

CAPÍTULO 6 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA PROPUESTA

6.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL RESTAURANTE CAFESÍN

En este apartado se realizarán los cálculos necesarios para conocer las características de los componentes esenciales del sistema de digestión propuesto a instalar en la Cafetería Cafesín del Anexo de Ingeniería. Cabe destacar que todos los cálculos que se realizaron fueron considerados los datos obtenidos tanto en el experimento 1 como en el 2, a dichos cálculos serán llamados Método 1.

Así mismo se realizarán los cálculos para la producción de biogás tomando en cuenta parámetros teóricos, al cual se le denominará Método 2.

MÉTODO 1. A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES

Considerando los resultados experimentales como datos, se procederá a diseñar el sistema de digestión adecuado.

En la Tabla 6.1 y 6.2 se muestran los datos requeridos para el diseño de los sistemas de digestión de RUO, tanto para el Experimento 1 como para el Experimento 2.

Tabla 6. 1 Parámetros comunes de diseño para experimento 1 y experimento 2 (Método 1 a partir de datos experimentales).

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Densidad	kg/m ³	1,414.47
Producción diaria promedio de RUO en el Cafesín	kg	31.7
Volumen de RUO experimental 1 y 2 (VE)	m ³	0.000760002
% de Biogás	%	54

Tabla 6. 2 Parámetros de diseño específicos de Experimento 1 y Experimento 2.

DATO	UNIDAD	EXPERIMENTO	EXPERIMENTO
		1	2
TRH= V/Q Tiempo de retención hidráulica en días.	Días	16	30
Producción promedio diaria de biogás para 1.075 kg de residuos	m ³ /día	0.001147059	0.0006
Producción de biogás (método 1)	m ³ biogás/ kg RUO	0.0181	0.0173

6.1.1 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL REACTOR POR MÉTODO 1 A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES.

Experimento 1. Cálculos a partir de datos experimentales

Tiempo de retención Hidráulica experimental del experimento 1(TRH): 16 días.

Tomando como referencia la fórmula para calcular el TRH, se puede calcular el volumen (V) del digestor de la siguiente forma:

$$TRH = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots 6.1$$

$$V = TRH \cdot Q \dots\dots\dots 6.2$$

Donde

TRH: Tiempo de retención hidráulica en días

V: Volumen del reactor m³

Q: Gasto m³/día

Sin embargo los RUO únicamente representan el 42.5% del volumen total, que tendrá el digester, por lo cual, el volumen se calculará con las siguientes modificaciones a la ecuación 6.2:

$$V = \frac{(TRH \cdot Q) \cdot 100\%}{42.5\%} \dots\dots\dots 6.3$$

Antes que nada se calculara el gasto (Q: Gasto m³/día) de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{m}{v} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \dots\dots\dots 6.4$$

Donde:

m= masa (Kg)

v= volumen (m³)

$$\rho = \text{densidad} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$v \text{ (m}^3\text{)} = \frac{m}{\rho} \left(\frac{kg}{\frac{kg^3}{m}} \right) \dots\dots\dots 6.5$$

Sustituyendo valores en la ecuación 6.5 se tiene lo siguiente:

$$v \text{ (m}^3\text{)} = \frac{31.7}{1414.47} \left(\frac{kg}{\frac{kg^3}{m}} \right)$$

$$v = 0.0224 \text{ m}^3$$

Por tanto el gasto Q diario de RUO es:

$$Q = 0.0224 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Sustituyendo valores la ecuación 6.3 queda:

$$V = \frac{(16 \text{ días} * 0.0224 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}) * 100\%}{42.5\%}$$

Por tanto el volumen del digestor será:

$$V = 0.8437 \text{ m}^3$$

Experimento 2. Cálculos a partir de datos experimentales

Para el experimento 2 se tiene un TRH y un gasto Q de:

Experimento 2 (TRH): 30 días.

Gasto: $Q = 0.0224 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$

Sustituyendo valores en la ecuación 6.3 para el Experimento 2:

$$V = \frac{(30 \text{ días} * 0.0224 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}) * 100\%}{42.5\%}$$

$$V = 1.5619 \text{ m}^3$$

6.1.2. CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS POR MÉTODO 1 (A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES)

Teniendo que la ecuación para calcular el volumen del tanque de almacenamiento del biogás es la siguiente, se procederá a realizar los cálculos correspondientes:

$$VGA = PG * 20\% \dots\dots\dots 6.6$$

Donde:

VGA= Volumen del tanque de almacenamiento de biogás en m^3

PG= Producción diaria de biogás $\frac{m^3}{día}$

6.1.3 CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS AL DÍA POR MÉTODO 1 (A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES)

Para obtener la producción diaria de biogás se realizan los siguientes cálculos:

Considerando el TRH y la producción diaria de RUO, es decir el gasto Q, se determina el volumen de RUO (VCarga) que se meterá al digestor por cada carga, el cálculo de VCarga se realiza de la siguiente manera:

$$VCarga = Q * TRH \left(\frac{m^3}{día} * día \right) \dots\dots\dots 6.7$$

Ahora si con los datos anteriores se realiza el cálculo de la producción de biogás por volumen de carga VCarga:

$$PGD = \frac{VCarga * PGE_n}{VE} \frac{m^3}{día} \dots\dots\dots 6.8$$

Donde

PGE_n: es la producción de gas diaria obtenida en el experimento n $\frac{m^3}{día}$

VE= Volumen de RUO experimental.

Experimento 1. Cálculos a partir de datos experimentales

De acuerdo con el Experimento 1 se tiene que la PGE1 promedio diaria para 1.075 kg de RUO es:

$$PGE1 = 0.0011 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Sustituyendo valores en la e 6.7 se determina el volumen de la carga que se meterá al digestor VCarga, de la siguiente manera:

$$VCarga = 0.0224 * 16 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \text{día} \right)$$

Y el VCarga es:

$$VCarga = 0.3585 \text{m}^3$$

Ya obtenidos estos datos se procede a calcular la cantidad de biogás generado a partir del volumen de carga VCarga con la ecuación e 6.8.

$$PGD = \frac{0.3585 * 0.0011}{0.0007} \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Por lo tanto la producción diaria de Biogás para 0.3585 m^3 de RUO es:

$$PGD = 0.5411 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Experimento 2. Cálculos a partir de datos experimentales

De acuerdo con el Experimento 2 se tiene que la PGE2 promedio diaria para 1.075 kg de RUO es:

$$PGE2 = 0.0006 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Sustituyendo valores en la e 6.7 se determina el volumen de la carga que se meterá al digestor VCarga, de la siguiente manera:

$$VCarga = 0.0224 * 30 \left(\frac{m^3}{día} * día \right)$$

Y el VCarga es:

$$VCarga = 0.6723 m^3$$

Ya obtenidos estos datos se procede a calcular la cantidad de biogás generado a partir del volumen de carga VCarga con la ecuación e 6.8.

$$PGD = \frac{0.6723 * 0.0006}{0.0007} \frac{m^3}{día}$$

Por lo tanto la producción diaria de Biogás para 0.3585 m³ de RUO es:

$$PGD = 0.5307 \frac{m^3}{día}$$

Ya obtenida la PGD tanto para el Experimento 1 como para el Experimento 2, se procede a calcular la producción de biogás por lote PG para cada caso, para que entonces se pueda calcular el volumen de tanque de almacenamiento de biogás.

El cálculo de la producción neta de biogás se realiza de la siguiente manera:

$$PG = PGD * TRH \frac{m^3 * día}{día} \dots\dots\dots 6.9$$

Experimento 1. Cálculos a partir de datos experimentales

Se sustituyen valores en la ecuación 6.9, para calcular la producción de biogás PG utilizando los datos del Experimento 1:

$$PG = 0.5411 * 16 \frac{m^3}{día}$$

$$PG = 8.6591 m^3$$

Sustituyendo valores en la ecuación 6.6 del volumen del tanque de almacenamiento de biogás VGA, queda:

$$VG=6.6591 \cdot 20\%$$

Por tanto el volumen del tanque de almacenamiento de biogás es:

$$VGA = 1.7318 \text{ m}^3$$

Experimento 2. Cálculos a partir de datos experimentales

Se sustituyen valores en la ecuación 6.9, para calcular la producción de biogás PG utilizando los datos del Experimento 2:

$$PG = 0.5307 \cdot 30 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ días}$$

$$PG = 15.9237 \text{ m}^3$$

Sustituyendo valores en la ecuación 6.6 del volumen del tanque de almacenamiento de biogás VGA, queda:

$$VG=15.9237 \cdot 20\%$$

Por tanto el volumen del tanque de almacenamiento de biogás es:

$$VGA = 3.1847 \text{ m}^3$$

6.1.4 CÁLCULO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LODOS DIGERIDOS POR MÉTODO 1. A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES

$$VAL = \left(Q \cdot D \cdot \frac{L}{12} \right) \cdot V \dots\dots\dots 6.10$$

Donde

VAL: volumen de almacenamiento de lodos

t: tiempo de almacenamiento requerido (meses)

V: Volumen del reactor m^3

Q: Gasto $\frac{m^3}{día}$

D: días que se alimentará al digester al año $\frac{día}{año}$

Experimento 1. Cálculos a partir de datos experimentales

Sustituyendo valores:

$$VAL = \left(0.0224 * 275 * \frac{2}{12}\right) * 0.8437 \quad m^3$$

$$VAL = 0.1834 \quad m^3$$

Experimento 2. Cálculos a partir de datos experimentales

Sustituyendo valores:

$$VAL = \left(0.0224 * 275 * \frac{4}{12}\right) * 1.5819 \quad m^3$$

$$VAL = 0.4723 \quad m^3$$

6.1.5 RESUMEN DE LOS CÁLCULOS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA OBTENIDOS POR EL MÉTODO 1 A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES

En la Tabla 6.3 se muestra un resumen de los datos obtenidos en los cálculos anteriores.

En dicha tabla se puede observar que la producción de biogás diaria de los experimentos 1 y 2 es muy similar, lo que se traduce a que el volumen de biogás no depende del TRH, ya que a pesar de que el TRH varíe sustancialmente, la capacidad de generar biogás por cada kg de RUO no variará.

Es decir el volumen total de biogás que puede generar cierta cantidad de RUO depende únicamente de la masa de los mismos.

Tabla 6. 3 Resumen de Cálculos de Factibilidad realizados por Método 1 para los Experimento 1 y 2.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MÉTODO 1 EXPERIMENTO 1 DIGESTOR 1	MÉTODO 1 EXPERIMENTO 2 DIGESTOR 2
Q: Gasto	m ³ /día	0.0224	0.0224
VCarga : Volumen de RUO por carga	m ³	0.3586	0.6723
V: Volumen del reactor	m ³	0.8437	1.5820
PB: Producción de biogás diaria	m ³ /día	0.5412	0.5308
PG: Volumen total de biogás acumulado	m ³ /carga	8.6592	15.9237
VCH ₄ : Metano acumulado	m ³ /carga	4.6760	8.5988
VA: Volumen del tanque de almacenamiento	m ³	1.7318	3.1847
VAL: Volumen de almacenamiento de lodos digeridos	m ³	0.1835	0.4724

MÉTODO 2. A PARTIR DE PARÁMETROS TEÓRICOS

6.1.6 CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS POR EL MÉTODO 2. A PARTIR DE PARÁMETROS TEÓRICOS

El método que a continuación se explica depende principalmente de la relación entre la producción de biogás y los Sólidos Totales Volátiles de los RUO.

En las Tablas 6.4 y 6.2 se muestran los datos requeridos para el cálculo de la producción de biogás, tanto para el Experimento 1 como para el Experimento 2.

A partir de la tabla 6.2 se tomarán los parámetros de diseño específicos del experimento 1 y experimento 2.

Se omitirán los cálculos de volumen del digester y del tanque de almacenamiento de lodos digeridos, debido a que se calculan de la misma manera que en el Método 1.

Para realizar el cálculo de la producción de biogás, se calcula el *gasto Q diario de RUO*, de la misma manera que se calculó para el Método 1.

Por tanto el *gasto Q diario de RUO* es:

$$Q = 0.0224 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

A continuación se calcula la cantidad de Sólido Volátiles Totales con la ecuación 6.11 siguiente:

$$STVD = STV \cdot Q \frac{\text{kg STV m}^3}{\text{m}^3 \text{ día}} \dots\dots\dots 6.11$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$STVD = 245.320 \cdot 0.0224 \frac{\text{kg STV}}{\text{día}}$$

$$STVD = 5.4979 \frac{\text{kg STV}}{\text{día}}$$

Ya obtenido este dato se prosigue a calcular la producción de biogás diaria con la ecuación 6.12 siguiente:

$$PB_p = k \cdot STV \cdot D \cdot \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{kg STV}} \cdot \frac{\text{kg STV}}{\text{día}} \dots\dots\dots 6.12$$

Tabla 6. 4 Parámetros Comunes de Diseño para Experimento 1 y Experimento 2.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Densidad	kg/m ³	1,414.47
Sólidos totales (ST)	Kg/ m ³	253.12
Sólidos totales volátiles (STV)	Kg/ m ³	245.32
Relación entre (STV) y producción de biogás (K)	m ³ biogás/kg STV	0.142
Relación entre STV y producción de biogás – mínima (K mín)	m ³ biogás/kg STV	0.225
Relación entre STV y producción de biogás – máxima (Kmáx)	m ³ biogás/kg STV	0.637
Producción diaria promedio de RUO	Kg	31.7
Volumen de RUO experimental VE	m ³	0.000760002
% de biogás	%	54

Sustituyendo valores queda lo siguiente:

$$PBp = 0.142 * 5.4979 \frac{m^3 \text{ biogás}}{kg \text{ STV}} \frac{kg \text{ STV}}{día}$$

Por lo tanto la producción diaria de biogás por cada 31.7 Kg de Residuos es:

$$PBp = 0.7807 \frac{m^3 \text{ biogás}}{día}$$

A continuación se muestra ecuación 6.13 para calcular el volumen total del biogás que se espera producir para el Experimento 1 y Experimento 2.

$$PG = PBp * TRH \frac{m^3 * día}{día} \dots\dots\dots 6.13$$

Experimento 1. A partir de parámetros teóricos

Sustituyendo valores en la ecuación 6.13 queda:

$$PG = 0.7807 * 16 \frac{m^3 * día}{día}$$

Por lo tanto el volumen total de biogás generado para los datos del Experimento 1 es:

$$PG = 12.4912 \text{ m}^3$$

Experimento 2. A partir de parámetros teóricos

Sustituyendo valores en la ecuación 6.13 queda:

$$PG = 0.7807 * 30 \frac{m^3 * día}{día}$$

Por lo tanto el volumen total de biogás generado para los datos del Experimento 2 es:

$$PG = 23.4211 \text{ m}^3$$

6.1.7 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS PARA DATOS DEL EXPERIMENTO 1 Y 2 DEL MÉTODO 2 A PARTIR DE PARÁMETROS TEÓRICOS

Ahora se calcula el volumen del tanque de almacenamiento del biogás con la ecuación 6.14 siguiente:

$$VGA = PG * 20\% \dots\dots\dots 6.14$$

Experimento 1. A partir de parámetros teóricos

Sustituyendo valores en la ecuación 6.14 se tiene:

$$VGA = 12.4912 * 20\%$$

Por lo tanto el volumen del tanque de almacenamiento es:

$$VGA = 2.4982 \text{ m}^3$$

Experimento 2. A partir de parámetros teóricos

Sustituyendo valores en la ecuación 6.14 se tiene:

$$VGA = 23.4211 * 20\%$$

Por lo tanto el volumen del tanque de almacenamiento es:

$$VGA = 4.6842 \text{ m}^3$$

En la Tabla 6.5 se muestra el resumen de los cálculos realizados para el Experimento 1 y 2 con Método 2 a partir de parámetros teóricos.

Aquí se puede observar que el volumen de biogás que se estima se genere, está por encima del volumen que se encontró con el cálculo por el Método 1. Sin embargo se puede afirmar que ésta variación se debe a que la constante que fue utilizada para calcular la producción diaria de biogás

es relativa y depende de cómo haya sido calculada y bajo qué condiciones estaba la experimentación que arrojo dicho dato.

Tabla 6. 5 Resumen de cálculos de factibilidad realizados por método 2 para los Experimento 1 y 2 (a partir de parámetros teóricos).

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MÉTODO 2 EXPERIMENTO 1	MÉTODO 2 EXPERIMENTO 2
Q: Gasto	m ³ /día	0.0224	0.0224
STD: Sólidos Totales Diarios	kg ST/día	5.67	5.67
STVD: Sólidos Totales Volátiles Diarios	kg STV/día	5.49	5.49
PBp: Producción de biogás diaria promedio	m ³ /día	0.78	0.78
PBmin: Producción de biogás diaria mínima	m ³ /día	1.23	1.23
PBmax: Producción de biogás diaria máxima	m ³ /día	3.50	3.50
VBA: Volumen biogás acumulado considerando la producción diaria promedio	m ³	12.49	23.42
VCH ₄ : Metano acumulado	m ³	6.74	12.64
VA: Volumen del tanque de almacenamiento	m ³	2.49	4.68

6.1.8 FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL CONJUNTO DE RESTAURANTES DE CU SELECCIONADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos de la medición de los RUO de Ciudad Universitaria, se calculará el potencial de generación de biogás de la totalidad de las cafeterías sujetas a estudio.

Todos los cálculos son realizados utilizando el Método 1 de cálculo, debido a que son los datos que pueden arrojar resultados más realistas e implícitamente consideran cada uno de los factores que intervino en la producción de biogás.

Para efectos de cálculo se tomó en cuenta el valor de la producción diaria promedio de RUO en restaurantes de CU, la cual tiene un valor de 426.2 kg/día.

En las Tablas 6.6 y 6.2, se muestran los parámetros a considerar para los cálculos de factibilidad técnica del proyecto

Tabla 6. 6 Parámetros comunes de diseño para digestor de RUO de restaurantes de CU.

DATO	UNIDAD	VALOR
Densidad	kg/m ³	1,414.47
Producción diaria promedio de RUO	Kg	426.25
Volumen de RUO experimental VE	m ³	0.000760002
% de biogás	%	54

A partir de la tabla 6.2 se tomaron los parámetros de diseño específicos del experimento 1 y experimento 2.

Tabla 6. 7 Resumen de cálculos de factibilidad realizados por método 1 (a partir de datos experimentales) para los RUO de los restaurantes de CU.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MÉTODO 1 EXPERIMENTO 1	MÉTODO 1 EXPERIMENTO
Q: Gasto	m ³ /día	0.3014	0.3014
VCarga: Volumen de RUO por Carga	m ³	4.8216	9.0406
V: Volumen del reactor	m ³	11.3450	21.2719
PB: Producción de biogás diaria	m ³ /día	7.2772	7.1373
PG: Volumen Total de Biogás Acumulado	m ³	116.4356	214.1183
VCH ₄ : Metano Acumulado	m ³	62.8752	115.6239
VA: Volumen del tanque de almacenamiento	m ³	23.2871	42.8237
VAL: Volumen de almacenamiento de lodos digeridos	m ³	2.4670	6.3520

6.1.9 CÁLCULO DE LAS OPERACIONES UNITARIAS PARA EL TRATAMIENTO DE RUO DEL CAFESÍN

En la Figura 6.1 se muestran los elementos que conforman el sistema de digestión propuesto, en la Figura 6.2 la ubicación de dicho sistema en la cafetería Cafesín y en la Figura 6.3 la operación de dicho sistema.

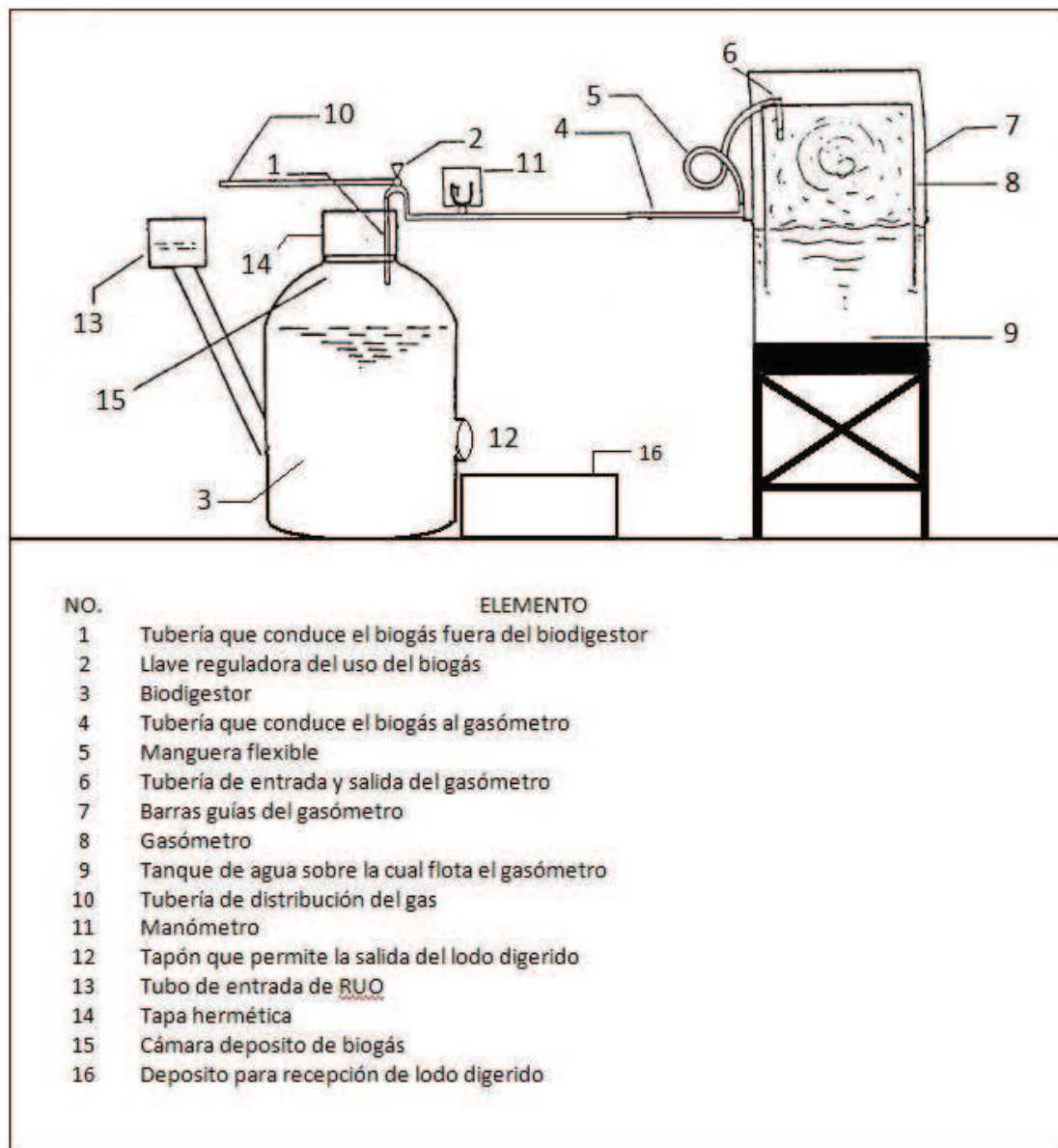


Figura 6. 1 Elementos del sistema de digestión propuesto.

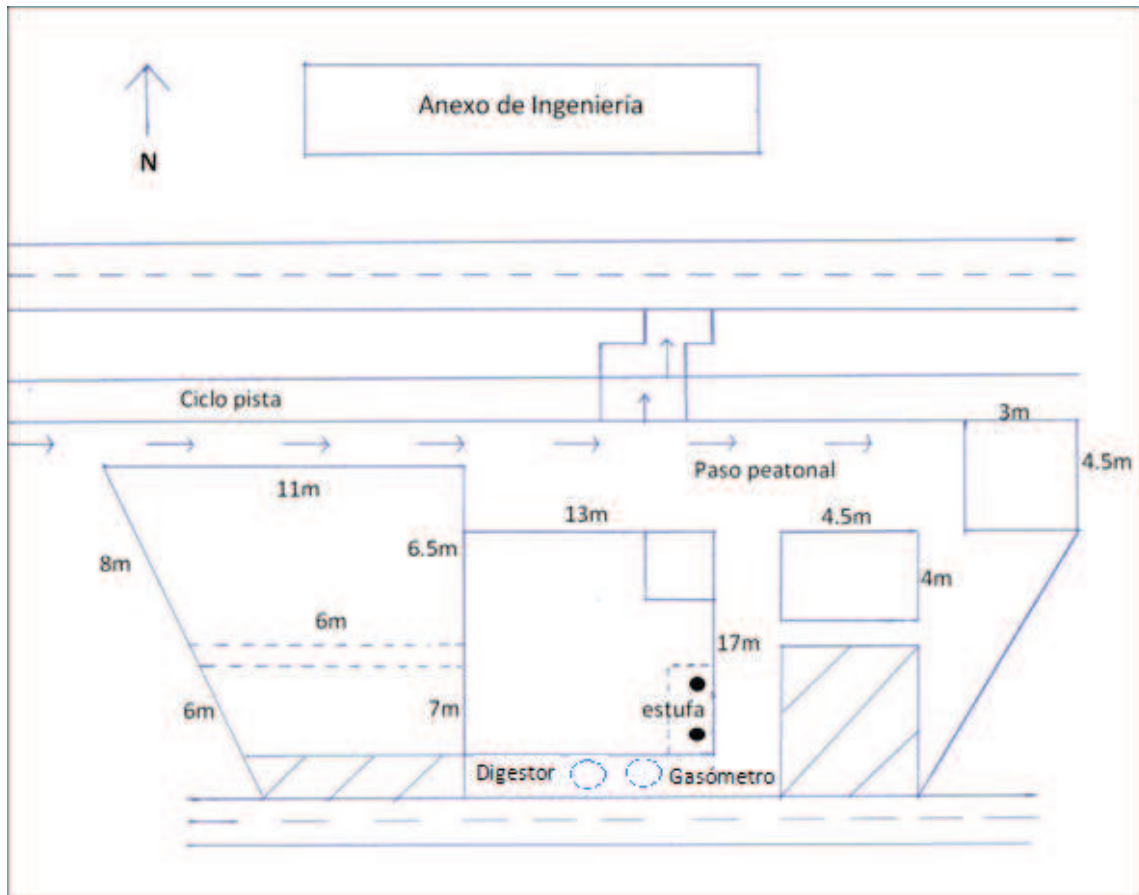


Figura 6. 2 Ubicación del sistema de digestión en la cafetería Cafesin

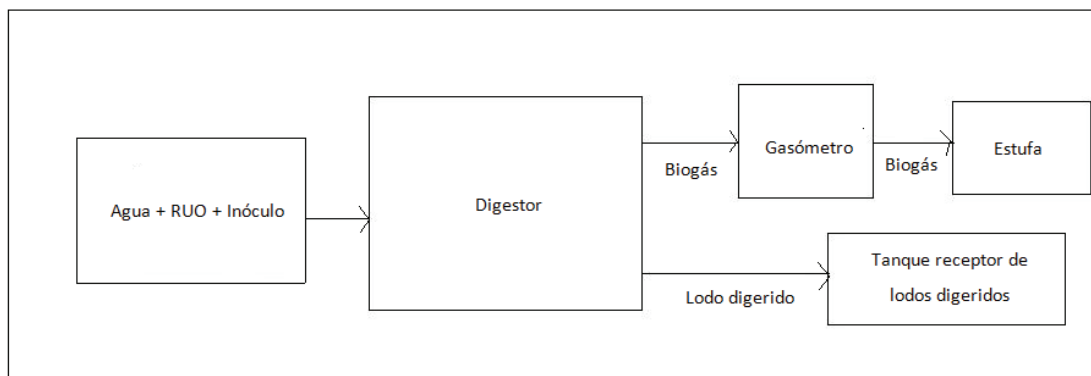


Figura 6. 3 Operación del sistema de digestión propuesto

A partir de la Figura 6.1 y 6.3 se describe la operación del sistema de digestión:

- a. Una vez mezclados los RUO, el inóculo y el agua, entran por el tubo 13 al digestor 3.
- b. La materia orgánica ya degradada (después de 30 días) sale para depositarse en el tanque receptor de lodos digeridos número 12.
- c. El biogás generado por la digestión se conduce al gasómetro por la tubería 4 para adecuar la presión para poder ser utilizado en la cocina.
- d. El biogás pasa por la válvula 4 para ser suministrado para su uso final.

El dimensionamiento del sistema propuesto obedece a los resultados obtenidos para el experimento 2 por el método 1 (a partir de datos experimentales), en la Tabla 6.8 se muestran dichos elementos y sus dimensiones.

Tabla 6. 8 Volúmenes de las operaciones unitarias para el Cafesín.

ELEMENTO	VOLUMEN (m ³)
Digestor	1.5820
Tanque de almacenamiento del biogás	3.1847
Tanque de almacenamiento del lodo digerido	0.4724
OTROS	
Tubería PVC (varias medidas)	
Válvulas: De paso, alivio y presión.	
Virutas de Hierro	
Medidor de Presión	
Gasómetro	

6.1.10 GAS LP AHORRADO ANUALMENTE POR LA CAFETERÍA CAFESÍN

El equivalente de gas LP a biogás se llevará cabo tomando en cuenta los datos del experimento 2 y los resultados del método 1, ya que son los datos más desfavorables y por tanto el escenario es más realista.

De acuerdo a los datos obtenidos se tiene que el consumo de gas en la cafetería Cafesín asciende a \$80,000.00 Pesos Mx por año, con lo cual se procedió a calcular el volumen de gas que se consume al año.

Si para el 2009 el costo promedio de gas era de \$5 Pesos Mx por litro, entonces aproximadamente el volumen consumido de gas LP fue de 4,105.7 m³LP/año.

Dicho dato se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Consumo GLP} = \frac{\text{Gasto anual por concepto de GLP}}{\text{Precio por litro de GLP}} \times \frac{\text{\$/año}}{\text{\$/L}} \dots\dots\dots 6.15$$

Sustituyendo valores:

$$\text{Consumo GLP} = \frac{80,000.00}{5.00} \times \frac{\text{\$/año}}{\text{\$/L}}$$

$$\text{Consumo GLP} = 16,000 \frac{\text{L}}{\text{año}}$$

De acuerdo con la Secretaría de Energía, para poder calcular el volumen de gas LP en m³ se debe utilizar la ecuación 6.16 (SENER, 2010):

$$3.897*(VLPM3) = VLPL \dots\dots\dots 6.16$$

Donde:

VLPM3= volumen de gas LP en m³ (metros cúbicos)

VLPL= volumen de gas LP en L (litros)

Nota: El factor (3.897) se obtuvo considerando el Factor de Conversión de Gas L.P. de kilogramos a litros de 0.540, del Acuerdo por el que se fija el precio máximo del Gas L.P. a usuario final para el mes de agosto de 2010, publicado el 30 de julio de 2010 en el Diario Oficial de la Federación.

Este factor de conversión corresponde a la densidad de una mezcla del 42 % de Gas Butano y el 58 % Gas Propano (Chilton, 1962).

Despejando VLPM3 la ecuación queda de la siguiente forma:

$$VLPM3 = \frac{VLPL}{3.897} \dots\dots\dots 6.17$$

Sustituyendo valores en la ecuación 6.17:

$$VLPM3 = \frac{16,000 \frac{L}{año}}{3.897}$$

$$VLPM3 = 4,105.7 \text{ m}^3$$

Por tanto el volumen de gas consumido por la cafetería Cafesín es:

$$\text{Consumo GLP} = 4,105.7 \frac{L}{año}$$

Teniendo la producción anual de biogás producido por los RUO de la cafetería Cafesín resultado del experimento 2 por método 1 la siguiente:

$$PGa = 15.9237 \frac{\text{m}^3}{\text{carga}} * 9 \frac{\text{carga}}{\text{año}}$$

$$PGa = 143.3134 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

Donde:

PGa= producción de biogás anual (m³/año)

Ya con este dato y con los poderes caloríficos tanto del gas LP como del biogás, los cuales se muestran en la Tabla 6.8, se determinará la demanda de gas LP cubierta por el biogás, para lo cual se realizan los siguientes cálculos:

Tabla 6. 9 Poder calorífico de gas LP y biogás (Steadman, 1978; FES Iztacala UNAM).

PODER CALORÍFICO (PC)		
TIPO DE GAS	VALOR	UNIDADES
LP	22,390.6	Kcal/m ³
Biogás	5,200	Kcal/m ³

Se calcula el poder calorífico demandado por la cafetería Cafesín en un año, de la siguiente forma:

$$\text{PC GLP DEMANDADO} = 22,390.6 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 4,105.7 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

$$\text{PC GLP DEMANDADO} = 250,132.393 \frac{\text{Kcal}}{\text{año}}$$

Ahora se calcula el poder calorífico generado en un año por el biodigestor calculado con datos del experimento 2, Método 1:

$$\text{PC BIOGÁS GENERADO} = \left(\text{PC biogás} \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3} * \text{Volumen anual de biogás generado} \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) \dots\dots\dots 6.18$$

Por tanto el poder calorífico del biogás generado en un año es:

$$\text{PC BIOGÁS GENERADO} = 5,200 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3} * 143.3134 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

$$\text{PC BIOGÁS GENERADO} = 745,230.1395 \frac{\text{Kcal}}{\text{año}}$$

Realizando la comparación entre lo que demanda la cafetería y lo que se produce, se puede determinar que el biogás generado por el digestor propuesto cubre muy bien las necesidades energéticas de la cafetería anualmente, el 280.7 % de la demanda energética del Cafesín, y por lo tanto presenta excedentes del 180.7 % de poder calorífico.

Con lo anterior queda expresada la factibilidad técnica de generara biogás para ser utilizado por el Cafetería Cafesín del Anexo de Ingeniería en CU.

6.2 FACTIBILIDAD AMBIENTAL

La actividad humana ha provocado un notable aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Se prevé que de este aumento resulte, en las próximas décadas, un calentamiento de la superficie terrestre y, como consecuencia, un cambio climático. Por ello, los países industrializados han acordado, en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Protocolo de Kioto), reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los gases que favorecen en mayor medida ese efecto son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O); los tres gases se producen, también, en la eliminación de residuos.

Los costos de captura y transformación temprana y eficaz de dicho gas sobrepasan ampliamente los costos de inacción o del diferimiento, ya que la funcionalidad de la atmósfera se verá comprometida mucho antes de que se agoten los combustibles fósiles, ya que bajo el escenario actual del nivel de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), los ecosistemas tendrán un pico en su capacidad de captura de CO_2 a mediados del presente siglo e irán declinando hasta convertirse en generadores netos de CO_2 ; por lo cual México estima una reducción de 50% para el 2050, respecto al 2000, en esta trayectoria deseable de reducción, las emisiones mexicanas tendrían que alcanzar un punto de inflexión antes del 2012, para después descender paulatinamente hasta alcanzar el nivel indicado en 2050.

Cabe señalar que los beneficios de captura y transformación de CH_4 no son únicamente ambientales, ya que dichas acciones también traen beneficios económicos, por medio de los Certificados de Reducción de Emisiones CERs los cuales son producto de los llamados MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio), que son proyectos de tecnologías limpias financiados por países desarrollados para la reducción de GEI, dichos proyectos son implementados en países en

desarrollo, los cuales entregan al país desarrollado un certificado de reducción de emisiones llamado Certificado de Emisiones Reducidas (CERs), el cual se cotiza en dólares .

En la Tabla 6.10 se reflejan las emisiones de estos gases estimadas en México para el año 2002 para la proporción procedente de la disposición final de residuos (GTZ, 2003).

El impacto de la gestión de residuos sólidos sobre el efecto invernadero se debe fundamentalmente al metano, que se produce por la descomposición de residuos biodegradables en condiciones anaerobias en los rellenos sanitarios. Aproximadamente el 87 % del CH₄, el 16% de N₂O y el 0.04% de CO₂, emitidos a la atmósfera son generados por esta fuente. Por esta razón, la reducción de emisiones de CH₄ de los rellenos sanitarios representa un potencial para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en el ámbito de la gestión de residuos sólidos (GTZ, 2003).

El aprovechamiento energético del biogás generado a partir de la fermentación de las basuras entraña beneficios ambientales añadidos ya que, en el caso de los rellenos sanitarios, por ejemplo, se impiden que estos gases se escapen de manera incontrolada a la atmósfera. Y es que conviene recordar que el ingrediente más abundante de estos gases es el metano, que además de ser peligroso por su inflamabilidad es uno de los gases de efecto invernadero más potentes ya que su incidencia es 21 veces superior a la del CO₂ en la atmósfera, lo que hace que deba tenerse muy en cuenta a la hora de abordar el problema del cambio climático. Generar energía con biogás ayuda, además, a eliminar los malos olores asociados a esas mismas emisiones, lo cual, aunque problema menor, no deja de ser otro elemento positivo.

Tabla 6. 10 Estimación de Gases de Efecto Invernadero, en México para el 2002 (GTZ, 2003).

ESTABLECIMIENTO	CO ₂ (Mg/año)	CH ₄ (Mg/año)	N ₂ O Mg/año)	NO _x (Mg/año)	CO (Mg/año)	COVNM (Mg/año)	SO ₂ (Mg/año)	HFC (Mg/año)	PFC (Mg/año)	SF ₆ (Mg/año)
122 - (4B) MANEJO DE ESTIÉRCOL	0	54,973.7	0	0	0	0	0	0	0	0
211 - (6) RESIDUOS	101,996	3,025,106	6,306.9	0	0	0	0	0	0	0
212 - (6A) DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN SUELO	0	1,664,791	0	0	0	0	0	0	0	0
213 - (6A1) DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN SUELO EN RELLENOS SANITARIOS	0	1,109,861	0	0	0	0	0	0	0	0
214 - (6A2) DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN TIRADEROS CLANDESTINOS	0	208,099	0	0	0	0	0	0	0	0
220 - (6C) INCINERACIÓN DE RESIDUOS	101,996	0	14.9	0	0	0	0	0	0	0
TOTALES GENERADAS POR RESIDUOS	203,992	6,062,830.7	6,321.8	0	0	0	0	0	0	0
TOTALES (TODOS LOS SECTORES)	480,409,448	6,932,654	39,815	1447292	8,024,096	1,681,184	2,624,712	3,107.4	60.06	0.6349
PORCENTAJE DE LAS GENERADAS POR RESIDUOS (%)	0.04246211	87.45	15.87	0	0	0	0	0	0	0

Mg equivale a Megagramo o Tonelada métrica.

6.2.1. OTRAS VENTAJAS DE GENERAR ENERGÍA A PARTIR DE BIOMASA.

Dentro de las ventajas más importantes de generar energía a partir de la biomasa, se encuentran las siguientes:

1. Balance neutro en emisiones de CO₂ (principal responsable del efecto invernadero). Para el Protocolo de Kyoto, la biomasa tiene un factor de emisión de dióxido de carbono (CO₂) igual a cero. La combustión de biomasa produce agua y CO₂, pero la cantidad emitida de dióxido de carbono fue captada previamente por las plantas durante su crecimiento. Es decir, el CO₂ forma parte de un flujo de circulación natural entre la atmósfera y la vegetación por lo que no representa un incremento en las emisiones de CO₂. Su uso contribuye a reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera siempre y cuando sustituya a un combustible fósil (GTZ, 2007).
2. Al tener escaso o nulo contenido en azufre, la combustión de la biomasa no produce óxidos de este elemento, causantes de las lluvias ácidas, como ocurre en la quema de combustibles fósiles.
3. En el caso de los biocarburantes utilizados en motores, las emisiones contienen menos partículas sólidas y menor toxicidad que las emisiones producidas por carburantes procedentes del petróleo.
4. Permite recuperar en las cenizas de la combustión importantes elementos minerales de valor fertilizante, como fósforo y potasio.
5. Como una parte de la biomasa procede de residuos que es necesario eliminar, su aprovechamiento energético supone convertir un residuo en un recurso (Fernández, 2008 a).

Ya para finalizar se debe señalar que en el caso de la quema de biogás, los contaminantes que se generan son CO y NOX principalmente (CNE y GTZ, 2007).

6.2.2 EMISIONES DE GEI EVITADAS POR LA CAFETERÍA CAFESÍN EN UN AÑO

Para conocer las toneladas anuales de CO₂ evitadas, se procedió a realizar los siguientes cálculos: Antes que nada se debe calcular el volumen de biogás a presión y temperatura estándar ya que los programas que realizan las equivalencias entre CH₄ y CO₂ especifican que el V de CH₄ debe considerarse a P y T estándar.

Para efectos de toneladas de CO₂ evitadas para la cafetería Cafesín del Anexo de Ingeniería, se seleccionó el Experimento 2 en el cual el TRH fue de 30 días y el volumen de biogás aproximado fue de 15.9237 m³ de biogás por carga, lo que se traduce a que anualmente el volumen de CH₄ es de **191.0846** m³ de biogás/año, así mismo se tomó la temperatura promedio para dicho experimento la cual fue de 21.64 °C y una presión de 586 mm Hg la cual corresponde a la presión de la Ciudad de México.

De acuerdo con la literatura las condiciones de P y T estándar son las siguientes:

$$P=1\text{atm}$$

$$T=273\text{K}$$

Por lo anterior se procedió a utilizar la ley de los gases para calcular el volumen del gas generado a P y T estándar.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots\dots\dots 6.19$$

$$V_1 = \frac{P_2 V_2 T_1}{T_2 P_1} \dots\dots\dots 6.20$$

Donde:

$$P_1 = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg}$$

$$T_1 = 273 \text{ K}$$

$$P_2 = 586 \text{ mm Hg}$$

$$T_2 = 294.79 \text{ K}$$

$$V_2 = 143.3134 \text{ m}^3/\text{año}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$V_1 = \frac{586 \cdot 143.3134 \cdot 273}{294.79 \cdot 760}$$

Por lo tanto el Volumen de biogás generado a P y T estándar es:

$$V_1 = 102.3342 \text{ m}^3/\text{año}$$

Ya que se tiene el volumen de biogás generado se procede a calcular la porción de CH₄ que dicho biogás contiene; de acuerdo a la literatura se sabe que la porción de metano en el biogás es de 54%, por lo cual el volumen mínimo de CH₄ es:

$$V_{\text{CH}_4} = V_1 * 0.54 \text{ m}^3/\text{año}$$

Sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$V_{\text{CH}_4} = 102.3342 * 0.54 \text{ m}^3/\text{año}$$

Por lo tanto la cantidad de metano producido en un año es:

$$V_{\text{CH}_4} = 55.2604 \text{ m}^3/\text{año}$$

Ya contando con este dato se procede a llevarlo a la EPA Interactive Units Converter, en donde se obtendrá la cantidad de Metano en toneladas métricas, las cuales son necesarias para el cálculo de toneladas métricas equivalentes de CO₂ que son evitadas (EPA a , 2010).

Realizando el cálculo en dicho sitio se obtiene que el volumen anterior equivale a:

$$V_{\text{CH}_4} = 55.2604 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} = 0.03758 \frac{\text{toneladas métricas de CH}_4}{\text{año}}$$

Ahora si se procede a introducir dichos datos en el sitio Greenhouse Gas Equivalencies Calculator y se obtiene de esta forma las toneladas de CO₂ equivalentes evitadas al llevar a cabo dicho proyecto (EPA b , 2010).

$$0.03758 \frac{\text{toneladas métricas de CH}_4}{\text{año}} = 0.789 \frac{\text{toneladas métricas de CO}_2}{\text{año}}$$

$$\text{CO}_2 \text{ evitadas} \frac{\text{toneladas métricas de CO}_2}{\text{año}} = 0.789 \frac{\text{toneladas métricas de CO}_2}{\text{año}}$$

Para darse una idea, dichas emisiones evitadas representan (U.S. Environmental Protection Agency (EPA)b , 2010):

El CO₂ emitido por 88.8 galones de gasolina consumidos.

El CO₂ emitido por 1.8 barriles de petróleo consumido.

El CO₂ emitido de la electricidad utilizada por 0.096 casas al año.

El CO₂ emitido del consumo de energía utilizada por 0.067 casas en un año.

El CO₂ emitido por 32.9 cilindros de propano utilizado para hacer barbacoa en casa.

El CO₂ secuestrado por 20.2 árboles plantados y cultivados por 10 años.

El CO₂ secuestrado anualmente por 0.168 hectáreas de pinos o abetos.

El CO₂ secuestrado por 0.007 hectáreas de bosques preservados de la deforestación.

Evitar la emisión de GEI mediante el reciclado de 0.266 toneladas de residuos no enviados a rellenos sanitarios.

A pesar de que estas emisiones evitadas no representan mucho en dinero, el beneficio ambiental es evidente y si se pudiera instalar un digester por cada cafetería, los beneficios serían más que excelentes.

Bien se puede decir que lo que importa es contribuir con el mejoramiento del medio ambiente y en caso de que se pudiera conseguir beneficios económicos sería tan sólo un plus.

6.2.3 EMISIONES DE GEI EVITADAS ANUALMENTE POR LA SUMA DE RUO GENERADOS EN LOS RESTAURANTES DE CU SELECCIONADOS.

Para conocer las toneladas anuales de CO₂ evitadas por el tratamiento de RUO de restaurantes de CU, se procedió a realizar los mismos cálculos que se realizaron para la cafetería cafésín y los resultados se citan a continuación:

Para efectos de toneladas de CO₂

evitadas para restaurantes de CU, al igual que en la cafetería Cafésín, se seleccionó el Experimento 2 en el cual el TRH fue de 30 días, el volumen de CH₄ aproximado para la cantidad de residuos generados por el conjunto de restaurantes fue de 214.1183 m³ de biogás por carga, lo que se traduce a que anualmente el volumen de CH₄ es de 1927.0650 m³ de CH₄/año, así mismo se tomó

la temperatura promedio para dicho experimento la cual fue de 21.64 °C y una presión de 586 mm Hg la cual corresponde a la presión de la Ciudad de México.

Tomando en cuenta todos los aspectos anteriores los resultados son los siguientes:

El Volumen de biogás generado a P y T estándar es:

$$V_1 = 1376.0375 \text{ m}^3/\text{año}$$

La cantidad de metano producido en un año es:

$$V_{\text{CH}_4} = 743.0602 \text{ m}^3/\text{año}$$

Llevando dicho dato a la EPA Interactive Units Converter se obtiene que el volumen anterior equivale a:

$$V_{\text{CH}_4} = \frac{\text{m}^3}{\text{año}} = 0.50542 \frac{\text{toneladas métricas de CH}_4}{\text{año}}$$

Ahora si se procede a introducir dichos datos en el sitio Greenhouse Gas Equivalencies Calculator y se obtiene de esta forma las toneladas de CO₂ equivalentes evitadas al llevar a cabo dicho proyecto (EPA a, 2010).

$$1.05215 \frac{\text{toneladas métricas de CH}_4}{\text{año}} = 10.6 \frac{\text{toneladas métricas de CO}_2}{\text{año}}$$

$$\text{CO}_{2\text{evitadas}} \frac{\text{toneladas métricas de CO}_2}{\text{año}} = 10.6 \frac{\text{toneladas métricas de CO}_2}{\text{año}}$$

Para darse una idea, dichas emisiones evitadas representan (EPA b , 2010):

El CO₂ emitido por 1,194 galones de gasolina consumidos.

El CO₂ emitido por 24.7 barriles de petróleo consumido.

El CO₂ emitido de la electricidad utilizada por 1.3 casas al año.

El CO₂ emitido del consumo de energía utilizada por 0.903 casas en un año.

El CO₂ emitido por 442 cilindros de propano utilizado para hacer barbacoa en casa.

El CO₂ secuestrado por 272 árboles plantados y cultivados por 10 años.

El CO₂ secuestrado anualmente por 2.3 hectáreas de pinos o abetos.

El CO₂ secuestrado por 0.101 hectáreas de bosques preservados de la deforestación.

Evitar la emisión de GEI mediante el reciclado de 3.6 toneladas de residuos no enviados a rellenos sanitarios.

A pesar de que estas emisiones evitadas no representan mucho en dinero, el beneficio ambiental es evidente y si se pudiera instalar un digestor por cada cafetería, los beneficios serían más que excelentes.

Bien se puede decir que lo que importa es contribuir con el mejoramiento del medio ambiente y en caso de que se pudiera conseguir beneficios económicos sería tan sólo un plus.

6.3 FACTIBILIDAD POLÍTICA

En la actualidad el interés de México por contribuir a la reducción de emisiones de GEI es evidente, sin embargo el hecho de que este tema sea nuevo para nuestro país, hace que la creación de nuevas leyes y su aplicación sea en cierta forma dificultosa, ya que no se tienen las bases y regulación necesarias respectivamente, para llevar a cabo dichos proyectos de reducción de emisiones, lo cual provoca que la aplicación de las leyes sea parcial, dando como resultado el cumplimiento tardío de las metas propuestas, y en el peor de los casos la anulación de las mismas.

Por otro lado cabe destacar que la falta de profesionales en el ramo, así como la desinformación de la población, hace que todos los apoyos económicos y tecnológicos que ofrecen al país gobiernos y entidades privadas, nacionales e internacionales, sean desaprovechados y como consecuencia el uso de mal uso de los mismos.

Prueba de que México está incursionando en mejoramiento del medio ambiente son los siguientes artículos incluidos en leyes que ya han sido aprobadas en nuestro país en el ámbito de emisiones, medio ambiente y energías renovables.

Una de las más importantes leyes y muy poco difundida, es la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal; dicha ley es la base que se necesita para llevar a cabo de manera exitosa los proyectos de producción de biogás, y pues no sólo eso, también nos ayudaría, a colectar de manera separada los artículos que son reciclables dando como resultado la no emisión de una porción de los GEI producidos por los residuos sólidos, además, contribuiría a al no sobreexplotación de espacio en rellenos sanitarios.

Dentro de esta ley se encuentran los siguientes artículos que a criterio de ésta tesis son de los más importantes que contiene esta Ley:

Art. 14. La secretaría de obras y servicios, en coordinación con la secretaría de medio ambiente del D.F. y las secretarías de desarrollo económico y de finanzas, promoverá instrumentos económicos para aquellas personas que desarrollen acciones de prevención, minimización y valorización, así como para inversión en tecnología y utilización de prácticas, métodos o procesos que coadyuven a mejorar el manejo integral de los residuos sólidos.

Art. 56. La secretaria de obras y servicios, en coordinación con la secretaria de medioambiente del DF y la secretaría de desarrollo económico, instrumentarán programas para la utilización de materiales o subproductos provenientes de los residuos sólidos.

Art. 61. La secretaría de obras y servicios diseñará, construirá, operará y mantendrá centros de composteo o de procesamiento de residuos urbanos orgánicos, de conformidad con lo que establece el Programa de Gestión Integral de los residuos sólidos y el programa de prestación del servicio de limpia correspondiente. Las delegaciones podrán encargarse de las actividades señaladas.

Art. 63. Los controles sobre las características apropiadas de los materiales para la producción de compost o criterios para cada tipo de compost, se fijarán en el reglamento, debiendo identificar las particularidades de los tipos de que por sus características pueda ser comercializada o donada. El compost que no pueda ser aprovechada deberá ser enviada a los rellenos sanitarios para su disposición final.

Cabe destacar que en esta Ley se establecen variados lineamientos que rara vez se llevan a cabo, sin embargo están plasmados ahí y son los siguientes y se mencionan debido a la importancia que representan:

Art. 25. Queda prohibido: arrojar o abandonar en la vía pública, residuos de cualquier especie; depositar animales muertos, residuos sólidos que despidan olores desagradables o aquellos provenientes de la construcción en los contenedores instalados en la vía pública para el arrojamiento temporal de residuos sólidos de los transeúntes; quemar a cielo abierto o en lugares no autorizados, cualquier tipo de los residuos sólidos; arrojar o abandonar en lotes baldíos, a cielo abierto o en cuerpos de aguas superficiales o subterráneas, sistemas de drenaje, alcantarillado o en fuentes públicas, residuos sólidos de cualquier especie; pepear residuos sólidos de los recipientes instalados en la vía pública y dentro de los sitios de disposición final y sus alrededores; instalar contenedores de los residuos sólidos en lugares no autorizados; fijar propaganda comercial o política en el equipamiento urbano destinado a la recolección de los residuos sólidos, así como fijar en los recipientes u otro mobiliario urbano destinado al depósito y recolección colores alusivos a algún partido político; fomentar o crear basureros clandestinos; confinar residuos sólidos fuera de los sitios destinados para dicho fin; tratar térmicamente los residuos sólidos recolectados, sin considerar las disposiciones jurídicas aplicables; diluir o mezclar residuos sólidos o industriales peligrosos en cualquier líquido y su vertimiento al sistema de alcantarillado, a cualquier cuerpo de agua o sobre suelos con o sin cubierta vegetal; mezclar residuos peligrosos con residuos sólidos e industriales no peligrosos; confinar o depositar en sitios de disposición final residuos en estado líquido o con contenidos líquidos que excedan los máximos permitidos por las NOM o las normas ambientales del D.F.

Art. 33. Todo generador de residuos sólidos debe separarlos en orgánicos e inorgánicos.

Art. 34. La secretaría de obras y servicios y las delegaciones, en el marco de sus respectivas competencias, instrumentarán los sistemas de depósito y recolección separada de los residuos sólidos, así como de aprovechamiento, tratamiento y disposición final.

Art. 39. Los camiones recolectores y de transferencia deberán contar con contenedores seleccionados conforme a la separación.

Art. 51. Los sitios de disposición final tendrán un acceso restringido a materiales reutilizables o reciclables y deberá recibir un menor porcentaje de residuos orgánicos. Además, emplearán

mecanismos para instalar sistemas de extracción de biogás y tratamiento de lixiviados para su recolección.

Art. 52. Queda prohibida la selección o pepena de los residuos sólidos en los sitios destinados para relleno sanitario.

Art. 54. Los rellenos sanitarios que hayan cumplido su vida útil se destinarán únicamente como parques, jardines, centros de educación ambiental o sitios para el fomento de la cultura y recreación.

Art. 61. La secretaría de obras y servicios diseñará, construirá, operará y mantendrá centros de composteo o de procesamiento de residuos urbanos orgánicos, de conformidad con lo que establece el Programa de Gestión Integral de los residuos sólidos y el programa de prestación del servicio de limpia correspondiente. Las delegaciones podrán encargarse de las actividades señaladas.

Art. 65. Es responsabilidad de toda persona que genere y maneje residuos sólidos, hacerlo de manera que no implique daños a la salud humana ni al ambiente. Cuando la generación, manejo y disposición final de los residuos sólidos produzca contaminación del suelo, independientemente de las sanciones penales o administrativas que procedan, quien preste el servicio está obligado a: llevar a cabo las acciones necesarias para restaurar y recuperar las condiciones del suelo; y en caso de que la recuperación o restauración no fueran factibles, a indemnizar por los daños causados a terceros o al ambiente.

Art. 66. Las autoridades competentes podrán aplicar las siguientes medidas de seguridad cuando las actividades para la gestión de residuos representen riesgos significativos para la salud humana o el ambiente: asegurar los materiales, residuos o sustancias contaminantes; asegurar, aislar, suspender o retirar temporalmente en forma parcial o total, según corresponda, los bienes, equipos y actividades que generen riesgo significativo o daño; y clausurar temporal, parcial o totalmente las instalaciones en que se manejen o se preste el servicio; y suspender las actividades, en tanto no se mitiguen los daños causados. Se podrá solicitar el auxilio de la fuerza pública para ejecutar cualquiera de las acciones anteriores.

Por otro lado se cuenta con la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, de la cual se extrajeron los puntos de interés para dicha tesis.

Dentro de esta ley en su Artículo 2, se considera a los bioenergéticos como los combustibles obtenidos de la biomasa proveniente de las actividades agrícola, pecuaria, silvícola, alga cultura, residuos de la pesca, domesticas, comerciales, industriales, de microorganismos, y de enzimas, así como sus derivados, producidos, por procesos tecnológicos sustentables que cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas por la autoridad.

Dentro del ámbito de apoyo para la realización de proyectos de bioenergéticos se tiene el Art. 17, 19 y 25 los cuales establecen lo siguiente:

Art. 17. Para impulsar, desarrollar e incentivar la producción de los bioenergéticos, las secretarías y los gobiernos promoverán la creación de infraestructura para la producción de bioenergéticos. Los incentivos estarán dirigidos a personas que contribuyan al desarrollo de la industria de los bioenergéticos. Así mismo consideraran a aquellas personas que realicen investigaciones de tecnología, cuya aplicación disminuya la generación de emisiones contaminantes.

Art. 19. La SAGARPA y la SENER apoyarán la investigación científica y tecnológica, así como la capacitación, siendo sus propósitos: fomentar y desarrollar la investigación científica para la producción sustentable de insumos y para la producción distribución, y uso de los bioenergéticos; establecerán procedimientos de evaluación para determinar el estado de la viabilidad de los proyectos; determinarán las condiciones en las que se deben producir los bioenergéticos, de manera que se lleven a cabo en equilibrio con el medio ambiente.

Art. 23. El ejecutivo federal, a través de sus dependencias y entidades, en el ámbito de sus respectivas competencias, podrá celebrar convenios con los sectores público, social y privado para impulsar la investigación científica y tecnológica y la capacitación en materia de bioenergéticos y de sus insumos.

Citados los artículos anteriores queda muy claro que existe apoyo por parte del gobierno para llevar a cabo proyectos de energías renovables y que lo único que nos queda hacer es buscar la forma de acceder a ellos y saber aprovecharlos de manera correcta.

Además de lo anterior debemos enterarnos más de las leyes que rigen nuestro país para que de esta manera llevemos a cabo las acciones que se establecen ahí; mientras tanto, el gobierno debe de ser riguroso en cuanto a la aplicación de las mismas, porque como vulgarmente se dice “Con

tener ganancias, no es suficiente". Ya que los beneficios que traería la correcta aplicación de las leyes serían muchos y sumados harían de México un mejor país.

6.4 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Antes de realizar un proyecto de inversión es necesario evaluarlo financieramente para averiguar si es bueno realizar el proyecto o no es aconsejable; y los parámetros que contribuyen a dicho análisis son VPN y TIR.

6.4.1 VALOR PRESENTE NETO

El valor presente neto VPN, es el más utilizado porque pone en pesos de hoy tanto los ingresos futuros como los egresos futuros, lo cual facilita la decisión desde el punto de vista financiero, de realizar o no un proyecto. Al usar el VPN hay que recordar que los ingresos se toman con el signo positivo y en la línea del tiempo estarán ubicados en la parte superior y los egresos se tomarán con el signo negativo y estarán ubicados en la línea de tiempo hacia abajo.

Si el $VPN > 0$ el proyecto es bueno, porque en pesos de hoy, los ingresos son mayores que los egresos, si el $VPN < 0$ significa que en pesos de hoy los ingresos son menores que los egresos y por lo tanto el proyecto no debe realizarse, y si el $VPN = 0$ los ingresos serán iguales a los egresos y financieramente le será indiferente al inversionista.

Desde el punto de vista matemático el VPN es la sumatoria de los flujos de caja puestos en el día de hoy, lo cual podemos representar por (Baca, 2005):

$$VPN = \sum R_n (1+i)^{-n} = R_0 + R_1(1+i)^{-1} + R_2(1+i)^{-2} + \dots + R_n(1+i)^{-n} \dots\dots\dots 6.21$$

Donde i es la tasa a la cual son descontados los flujos de caja, esa tasa i la denominaremos TIO.

La tasa de interés de oportunidad (TIO), es la tasa de interés más alta que un inversionista sacrifica con el objeto de realizar un proyecto (Baca, 2005).

6.4.1.1 CÁLCULO DEL VALOR PRESENTE NETO DEL PROYECTO PROPUESTO

En la Tabla 6.11 se muestran los costos desglosado de los suministros, mano de obra y puesta en marcha de la instalación del sistema de digestión propuesto para la cafetería Cafesín.

Tabla 6. 11 Costos de suministros, mano de obra y puesta en marcha del sistema de digestión.

SISTEMA DE DIGESTIÓN		
ELEMENTO	VOLUMEN (m ³)	PRECIO
Digestor	1.58	\$54,275
Tanque de almacenamiento del biogás con gasómetro	3.18	\$85,766
Tanque de almacenamiento del lodo digerido	0.47	\$1,178
OTROS		
Tubería PVC (varias medidas)		\$2,188
Mislaneos		\$4,302
Mano de Obra		\$5,000
Puesta en marcha		\$1,000
TOTAL		\$153,709

Se estima que la vida útil del sistema de digestión es de 8 años (lo cual tiene como referencia el tiempo de vida de los materiales seleccionados), por lo cual se procederá a calcular los flujos de efectivo de dichos años.

En la Tabla 6.12 se presentan los porcentajes promedio del incremento en el precio del gas LP y en la Tabla 6.13 se muestra el precio promedio anual del gas LP para los siguientes 8 años (el cálculo de estos precios se realizó utilizando el 9 % de incremento en el precio del gas LP mostrado en la Tabla 6.12).

Tabla 6. 12 Porcentaje de incremento en el precio promedio anual del gas LP

% DE INCREMENTO EN EL PRECIO PROMEDIO DEL GAS LP		
AÑO	PRECIO PROMEDIO DEL GAS LP \$/KG	% DE INCREMENTO/AÑO
2001	4.76	-
2002	5.19	0.09
2003	6.40	0.23
2004	7.09	0.11
2005	8.50	0.20
2006	8.97	0.06
2007	9.34	0.04
2008	9.70	0.04
2009	9.17	-0.05
% Incremento		0.09

Tabla 6. 13 Estimación del precio promedio anual estimado para el gas LP

NO. DE AÑO	AÑO	PRECIO PROMEDIO ESPERADO DEL GAS LP \$/L
0	2010	5.45
1	2011	5.93
2	2012	6.46
3	2013	7.04
4	2014	7.66
5	2015	8.34
6	2016	9.09
7	2017	9.89
8	2018	10.77

Se considera que el número de cargas anuales es de 9 ya que son el número de meses en los que se encuentra activa la cafetería. Y se determina que el costo de operación y mantenimiento de dicho sistema es de 20,000 (\$/año) con un incremento anual del 5%.

Por tanto los costos de operación y mantenimiento del sistema para los 8 años de vida útil quedan como se muestra en la tabla 6.14.

Tabla 6. 14 Estimación del costo de operación y mantenimiento del sistema de digestión.

NO. DE AÑO	AÑO	COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO \$/AÑO
0	2010	0
1	2011	15,000
2	2012	15,750
3	2013	16,538
4	2014	17,365
5	2015	18,233
6	2016	19,145
7	2017	20,102
8	2018	21,107

Como se vio en el apartado 6.1.9 el volumen de gas LP que consume la cafetería Cafesín es de 16,000 (L/año) y el porcentaje de gas LP que será sustituido por biogás es de 280.7 %, con estos datos y los precios de la Tabla 6.13 se calcula el gasto por concepto de gas LP del Cafesín y las ganancias debidas a la implementación del sistema de digestión. En la tabla 6.15 se observan los resultados de dichos cálculos.

Tabla 6. 15 Ganancia monetaria por producción de biogás en el Cafesín

NO. DE AÑO	AÑO	GASTO POR CONCEPTO DE GAS LP \$/AÑO	GANANCIA POR EXCEDENTES DE BIOGAS \$/AÑO
0	2010	87,200	0
1	2011	94,955	266,539
2	2012	103,400	290,244
3	2013	112,595	316,054
4	2014	122,609	344,163
5	2015	133,512	374,768
6	2016	145,386	408,099
7	2017	158,316	444,393
8	2018	172,395	483,913

Reuniendo los datos anteriores se procede a realizar el cálculo de los flujos de efectivo tomando como positivos los ingresos y como negativos los egresos. En la Tabla 6.16 se muestran los flujos de efectivo resultantes para cada año de vida del proyecto.

Tabla 6.16 Flujos de efectivo del proyecto

NO. DE AÑO	AÑO	INGRESOS \$/AÑO	EGRESOS \$/AÑO	FLUJO DE EFECTIVO \$/AÑO
0	2010	0	-153,709	-153,709
1	2011	94,955	-15,000	79,955
2	2012	103,400	-15,750	87,650
3	2013	112,595	-16,538	96,058
4	2014	122,609	-17,364	105,244
5	2015	133,512	-18,233	115,280
6	2016	145,386	-19,144	126,242
7	2017	158,316	-20,101	138,214
8	2018	172,395	-21,107	151,289

En la figura 6.4 se muestra el diagrama de flujos de efectivo de los 8 años de vida del proyecto.

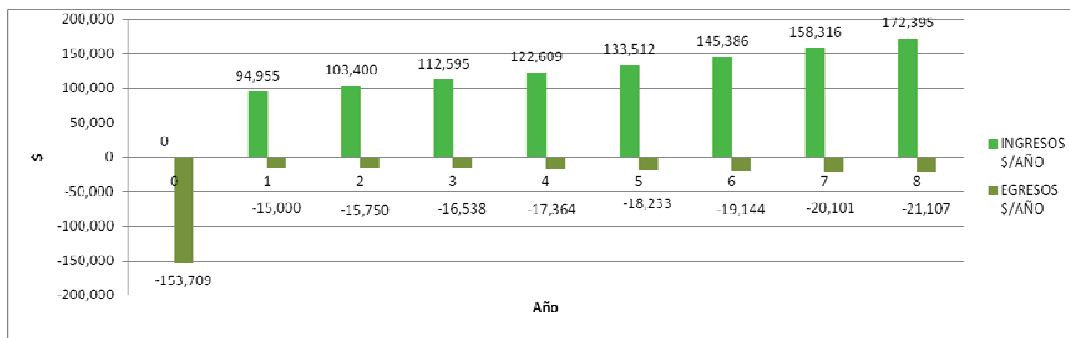


Figura 6. 4 Diagrama de flujos de efectivo del proyecto en el Cafesín.

Considerando que la tasa de interés de oportunidad es del 3% se procede a realizar el cálculo del VPN del proyecto en el Cafesín. Sustituyendo valores en la ecuación 6.21 queda:

$$\text{VPN} = -153,709 + 79,955 (1+0.03)^{-1} + 87,650 (1+0.03)^{-2} + 96,058 (1+0.03)^{-3} + 105,244 (1+0.03)^{-4} + 115,280 (1+0.03)^{-5} + 126,242 (1+0.03)^{-6} + 138,214 (1+0.03)^{-7} + 151,289 (1+0.03)^{-8}$$

Por tanto el VPN tiene un valor de:

$$\text{VPN} = \$624,926$$

Como el $\text{VPN} > 0$ se puede determinar que el proyecto si se puede realizar, porque en pesos de hoy además de ganarse el 3% se obtiene una ganancia de \$624,926.

6.4.2 TASA INTERNA DE RETORNO TIR

La tasa interna de retorno que se representa por TIR es uno de los índices que más aceptación tiene dentro del público porque mide la rentabilidad de una inversión, sin embargo, dentro de los especialistas no tiene la misma aceptación porque se presta a muchos errores. Hay ocasiones que la decisión que se tome con el VPN no coincide con la decisión que se tome con la TIR. Cuando esto ocurre es porque la TIR no se ha aplicado correctamente y en tales circunstancias será necesario utilizar otra técnica hasta hacer que los resultados obtenidos con la TIR coincidan con los resultados que se obtengan con el VPN.

Financieramente la TIR es la tasa a la cual son descontados los flujos de caja de forma tal que los ingresos y los egresos sean iguales; desde el punto de vista matemático la TIR es la tasa a la cual el VPN se hace cero.

Existen dos clases de flujos de caja: los flujos convencionales y los flujos no convencionales y los flujos no convencionales.

Los flujos convencionales son aquellos donde primero aparecen los egresos y después aparecen los ingresos y viceversa.

Los flujos no convencionales son aquellos donde figuran intercalados los ingresos y los egresos.

6.4.2.1 CÁLCULO DEL LA TIR DEL PROYECTO

Tomando en cuenta que la TIR es la tasa a la cual el VPN=0, se procede de la siguiente manera.

Para poder calcular la TIR se requiere interpolar, para ellos se requieren dos valores para la TIO no muy alejados entres si de tal forma que la función del VPN sea una vez positiva y una vez negativa:

1. Seleccionando una tasa de interés del 58% el VPN resulta positivo como se muestra a continuación:

$$\text{VPN} = 153,709 + 79,955 (1+0.58)^{-1} + 87,650 (1+0.58)^{-2} + 96,058 (1+0.58)^{-3} + 105,244 (1+0.58)^{-4} + 115,280 (1+0.58)^{-5} + 126,242 (1+0.58)^{-6} + 138,214 (1+0.58)^{-7} + 151,289 (1+0.58)^{-8}$$

Por tanto el VPN tiene un valor positivo de:

$$\text{VPN} = +\$2,586$$

2. Seleccionando una tasa de interés del 59% el VPN resulta negativo como se muestra a continuación:

$$\text{VPN} = 153,709 + 79,955 (1+0.59)^{-1} + 87,650 (1+0.59)^{-2} + 96,058 (1+0.59)^{-3} + 105,244 (1+0.59)^{-4} + 115,280 (1+0.59)^{-5} + 126,242 (1+0.59)^{-6} + 138,214 (1+0.59)^{-7} + 151,289 (1+0.59)^{-8}$$

Por tanto el VPN tiene un valor negativo de:

$$\text{VPN} = -\$148$$

Ya teniendo los datos de VPN positivo y negativo se procede a interpolar de la siguiente manera:

Para interpolar se plantean las siguientes proporciones:

$$\begin{array}{l} 58 \dots\dots\dots 2,586 \\ X \dots\dots\dots 0.00 \\ 59 \dots\dots\dots -148 \end{array}$$

Utilizando los valores anteriores se realiza la interpolación de la siguiente manera.

$$((58-59)/(58-X)) = (2586-148) / (2586-0)$$

Despejando X queda:

$$\text{TIR}=58.95 \%$$

Por tanto la TIR a la cual el VPN=0 es TIR=58.95%

Con lo anterior se puede determinar que el proyecto es viable ya que la TIR tiene un valor mayor a la TIO que se había seleccionado anteriormente que era del 3%.