

## CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

### 3.1 Caso de estudio

El modelo para la estimación del potencial de producción de biogás fue un prototipo a escala para conocer cuánto biogás puede ser generado en un hogar de la Ciudad de México, conformado por 4 habitantes, el reactor anaerobio fue alimentado durante un periodo de 48 días, dividido en dos etapas:

- 1er etapa: Carga diaria del reactor anaerobio (24 días)
- 2ª etapa: Cargas por tipo discontinuo, batch (24 días)

Se introducirá al reactor anaerobio una relación microorganismos/residuos sólidos orgánicos urbanos a fin de agilizar la degradación de la biomasa. Se seleccionará el tiempo de degradación óptimo para maximizar la producción de biogás diaria. Asimismo se estimará la capacidad de producción de biogás diaria específica por unidad de volumen de reactor. Empleando los datos de producción diaria específica se realizarán cálculos de diseño para posible escalamiento del sistema.

Los objetivos del estudio mencionado son:

- Determinar la producción de biogás diaria específica por unidad de volumen del reactor anaerobio para el substrato empleado bajo ciertas condiciones de temperatura.
- La determinación del tiempo de residencia hidráulica (TRH).

Los cuatro habitantes, realizaron el 80% de sus comidas en el hogar. Diariamente se midió la cantidad de desechos orgánicos generados, además de ciertos parámetros como: temperatura, pH y biogás generado. El reactor anaerobio fue llenado con el 30% de inóculo proveniente de la cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, en la cervecería se tiene un reactor anaerobio para el tratamiento de sus aguas residuales. El inóculo tiene características granulares y una alta actividad metanógena. El resto se llenó con los de desechos orgánicos generados en el hogar. El promedio de generación de residuos fue de 1.6 kg/día y el tiempo de residencia hidráulica (TRH) fue de 24 días para las cargas diarias y posteriormente otros 24 días para cargas discontinuas.

Los desechos más utilizados para la alimentación del reactor anaerobio se muestran en la Tabla 3.1

*Tabla 3.1 Desechos orgánicos utilizados para la alimentación del reactor anaerobio*

Desecho orgánico	%
Arroz	5
Avena	5
Frijol	5
Café	7
Frutas y verduras	65
Residuos de jardín	3
Otros	10

El motivo por el cual no se utilizaron los residuos de carnes rojas, pescado o heces de perro, fue porque se trataba de un prototipo para el hogar y en caso de no tener un resultado positivo, los olores hubieran causado ciertos problemas. En China se hicieron estudios sobre la capacidad de generación de biogás y dentro de los residuos orgánicos que mejores resultados obtuvieron se encuentran: arroz, avena y café (Hawkes, 1986).

### 3.2 Reactor anaerobio

El reactor anaerobio se construyó con un recipiente de plástico de polietileno de alta densidad, con el fin de que el proceso anaerobio en el interior de este, no provocara ningún daño. El reactor tiene un volumen nominal de 50 L y un máximo de 56 L y 0.8m de altura, el recipiente tiene una tapa del mismo material y un anillo de seguridad, aun así se utilizó una cámara de bicicleta para que sirviera como empaque y el sistema fuera lo más hermético posible, el esquema del diseño del reactor se observa en la Figura 3.1.

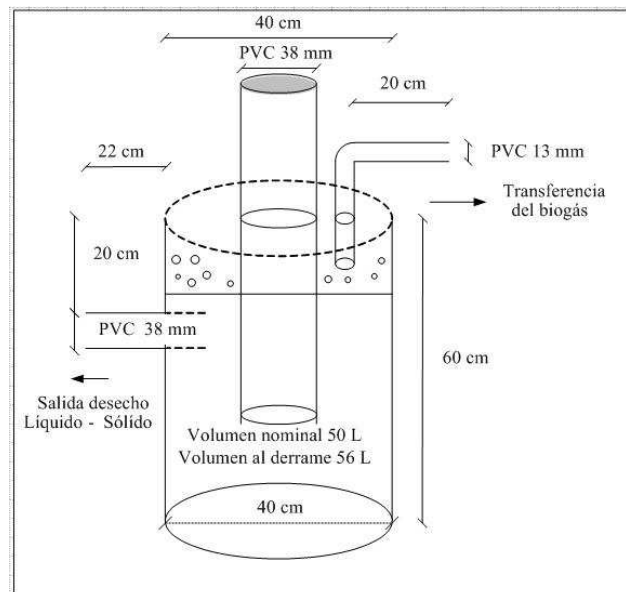


Figura 3.1 Diseño del reactor anaerobio

Para la parte de la entrada (tapa del reactor) y salida (costado izquierdo del reactor) de desechos orgánicos se utilizó tubería de PVC de 38mm, en un principio se pensó en una tubería mas grande, ya que eso facilitaría la alimentación del reactor anaerobio sin la necesidad de triturar demasiado los desechos, pero por cuestiones en la fabricación de algunas piezas de PVC, se optó por esta medida.

En la tapa también se encuentra la tubería encargada de transportar el biogás generado (tubería PVC 13mm) a la cámara de almacenamiento (pelota de playa), en la línea de transportación se utilizaron dos válvulas tipo bola y a la salida de la cámara de almacenamiento dos más, una para la medición de presión y la ultima que va hacia el mechero de bunsen.

El diseño se modificó en una ocasión, ya que dos cargas sin la utilización de inóculo se acidificaron y el almacenamiento de biogás fue casi nulo, el promedio de pH de estas dos cargas fue de 5.4, las modificaciones en el primer diseño fueron:

- Válvula tipo bola en la tubería de 38mm en la entrada del reactor.
- Posición y cambio de diseño en la cámara de almacenamiento, en el primer prototipo se utilizó una cámara de motocicleta y fue remplazado por una pelota de playa, y se ubicó en una posición por encima de la salida de biogás del reactor anaerobio.
- Manómetro a la salida de la cámara de almacenamiento, construido con un tubo de ensayo graduado para obtener una presión de 13cm de columna de agua (CA), ya que si la presión es mayor a esta, no se logra mantener una flama constante.

A continuación se muestran en las Figuras 3.2 y 3.3, el primer prototipo y el modelo final, donde se pueden apreciar los cambios hechos al reactor anaerobio.

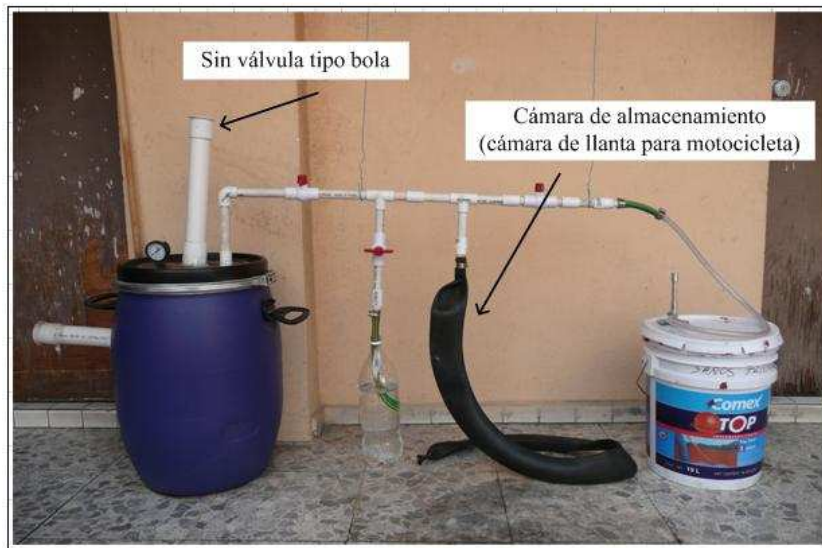


Figura 3.2 Esquema original del prototipo

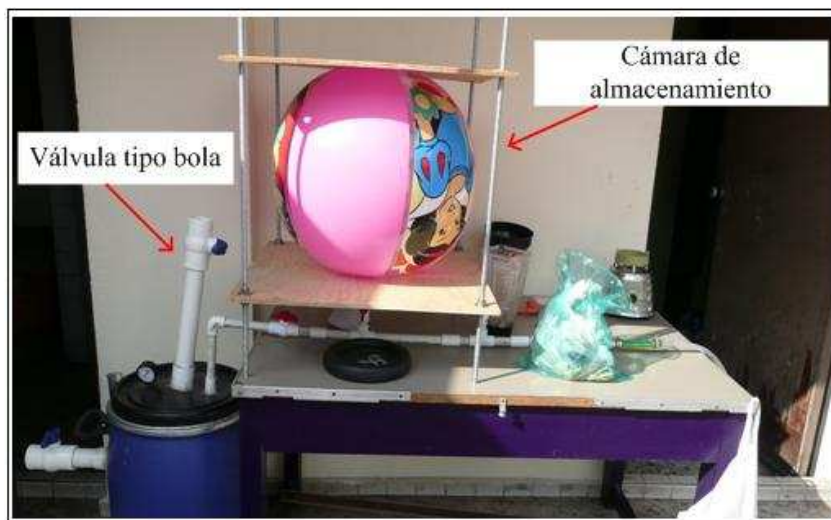


Figura 3.3 Modelo final del reactor anaerobio

### 3.3 Operación del reactor anaerobio

#### 3.3.1 Agitación

La agitación se llevó a cabo de forma manual cada dos días, durante 5 min, con la utilización de una varilla la cual se introducía por la tubería de entrada, con movimientos en dirección a las manecillas del reloj y en contra.

#### 3.3.2 Temperatura

El reactor anaerobio estuvo en la azotea del hogar bajo un techo, así que no se utilizó ningún tipo de calentador artificial, la temperatura estaba determinada por la temperatura ambiente. Las mediciones se realizaron diariamente entre las 15:00 y 17:00 horas.

#### 3.3.3 Medición de pH

La medición de pH se realizó diariamente al momento de alimentar el digestor y se tomaba una muestra con la varilla utilizada para ingresar los desechos, fue necesaria la ayuda de tiras medidoras de pH.

#### 3.3.4 Medición de biogás

Se realizó diariamente 2 horas después de alimentar el reactor anaerobio, y el método utilizado fue mediante el desplazamiento de agua, fue necesaria la ayuda de un dispensador de agua para mascotas, el cual fue graduado y llenado de agua (no totalmente) posteriormente se introdujo la manguera proveniente de la cámara de almacenamiento y al momento de abrir la vavula el biogás acumulado circulaba por la manguera hasta llegar al interior del dispensador, comenzando a desplazar el agua en el interior del recipiente. En la Figura 3.4 se puede observar el sistema utilizado.

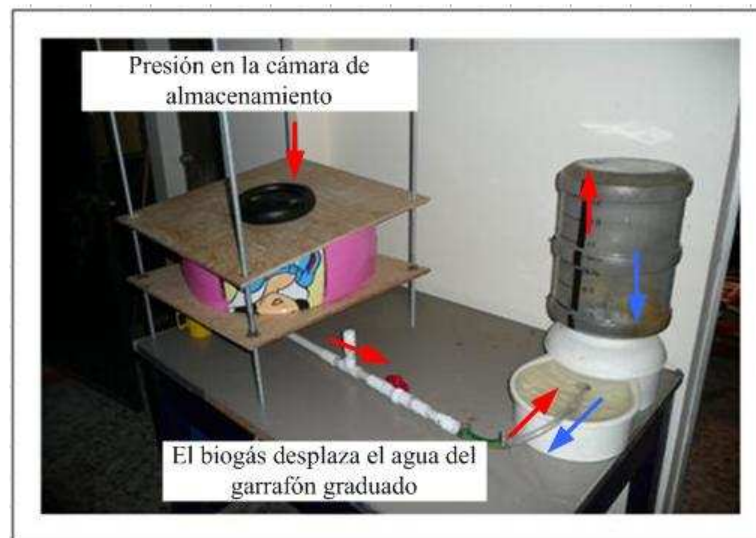


Figura 3.4 Medición del biogás acumulado, por el método de desplazamiento de agua

### 3.3.5 Carga del reactor anaerobio

El reactor fue cargado inicialmente con dos cargas las cuales se acidificaron como se mencionó anteriormente, una vez diseñado el modelo final del prototipo, este fue alimentado inicialmente con el 30% de inóculo y una relación (Agua/Substrato) 1.5:1. El promedio de generación de residuos en el hogar fue de 1.58 kg/día.

Durante los primeros 24 días se alimento diariamente el reactor anaerobio y posteriormente con cargas de forma discontinua (batch), en este caso se juntaron los residuos de 5 días y posteriormente se hacia la carga con todos los desechos, como se observa en la Tabla 3.2 y las condiciones iniciales del reactor anaerobio se simplifican en la Tabla 3.3.

*Tabla 3.2 Días de carga para la alimentación de forma discontinua del reactor anaerobio*

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
				1a carga		
		2a carga				
3a carga					4a carga	
			5a carga			

*Tabla 3.3 Condiciones iniciales de operación del reactor anaerobio*

Material	Polietileno de alta densidad
Altura	60 cm
Diámetro	40 cm
Volumen total	56 L
Volumen almacenamiento	42 L
Presión	13 cm CA
Diámetro tuberías	13 y 38 mm
Inóculo	12 L