

## CAPÍTULO 6

### RESULTADOS

#### 6.1 Factibilidad técnica

##### 6.1.1 Reactor anaerobio

En las Figuras 6.1 y 6.2 se muestra la superficie propuesta para la instalación del digestor, motogenerador y del tanque de almacenamiento de lodos digeridos. Dicha superficie se encuentra ubicada a un costado de la PTAR-CU. Un digestor es un sistema económicamente productivo, ambientalmente sano y socialmente viable, de aprovechamiento de excrementos y residuos orgánicos, para la producción de biogás y de bioabono. En la Figura 6.3 se muestra el tren de tratamiento de los lodos biológicos de exceso hasta la generación de energía eléctrica.



Figura 6.1 Área propuesta para el sistema de bioenergía (a)



Figura 6.2 Área propuesta para el sistema de bioenergía (b)

El reactor es un tanque de concreto parcialmente enterrado con un volumen nominal de 800 m<sup>3</sup>. El tiempo de retención hidráulica para nuestro caso de estudio será igual al tiempo de retención de sólidos que es de 10 días. Constará de una caja de registro para estar midiendo el pH y la composición de la materia orgánica ya descompuesta dentro del reactor, para biodigestores pequeños se recomienda tubería de 6" en pvc.

El reactor está totalmente cerrado y no genera olores. Cuenta con un sistema de distribución de agua en la parte inferior y un sistema para extracción del biogás en la parte superior. El biogás es separado en el interior del reactor ocupando la parte superior del mismo tal y como se muestra en la Figura 6.4, de allí se conectará la tubería de polietileno de alta densidad para la conducción del biogás hasta donde va a ser utilizado (Márquez, 2008).

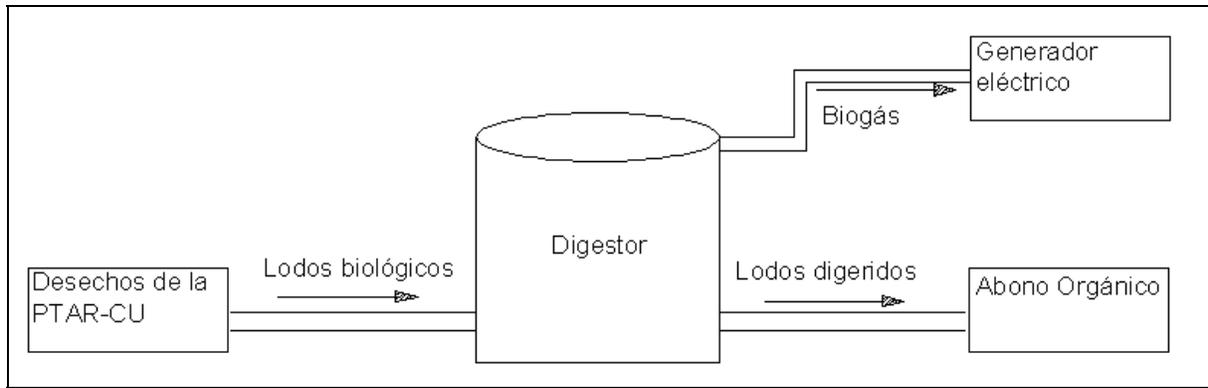


Figura 6.3 Tren de tratamiento de los lodos activados hasta la generación de electricidad

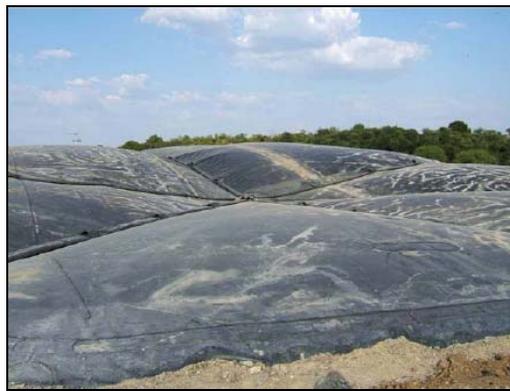


Figura 6.4 Cubierta flexible para el almacenamiento del biogás (Bioverde, 2009)

Se utilizará un manómetro graduado para que no se exceda la resistencia a la tensión dentro del tanque (mínimo 28 kgf/cm<sup>2</sup>). El medidor de biogás se instalará para medir la cantidad de biogás producido en el sistema tal y como se muestra en la Figura 6.5



Figura 6.5 Medidor de biogás (Bioverde, 2009)

La producción de biogás requiere que éste sea quemado en una flama abierta. Esta planta incluye un quemador con encendido automático y detector de falla de flama, como se muestra en la Figura 6.6. Esta antorcha debe ser instalada, incluso si el biogás se utiliza para generar electricidad o en las calderas, y funcionaría para el exceso de biogás o durante el mantenimiento de esos equipos (Bioverde, 2009).



Figura 6.6 Quemador de Biogás (Bioverde, 2009)

Para evitar la explosión o incendio por retroceso de llama y como seguridad en el sistema se colocará una serie de trampas denominadas:

- Trampa de ácido sulfhídrico
- Trampa o filtro de dióxido de carbono
- Trampa de agua
- Trampa de llama

De esta forma se puede utilizar en calidad de gas natural o metano sin ningún riesgo (7,974 a 9,514 Kcal/m<sup>3</sup>).

El sistema de distribución de agua tiene como finalidad distribuir el influente a todo lo ancho y largo del reactor con el objeto de que el agua fluya con suavidad en todo el reactor sin cargarse más hacia alguna de las zonas; esto hace que el lecho de lodos se expanda en forma homogénea logrando un mayor contacto entre el agua y la biomasa obteniendo los mejores resultados del tratamiento.

El sistema es alimentado con dos bombas de agua de las que solamente funciona una mientras la otra descansa, tal y como se muestra en la Figura 6.7. El flujo debe ser suficiente para lograr una velocidad superficial mayor a 0.75 m/h aunque va a ser alimentado por pulsos de flujo suficiente.



Figura 6.7 Sistema de bombeo (Bioverde, 2009)

Permite la extracción de lodos de las distintas zonas del reactor, tanto de diferentes áreas del equipo como bajo diversas profundidades. Esto es, con el fin de que al disponer de los lodos, se pueda acceder a ellos con menor actividad metanogénica. Los lodos fluyen con presión del propio equipo (Bioverde, 2009).

Se va contar con una serie de tuberías que toman los lodos del interior y los dirigen al exterior. Las tuberías se colocan a diferentes alturas y zonas del equipo. A través de las muestras, se puede conocer el estado de los lodos internos y evaluar su salud. Estas pruebas son muy útiles sobre todo en etapas en que la actividad de las bacterias baja o cuando se quieren saber las condiciones en las que está trabajando el lodo como el pH o la alcalinidad.

Los diferentes escenarios de operación con una DQO inicial de 2,300 mg/l se muestran en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Valores de DQO removida

	DQO Reducida
Reducción de 75%	1,725 mg/l
Reducción de 90%	2,070 mg/l

La producción de lodos será del orden de 55 a 75 Kg/día. Para la extracción de los lodos la planta viene equipada con una bomba de diafragma.

El volumen nominal del tanque de almacenamiento de lodos digeridos va ser de 400 m<sup>3</sup>, con un tiempo de almacenamiento de 15 días.

### 6.1.2 Generador eléctrico

Para la generación de energía eléctrica se requiere de un generador marca CATERPILLAR modelo G3304 para quemar biogás, como se muestra en la Figura 6.8; el motor es tipo aspiración natural, con una relación de compresión de 10.5 :1, de cuatro tiempos, con una capacidad de generación de 44 kW en operación continua a condiciones ISO, 1,800 rpm, 60 HZ, 4,800 V, 4 cilindros en línea. Con un consumo de combustible específico de 11.82 MJ/bkW-hr al 100% de carga (Madisa, 2009). A continuación se detallan las características técnicas del motogenerador.



Figura 6.8 Motogenerador Caterpillar modelo G3304 (Madisa, 2009)

#### Sistema de admisión de aire:

- Filtro de aire tipo seco con indicador de servicio

#### Sistema de control:

- Gobernador Woodward PSG, requiere 24 V

#### Sistema de enfriamiento:

- Caja de termostato y termostato de 97 °C
- Bomba de agua de camisas de engranes tipo centrífuga
- Radiador montado en la base del motor con ventilador y conexiones

#### Sistema de escape:

- Tubo flexible
- Bridas de ensamble
- Mofle para conexión remota con bridas en ambos extremos, se entrega suelto

#### Volante y caja de volante:

- Volante SAE No.1, 113 dientes, caja de volante SAE No.1 rotación estándar SAE

#### Sistema de combustible:

- Regulador de presión a gas
- Carburador para biogás

#### Sistema de Ignición:

- Sistema de ignición digital CAT. Altronic V

#### Sistema de lubricación:

- Respiradero del cárter, montaje superior
- Enfriador de aceite
- Llenado de aceite en tapa de válvulas y medidor
- Filtro de aceite
- Aceite lubricante
- Cárter

#### Sistema de montaje:

- Rieles

#### Sistema de protección:

- Solenoide de paro de protección, energizado al arranque
- Protecciones por baja presión de aceite, alta temperatura de refrigerante

### Sistema de arranque:

- Motor de arranque electrónico
- Juego de baterías con rack

### Generales:

- Pintura amarilla Caterpillar
- Damper de vibraciones
- Soportes para levante
- Juego de manuales de operación y mantenimiento y copia adicional
- Calcomanías de información del grupo generador (Madisa, 2009)

## **6.2 Factibilidad Ambiental**

El tratamiento biológico por digestión de las aguas residuales orgánicas es una alternativa tanto energética como ambiental. Estos sistemas ayudan a disminuir las emisiones de gas metano a la atmósfera causantes del efecto invernadero y la contaminación de los cuerpos de agua.

Los beneficios ambientales son:

1. Eliminación de malos olores
2. Reducción de patógenos
3. Producción de composta sanitizado
4. Disminución de los gases efecto invernadero
5. Reducción de la dependencia de fertilizantes químicos por su captura y reuso de nutrientes.
6. Promoción del secuestro de carbono.
7. Beneficios de reuso y reciclado de agua.
8. Protección de los recursos de mantos freáticos y aguas superficiales.
9. Aceptación de mejoras sociales.

Esta metodología es aplicable para cualquier tratamiento de residuos, excluyendo los tratamientos no controlados (UNFCCC, 2006). La siguiente expresión calcula las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> que se obtienen de las emisiones de metano anuales.

$$CO_{2eq\text{metano}} = (CH_{4\text{anual}})(GWP_{CH_4}/1000) \quad (6-1)$$

donde:

CO<sub>2eq metano</sub> Emisión equivalente de bióxido de carbono en toneladas métricas.

CH<sub>4anual</sub> Producción de metano en kg/año.

GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub> Potencial de calentamiento global del metano (GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub>=21).

Para nuestro caso de estudio se tiene una producción diaria de metano de:

$$\text{CH}_4 = 80 \text{ m}^3/\text{d} ,$$

Y anual de

$$\text{CH}_{4 \text{ anual}} = 29,200 \text{ m}^3/\text{año}$$

La densidad del metano a 35 °C = 0.6346 kg/m<sup>3</sup>

Multiplicando la cantidad de metano generado anualmente por su densidad se tiene:

$$(29,200 \text{ m}^3/\text{año})(0.6346 \text{ kg/m}^3) = 18,530.32 \text{ kg/año} \quad (6-2)$$

empleando el convertidor interactivo de unidades de la EPA (EPA, 2009) se tiene:

$$80 \text{ Cubic meters (m}^3\text{) CH}_4 = 54.4160 \text{ Kilograms (kg) CH}_4$$

obteniendo los kg de metano anuales se tiene:

$$54.4160 \text{ kg} * 365 \text{ días} = 19,861.84 \text{ kg/año} \quad (6-3)$$

sustituyendo la ecuación (6-2) en la ecuación (6-1) se tiene:

$$\text{CO}_{2\text{eq metano}} = (18,530.32 \text{ kg/año})(21/1000) \quad (6-4)$$

$$\text{CO}_{2\text{eq metano}} = 389.14 \text{ T}_{\text{eq}}\text{CO}_2 \quad (6-5)$$

Utilizando los kg de metano anuales obtenidos de la EPA (ecuación 6-3) y sustituyendo en la ecuación (6-1) se tiene:

$$\text{CO}_{2\text{eq metano}} = (19,861.84 \text{ kg/año})( 21/1000) \quad (6-6)$$

$$\text{CO}_{2\text{eq metano}} = 417.09 \text{ T}_{\text{eq}}\text{CO}_2 \quad (6-7)$$

Empleando el convertidor interactivo de unidades de la EPA se tiene:

$$29200 \text{ Cubic meters (m}^3\text{) CH}_4 = 416.976 \text{ Metric tons (tonnes) CO}_2 \text{ equivalent}$$

Como se puede observar la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente que se obtienen de la ecuación (6-1) no tiene una variación muy significativa con respecto al obtenido con el convertidor interactivo de la EPA (EPA, 2009).

El aprovechamiento de biogás y la utilización del metano, principal compuesto del mismo, al transformarlo en CO<sub>2</sub> mediante su quema directa o bien su aplicación como combustible para accionar motogeneradores, es de hecho uno de los beneficios ambientales al atender los factores que inciden en el cambio climático, ya que en términos de contaminación el metano es 21 veces más contaminante que el bióxido de carbono.

El digestor produce fertilizante orgánico con alto contenido de nitrógeno, potasio y fósforo, tal y como se muestra en la Tabla 6.2. El fertilizante se puede utilizar en tierras de

labranza como alternativa a los fertilizantes químicos, conforme a la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Tabla 6.2 Comparación de los niveles de nutrientes entre los lodos digeridos y lodos sin tratar (Metcalf y Eddy, 2003)

Producto	Nutrientes (%)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Lodos digeridos	5	10	10
Lodos biológicos sin tratar	3.3	2.3	0.3

En la Tabla 6.3 se muestra el mejor método para el tratamiento de desecho biodegradable, como resultado del estudio realizado por la Agencia de Manejo de Energía Ambiental Francesa (ADEME, 2007).

Tabla 6.3 Comparación entre digestión y composteo para el tratamiento de desechos biodegradables (ADEME, 2007)

	Digestión con utilización del lodo digerido como fertilizante y de la producción de energía	Composteo con su utilización en la agricultura
Energía primaria	XX	
Efecto invernadero	XX	
Eutroficación		Excepto para digestión con la utilización del biogás como combustible para autos en sustitución al diesel
Acidificación del aire	Depende de la valorización del biogás	

La utilización del desecho biodegradable para convertirlo en biogás es potencialmente más interesante que el composteo en términos del potencial efecto invernadero y del balance de energía primaria.

Esta conclusión también se relaciona a las emisiones evitadas de gases efecto invernadero y al consumo evitado de energía primaria, pues la sustitución de los procesos convencionales de generación de energía puede ser posible por el método del biogás que el composteo.

En relación con la eutroficación, la producción del biogás tiene un impacto más alto que el método de composteo debido a las grandes cantidades de descarga líquida durante el proceso anaerobio a excepto de su utilización como combustible con la sustitución del diesel en autobuses o carros de la basura. Pero si a la descarga líquida se le aplica un postratamiento, la eutrofización disminuiría grandemente.

En la categoría de la acidificación del aire, la digestión es preferible al composteo directo de la basura biodegradable para el método de la utilización de biogás como combustible con la sustitución del diesel o de la gasolina y para la utilización del biogás para la producción de calor con la sustitución de gasolina y aceite. La otra utilización del biogás

(electricidad, o la sustitución del gas natural para los vehículos) tiene casi la misma cantidad de emisiones ácidas (para la utilización del biogás como combustible que sustituye el gas natural para los vehículos) o levemente más arriba que el composteo directo de la basura biodegradable (Kirkeby, 2005).

### 6.3 Factibilidad Económica

#### 6.3.1 Costo del Capital (K)

Debemos de entender como costo de capital, al interés promedio ponderado por el uso del dinero, proveniente de las distintas fuentes de financiamiento (Hernández y Villalobos, 2001). Para nuestro caso de estudio nuestras fuentes de financiamiento serán el Fideicomiso de Riego Compartido (FIRCO) y el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS). El monto de inversión que se requiere se muestra en la Tabla 6.4, considerando la paridad peso- euro en 18 pesos y la paridad peso-dólar en 13.2 pesos.

Tabla 6.4 Monto de inversión

Cantidad	Descripción	Tamaño	Unidad	P.U.	Pesos	IVA	Pago Total (Pesos)	Referencia
1	Generador Caterpillar modelo 3304 para biogás	44	kW	45,200 usd	\$596,640	\$89,496.00	\$686,136	Madisa, 2009
1	Tanque digestor	800	m <sup>3</sup>	80,000 usd	\$1,056,000	\$158,400.00	\$1,214,400	Bioverde, 2009
1	Tanque de lodo digerido	400	m <sup>3</sup>	€ 15000	\$270,000	\$40,500	\$310,500	Bioverde, 2009
1	Sistema de limpieza de biogás			€5000	\$90,000	\$13,500	\$103,500	Bioverde, 2009
1	Bomba centrífuga	3	kW	€4000	\$72,000	incluido	\$72,000	Bioverde, 2009
1	Mezclador sumergido	5	kW	€6000	\$108,000	Incluido	\$108,000	Bioverde, 2009
1	Intercambiador de calor	3	kW	€8500	\$153,000	\$22,950	\$175,950	Bioverde, 2009
	Otros equipos de seguridad			€7200	\$129,600	Incluido	\$129,600	Bioverde, 2009
	Subtotal			€135,129			\$2,800,086	
	Ingeniería	5%		€6,756			\$140,004	
	Costo total de instalación			€141,885			\$2,940,090	
	Desarrollo del proyecto			€6000			\$108,000	
	Costo total del proyecto			€147,885			\$3,048,090	

Para el caso de FIRCO los montos de apoyo por concepto de inversión, sin cobrar ningún tipo de interés, son los siguientes:

**Sistemas de Biogás.-** Se apoyará con el 50% de la inversión proyectada, incluyendo la instalación del sistema, con un monto máximo de un millón de pesos por beneficiarios o agronegocio.

**Motogeneradores.-** Se apoyará con el 50% de la inversión proyectada, incluyendo la instalación del equipo, o hasta un máximo de doscientos cincuenta mil pesos por beneficiario o agronegocio (FIRCO, 2009).

Así que el financiamiento por parte de FIRCO, sin cobrar tasa de interés, sería el siguiente:

Motogenerador:       \$250,000

Sistema anaerobio:   \$1,000,000

TOTAL:       \$1,000,000+ \$250,000 ⇒ \$1,250,000

El resto del financiamiento sería mediante un préstamo bancario por parte de BANOBRAS por un monto de \$ 1,798,090, con una tasa de interés de 400 puntos base sobre la Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) a 28 días (BANOBRAS, 2010). En la Figura 6.9 se muestra el comportamiento que ha tenido la TIIE durante los dos últimos años.

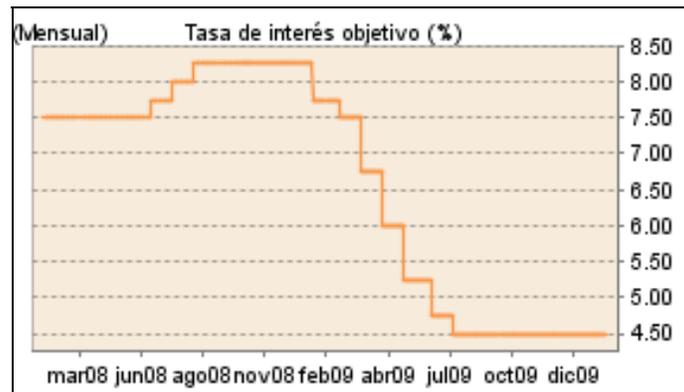


Figura 6.9 Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) (BANXICO, 2010)

Tomando la TIIE de 4.9%, que es el promedio de los últimos seis meses, se tendría una tasa de interés de: 4.9% + 4% = 9%.

En primer lugar, se determinan los intereses reales o efectivos de las fuentes de financiamiento, en este caso solo aplicaría para el préstamo otorgado por BANOBRAS, mediante la ecuación (6-8) (Hernández y Villalobos, 2001).

$$i_c = \left(1 + \frac{i}{r}\right)^r - 1 \tag{6-8}$$

En el caso de BANOBRAS se tiene la siguiente tasa real:

$$i_c = \left(1 + \frac{0.09}{12}\right)^{12} - 1 \Rightarrow 0.094 \quad (6-9)$$

$i_c = 9.4\%$  Tasa real o efectiva

Una vez obtenidas las tasas de interés, se procede a determinar, el porcentaje de participación de las fuentes, respecto del total, el cual es el resultado de dividir cada una de las fuentes entre el total, esto se muestra en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5 Porcentaje de participación de las fuentes de financiamiento

Concepto	Aportación (\$)	Participación en porcentaje (%)
1. FIRCO	\$1,250,000	$\frac{1,250,000}{3,048,090}(100) = 41.0093$
2. BANOBRAS	\$ 1,798,090	$\frac{1,798,090}{3,048,090}(100) = 58.9907$
Sumas	\$3,048,090	100.00

Con esta última información se procede a calcular el costo de capital financiero (Kf), el cual es la suma de multiplicar la participación por la tasa efectiva correspondiente a cada fuente de financiamiento (Hernández y Villalobos, 2001), esto es:

$$\begin{aligned}
 1. \text{ FIRCO} &= (0.4100)(0) = 0.000 \\
 1. \text{ BANOBRAS} &= (0.5899)(0.094) = 0.055 \\
 \text{Total} &= 0.055
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, el costo de capital financiero (K) es 5.5% ( $K_f = 5.5\%$ ). A este capital hay que sumarle el riesgo país que para el caso de México es de 3%, por lo tanto el costo del capital ( $K$ ) =  $5.5 + 3 = 8.5\%$ .

$K = 8.5\% \Rightarrow$  Es la cantidad que representa el costo de capital y sobre esta tasa, se va efectuar la evaluación económica.

En la Tabla 6.6 se muestra a detalle los préstamos otorgados por dichas dependencias.

Tabla 6.6 Préstamos otorgados

Concepto	Aportación	Participación en porcentaje(%)	Tasa nominal (%)	Tasa real (%)	Riesgo País(%)	Costo de capital financiero(K) (%)
BANOBRAS	\$ 1,798,090	58.9907	9	9.4	3	5.5
FIRCO	\$1,250,000	41.0093	0	0	0	0
TOTAL	\$3,048,090	100			3	5.5
SUMA						8.5

### 6.3.2 Flujos de Efectivo

El flujo de efectivo comprende los años que se supone el horizonte de planeación y depende del tipo de proyecto, en nuestro caso se hará de 20 años y su cálculo se hará en precios variables, este método considera que la inflación variará 0.5% anual (4% para nuestro caso de estudio) (BANXICO, 2010). En la Tabla 6.7 se muestra los gastos de operación y costos directos en los que se incurren para operar el biodigestor, el motogenerador y el tanque de lodos digeridos.

Tabla 6.7 Gastos de operación y costos directos

Costos y gastos anuales	Método de cálculo	Pesos (\$)/año	Referencia
Costo de operación y mantenimiento del sistema anaerobio	$\$3,048,090 \times 3\%$	91,443	Bioverde, 2009
Costo de operación y mantenimiento del motogenerador	$7500\text{hr/año} \times 0.80\text{€/hr} \times 18$	108,000	Madisa, 2009
Costos de operación y mantenimiento del tanque de lodos digeridos y su transporte	$\$3,048,090 \times 1.5\%$	45,721	Bioverde, 2009
Gasto laboral	$8\text{hr/día} \times 365\text{días} \times \$25/\text{hr}$	73,000	Bioverde, 2009
Renta vitalicia del costo total de la inversión	$\$3,048,090 \times 1\%$	30,481	Bioverde, 2009
Costos totales anuales		348,645	

Conforme a los cálculos del capítulo anterior, la capacidad de generación eléctrica es de 30 kW y el tiempo de operación anual del motogenerador será de 7500 horas. En la Tabla 6.8 se muestra el pronóstico del costo por KWh utilizado en este estudio.

Así que los ahorros por la generación de energía eléctrica, que por lo tanto no se adquiere del servicio público, a partir del primer año de operación serán:

$$30 \text{ kw} * 7500 \text{ h} * 1.280 \text{ \$/KWh} = \$ 288,000 \quad (6-10)$$

En la Tabla 6.9 se muestran los ingresos anuales que se obtendrían por concepto de ahorro de energía eléctrica.

Tabla 6.8 Pronóstico del costo por KWh (EIA, 2009)

Año	Centavos de dólar por KWh	Pesos por kwh
2011	9.70	1.280
2012	9.07	1.197
2013	9.20	1.214
2014	9.20	1.214
2015	9.25	1.221
2016	9.31	1.229
2017	9.40	1.241
2018	9.49	1.253
2019	9.59	1.266
2020	9.74	1.286
2021	9.88	1.304
2022	9.92	1.309
2023	9.89	1.305
2024	9.91	1.308
2025	10.05	1.327
2026	10.24	1.352
2027	10.41	1.374
2028	10.54	1.391
2029	10.65	1.406
2030	10.75	1.419

Tabla 6.9 Ingresos por concepto de ahorro de energía eléctrica

Año	Pesos (\$)/año
01	288,000
02	269,325
03	273,150
04	273,150
05	274,725
06	276,525
07	279,225
08	281,925
09	284,850
10	289,350
11	293,400
12	294,525
13	293,625
14	294,300
15	298,575
16	304,200
17	309,150
18	312,975
19	316,350
20	319,275

En la Tabla 6.10 se muestra el pronóstico de la cotización de la tonelada de CO<sub>2</sub> en los mercados internacionales, cotizándose como Certificados de Reducción de Emisiones (CER's).

Tabla 6.10 Pronóstico de los precios internacionales de la tonelada de CO<sub>2</sub> (PointCarbon, 2009)

Año	€/tonelada	Pesos (\$)/tonelada
2011	13.26	238.68
2012	13.46	242.28
2013	13.54	243.72
2014	13.67	246.06
2015	13.89	250.02
2016	14.23	256.14
2017	14.34	258.12
2018	14.56	262.08
2019	14.87	267.66
2020	15.02	270.36
2021	15.23	274.14
2022	15.28	275.04
2023	15.34	276.12
2024	15.68	282.24
2025	15.94	286.92
2026	16.23	292.14
2027	16.34	294.12
2028	16.53	297.54
2029	16.56	298.08
2030	16.68	300.24

Si el proyecto se registra al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), se obtendrían ingresos adicionales por la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CER's) que equivale a una tonelada métrica de CO<sub>2</sub>. Puesto que las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> que se dejarían de emitir son de 416, se tendrían los siguientes ingresos para el primer año de operación :

$$416 T_{eq}CO_2 * 238.68 \$/T_{eq}CO_2 = \$99,290.88 \quad (6-11)$$

En la Tabla 6.11 se muestra los ingresos que se obtendrían por concepto de la venta de bonos de carbono.

En la Tabla 6.12 se muestra el pronóstico de precios por kilogramo de composta.

La producción de lodos digeridos será del orden de 75 Kg/d, listos para usarse como composta, por lo tanto los ingresos por concepto de venta de residuos orgánicos para generar composta para el primer año de operación serán :

$$(75 \text{ kg/día})(1 \text{ peso})(365) = \$27,375 \quad (6-12)$$

En la Tabla 6.13 se muestra los ingresos que se obtendrían por concepto de la venta de composta.

Tabla 6.11 Ingresos por concepto de la venta de bonos de carbono.

Año	Pesos (\$)/año
01	99,290.9
02	100,788.5
03	101,387.5
04	102,360.9
05	104,008.3
06	106,554.2
07	107,377.9
08	109,025.3
09	111,346.6
10	112,469.8
11	114,042.2
12	114,416.6
13	114,865.9
14	117,411.8
15	119,358.7
16	121,530.2
17	122,353.9
18	123,776.6
19	124,001.3
20	124,899.8

Tabla 6.12 Pronóstico de precios por kilogramo de composta (INE, 2009)

Año	Pesos (\$)/kg
2011	1
2012	1.10
2013	1.15
2014	1.17
2015	1.20
2016	1.23
2017	1.25
2018	1.27
2019	1.31
2020	1.35
2021	1.38
2022	1.40
2023	1.43
2024	1.45
2025	1.47
2026	1.51
2027	1.54
2028	1.56
2029	1.60
2030	1.63

Tabla 6.13 Ingresos por concepto de la venta de composta

Año	Pesos(\$)/kg
01	27,375
02	30,113
03	31,481
04	32,029
05	32,850
06	33,671
07	34,219
08	34,766
09	35,861
10	36,956
11	37,778
12	38,325
13	39,146
14	39,694
15	40,241
16	41,336
17	42,158
18	42,705
19	43,800
20	44,621

Conforme a las Normas Oficiales Mexicanas en materia de descargas de aguas residuales, emitidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) las multas por el concepto de los desechos sólidos sin disposición y manejo van del orden de 5,001 salarios mínimos, dependiendo del grado, que vendrían equivaliendo a 259,802 pesos (SEMARNAT, 2009). En nuestro caso de estudio la PTAR-CU se estaría evitando estos costos por multas puesto que al no darle tratamiento a los lodos biológicos de exceso que elimina diariamente está contaminando por esos desechos. Así que con la digestión de estos lodos se estarían obteniendo los “ingresos” totales anuales que se muestran en la Tabla 6.14 generados a lo largo de los años que se supone el horizonte de planeación del proyecto. Estos “ingresos” realmente son el resultado de “ingresos” = venta de composta + venta de bonos de carbono + ahorros de energía eléctrica + ahorros de multas.

En la Tabla 6.15 se resume la suma de los costos totales anuales generados a lo largo de los años que se supone el horizonte de planeación considerando una variación anual del 0.5% de la inflación (BANXICO, 2010).

En la Tabla 6.16 se resume los flujos de efectivo generados a lo largo de los años que se supone el horizonte de planeación.

Tabla 6.14 Ingresos totales anuales

Año	Ingresos totales anuales (pesos \$)
01	674,467.88
02	660,028.00
03	665,820.75
04	667,341.65
05	671,385.30
06	676,552.45
07	680,623.65
08	685,518.55
09	691,859.85
10	698,578.05
11	705,021.70
12	707,068.60
13	707,439.15
14	711,207.55
15	717,976.95
16	726,868.45
17	733,463.40
18	739,258.60
19	743,953.30
20	748,597.80

Tabla 6.15 Costos totales anuales

Año	Costos totales anuales (pesos \$)
01	348,645
02	350,388
03	352,140
04	353,901
05	355,670
06	357,449
07	359,236
08	361,032
09	362,837
10	364,651
11	366,475
12	368,307
13	370,149
14	371,999
15	373,859
16	375,729
17	377,607
18	379,495
19	381,393
20	383,300

Tabla 6.16 Flujos de efectivo anuales

Año	Ingresos totales anuales(pesos \$)	Costos totales anuales(pesos \$)	Flujos de efectivo (pesos \$)
01	674,467.88	348,645	325,822.88
02	660,028.00	350,388	309,639.78
03	665,820.75	352,140	313,680.58
04	667,341.65	353,901	313,440.78
05	671,385.30	355,670	315,714.93
06	676,552.45	357,449	319,103.73
07	680,623.65	359,236	321,387.68
08	685,518.55	361,032	324,486.40
09	691,859.85	362,837	329,022.54
10	698,578.05	364,651	333,926.56
11	705,021.70	366,475	338,546.95
12	707,068.60	368,307	338,761.47
13	707,439.15	370,149	337,290.49
14	711,207.55	371,999	339,208.15
15	717,976.95	373,859	344,117.55
16	726,868.45	375,729	351,139.75
17	733,463.40	377,607	355,856.06
18	739,258.60	379,495	359,763.22
19	743,953.30	381,393	362,560.44
20	748,597.80	383,300	365,297.98

### 6.3.3 Evaluación Financiera

La evaluación de un proyecto, permite visualizar lo que va ocurrir una vez hecha la inversión, esto es, los flujos que se generarán en el futuro, comparando estos con la inversión inicial (Hernández y Villalobos, 2001).

Para la evaluación de los proyectos de inversión, es necesario conocer la siguiente información:

- a) La inversión inicial requerida
- b) El horizonte del proyecto (vida útil estimada por el proyecto)
- c) Los flujos de fondos estimados para cada periodo, en el horizonte del proyecto.
- d) El rendimiento mínimo aceptable por la empresa o inversionista (costo de capital).

El método más usual para la evaluación es el Método de Evaluación Complejos, ya que se toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo y se basan, normalmente, en información derivada de flujos de efectivo (Hernández y Villalobos, 2001).

#### 6.3.3.1 Valor Presente (VP)

Este método consiste en actualizar los flujos de efectivo (traerlos a valor presente) uno a uno, descontándolos a una tasa de interés igual al costo de capital ( $k$ ) y sumar éstos,

comparar dicha suma con la inversión inicial ( $I_0$ ), de tal forma que: si el valor actual de la suma de los flujos es mayor o igual al de la inversión, el proyecto se acepta como viable, caso contrario se rechaza (Hernández y Villalobos, 2001). Lo anterior se representa:

$$VP = \frac{F1}{(1+K)^1} + \frac{F2}{(1+K)^2} + \dots + \frac{Fn}{(1+K)^n} \quad (6-13)$$

Si

$VP \geq I_0$ , el proyecto se acepta.

$VP < I_0$ , el proyecto se rechaza.

Para nuestro caso de estudio se cuenta con lo siguiente:

$$VP = \frac{325,822.88}{(1.085)^1} + \frac{309,639.78}{(1.085)^2} + \frac{313,680.58}{(1.085)^3} + \frac{313,440.78}{(1.085)^4} + \frac{315,714.93}{(1.085)^5} + \frac{319,103.73}{(1.085)^6} + \frac{321,387.68}{(1.085)^7} + \frac{324,486.40}{(1.085)^8} + \frac{329,022.54}{(1.085)^9} + \frac{333,926.56}{(1.085)^{10}} + \frac{338,546.95}{(1.085)^{11}} + \frac{338,761.47}{(1.085)^{12}} + \frac{337,290.49}{(1.085)^{13}} + \frac{339,208.15}{(1.085)^{14}} + \frac{344,117.55}{(1.085)^{15}} + \frac{351,139.75}{(1.085)^{16}} + \frac{355,856.06}{(1.085)^{17}} + \frac{359,763.22}{(1.085)^{18}} + \frac{362,560.44}{(1.085)^{19}} + \frac{365,297.98}{(1.085)^{20}} \dots \dots \dots (6-14)$$

$$I_0 = 3,048,090$$

$VP = 3,103,635.62 \Rightarrow$  cantidad que representa el valor presente de la suma de los flujos de efectivo.

Como el valor presente (VP) es mayor que la inversión inicial ( $I_0$ ), el proyecto es viable y se acepta a este costo de capital, esto es:

$$3,103,635.62 > 3,048,090$$

### 6.3.3.2 Valor Presente Neto (VPN)

Este método consiste en restar al valor presente (VP) la inversión inicial ( $I_0$ ), de tal forma que si está diferencia es cero o mayor de cero, el proyecto se considera viable y se acepta, caso contrario se rechaza (Hernández y Villalobos, 2001). Lo anterior se representa:

$$VPN = VP - I_0 \quad (6-15)$$

Si:

$VPN \geq 0 \rightarrow$  El proyecto se acepta.

$VPN < 0 \rightarrow$  El proyecto se rechaza.

Para nuestro caso de estudio se tiene:

$$VPN = 3,103,635.62 - 3,048,090 \quad (6-16)$$

$VPN = 55,545.62$  → Cantidad que representa al valor presente neto y como éste es positivo, el proyecto se considera viable y se acepta.

### 6.3.3.3 Relación Beneficio Costo (RBC)

Este método consiste en dividir el valor presente (VP) entre la inversión inicial ( $I_0$ ), si el resultado del cociente es mayor o igual a uno, el proyecto se considera viable y se acepta, caso contrario se rechaza (Hernández y Villalobos, 2001). Lo anterior se representa:

$$RBC = \frac{VP}{I_0} \quad (6-17)$$

Si:

$RBC \geq 1$ , el proyecto se acepta

$RBC < 1$ , el proyecto se rechaza

Para nuestro caso de estudio se tiene:

$$RBC = \frac{3,103,635.62}{3,048,090} = 1.018 \quad (6-18)$$

$RBC = 1.018$  → Como esta cantidad es mayor a uno, el proyecto se acepta.

### 6.3.3.4 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Este método consiste en igualar la inversión inicial, con la suma de los flujos actualizados a una tasa de descuento ( $i$ ) supuesta, que haga posible su igualdad, si la tasa de interés que hizo posible la igualdad es mayor o igual al costo de capital ( $k$ ), el proyecto se acepta, de lo contrario se rechaza (Hernández y Villalobos, 2001). Es decir:

$$I_0 = \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Fn}{(1+i)^n} \quad (6-19)$$

Si  $TIR \geq K$ , el proyecto se acepta.

$TIR < K$ , el proyecto se rechaza.

Para nuestro caso de estudio se tiene:

$$\begin{aligned}
3,048,090 = & \frac{325,822.88}{(1+i)} + \frac{309,639.78}{(1+i)^2} + \frac{313,680.58}{(1+i)^3} + \frac{313,440.78}{(1+i)^4} + \frac{315,714.93}{(1+i)^5} + \frac{319,103.73}{(1+i)^6} + \\
& \frac{321,387.68}{(1+i)^7} + \frac{324,486.40}{(1+i)^8} + \frac{329,022.54}{(1+i)^9} + \frac{333,926.56}{(1+i)^{10}} + \frac{338,546.95}{(1+i)^{11}} + \frac{338,761.47}{(1+i)^{12}} + \\
& \frac{337,290.49}{(1+i)^{13}} + \frac{339,208.15}{(1+i)^{14}} + \frac{344,117.55}{(1+i)^{15}} + \frac{351,139.75}{(1+i)^{16}} + \frac{355,856.06}{(1+i)^{17}} + \frac{359,763.22}{(1+i)^{18}} + \\
& \frac{362,560.44}{(1+i)^{19}} + \frac{365,297.98}{(1+i)^{20}} \dots\dots\dots(6-20)
\end{aligned}$$

Despejando i se tiene:

$i = 0.087$  así que la tasa de descuento  $i$  es de 8.7%

Puesto que  $TIR > K$  ya que  $8.7\% > 8.5\%$ , se acepta el proyecto.

### 6.3.3.5 Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

Este método consiste en determinar el tiempo que tarda un proyecto, en ser pagado y se determina mediante restas sucesivas de uno por uno de los flujos de efectivo a la inversión original (I<sub>0</sub>), hasta que ésta queda saldada, de tal forma que si la inversión (I<sub>0</sub>) se amortiza en un tiempo menor o igual al horizonte del proyecto, éste se considera viable y se acepta, caso contrario se rechaza (Hernández y Villalobos, 2001). En la Tabla 6.17 se puede observar a detalle los flujos acumulados actualizados y el tiempo en el que se amortiza la inversión.

Como se puede observar el proyecto se termina de pagar en el último año del horizonte de planeación, siendo más específicos:

$$\text{Pago mensual} = \$71,458.27 / 12 = \$5,954.86$$

$$\text{Número de meses} = \$15,912.65 / \$5,954.86 = 2.67 \text{ meses}$$

Así que el proyecto se paga en 19 años y 3 meses. Por lo tanto el proyecto se acepta.

### 6.3.3.6 Inversión de Flujos (IDF)

Este método consiste en considerar dos alternativas que tiene el empresario acerca de la inversión, la primera es invertir (I<sub>0</sub>) por un tiempo igual al horizonte del proyecto, y la segunda, invertir los flujos como se van produciendo durante el horizonte y al final sumar estos dos flujos, comparando esta suma con el monto de la inversión de la primera alternativa, de tal manera que si la suma de los dos flujos resulta mayor o igual a la del monto de la inversión, el proyecto se acepta, en caso contrario se rechaza (Hernández y Villalobos, 2001). Esto se ilustra en la Tabla 6.18.

Tabla 6.17 Flujos acumulados actualizados

Flujos de inversión pesos (\$)	Años n	Costo de Capital K	Factor de actualización $1/(1+K)^n$	Flujos actualizados $F(1/(1+K)^n)$	Flujos acumulados actualizados	Saldo pesos (\$)
3,048,090.00	0	0.085	1	0	0	\$3,048,090.00
325,822.88	1	0.085	0.921658986	\$300,297.59	\$300,297.59	\$2,747,792.41
309,639.78	2	0.085	0.849455287	\$263,025.14	\$563,322.73	\$2,484,767.27
313,680.58	3	0.085	0.782908098	\$245,583.07	\$808,905.80	\$2,239,184.20
313,440.78	4	0.085	0.721574284	\$226,170.81	\$1,035,076.61	\$2,013,013.39
315,714.93	5	0.085	0.665045423	\$209,964.77	\$1,245,041.38	\$1,803,048.62
319,103.73	6	0.085	0.612945091	\$195,593.06	\$1,440,634.44	\$1,607,455.56
321,387.68	7	0.085	0.564926351	\$181,560.37	\$1,622,194.81	\$1,425,895.19
324,486.40	8	0.085	0.520669448	\$168,950.16	\$1,791,144.97	\$1,256,945.03
329,022.54	9	0.085	0.479879675	\$157,891.23	\$1,949,036.20	\$1,099,053.80
333,926.56	10	0.085	0.442285415	\$147,690.85	\$2,096,727.04	\$951,362.96
338,546.95	11	0.085	0.407636327	\$138,004.03	\$2,234,731.08	\$813,358.92
338,761.47	12	0.085	0.375701684	\$127,273.26	\$2,362,004.33	\$686,085.67
337,290.49	13	0.085	0.346268833	\$116,793.18	\$2,478,797.52	\$569,292.48
339,208.15	14	0.085	0.319141782	\$108,255.49	\$2,587,053.01	\$461,036.99
344,117.55	15	0.085	0.294139891	\$101,218.70	\$2,688,271.71	\$359,818.29
351,139.75	16	0.085	0.271096674	\$95,192.82	\$2,783,464.53	\$264,625.47
355,856.06	17	0.085	0.249858686	\$88,913.73	\$2,872,378.25	\$175,711.75
359,763.22	18	0.085	0.230284503	\$82,847.89	\$2,955,226.15	\$92,863.85
362,560.44	19	0.085	0.212243781	\$76,951.20	\$3,032,177.35	\$15,912.65
365,297.98	20	0.085	0.195616388	\$71,458.27	\$3,103,635.62	-\$55,545.62

Tabla 6.18 Inversión de flujos

Flujos de inversión pesos (\$)	Años n	Costo de Capital K	Factor de capitalización $(1+K)^n$	Flujos capitalizados	Flujos acumulados	Saldo pesos (\$)
3,048,090.00	20	0.085	5.112046125			\$15,581,976.67
325,822.88	19	0.085	4.711563249	\$1,535,135.11	\$1,535,135.11	
309,639.78	18	0.085	4.342454607	\$1,344,596.67	\$2,879,731.77	
313,680.58	17	0.085	4.002262311	\$1,255,431.98	\$4,135,163.75	
313,440.78	16	0.085	3.688721024	\$1,156,195.61	\$5,291,359.36	
315,714.93	15	0.085	3.399742879	\$1,073,349.58	\$6,364,708.94	
319,103.73	14	0.085	3.133403575	\$999,880.76	\$7,364,589.70	
321,387.68	13	0.085	2.887929562	\$928,144.99	\$8,292,734.69	
324,486.40	12	0.085	2.661686232	\$863,680.99	\$9,156,415.68	
329,022.54	11	0.085	2.453167034	\$807,147.26	\$9,963,562.94	
333,926.56	10	0.085	2.260983442	\$755,002.41	\$10,718,565.35	
338,546.95	9	0.085	2.083855707	\$705,482.99	\$11,424,048.34	
338,761.47	8	0.085	1.920604338	\$650,626.76	\$12,074,675.10	
337,290.49	7	0.085	1.770142247	\$597,052.14	\$12,671,727.25	
339,208.15	6	0.085	1.631467509	\$553,407.07	\$13,225,134.31	
344,117.55	5	0.085	1.503656690	\$517,434.65	\$13,742,568.97	
351,139.75	4	0.085	1.385858701	\$486,630.08	\$14,229,199.05	
355,856.06	3	0.085	1.277289125	\$454,531.07	\$14,683,730.12	
359,763.22	2	0.085	1.177225000	\$423,522.26	\$15,107,252.38	
362,560.44	1	0.085	1.085000000	\$393,378.08	\$15,500,630.46	
365,297.98	0	0.085	1.000000000	\$365,297.98	\$15,865,928.44	

Como la suma de los flujos es mayor al monto de la inversión, el proyecto se acepta.

Cabe mencionar que BANOBRAS otorga préstamos de hasta 40 millones de pesos y el Fondo de Cooperación Internacional en Ciencia y Tecnología (FONCICYT) hasta 20 millones de pesos para Proyectos de Generación y Ahorro de Energía.