

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b>	I
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	III
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	V
<b>NOMENCLATURA</b>	VI
<b>RESUMEN</b>	VII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	VIII
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	X
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	X
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>ANTECEDENTES</b>	1
1.1 Energías renovables y cambio climático	1
1.2 Biomasa	4
1.2.1 Procesos de conversión de la biomasa	6
1.3 Residuos sólidos urbanos (RSU)	7
1.3.1 Composición de los residuos	9
1.3.2 Problemas asociados con un mal manejo de los residuos	10
1.4 Gestión y manejo de los residuos sólidos	13
1.4.1 Tratamientos comunes para los RSU	14
1.4.2 Rellenos sanitarios	17
<b>CAPÍTULO 2</b>	21
<b>FUNDAMENTOS</b>	
2.1 Digestores	21
2.2 Experiencias internacionales y nacionales	26
2.3 Factores para el diseño y operación de una planta de biogás	27
2.4 Diseño de plantas de biogás	31
2.5 Pre-tratamientos para la digestión de residuos sólidos urbanos	38
2.5.1 Selección y separación previa	38
2.5.2 Trituración	41
2.5.3 Pre-tratamientos combinados	41
2.6 Uso de lodos digeridos	43
2.7 Purificación de biogás para su uso como combustible vehicular	49
2.8 Evaluación financiera de proyectos de inversión	58
2.9 Protocolo de Kioto	62
2.10 Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)	63
2.11 Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética	64
2.12 Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos	64
2.13 Normas Oficiales Mexicanas	65
2.14 Análisis ambiental de un proyecto	66
<b>CAPÍTULO 3</b>	67
<b>ESTUDIO DE CASO</b>	
3.1 Localización y descripción específica del sitio del proyecto	67
3.2 Elección del sitio para propuesta de planta de biogás	68
3.3 Metodología para el diseño de la planta de biogás	74
3.4 Procesos y tecnologías a emplear en la planta de biogás	75

<b>CAPÍTULO 4</b>	
DIMENSIONAMIENTO DE LOS PROCESOS Y MEMORIA DE CÁLCULO	77
4.1 Selección y separación de inorgánicos	77
4.2 Trituración de orgánicos	77
4.3 Dilución	77
4.4 Parámetros de digestión	81
4.5 Generación y adecuación de biogás	82
4.6 Sistema de calefacción	83
4.7 Sistema de generación de energía	86
4.8 Utilización del biogás como combustible vehicular	87
4.9 Uso de lodos digeridos como mejoradores de suelo	90
4.10 Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	97
4.11 Diseño y distribución de planta	100
<b>CAPÍTULO 5</b>	104
EVALUACIÓN Y RESULTADOS	
5.1 Pre-factibilidad técnica	104
5.2 Pe-factibilidad financiera	108
5.2.1 Inversión inicial fija	108
5.2.2 Inversión inicial diferida	110
5.2.3 Inversión circulante	110
5.2.4 Presupuestos de egresos	110
5.2.5 Presupuestos de ingresos	114
5.2.6 Estado de resultados	121
5.2.7 Tasa interna de retorno (TIR)	123
5.2.8 Tasa mínima de rendimiento atractiva (TMRA)	124
5.2.9 Valor presente neto	125
5.2.10 Periodo de recuperación de la inversión	125
5.2.11 Índice beneficio-costo	126
5.3 Pre-factibilidad ambiental	127
5.3.1 Reducción de gases de efecto invernadero	127
5.3.2 Reducción de la contaminación de mantos freáticos	128
5.3.3 Agua de riego	128
5.3.4 Reducción de riesgos sanitarios	129
5.3.5 Reciclaje	129
5.4 Pre-factibilidad social	129
5.4.1 Beneficios sociales	129
<b>CAPÍTULO 6</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
6.1 Conclusiones	130
6.2 Recomendaciones	131
<b>REFERENCIAS</b>	132

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Concentración atmosférica en partes por millón y partes por billón de los gases de efecto invernadero a través del tiempo	2
Figura 1.2	El efecto invernadero	2
Figura 1.3	Aumento de la temperatura anual promedio	3
Figura 1.4	Aumento del nivel del mar en Veracruz	4
Figura 1.5	Número de incendios forestales en México	4
Figura 1.6	Generación per cápita de residuos a nivel mundial	9
Figura 1.7	Generación de residuos sólidos urbanos por zona	10
Figura 1.8	Generación por tipo de residuos sólidos urbanos	11
Figura 1.9	Modelo de manejo integral de los residuos sólidos urbanos	13
Figura 1.10	Disposición de residuos en México	18
Figura 1.11	Preparación de un sitio de disposición	19
Figura 2.1	Etapas del proceso de tratamiento anaerobio	22
Figura 2.2	Clasificación general de los digestores	23
Figura 2.3	Digestor horizontal	24
Figura 2.4	Flujo esquemático de digestores para el tratamiento de desechos	25
Figura 2.5	Digestores completamente mezclados	25
Figura 2.6	Distribución de operaciones unitarias en un digestor de dos etapas	26
Figura 2.7	Variación de los principales parámetros del tratamiento anaerobio	28
Figura 2.8	Producción de biogás de diferentes sustratos	32
Figura 2.9	Producción de biogás en función de diferentes moléculas orgánicas	32
Figura 2.10	Personal en una planta de selección manual	39
Figura 2.11	Ejemplo de un trommel de dos etapas	40
Figura 2.12	Sistema BTA® de pre-tratamiento hidromecánico	42
Figura 2.13	Diagrama de proceso de tratamiento de ArrowBio®	43
Figura 2.14	Agua contenida en los lodos digeridos	44
Figura 2.15	Volumen de lodos vs contenido de humedad	45
Figura 2.16	Proceso general en una estación de depuración de aguas residuales	45
Figura 2.17	Zonas en un sedimentador	47
Figura 2.18	Esquema de filtro prensa	48
Figura 2.19	Esquema de un filtro banda convencional	49
Figura 2.20	Reducción de emisiones contaminantes respecto a la gasolina	51
Figura 2.21	Comparación de emisiones de diferentes biocombustibles	52

Figura 2.22	Rendimiento por Ha de diferentes biocombustibles	53
Figura 2.23	Esquema de una estación de llenado rápido	54
Figura 2.24	Tráiler para transportar bancos de gas natural	56
Figura 2.25	Componentes de un sistema de conversión a metano	58
Figura 3.1	Temperatura mínima, promedio y máxima de Veracruz	68
Figura 3.2	Variación de la temperatura de siete días en Veracruz	69
Figura 3.3	Imagen satelital Puerto de Veracruz con mercados	72
Figura 3.4	Ubicación de los mercados del Puerto de Veracruz en un plano cartesiano	72
Figura 3.5	Representación de la distancia como la magnitud de un vector	73
Figura 3.6	Ubicación de planta de biogás	74
Figura 3.7	Terreno para la ubicación de la planta de biogás en Veracruz	74
Figura 3.8	Diagrama de proceso propuesto para la planta de biogás	76
Figura 4.1	Modelo de aislamiento térmico de digester	84
Figura 4.2	Módulos de almacenamiento de gas natural	88
Figura 4.3	Surtidor de gas natural	91
Figura 4.4	Envasadora electrónica para granulados	97
Figura 4.5	Propuesta para la distribución de la planta de biogás	103
Figura 5.1	Antorchas para la quema de biogás	106
Figura 5.2	Estructura de costos de la planta de biogás	114
Figura 5.3	Ingresos promedio por la venta de reciclables	116
Figura 5.4	Ingresos por la venta de gas metano comprimido	116
Figura 5.5	Incremento del precio del petróleo en los próximos años	117
Figura 5.6	Tipo de cambio proyectado para los próximos años	117
Figura 5.7	Incremento porcentual en el precio de los fertilizantes químicos	117
Figura 5.8	Ingresos por la venta de fertilizante	118
Figura 5.9	Ingreso por la venta de certificados de reducción de emisiones	119
Figura 5.10	Ingresos totales generados por el proyecto	120
Figura 5.11	Generación de ingresos por tipo	120
Figura 5.12	Porcentaje que representa la utilidad bruta	122
Figura 5.13	Porcentaje que representa la utilidad antes de impuestos	122
Figura 5.14	Porcentaje que representa la utilidad neta	122
Figura 5.15	Flujos netos de efectivo del proyecto	124
Figura 5.16	Flujo neto acumulado a valor presente	126

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Problemas asociados a la falta de manejo de los residuos sólidos	11
Tabla 1.2	Enfermedades provocadas por la fauna nociva de los residuos	12
Tabla 2.1	Valores mínimos de parámetros físicos y químicos para la degradación anaerobia de desechos sólidos municipales	29
Tabla 2.2	Carga de los residuos líquidos de diversos procesos de la industria de hortalizas	30
Tabla 2.3	Carga de los residuos líquidos de diversos procesos de la industria de frutas	30
Tabla 2.4	Producción de biogás de diferentes tipos de biomasa	34
Tabla 2.5	Producción de biogás y metano de varios sustratos a un tiempo de retención de 20 días y una temperatura de 30°C	35
Tabla 2.6	Producción de biogás y gas metano de diferentes co-sustratos	36
Tabla 2.7	Producción de biogás de varios tipos de biomasa	37
Tabla 2.8	Coefficiente de distribución de varios componentes del biogás	38
Tabla 3.1	Resultado de la elección de lugar para la ubicación de la planta	71
Tabla 4.1	Algunos valores típicos de conductividad térmica (k)	85
Tabla 4.2	Requerimientos energéticos de equipos necesarios para la planta	86
Tabla 4.3	Módulos de cogeneración con motor PASCH a biogás	86
Tabla 4.4	Características técnicas de equipos de compresión para gas natural	88
Tabla 4.5	Concentraciones máximas permisibles en espesadores de diferentes tipos de lodos	92
Tabla 4.6	Dimensiones de filtros-prensa más comunes	95
Tabla 4.7	Dimensiones generales de filtros banda para diferentes lodos	95
Tabla 4.8	Emisión de CO <sub>2</sub> por tipo de vehículo	99
Tabla 5.1	Características del sustrato	104
Tabla 5.2	Potencial de los residuos para generar biogás	104
Tabla 5.3	Parámetros para el proceso	104
Tabla 5.4	Resumen de las dimensiones del digestor	105
Tabla 5.5	Resumen de las dimensiones del tanque de alimentación	105
Tabla 5.6	Producción diaria de biogás	105
Tabla 5.7	Alternativa para el almacenamiento antes de la purificación	105
Tabla 5.8	Consideraciones para la purificación	106
Tabla 5.9	Energía térmica necesaria para el proceso	106
Tabla 5.10	Producción de energía eléctrica a partir de la planta de biogás	107
Tabla 5.11	Acondicionamiento de lodos	107
Tabla 5.12	Primera parte de los activos fijos necesarios en planta	108
Tabla 5.13	Segunda parte de los activos fijos necesarios en planta	109
Tabla 5.14	Activos diferidos para la ejecución del proyecto	110
Tabla 5.15	Costos de mano de obra	111
Tabla 5.16	Insumos necesarios para el proceso de digestión y empaque	112
Tabla 5.17	Parte 1 Mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones	112
Tabla 5.18	Parte 2 Mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones	113
Tabla 5.19	Costos fijos de la planta por tipo	113
Tabla 5.20	Crecimiento de la producción para los primeros 5 años de operación	115
Tabla 5.21	Precios de los principales materiales reciclables	115
Tabla 5.22	Precios de los principales abonos orgánicos	118
Tabla 5.23	Estado de resultados para el primer año de operación	121
Tabla 5.24	Primera parte del estado de flujo de efectivo	123
Tabla 5.25	Segunda parte del estado de flujo de efectivo	124
Tabla 5.26	Determinación del costo de capital esperado para el proyecto	125
Tabla 5.27	Datos para la presentación del proyecto MDL	127

## NOMENCLATURA

BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos
BEI	Banco Europeo de Inversiones
CC	Caballos Caldera
CER	Certificado de Reducción de Emisiones
CFC	Cloro Fluoro Carbonos
CICC	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COV	Carga Orgánica Volumétrica
CPPC	Costo Promedio Ponderado de Capital
CRE.	Comisión Reguladora de Energía
CONAGUA-	Comisión Nacional del Agua
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DIS	Diagnóstico Integral de la Situación Actual
DQO-	Demanda Química de Oxígeno
EIM	Evaluación del Impacto Medioambiental
EOD	Entidades Operativas Designadas
FODA	Fortalezas Oportunidades Debilidades y Amenazas
GMCV	Gas Metano Comprimido Vehicular
GEI	Gas de Efecto Invernadero
GN	Gas Natural
HFC	Hidro Fluoro Carbonos
HP	Horse Power (Caballos de Fuerza)
IC	Implementación Conjunta
INE.	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INPC	Índice Nacional de Precios al Consumidor
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MH	Masa Húmeda
MS.	Masa Seca
MV	Masa Volátil
NOM	Norma Oficial Mexicana
PPS	Proyecto para la Prestación de Servicios
PTU	Participación de los Trabajadores en las Utilidades
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
TIIE	Tasa de Interbancaria de Interés de Equilibrio
TIR	Tasa Interna de Retorno
VPN	Valor Presente Neto