular	17
C.3 Dimensionado digestor de cúpula fija	17
C.3.1 Tanque de compensación.....	19
C.4 Tanque de mezcla	19
C.5 Resultados obtenidos según la relación estiércol – agua.....	20
C.5.1 Biodigestor tubular	20
C.5.2 Biodigestor de cúpula fija	21
C.6 Bibliografía	22

C.1 Cálculos previos

Para poder obtener, en primer lugar, el volumen total de las dos plantas piloto se siguen los siguientes pasos para ambos modelos, el tubular y el de cúpula fija. Una vez realizados estos cálculos previos, se utilizan ecuaciones concretas para determinar los parámetros específicos de dimensionado de cada digestor.

La producción diaria de gas se puede calcular a partir de tres parámetros:

1. Sólidos volátiles:

$$G \text{ (m}^3\text{/día)} = SV \text{ (kg)} \cdot PE \text{ (m}^3\text{/día}\cdot\text{kg)} \quad (\text{Ec. C.1})$$

PE es la producción específica de sustrato.

2. Kg de biomasa:

$$G \text{ (m}^3\text{/día)} = B \text{ (kg)} \cdot PE \text{ (m}^3\text{/día}\cdot\text{kg)} \quad (\text{Ec. C.2})$$

PE es la producción específica de biomasa y B la cantidad de biomasa en kg.

3. Producción estándar de gas por unidad de animal:

$$G \text{ (m}^3\text{/día)} = n^{\circ} \text{ de cabezas} \cdot PE \text{ (m}^3\text{/día}\cdot\text{unidad)} \quad (\text{Ec. C.3})$$

PE es la producción específica por animal. [1]

En este proyecto en concreto, se parte de la producción diaria de gas necesaria para cocinar las familias escogidas y del potencial de biogás obtenido a partir de la bibliografía. A partir de estos datos se extrae la cantidad de biomasa (B) en kg.

La cantidad de carga diaria se calcula a partir de la siguiente expresión, considerando que el volumen de agua diario se puede obtener de la relación estiércol-agua una vez calculada la cantidad de biomasa requerida:

$$SD \text{ (m}^3\text{/día)} = B + A \text{ (m}^3\text{/día)} \quad (\text{Ec. C.4})$$

B es el volumen diario de biomasa y A el volumen diario de agua.

El volumen de digestión se calcula como:

$$VD \text{ (m}^3\text{)} = TR \text{ (días)} \cdot SD \text{ (m}^3\text{/día)} \quad (\text{Ec. C.5})$$

TR es el tiempo de retención en días y SD es la cantidad de carga.

El volumen del reactor se puede calcular a partir del volumen de digestión como:

$$V_{\text{reactor}}(\text{m}^3) = VD(\text{m}^3) + \frac{1}{3} VD(\text{m}^3) \quad (\text{Ec. C.6})$$

VD es el volumen de digestión.

[1]

C.2 Dimensionado digestor tubular

Para el cálculo del radio y la longitud del digestor se utiliza la siguiente ecuación, una vez calculado el volumen del reactor y utilizando una relación específica entre la longitud y el radio:

[2]

$$V_{\text{reactor}} (\text{m}^3) = \pi \cdot R(\text{m})^2 \cdot L(\text{m}) \quad (\text{Ec. C.7})$$

R es el radio y L la longitud del digestor, respectivamente.

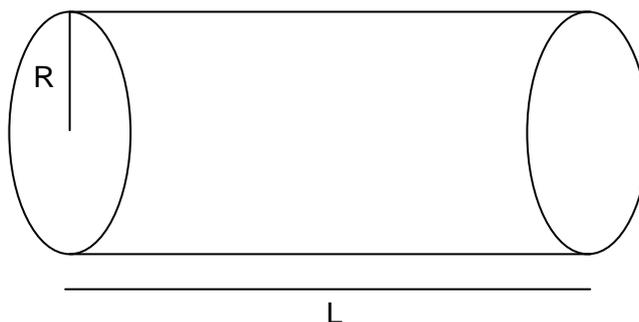


Figura C.1.- Esquema medidas básicas para el dimensionado de un digestor tubular.

C.3 Dimensionado digestor de cúpula fija

El dimensionado del digestor de cúpula fija se basa en las siguientes ecuaciones obtenidas a partir de la publicación Diseño y Construcción de Plantas de Biogás sencillas de José Antonio Guardado Chacón.

Las fórmulas se basan en el cálculo de las tres partes fundamentales de este tipo de digestores, la parte cónica, la cilíndrica y la esférica.

Los pasos de cálculo seguidos para el dimensionado son los siguientes:

1. Se calcula el volumen del reactor o volumen total (V_{tot}), a partir de los cálculos previos, siguiendo las ecuaciones de la C.1 a la C.4.

2. Se calcula el radio del volumen predefinido (R).

$$R(m) = \sqrt[3]{\frac{V_{tot}(m^3)}{\pi * 1.121}} \quad (\text{Ec. C.8})$$

1.121 es una constante obtenida experimentalmente que permite relacionar el radio básico con el volumen total del digestor.

3. Se calcula la unidad en metros (U).

$$U(m) = \frac{R(m)}{4} \quad (\text{Ec. C.9})$$

R es el radio del volumen predefinido.

4. Se determina el resto de parámetros:

- a. Cálculo de las proporciones:

$$\text{Radio de la cúpula: } R(m) = 5 * U(m) \quad (\text{Ec. C.10})$$

$$\text{Diámetro cilindro: } D(m) = 8 * U(m) \quad (\text{Ec. C.11})$$

$$\text{Altura de la cúpula: } hc(m) = 2 * U(m) \quad (\text{Ec. C.12})$$

$$\text{Altura de la pared: } hp(m) = 3 * U(m) \quad (\text{Ec. C.13})$$

$$\text{Altura del cono base: } ht(m) = 0.15 * D(m) \quad (\text{Ec. C.14})$$

- b. Volúmenes parciales:

$$V1 \text{ cilindro}(m^3) = R(m)^2 * hp(m) * \pi \quad (\text{Ec. C.15})$$

$$V2 \text{ segmento esférico}(m^3) = \frac{\pi * hc(m)}{6} * (3 * R(m)^2 + hc(m)^2) \quad (\text{Ec. C.16})$$

$$V3 \text{ cono base}(m^3) = R(m)^2 * \pi * \frac{ht(m)}{3} \quad (\text{Ec. C.17})$$

- c. Volumen del digestor:

$$V_{tot}(m^3) = V1(m^3) + V2(m^3) + V3(m^3) = R(m)^3 * \pi * 1.121 \quad (\text{Ec. C.18})$$

[3]

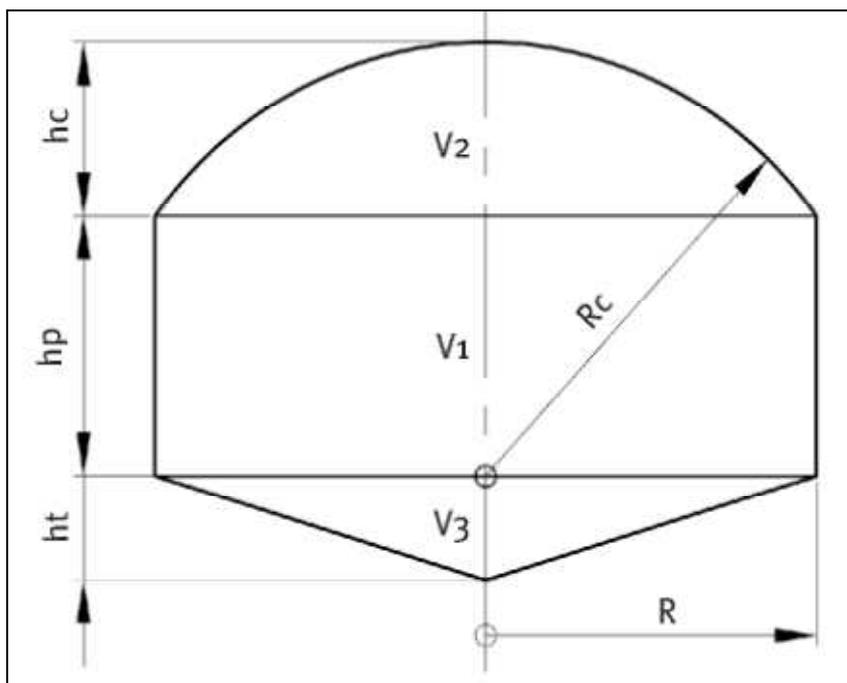


Figura C.2.- Esquema de las medidas básicas para el dimensionado del digestor de cúpula fija.[3]

C.3.1 Tanque de compensación

Se calcula el volumen del tanque de compensación considerando que equivale a un tercio del volumen del digestor.

$$V_{tc} (m^3) = \frac{1}{3} \times V_{tot} (m^3) \quad (\text{Ec. C.19})$$

El radio del tanque de compensación es igual al radio del volumen predefinido (R). Se calcula la altura del tanque de compensación considerando que el tanque es cilíndrico.

$$h_{tc} (m) = \frac{V_{tc} (m^3)}{\pi R(m)^2} \quad (\text{Ec. C.20})$$

Se dejará un margen de 20 cm en la parte superior del tanque. Se calcula la altura total del tanque de compensación como:

$$h_{total\ tc} (m) = h_{tc}(m) + 0,2 (m) \quad (\text{Ec. C.21})$$

[3]

C.4 Tanque de mezcla

Se calcula el volumen del tanque de mezcla como el volumen de entrada diario del digestor, la suma del agua y el estiércol, sobredimensionando un 15%.

$$V_{tm} (m^3) = \frac{V_{agua}(dm^3) + V_{estiércol}(dm^3)}{1000} \times 1,5$$

(Ec. C.22)

Se calcula el radio del tanque de mezcla en función de su altura y volumen:

$$R_{tm} (m) = \sqrt{\frac{V_{tm}(m^3)}{h_{tc} (m) \times \pi}}$$

(Ec. C.23)

[3]

C.5 Resultados obtenidos según la relación estiércol – agua

C.5.1 Biodigestor tubular

Relación 1:1

La tabla C.1 muestra los valores calculados para una relación en masa de 1:1, es decir si la mezcla de entrada se compone por 1 kg de estiércol y 1 kg de agua. Se observa que la cantidad de sólidos totales (ST) se encuentra en el valor límite. La relación estiércol agua no es la adecuada para este tipo de digestor.

	ST (%)	SV/ST (%)	kg/día en la mezcla	ST(kg)	Total ST (%)	Densidad (kg/m3)
Estiércol	16	81	17	2,72	8	630
Agua			17			

Tabla C.1.- Resumen de cálculos para una relación 1:1

Relación 1:2

La tabla C.2 muestra los valores calculados para una relación en masa de 1:2, es decir si la mezcla de entrada se compone por 1 kg de estiércol y 2 kg de agua. Se observa que la cantidad de sólidos totales (ST) se encuentra por debajo del valor límite, aún así mucha de la bibliografía consultada coincide en que esta relación ha comportado problemas en casos experimentales.

	ST (%)	SV/ST (%)	kg/día en la mezcla	ST(kg)	Total ST (%)	Densidad (kg/m3)
Estiércol	16	81	17	2,72	5,33	630
Agua			34			

Tabla C.2.- Resumen de cálculos para una relación 1:2

Relación 1:3

La tabla C.3 muestra los valores calculados para una relación en masa de 1:3, es decir si la mezcla de entrada se compone por 1 kg de estiércol y 3 kg de agua. Se observa que la cantidad de sólidos totales (ST) se encuentra por debajo del valor límite. Es la relación más utilizada y con mejores resultados para estos tipos de digestores.

	ST (%)	SV/ST (%)	kg/día en la mezcla	ST(kg)	Total ST (%)	Densidad (kg/m3)
Estiércol	16	81	17	2,72	4	630
Agua			51			

Tabla C.3.- Resumen de cálculos para una relación 1:3

C.5.2 Biodigestor de cúpula fija

Relación 1:1

La tabla C.4 muestra los valores calculados para una relación en masa de 1:1, es decir si la mezcla de entrada se compone por 1 kg de estiércol y 1 kg de agua. Se observa que la cantidad de sólidos totales (ST) se encuentra por debajo del valor límite (20-30%). Se toma esta relación estiércol – agua, aplicada de manera satisfactoria en otros casos experimentales para este tipo de digestores.

	ST (%)	SV/ST (%)	kg/día en la mezcla	ST(kg)	Total ST (%)	Densidad (kg/m3)
Estiércol	16	81	68,57	10,9712	8	630
Agua			68,57			

Tabla C.4.- Resumen de cálculos para una relación 1:1

Relación 1:2

La tabla C.5 muestra los valores calculados para una relación en masa de 1:1, es decir si la mezcla de entrada se compone por 1 kg de estiércol y 2 kg de agua. Se observa que la cantidad de sólidos totales (ST) se encuentra por debajo del valor límite (20-30), aún así la cantidad total de ST es menor que en la relación 1:1, por lo tanto la producción de biogás sería menor.

	ST (%)	SV/ST (%)	kg/día en la mezcla	ST(kg)	Total ST (%)	Densidad (kg/m3)
Estiércol	16	81	68,57	10,9712	5,33	630
Agua			137,14			

Tabla C.5.- Resumen de cálculos para una relación 1:2

C.6 Bibliografía

- [1] RENATO CHÁVEZ CAJAHUANCA, *Biodigestores y el protocolo de Kyoto*. Editorial Norma, Lima 2007.
- [2] MARTÍ HERREO, J. *Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares. Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano*. GTZ PROAGRO, Bolivia 2008.
- [3] GUARDADO CHACÓN, A. *diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. CUBASOLAR, 2007.