

INTRODUCCIÓN GENERAL

1

1. Los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; manejo y problemática en México

Introducción	9
1.1 Generación de residuos	11
1.1.1 Definición, generación y tipos de residuos	12
1.1.2 Definición, composición y características de los residuos	16
1.1.3 Problemática asociada a la generación de residuos	19
1.2 Manejo de los Residuos en México	20
1.2.1 Clasificación de los residuos	20
1.2.2 Antecedentes históricos del manejo de RSU y RME	22
✿ Antes del siglo XIV	22
✿ Siglo XIV	22
✿ Siglo XIX	22
✿ Siglo XX	22
✿ Siglo XXI	25
1.2.3 Marco legal	25
1.2.4 Sistema de manejo de los RSU y RME	27
1.2.4.1 Recolección y Transporte	29
✿ Recolección mezclada	29
✿ Recolección selectiva	29
✿ Recolección separada	30
1.2.4.2 Estaciones de transferencia	31
1.2.4.3 Tratamiento	32
✿ Separación y Reciclaje	33
✿ Compostaje	34
✿ Tratamiento mecánico – biológico	35
✿ Incineración	36
1.2.4.4 Disposición Final	37

✿ Sitios de disposición final que No cumplen con la NOM	39
a) Sitio de disposición final controlado	39
b) Sitio de disposición final no controlado	39
✿ Sitios de disposición final que cumplen con la NOM	39
a) Relleno sanitario tradicional	39
b) Relleno sanitario manual	40
c) Disposición final con pre-tratamiento	41
1.2.5 Problemática asociada al manejo de residuos	42
Conclusiones.	43
 2. Producción de biogás a partir de residuos	
Introducción.	47
2.1 Biogás	49
2.1.1 Biomasa	49
2.1.2 Definición, composición y características del biogás	51
2.1.3 Utilización del biogás	53
2.1.3.1 Gas de síntesis	53
2.1.3.2 Iluminación	53
2.1.3.3 Aplicaciones térmicas	54
2.1.3.4 Refrigeración	54
2.1.3.5 Combustible	54
2.1.3.6 Electricidad	54
2.1.4 Generación de biogás	55
2.1.4.1 Generación natural	55
2.1.4.2 Digestión anaeróbica	55
a) Etapa de Hidrólisis	56
b) Etapa de Acidogénesis	56
c) Etapa de Acetogénesis	56
d) Etapa de Metanogénesis	57
e) Etapa de Sulfurogénesis	57

2.1.4.3	Digestión anaeróbica Inducida	57
2.2	Producción de biogás a partir de residuos	58
2.2.1	Captación de biogás en celdas de Rellenos Sanitarios	58
2.2.1.1	Descripción del proceso de captación	59
2.2.1.2	Evolución de un relleno sanitario para la captación de biogás	61
2.2.1.3	Requerimientos técnicos.	63
2.2.1.4	Otras consideraciones	64
2.2.1.5	Proyectos de captación de biogás en Rellenos Sanitarios	65
2.2.2	Digestores	66
2.2.2.1	Tipos de digestores	67
	• digestores en carga batch	68
	• Digestores de régimen semicontinuo	69
	• Digestores de régimen continuo	70
	• Completamente mezclados	71
	• Digestores de dos etapas	72
	• Digestión seca	73
2.2.2.2	Digestores industriales	74
2.2.2.3	Requerimientos Técnicos	75
2.2.2.4	Otras consideraciones	75
2.2.2.5	Proyectos con Digestores	76
2.2.3	Captación de biogás VS Digestores	79
	Conclusiones.	80
3.	Metodología de análisis	
	Introducción.	85
3.1	Análisis y evaluación de proyectos de inversión	87
3.1.1	¿Qué es un proyecto?	87
3.1.2	Etapas de un proyecto	88
	• Surgimiento de Ideas	88
	• Preinversión	88

■ Perfil	89
■ Prefactibilidad	89
■ Factibilidad	89
✱ Inversión	90
✱ Operación	91
3.1.3 Evaluación de proyectos de inversión	91
3.1.4 Estudio de factibilidad	93
✱ Estudio de mercado	94
✱ Estudio técnico.	94
a) Tamaño del proyecto	95
b) Localización	95
c) Ingeniería del proyecto	96
✱ Estudio económico - financiero.	97
a) Definición de los flujos del proyecto	97
b) Evaluación del proyecto	98
c) Análisis bajo condiciones de incertidumbre	98
3.2 Descripción de la metodología a emplear	98
3.2.1 Selección de la metodología	98
3.2.1.1 Revisión de metodologías	99
3.2.1.2 Selección de la metodología	106
3.2.2 Descripción de la metodología	107
Conclusiones.	111
 4. Estudio de factibilidad evaluación técnica (caso de estudio)	
Introducción.	115
4.1 Aprovechamiento de residuos para la generación eléctrica	117
4.1.1 Descripción del proyecto	117
4.1.1.1 Características generales del Municipio San Martín de las Pirámides	117
4.1.1.2 Formulación del problema	118

4.1.1.3	Antecedentes del problema	119
4.1.1.4	Justificación del proyecto	120
4.1.2	Análisis y diagnóstico de la situación actual y previsiones sin el proyecto	121
4.1.3	Objetivos y Metas.	122
4.2	Recopilación de la información	122
4.2.1	Información técnica requerida para el análisis	122
4.2.1.1	Datos energéticos básicos del municipio	123
4.2.1.2	Descripción general de la construcción del proyecto	123
4.2.2	Factores que definen la viabilidad del proyecto	130
4.2.2.1	Características del biogás	132
4.2.2.2	Determinación del potencial de generación eléctrica del biogás	129
4.2.2.3	Protección ambiental	132
4.2.2.4	Situación geográfica	133
4.3	Procesamiento de la información obtenida	133
4.3.1	Costos de energía eléctrica	133
4.3.2	Índices de consumo energético	133
4.3.3	Análisis y determinación del aprovechamiento de subproductos	134
4.4	Evaluación Técnica	134
4.4.1	Tamaño del proyecto.	134
4.4.1.1	Localización y descripción específica del sitio del proyecto	135
4.4.1.2	Infraestructura y equipo actual (disponibles para el proyecto)	136
4.4.1.3	Descripción técnica del proyecto	136
4.4.1.4	Cumplimiento de Normas Sanitarias, Ambientales y otras.	138
4.4.2	Ingeniería del proyecto.	139
	Conclusiones	141
5.	Estudio de factibilidad: evaluación económica y financiera (caso de estudio)	
	Introducción.	145

5.1 Premisas de la evaluación económica - financiera	145
5.1.1 Estudio financiero	147
5.1.1.1 Fuentes internas de financiamiento	147
5.1.1.2 Fuentes externas de financiamiento	148
5.1.1.3 Estimación de costos de operación	148
5.1.1.4 Programa de ventas (ingresos)	149
5.1.1.5 Flujo de efectivo (Periodo 5 años)	149
5.1.2 Evaluación económica	149
5.2 Desarrollo del modelo de evaluación económica	150
5.2.1 Valor Presente Neto (VPN)	150
5.2.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)	151
5.2.3 Relación Costo/Beneficio (CB)	151
5.2.4 Análisis de sensibilidad	152
5.2.5 Periodo de recuperación del capital	153
5.2.6 Caracterización del modelo de evaluación económica	153
5.3 Resultados de la evaluación económica	155
5.3.1 Costos, egresos e ingresos del proyecto	155
5.3.2 Flujo de efectivo de nuestro proyecto	157
5.3.3 Valor Presente Neto (VPN)	158
5.3.4 Tasa Interna de Retorno (TIR)	158
5.3.5 Relación Costo/Beneficio (CB)	159
5.3.6 Análisis de sensibilidad	159
5.3.4.1 Escenario 1.- Costos por operación y mantenimiento se incrementan en un 10%	160
5.3.4.2 Escenario 2.- Costos por operación y mantenimiento se incrementan en un 20%	162
5.3.4.3 Escenario 3.- Evaluación para el escenario que no vendamos nada de bioabono.	164
5.3.4.4 Escenario 4.- Sin ventas de bioabono e incremento del 20% en los costos de operación y mantenimiento.	166
5.3.4.5 Escenario 5.- Fuera de operación 3 meses por año.	168

5.3.7 Periodo de recuperación del capital	169
Conclusiones	170
CONCLUSIONES GENERALES	173
BIBLIOGRAFÍA	169

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1.1 Cultura desechable	11
Figura 1.2 Etapas de producción	13
Figura 1.3 Generación de residuos en las diferentes etapas de un sistema producción	14
Figura 1.4 Generación per cápita de residuos domésticos de algunos países en función de su PIB	15
Figura 1.5 Evolución en la generación de Residuos en México	17
Figura 1.6 Composición de los residuos	18
Figura 1.7 Disposición final de las 103 mil ton/día de residuos generados	18
Figura 1.8 Diagrama de flujo de un sistema simple de manejo de RSU y RME	28
Figura 1.9 Diagrama de flujo de un sistema de manejo de residuos diferenciado	29
Figura 1.10 Camión recolector típico	30
Figura 1.11 Instalaciones de la estación de transferencia Chabacano-La Viga	32
Figura 1.12 Separación desde la fuente	33
Figura 1.13 Composición general de la composta	34
Figura 1.14 Clasificación de acuerdo al cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003	38
Figura 1.15 Ejemplo de tiradero a cielo abierto	40
Figura 1.16 Relleno manual	41
Figura 2.1 Flujo de energía procedente del Sol	49
Figura 2.2 Ciclo de la biomasa	50
Figura 2.3 Transformaciones energéticas de la biomasa	51
Figura 2.4 Etapas de la digestión anaeróbica	56
Figura 2.5 Captura de biogás en un relleno sanitario	59
Figura 2.6 Operación de un Relleno Sanitario con sistema de captura y quema de biogás	61

Figura 2.7 Caracterización de las fases de un relleno sanitario	63
Figura 2.8 Central de biogás en relleno sanitario de Salinas Victoria	66
Figura 2.9 Proceso de generación de biogás en un digestor	67
Figura 2.10 Clasificación general de los digestores	68
Figura 2.11 Digestor horizontal flujo-pistón	69
Figura 2.12 Digestor de régimen continuo	71
Figura 2.13 Digestor de régimen completamente mezclado	72
Figura 2.14 Digestor de dos etapas	73
Figura 2.15 Recirculación de biogás	74
Figura 2.16 Digestor industrial en España	77
Figura 2.17 Digestor para tratamiento de residuos ganaderos	77
Figura 3.1 Etapas de un proyecto	88
Figura 3.2 Estructura general de la evaluación de proyectos	93
Figura 3.3 Diagrama de flujo de Metodología a aplicar	110
Figura 4.1 Localización de San Martín de las Pirámides	118
Figura 4.2 Fase de excavación	124
Figura 4.3 Colocación de la geomembrana	124
Figura 4.4 Mezclador para digestor	125
Figura 4.5 Llenado de laguna	126
Figura 4.6 Laguna completamente llena	126
Figura 4.7 Burbujas de gas metano a las 18 horas de haber llenado el digestor	127
Figura 5.8 Cubierta de laguna con geomembrana de polietileno	127
Figura 5.9 Formación del biogás	128
Figura 4.10 Equipo para medir producción de biogás	128
Figura 4.11 Instalación del equipo motogenerador	129
Figura 4.12 Motogenerador	129
Figura 4.13 Diagrama de flujo del proceso de digestión anaeróbica de la fracción orgánica de los RSU	138
Figura 5.1 Flujo de efectivo de un proyecto	148

Figura 5.2 Flujo de efectivo de nuestro proyecto	154
Figura 5.3 Flujos de efectivo para escenario 1	156
Figura 5.4 Flujos de efectivo para escenario 2	157
Figura 5.5 Flujos de efectivo para escenario 3	158
Figura 5.6 Flujos de efectivo para escenario 4	159
Figura 5.7 Flujos de efectivo para escenario 5	160

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1.1 Origen y tipos de residuos	14
Tabla 1.2 Composición típica de residuos domésticos de algunos países (%)	15
Tabla 1.3 Generación de Residuos por Tipo de Localidad	16
Tabla 1.4 Marco legal actual para el manejo de los residuos.	26
Tabla 1.5 Clasificación de los sitios de disposición final de acuerdo a recepción de residuos	38
Tabla 2.1 Composición bioquímica del biogás	52
Tabla 2.2 Características del biogás	52
Tabla 2.3 Aprovechamiento de biogás usando digestores en granjas porcinas	78
Tabla 2.4 Rellenos sanitarios vs. Digestores	79
Tabla 5.1 Costos del proyecto	155
Tabla 5.2 Ahorros de consumo eléctrico mensual	156
Tabla 5.3 Ingresos por venta de excedentes de energía eléctrica	156
Tabla 5.4 Ingresos por venta de bioabono	156
Tabla 5.5 Flujo de Efectivo	157
Tabla 5.6 Flujo de efectivo para el cálculo en hoja de excel	153
Tabla 5.7 Flujos de efectivo con incremento de costos de operación y mantenimiento del 10%	160
Tabla 5.8 Flujos de efectivo con incremento de costos de operación y mantenimiento del 20%	162
Tabla 5.9 Flujos de efectivo sin venta de bioabono	164
Tabla 5.10 Flujos de efectivo sin venta de bioabono y con incremento de costos de operación y mantenimiento un 20%	166
Tabla 5.11 Flujos de efectivo con equipo generador fuera de operación por cuatro meses cada año	168

Esta página se dejó en blanco intencionalmente