



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DESTRUCCIÓN DE
METANO EN UNA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA
EN EL MARCO DEL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

Edgar Alejandro Mena Monzón

Asesorado por el Ing. Ronal Adolfo Herrera Orozco

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DESTRUCCIÓN DE
METANO EN UNA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA
EN EL MARCO DEL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDGAR ALEJANDRO MENA MONZÓN
ASESORADO POR EL ING. RONAL ADOLFO HERRERA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Enríquez
EXAMINADOR	Ing. Edgar Adolfo Reynoso Enríquez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DESTRUCCIÓN DE
METANO EN UNA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA
EN EL MARCO DEL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha agosto de 2010



Edgar Alejandro Mena Monzón

Guatemala, 12 de septiembre de 2011

Ingeniero Williams Álvarez
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado ingeniero Álvarez,

Por este medio apruebo el informe final de trabajo de graduación del estudiante Edgar Alejandro Mena Monzón, carné No. 9616698, con el título "CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DESTRUCCIÓN DE METANO EN UNA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA EN EL MARCO DEL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO",

Sin otro particular me despido.

RONAL ADOLFO HERRERA OROZCO
INGENIERO QUIMICO
COL. 781



Ing. Ronal Adolfo Herrera Orozco
Colegiado numero 781



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 18 de noviembre 2011
Ref.EIQ.TG.297.2011

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-272-2011-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario, **Edgar Alejandro Mena Monzón**, identificado con carné No. 1996-16698, titulado: "CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DESTRUCCIÓN DE METANO EN UNA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA EN EL MARCO DEL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO", el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico **Ronal Herrera**.

Habiendo encontrado el referido informe final satisfactorio, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Mena Monzón**, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODO"



Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.225.2012

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **EDGAR ALEJANDRO MENA MONZÓN** titulado: "**CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DESTRUCCIÓN DE METANO EN UNA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA EN EL MARCO DEL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**".
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, Noviembre de 2012

Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 074 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DESTRUCCIÓN DE METANO EN UNA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA EN EL MARCO DEL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO**, presentado por el estudiante universitario: **Edgar Alejandro Mena Monzón**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 12 de febrero de 2013

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Creador y dador de la vida.
Mis padres	Edgar Mena y Melida de Mena. Por su apoyo durante toda mi vida y carrera.
Mi esposa	Silvia Galicia de Mena. Por su amor y apoyo.
Mi hija	Silvia Marisol. Tu llegada me dio el último impulso que necesitaba.
Mis hermanas	Paola y Wendy. Por ser tan buenas hermanas.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala Por abrir sus puertas.

Facultad de Ingeniería Por los conocimientos transmitidos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTADO DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Definiciones de Mecanismo de Desarrollo Limpio.....	3
2.1.1. El Mecanismo de Desarrollo Limpio o Mecanismos para un Desarrollo Limpio (MDL).....	3
2.1.2. El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL): un instrumento de flexibilidad del Protocolo de Kioto.....	4
2.2. Condiciones fundamentales de elegibilidad de los proyectos MDL.....	6
2.2.1. Reducciones de emisiones de GEI reales y medibles.....	6
2.2.2. Reducciones de emisiones de GEI adicionales...	6
2.2.3. Contribución al desarrollo sostenible del país anfitrión.....	8
2.3. Biodigestores y biogás.....	8
2.3.1. ¿Qué es el biogás?.....	9

2.3.2.	Biogás y el ciclo global del carbón.....	9
2.3.3.	Biología de la producción de metano.....	9
2.3.4.	Substratos para la producción de biogás.....	10
2.4.	Composición y propiedades del biogás.....	10
2.5.	Utilización.....	11
2.6.	Beneficios de la tecnología del biogás.....	12
2.7.	Motores de gas tipo 3.....	13
2.7.1.	Rendimiento, durabilidad, fiabilidad	13
2.7.2.	Características y ventajas.....	14
2.8.	Biogás y gases de vertedero.....	16
2.8.1.	Captación de la energía de los gases residuales y de vertedero.....	16
2.8.2.	Gas residual.....	16
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
3.1.	Variables.....	19
3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	19
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	20
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	20
3.5.	Técnica cualitativa.....	20
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	21
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	21
3.8.	Análisis estadístico.....	21
4.	RESULTADOS.....	23
4.1.	Pasos para la adopción del modelo de proyecto.....	23
4.1.1.	El proceso de decisión del proyecto.....	23

4.1.1.1.	Paso cero, decisión de la Junta Directiva.....	23
4.1.1.2.	Búsqueda del financiamiento del proyecto.....	24
4.1.1.3.	El estudio de factibilidad.....	25
4.1.2.	Diseño del proyecto.....	26
4.1.2.1.	Recopilación de información del efluente y lagunas.....	26
4.1.2.2.	Invitación a diseñadores del sistema.....	27
4.1.2.3.	Decisión sobre el diseño.....	27
4.1.2.4.	La firma del contrato.....	28
4.1.3.	División de los trabajos.....	29
4.1.3.1.	Cronograma de construcción del Proyecto de destrucción de metano en la planta extractora de aceite de palma africana de Tecún Umán, San Marcos.....	29
4.1.3.2.	Detalle de los pasos necesarios para el registro y certificación del proyecto ante la Junta Ejecutiva de las Naciones Unidas de la Convención Marco para el Cambio Climático (UNFCCC).....	32
4.1.3.2.1.	Diseño.....	32
4.1.3.2.2.	Aprobación nacional...	33
4.1.3.2.3.	Validación.....	34
4.1.3.2.4.	Registro.....	34
4.1.3.2.5.	Monitoreo.....	34

4.1.3.2.6.	Verificación y certificación.....	34
4.1.3.2.7.	Otorgamiento.....	35
4.2.	Detalle fotográfico del proceso de construcción del proyecto.....	35
4.3.	Determinación de la aplicabilidad al mecanismo de desarrollo limpio para obtención de reducción de emisiones certificada (adicionalidad del proyecto).....	52
4.4.	Diagrama del proceso para construcción del proyecto.....	61
4.5.	Criterios técnicos para la selección de los materiales de construcción.....	64
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	67
5.1.	Proceso de construcción del proyecto.....	67
5.2.	Determinación de la aplicabilidad del mecanismo de desarrollo limpio para obtención de reducción de emisiones certificada (adicionalidad del proyecto).....	68
5.3.	Diagrama de construcción.....	69
5.4.	Criterios técnicos para la selección de los materiales de construcción.....	70
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES.....	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	77
	APÉNDICES.....	79
	ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Doble objetivo de los proyectos MDL	5
2.	Esquematación para determinar el volumen de reducción de emisiones (escenario sin proyecto y con proyecto).....	7
3.	Sistema típico de biogás	12
4.	Motor de generación eléctrica a partir de biogás	15
5.	Ejemplo de arreglo de sistema de generación con biogás.....	17
6.	Diagrama de tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	22
7.	Cronograma de construcción	30
8.	Inicio del movimiento de tierras	36
9.	Trabajos interrumpidos por la lluvia	36
10.	Construcción de talud.....	37
11.	Construcción de drenaje francés	37
12.	Remoción de piedras y raíces.....	38
13.	Preparación de superficie para geotextil	38
14.	Geotextil instalado.....	39
15.	Pegado de geomembrana	39
16.	Colocación de anclaje con concreto	40
17.	Compactación de tierra sobre anclaje	40
18.	Nivelación y limpieza	41
19.	Siembra de grama en talud exterior	41
20.	Descarga de tuberías de HDPE	42
21.	Rollos de geomembrana para cubierta	42

22.	Instalación de tubería de extracción de lodos	43
23.	Control de calidad de sellos de tuberías	43
24.	Bombeo de lodos de lagunas existentes.....	44
25.	Lagunas existentes vacías.....	44
26.	Excavación para cimentación de biofiltros	45
27.	Llegada de generadores	45
28.	Tubería de entrada de afluente y tubería de recolección de biogás colocadas.....	46
29.	Construcción de edificio para generadores.....	46
30.	Instalación de cubierta en biodigestor 1	47
31.	Instalación de geotextil en biodigestor 2	47
32.	Biodigestor 1 concluido	48
33.	Quemador temporal	48
34.	Instalación de torre de enfriamiento	49
35.	Instalación de bomba de recirculación.....	49
36.	Equipos de los biofiltros	50
37.	Quemador.....	50
38.	Torre de enfriamiento	51
39.	Biofiltros instalados, edificio de generadores terminado	51
40.	Biodigestores 1 y 2 terminados.....	52
41.	Diagrama de proceso de construcción	62

TABLAS

I.	Especificaciones técnicas de motor de generación.....	15
II.	Alternativas reales y creíbles para la actividad del proyecto.....	53
III.	Consistencia con las leyes y regulaciones.....	55
IV.	Calculo de TIR	58
V.	Análisis de sensibilidad.....	59

VI.	Criterios técnicos para selección de materiales de construcción .. de liner y cover.....	65
-----	---	----

LISTADO DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
US\$	Dólares de los Estados Unidos de América
°	Grados
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
kg	Kilogramo
Kw	Kilowatt
KWh	Kilowatt-hora
MWh	Mega watt-hora
mm	Milímetro
O&M	Operación y mantenimiento
pvc	Poli cloruro de vinilo
%	Porcentaje
rpm	Revoluciones por minuto
Vol.	Volumen

GLOSARIO

Biodigestor	Sistema natural o espacio confinado que aprovecha la digestión anaerobia para generar biogás.
Biofiltro	Equipos diseñados para remover valiéndose de medios biológicos el contenido de gases no deseados como por ejemplo el sulfuro de hidrógeno en un sistema de combustión de biogás rico en metano para generación eléctrica.
Biorreactor	Es lo mismo que un biodigestor.
Biogás	Gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire).
CER	Certificado de reducción de emisión. Es el documento que se otorga para hacer constar que una entidad operacional designada ha verificado la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.
Cover	Utilizado indistintamente para referirse al aislamiento superior colocado a un biodigestor.

DNA	Autoridad Nacional Designada. Es el ente nombrado por el gobierno del país participante para dar fe de la autenticidad de los proyectos de mecanismo de desarrollo limpio.
DOE	Entidad operacional designada. Entidad independiente que evalúa el cumplimiento de los requisitos del mecanismo de desarrollo limpio por parte de un proyecto registrado.
GEI	Gases de efecto invernadero
Geomembrana	Material sintético utilizado para aislar el fondo de un biodigestor y también para cubrir el mismo con el fin de capturar el biogás producido en su interior.
Geotextil	Material sintético utilizado para brindar protección a la geomembrana de cualquier material punzante que pudiera encontrarse en toda el área de contacto con el suelo.
HDPE	Polietileno de alta densidad
Línea base	Escenario referencial hipotético de lo que sucede en ausencia de un proyecto.
Liner	Se usa indistintamente para referirse al aislamiento de la parte inferior de un biodigestor.

MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio.
PDD	Documento de diseño de proyecto. Documento que se presenta a la Junta Ejecutiva de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático que tiene por objeto demostrar la adicionalidad de las reducciones de emisiones de GEI, como también la inviabilidad del proyecto en ausencia de los CERs.
TIR	Tasa Interna de Retorno
UNFCCC	Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático
UNFCCCCEB	Junta Ejecutiva de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático

RESUMEN

Con el objetivo de transmitir los conocimientos adquiridos, por la experiencia de haber participado en la construcción de un sistema de captación y quema de metano en una extractora de aceite de palma africana, se llevó a cabo el presente trabajo de graduación.

Dado que dicho sistema se registró ante la Junta Ejecutiva de la Convención Marco para el Cambio Climático de las Naciones Unidas, para ser generador de certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en el marco del mecanismo de desarrollo limpio del protocolo de Kioto, se construyó un modelo basado en el mismo, para la adopción de sistemas similares, pues el incremento de este tipo de sistemas permite lograr beneficios en materia ambiental, captar inversión extranjera y recibir transferencia de nuevas tecnologías.

Para facilitar la comprensión de lo realizado en la extractora de aceite de palma africana, se presentan las fotografías del proceso desde el estado inicial de las lagunas de oxidación hasta la finalización de los biodigestores y el sistema de generación eléctrica a partir del biogás. Se presenta también un diagrama que permite visualizar de manera gráfica los pasos necesarios para la puesta en marcha del sistema.

Las fuentes de referencia para los fundamentos teóricos se tomaron de internet, porque por ser el mecanismo de desarrollo limpio un tema sin difusión en Guatemala, no existen aún fuentes bibliográficas disponibles.

OBJETIVOS

General

Diseñar e implementar un proyecto de mecanismo de desarrollo limpio en el efluente de una extractora de aceite de palma africana.

Específicos

1. Describir los pasos necesarios para la adopción del modelo presentado de proyecto de mecanismo de desarrollo limpio.
2. Evaluar el mecanismo utilizado para determinar la aplicabilidad del proyecto a los certificados de reducción de emisiones.
3. Diseñar un diagrama del proceso seguido en la extractora de aceite de palma africana desde la toma de decisión hasta la puesta en marcha del proyecto.
4. Seleccionar los criterios técnicos utilizados para la selección del diseño del proyecto y los materiales utilizados en su construcción.

INTRODUCCIÓN

El Mecanismo de Desarrollo Limpio es un acuerdo suscrito en el Protocolo de Kioto establecido en su artículo 12 (ver anexo I), que permite a los gobiernos de los países industrializados y a sus empresas suscribir acuerdos para cumplir con metas de reducción de gases de efecto invernadero en el primer período de compromiso comprendido entre 2008 – 2012, invirtiendo en proyectos de reducción de emisiones en países en vías de desarrollo como una alternativa para adquirir reducciones certificadas de emisiones a menores costos que en sus mercados.

Guatemala ratificó el Protocolo de Kioto, por tanto su gobierno y empresas pueden ya suscribir estos acuerdos de venta de reducciones certificadas, lo cual realizó la planta extractora de aceite de palma africana localizada en el municipio de Ayutla, departamento de San Marcos, con su proyecto de generación eléctrica a partir del biogás rico en metano generado en sus lagunas de oxidación de aguas residuales.

Dicho proyecto generará durante los siguientes 21 años, a partir de su entrada en vigencia ante la Organización de las Naciones Unidas, 37 000 reducciones certificadas de emisiones anualmente, las cuales venderá para obtener ingresos que permitan recuperar la inversión realizada en la construcción del proyecto, además de beneficiar el medio ambiente y al país por medio de la sustitución de uso de un combustible fósil no renovable, utilizado actualmente para la generación de electricidad por una fuente renovable que es el biogás.

En el trabajo de graduación que se realizó se explica detalladamente qué es el mecanismo de desarrollo limpio, los pasos necesarios para realizar un proyecto de este tipo y se elaboró un modelo a partir del proyecto realizado en la extractora de aceite de palma africana. La importancia de esto radica en que en Guatemala existen solo 25 proyectos de mecanismo de desarrollo limpio registrados (ver anexo II), de los cuales están la mayoría en proceso de aprobación. Además es importante que se da a conocer la tecnología de generación eléctrica a partir de biogás la cual es casi desconocida en Guatemala.

1. ANTECEDENTES

La corporación propietaria de la extractora de aceite de palma africana en donde se construyó el sistema para recuperación y quema de metano, mantiene comunicación e intercambio de información con todas las extractoras de la región centroamericana, y fue así como se enteró que en la planta extractora ubicada en Yoro, Honduras, se inició en 2006 el proceso de construcción de un sistema similar.

Luego otra compañía que posee una planta extractora de aceite de palma ubicada en el municipio de Morales, Izabal, inició en 2007, la construcción de un sistema del mismo tipo, al cual se tuvo acceso, por ende más adelante del mismo año, se estudia el anteproyecto para la construcción del sistema aprovechando la oportunidad de obtener un financiamiento externo, seleccionándose entre las 5 plantas extractoras de la corporación, la ubicada en Ayutla, San Marcos, por tener la posibilidad de aprovechar la electricidad generada en las plantaciones aledañas de banano, para sustituir motores diesel de las bombas de riego por motores eléctricos.

Finalmente en 2008, se establece contacto con una compañía de inversión en materia ambiental, con sede en Suiza, la cual se convierte en el financista del proyecto y a la vez aporta al personal especializado en la implementación de proyectos de mecanismo de desarrollo limpio, quienes transmitieron su experiencia al personal designado por la corporación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Definiciones de Mecanismo de Desarrollo Limpio

Aunque existen varias definiciones de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), todas tienen la misma base y el mismo sentido. Se presentan a continuación algunas de estas definiciones.

2.1.1. El Mecanismo de Desarrollo Limpio o Mecanismos para un Desarrollo Limpio (MDL)

Es un acuerdo suscrito en el Protocolo de Kioto establecido en su artículo 12, que permite a los gobiernos de los países industrializados (también llamados países desarrollados o países del anexo 1 del Protocolo de Kioto) y a las empresas (personas naturales o jurídicas, entidades públicas o privadas) suscribir acuerdos para cumplir con metas de reducción de gases de efecto invernadero (GEI) en el primer período de compromiso comprendido entre el 2008 – 2012, invirtiendo en proyectos de reducción de emisiones en países en vías de desarrollo (también denominados países no incluidos en el anexo 1 del Protocolo de Kioto) como una alternativa para adquirir certificados de reducción de emisiones (CERs) a menores costos que en sus mercados.

En teoría, los MDL permiten una drástica reducción de costos para los países industrializados, al mismo tiempo que éstos se hacen de la misma reducción de emisiones que obtendrían sin los MDL. El MDL permite también la posibilidad de transferir tecnologías limpias a los países en desarrollo. Al invertir los gobiernos o las empresas en estos proyectos MDL reciben reducciones

certificadas de emisiones CERs (uno de los tres tipos de bonos de carbono) los cuales pueden adquirir a un menor costo que en sus mercados y simultáneamente logran completar las metas de reducciones a las que se han comprometido.

Existen dos posturas, aquellos que argumentan que se podrían dar reducciones menores con los MDL y que incluso se podría caer en prácticas insostenibles en el largo plazo. Aquellos a favor argumentan que el control por parte de un tercero sobre los monitoreos de las reducciones de emisiones solucionaría el problema.

“El MDL está regido por las Partes del Protocolo a través de la Junta Ejecutiva, y las reducciones deberán ser verificadas y certificadas por entidades operacionales designadas (DOE). También se exige la autorización de participación voluntaria y la constancia de contribución al desarrollo sostenible del país de acogida del proyecto por parte de la autoridad nacional designada (DNA), que para los efectos se trata generalmente del Ministerio o Secretaría de Ambiente correspondiente, quien a su vez puede establecer los trámites internos para su aprobación. Para obtener la certificación de las emisiones, las partes interesadas (país industrializado y país en desarrollo receptor del proyecto) deberán demostrar una reducción real, mensurable y prolongada en el tiempo de emisiones¹”.

2.1.2. El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL): un instrumento de flexibilidad del Protocolo de Kioto

El MDL está definido en el artículo 12 del Protocolo de Kioto, y se refiere a actividades de mitigación del cambio climático, entre los países industrializados o países anexo I y los países en desarrollo o países No-anexo I.

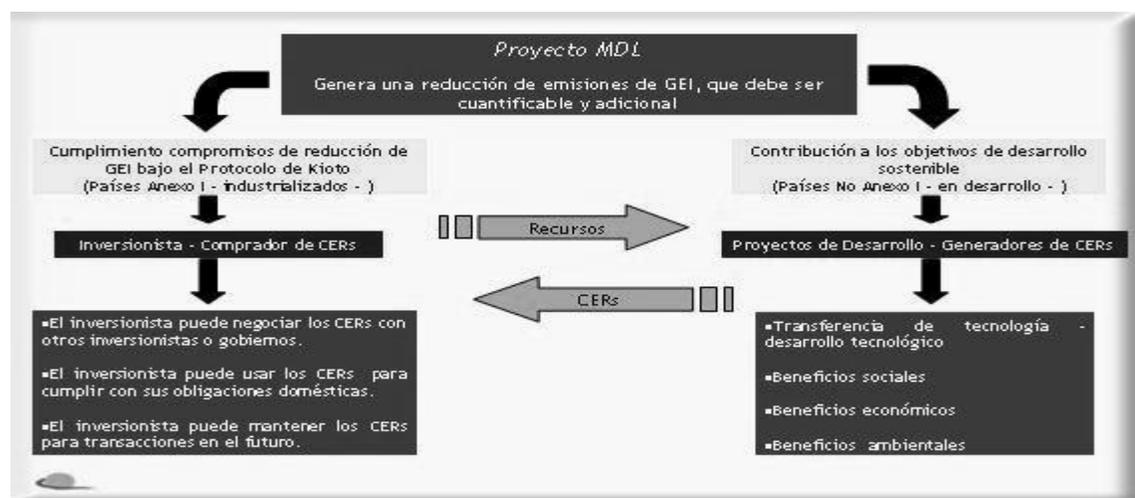
1. <http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm>. Consulta: 5 de agosto de 2009.

La idea fundamental del MDL parte del hecho de que los GEI que están ocasionando los trastornos climáticos, se distribuyen uniformemente en la atmósfera y por lo tanto la reducción y/o secuestro de estos gases en cualquier sitio del planeta produce el mismo efecto. Esta acción, permite a los países industrializados comprometidos en reducir las emisiones de GEI efectuar dichas reducciones mediante acciones, a través de proyectos, en los países en desarrollo donde los costos de reducción son inferiores a los costos equivalentes en los países industrializados.

Los objetivos del MDL son:

- Contribuir a la mitigación del cambio climático.
- Ayudar a los países industrializados en el cumplimiento de sus compromisos de reducción de GEI.
- Contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible de los países en desarrollo.

Figura 1. Doble objetivo de los proyectos MDL



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_de_desarrollo_limpio.

Consulta: 4 de agosto de 2009.

Condiciones de participación en el MDL

Para participar en el MDL, existen tres condiciones fundamentales que los países deben cumplir:

- La participación en el MDL debe ser voluntaria.
- El establecimiento de una autoridad nacional designada para el MDL (en Guatemala, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales).
- La ratificación del Protocolo de Kioto.

2.2. Condiciones fundamentales de elegibilidad de los proyectos MDL

Existe un número de condiciones que cualquier proyecto que desee aplicar al MDL, debe cumplir para ser elegible a recibir certificados de reducción de emisiones. Las condiciones fundamentales son las siguientes

2.2.1. Reducciones de emisiones de GEI reales y medibles

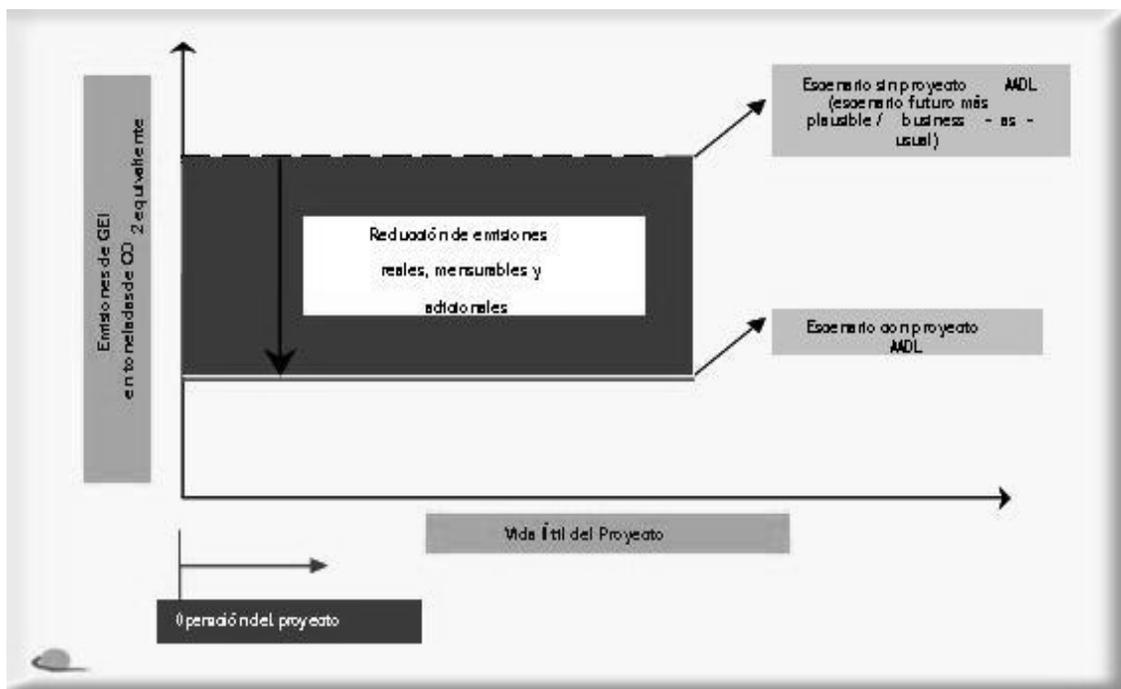
Los proyectos MDL deben generar reducciones / secuestro de emisiones de GEI que sean reales, medibles y a largo plazo, en un país en desarrollo con una delimitación que definirá el ámbito en el cual ocurrirá la reducción / secuestro.

2.2.2. Reducciones de emisiones de GEI adicionales

Para ser adicionales, las emisiones de GEI de un proyecto MDL, deben ser reducidas por debajo de las que habrían ocurrido en ausencia del proyecto MDL; de hecho, se debe demostrar que el proyecto no habría sido implementado en ausencia del MDL.

Las reducciones adicionales de GEI serán calculadas en relación con un escenario referencial hipotético / más plausible / sin proyecto, definido como línea base.

Figura 2. **Esquematización para determinar el volumen de reducción de emisiones (escenario sin proyecto y con proyecto)**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_de_desarrollo_limpio.

Consulta: 4 de agosto de 2009.

La figura 2 esquematiza un caso hipotético de reducción de emisiones gracias a la implementación de un proyecto MDL, en la misma se presenta una comparación del escenario referencial o línea base, sin proyecto, versus el escenario con proyecto. El espacio contenido entre los dos escenarios sería el volumen de reducción de emisiones que estaría sujeto a transacción.

2.2.3. Contribución al desarrollo sostenible del país anfitrión

“El protocolo especifica que el propósito del MDL es la contribución al desarrollo sostenible de las partes No – Anexo I. No existe una guía común / única para establecer criterios de desarrollo sostenible, por lo que dichos criterios son materia de soberanía del gobierno del país anfitrión de proyectos MDL. Sin embargo, el análisis podría partir de:

- Criterios sociales: el proyecto mejora la calidad de vida, disminuye la pobreza y aumenta la equidad.
- Criterios económicos: el proyecto proporciona créditos a las entidades locales, resulta en un impacto positivo sobre la balanza de pagos y genera transferencia de tecnología.
- Criterios ambientales: el proyecto además de reducir las emisiones de GEI y la utilización de combustibles fósiles, preserva los recursos locales, reduce la presión sobre los ambientes locales, procura salud y otros beneficios ambientales, y genera políticas ambientales y energéticas²”.

2.3. Biodigestores y biogás

Para comprender mejor el trabajo, se hace necesario conocer los conceptos relacionados a los elementos que conforman el proyecto construido, los cuales se presentan a continuación.

2. <http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm>. Consulta: 5 de agosto de 2009.

2.3.1. ¿Qué es el biogás?

“El biogás es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire). La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. Este proceso que genera biogás es una fuente de energía renovable³”.

2.3.2. Biogás y el ciclo global del carbón

“Cada año, la actividad microbiana libera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano a la atmósfera. Cerca del 90 por ciento del metano emitido proviene de la descomposición de biomasa. El resto es de origen fósil, o sea relacionado con proceso petroquímico. La concentración de metano en la atmósfera en el hemisferio norte es cerca de 1,65 partes por millón⁴”.

2.3.3. Biología de la producción de metano

Para diseñar, construir y operar plantas de biogás (llamadas biodigestores) es necesario conocer los procesos fundamentales involucrados en la fermentación del metano. La fermentación anaeróbica involucra la actividad de tres diferentes comunidades bacterianas. El proceso de producción de biogás depende de varios parámetros que afectan la actividad bacteriana, como por ejemplo la temperatura.

3. <http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm>. Consulta: 5 de agosto de 2009.

4. Ibid.

2.3.4. Substratos para la producción de biogás

El sustrato es el material de partida en la producción de biogás. En principio, todos los materiales orgánicos se pueden fermentar o ser digeridos. Sin embargo, sólo algunos pueden ser utilizados como sustratos en plantas de producción sencillas. Excremento y orina de vacas, cerdos y posiblemente aves de corral son algunos ejemplos. A veces, también pueden usarse los desperdicios de las plantas de producción de alimentos. Cuando se llena una planta de biogás, el excremento sólido debe diluirse con aproximadamente la misma cantidad de líquido, en lo posible orina. La máxima producción de gas que se puede conseguir a partir de una cantidad dada de materia prima depende del sustrato que se utilice.

2.4. Composición y propiedades del biogás

El biogás es una mezcla de gases compuesta principalmente de:

- metano (CH_4): 40-70% del volumen
- dióxido de carbono (CO_2): 30-60 vol. %
- otros gases: 1-5 vol. % incluyendo
- hidrógeno (H_2): 0-1 vol. %
- sulfuro de hidrógeno (H_2S): 0-3 vol. %

Como en cualquier otro gas, algunas de las propiedades características del biogás dependen de la presión y la temperatura. También son afectadas por el contenido de humedad. Los factores más importantes para caracterizar el biogás son los siguientes:

- Cómo cambia el volumen cuando cambian la presión y la temperatura.

- Cómo cambia el valor calorífico cuando cambian la temperatura, presión y/o contenido de agua.
- Cómo cambia el contenido de vapor de agua cuando cambian la temperatura y/o la presión.

“El valor calorífico del biogás es cerca de 6 kilowatt-hora por metro cúbico. Es decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a aproximadamente medio litro de combustible diesel⁵”.

2.5. Utilización

La historia de la utilización del biogás muestra desarrollos independientes en varios países desarrollados e industrializados.

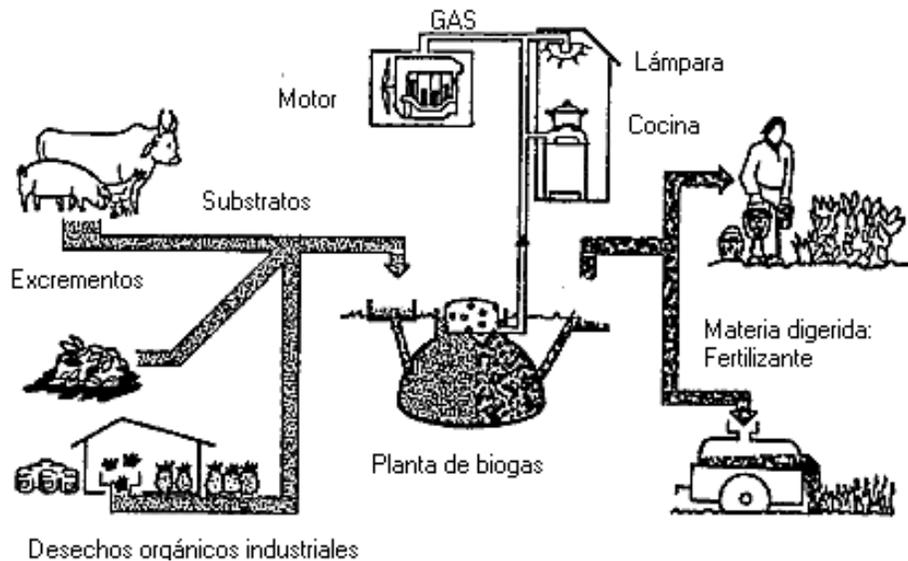
“Normalmente, el biogás producido por un biodigestor puede utilizarse directamente como cualquier otro gas combustible. Sin embargo, es posible que su utilización requiera a veces procesos que, por ejemplo, reduzcan el contenido de sulfuro de hidrógeno. Cuando el biogás se mezcla con aire en una proporción 1 a 20, se forma una mezcla altamente explosiva. Por lo tanto, las pérdidas de las cañerías en espacios cerrados constituyen un peligro potencial⁶”.

La figura 3 muestra como diferentes tipos de substratos pueden ser utilizados para alimentar un biodigestor utilizado como fuente biogás para calefacción e iluminación en un hogar, y como fuente de abono orgánico.

5. <http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm>. Consulta: 5 de agosto de 2009.

6. Ibid.

Figura 3. Sistema típico de biogás



Fuente: <http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm>.

Consulta: 4 de agosto de 2009.

2.6. Beneficios de la tecnología del biogás

Los sistemas de biogás pueden proveer beneficios a sus usuarios, a la sociedad y al medio ambiente en general:

- Producción de energía (calor, luz, electricidad).
- Transformación de desechos orgánicos en fertilizante de alta calidad.
- Mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas.
- Reducción en la cantidad de trabajo relacionado con la recolección de leña para cocinar (principalmente llevado a cabo por mujeres).
- Ventajas ambientales a través de la protección del suelo, del agua, del aire y la vegetación leñosa, reducción de la deforestación.

- Beneficios microeconómicos a través de la sustitución de energía y fertilizantes, del aumento en los ingresos y del aumento en la producción agrícola-ganadera.
- Beneficios macroeconómicos a través de la generación descentralizada de energía, reducción en los costos de importación y protección ambiental.

“Por lo tanto, la tecnología del biogás puede contribuir sustancialmente a la conservación y el desarrollo. Sin embargo, el monto de dinero requerido para la instalación de las plantas puede ser en muchos casos prohibitivo para la población rural. Por ello, se deben concentrar los esfuerzos en desarrollar sistemas más baratos y en proveer a los interesados de créditos u otras formas de financiación. El financiamiento del gobierno podría verse como una inversión para reducir gastos futuros relacionados con la importación de derivados del petróleo y fertilizantes inorgánicos, con la degradación del medio ambiente, y con la salud y la higiene⁷”.

2.7. Motores de gas tipo 3

Una parte esencial para hacer rentables los proyectos MDL de captura de biogás, es la tecnología que permite la generación de electricidad a partir de este biogás. A continuación las características de estos generadores.

2.7.1. Rendimiento, durabilidad, fiabilidad

Gracias a los intervalos de servicio largos, al diseño del motor de fácil mantenimiento y al bajo consumo de combustible, los motores de tipo 3 garantizan un rendimiento máximo. Los componentes optimizados prolongan la vida en servicio incluso al utilizar gases combustibles como el gas de

7. <http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm>. Consulta: 9 de agosto de 2009.

vertedero. Los motores de tipo 3 destacan en su gama de potencia de 500 a 1 100 kilowatt gracias a su madurez técnica y alto grado de fiabilidad.

2.7.2. Características y ventajas

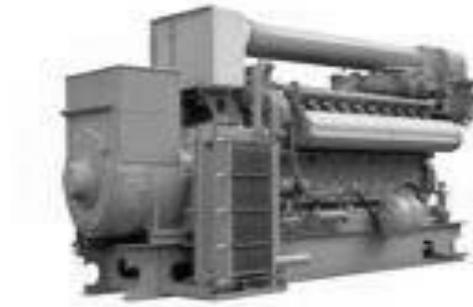
Se realizó una selección entre tres marcas de motores de generación disponibles en el mercado, tomando en cuenta sus características y ventajas, siendo el precio un factor no determinante. Cabe mencionar que aunque está disponible en construcción en contenedor, se optó por la construcción fuera de contenedor por ahorrar esta decisión 2 meses de tiempo de entrega. A continuación se describen las características y ventajas del motor seleccionado.

- “El turbocompresor garantiza una mezcla homogénea a presiones de gas bajas.
- Gran flexibilidad gracias a la refrigeración de la mezcla de dos etapas.
- El turbo *bypass* compensa las condiciones de funcionamiento extremas.
- Bujía de encendido de gran durabilidad y alto rendimiento para un funcionamiento fiable.
- LEANOX® el control de mezcla pobre garantiza emisiones mínimas.
- La construcción compacta permite la instalación en contenedores de 40 pies⁸”.

La figura 4 y la tabla I muestran las características de estos motores de generación eléctrica a partir de biogás.

8. http://www.ge-energy.com/prod_serv/products/ recip_engines/es/type3.htm. Consulta 4 de agosto de 2009.

Figura 4. **Motor de generación eléctrica a partir de biogás**



Fuente: http://www.ge-energy.com/prod_serv/products/recip_engines/es/type3.htm.
 Consulta: 4 de agosto de 2009.

Tabla I. **Especificaciones técnicas de motor de generación**

Especificaciones técnicas del J 320 GS			
Número de cilindros / disposición:	20 / V 70°		
Combustión:	Sistema de mezcla pobre		
Diámetro interior:	5,3 pulgadas (135 mm)		
Recorrido:	6,7 pulgadas (170 mm)		
Velocidad:	1 500 / 1 800 rpm		
Dimensiones del grupo electrógeno (en mm):	5 200	(largo)	por por
	1 900	(ancho)	
	2 300	(alto)	
Peso:	24 912 libras (11 300 kg)		

Fuente: http://www.ge-energy.com/prod_serv/products/recip_engines/es/type3.htm.
 Consulta: 4 de agosto de 2009

2.8. Biogás y gases de vertedero

Otro elemento importante para la consecución de un proyecto exitoso, es contar con una fuente garantizada de biogás, a fin de hacer el proyecto sostenible en el tiempo. Entre las fuentes están las siguientes.

2.8.1. Captación de la energía de los gases residuales y de vertedero

La biomasa es una alternativa atractiva a los combustibles convencionales. La energía generada por estas fuentes de combustible de biomasa no produce emisiones de carbono y ayuda a reducir el efecto invernadero y a cumplir los objetivos del Protocolo de Kioto.

2.8.2 Gas residual

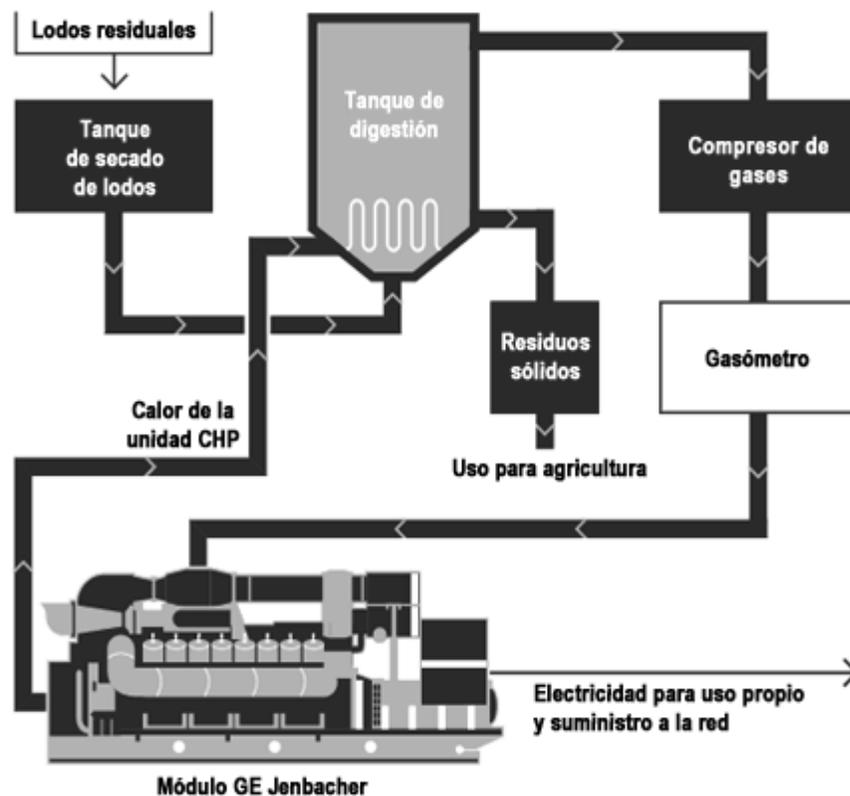
“La digestión anaeróbica de los lodos residuales incluye la fermentación del lodo en tanques a temperaturas de entre 90 y 93 grados Fahrenheit (de 32 a 34 grados Celsius) durante un período aproximado de 25 días. La energía térmica generada por una unidad combinada de calor y electricidad (CHP) precalienta los residuos y mantiene la temperatura del tanque digestor constante.

El biogás resultante está compuesto normalmente por un 50 a un 60 por ciento de metano, un 30 a un 40 por ciento de dióxido de carbono y pequeñas cantidades de residuos. El gas se comprime y purifica si contiene grandes cantidades de contaminantes y se almacena de forma temporal en un gasómetro desde el que se envía a una unidad CHP a una presión constante. Un motor de combustión transforma la energía almacenada en el biogás en

energía mecánica y térmica. Además impulsa un generador sincrónico que, a su vez, genera energía para el funcionamiento de la planta de tratamiento de residuos⁹.

La figura 5 muestra un ejemplo de cómo se puede configurar un sistema típico de generación eléctrica con biogás

Figura 5. **Ejemplo de arreglo de sistema de generación con biogás**



Fuente: http://www.ge-energy.com/prod_serv/products/ recip_engines/es/gas_types/biogas_landfill.htm.

Consulta: 5 de agosto de 2009.

9. http://www.cesefor.com/pub/Bioenergiaactiva/CATALOGO_WORKSHOP-08.pdf. Consulta: 5 de agosto de 2009.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables involucradas en el diseño y construcción del proyecto están divididas en variables dependientes y variables independientes. A continuación se detallan las mismas.

Variables independientes:

Presión, caudal, concentración de metano en el biogás.

Variables dependientes:

Temperatura del afluente a los biorreactores.

Temperatura de la llama en el quemador.

Materiales para el aislamiento del piso y la carpa.

3.2. Delimitación de campo de estudio

Se realizará una investigación de desarrollo e implementación de una tecnología de generación limpia a base de un combustible renovable en el efluente de una planta extractora de aceite de palma africana, donde se darán a conocer los criterios técnicos utilizados para la selección del diseño del proyecto, los materiales de construcción, y los equipos utilizados.

El trabajo se limita a la construcción del sistema y al tratamiento del efluente por lo que no incluye ningún tipo de información ni análisis del proceso de extracción del aceite ni del fruto de la palma africana.

3.3. Recursos humanos disponibles

Personas que participaron en la elaboración, asesoramiento, corrección y revisión del trabajo de graduación:

Ing. Ronal Herrera
Inga. Lisely De León
Ing. Williams Álvarez
Ing. César García
Inga. Casta Zeceña
Lic. Ingrid Benítez
Edgar Alejandro Mena

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos materiales utilizados para la elaboración del trabajo de graduación son los detallados a continuación.

- Cámara fotográfica digital
- Computadora portátil
- Impresora de inyección

3.5. Técnica cualitativa

Se realizará una investigación de desarrollo de un modelo para aplicación de una nueva tecnología, con un enfoque técnico, donde se utilizarán fuentes de información mixtas, es decir tanto fuentes primarias como secundarias.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para obtener la información necesaria se recurrirá a la memoria de labores, cronograma de ejecución y archivo fotográfico del proyecto.

Además se utilizará el Documento de Diseño de Proyecto (PDD) que fue presentado a la Junta Ejecutiva del Cambio Climático de las Naciones Unidas.

Información adicional que ayude a explicar lo referente a la construcción será obtenida de los planos de diseño.

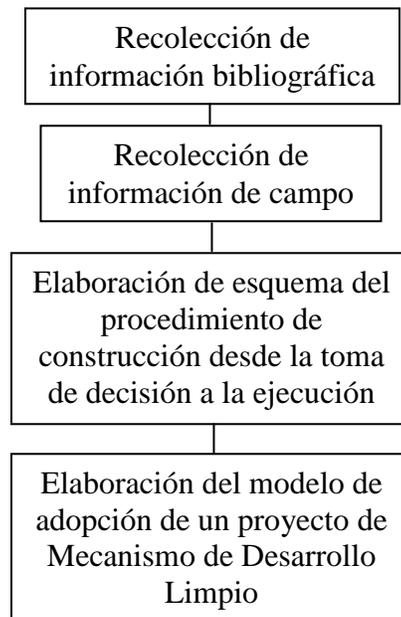
3.7 Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La figura 6 muestra un diagrama de flujo del proceso seguido para la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información bibliográfica y de campo necesaria para la elaboración del trabajo de graduación.

3.8 Análisis estadístico

Dada la naturaleza del trabajo de investigación elaborado, no fue necesario llevar a cabo ningún análisis estadístico relacionado con los resultados presentados.

Figura 6. **Diagrama de tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**



Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. Pasos para la adopción del modelo de proyecto

Se describe a continuación la serie de pasos para lograr el registro y certificación exitosos del proyecto construido. Los mismos pueden ser replicados por quien desee aplicar a un proyecto similar.

4.1.1. El proceso de decisión del proyecto

Existen pasos importantes que deben ser realizados previo a iniciar la construcción de cualquier proyecto que quiera ser registrado exitosamente, para ser acreedor de certificados de reducción de emisiones. Se detallan a continuación los realizados en el proyecto presentado en este trabajo.

4.1.1.1. Paso cero, decisión de la Junta Directiva

El primer paso necesario para que un proyecto privado pueda aplicar a los bonos de carbono otorgados dentro del marco regulatorio del mecanismo de desarrollo limpio del Protocolo de Kioto, es, que la Junta Directiva de la empresa que desarrollará el proyecto, manifieste la intención de la construcción del proyecto, y deje constancia por medio de un acta de asamblea de la Junta, que se considera el proyecto, que económicamente no es viable, y que la aplicación a los bonos de carbono constituiría la fuente de financiamiento necesaria para hacer el proyecto viable económicamente.

Esto fue lo que realizó la junta directiva de la empresa propietaria de la planta extractora de aceite de palma ubicada en Tecún Umán, San Marcos, en su sesión de fecha cinco de enero de dos mil ocho, donde se discutió la conveniencia de realizar un proyecto de captura de gas metano para generación de energía eléctrica, habiendo quedado aprobado por unanimidad.

Esta decisión debe quedar plasmada previo a iniciar cualquier tipo de trabajo en el sitio del proyecto, de lo contrario el proyecto deja de ser elegible para el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto.

La decisión del proyecto estudiado fue motivada al conocer los antecedentes de proyectos similares desarrollados en otras plantas extractoras de aceite de palma, particularmente una en Honduras y otra en Guatemala.

4.1.1.2. Búsqueda del financiamiento del proyecto

Hay varios métodos para lograr el financiamiento del proyecto, pues los bonos de carbono solo podrán ser otorgados y vendidos una vez el proyecto se encuentre en funcionamiento y haya sido validado y certificado por la UNFCCC. Una opción es que la empresa dueña del proyecto tenga por si misma la capacidad de financiar el proyecto y luego recuperar la inversión. Esto será cierto en muy pocos casos.

Otra opción, es que se busque una fuente de financiamiento externo, para lo cual existen ya en diferentes países desarrollados adscritos al Protocolo de Kioto, empresas o fondos específicos para financiar este tipo de proyectos. Incluso muchos de estos proporcionan también la asesoría técnica por medio de personal especializado en este campo, para todo el proceso desde el estudio

de pre factibilidad hasta el desarrollo y manejo del proyecto. Estas fuentes de financiamiento también pueden ser bancos privados locales o extranjeros.

El financiamiento también puede ser de forma mixta, donde la empresa dueña del proyecto aporta una parte del capital y un financista de los mencionados anteriormente aporta el resto. En el caso presentado, se utilizó este último método, habiendo aportado parte del capital la empresa dueña del proyecto y otra parte un fondo de inversión de origen suizo dedicado al financiamiento y asesoría para la construcción de proyectos de mecanismo de desarrollo limpio.

El financiamiento no puede provenir de fondos públicos del país donde se desarrolla el proyecto.

4.1.1.3. El estudio de factibilidad

Luego de haber tomado la decisión y haberse puesto en contacto con la empresa especializada en asesorar proyectos de mecanismo de desarrollo limpio, se procedió a realizar una evaluación de la fuente generadora del biogás: el afluente de aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma tratado en lagunas de oxidación artificiales construidas en las afueras de la planta extractora.

Las caracterizaciones fisicoquímicas del efluente de la planta extractora, permitieron realizar el cálculo de la cantidad estimada de biogás que el efluente tiene potencial de generar. Esto es la base para el cálculo de cuantos bonos de carbono tiene potencial de generar el proyecto y por lo tanto de cuánto dinero se puede obtener de la venta de dichos bonos.

La caracterización efectuada al efluente de la planta extractora de Tecún Umán, permitió determinar el gran potencial generador de biogás y por lo tanto la factibilidad de construir el proyecto.

4.1.2. Diseño del proyecto

Luego de haber realizado los pasos previos, se pasa a la fase de diseño del proyecto, la cual debe hacerse basado en datos técnicos y científicos, para lo cual será necesario contar con el apoyo de diversos especialistas.

4.1.2.1. Recopilación de información del efluente y lagunas

Para poder diseñar un sistema capaz de tratar eficientemente el efluente de la planta extractora de aceite de palma y obtener el máximo beneficio posible, se necesita conocer además de las características fisicoquímicas, el caudal del efluente que se genera durante todo el año, con sus variaciones estacionales, pues esto determinará el tamaño del sistema a construir. Para la caracterización del efluente y determinación del caudal se contrató a un laboratorio especializado.

El caudal fue medido en proporción a la cantidad de fruta de palma africana procesada, obteniéndose el resultado de 1,1 metros cúbicos por tonelada de fruta. Luego se revisaron los registros históricos de cantidad de fruta procesada en 2006 y 2007, encontrándose un patrón estacional en la cantidad de fruta procesada, pues esto depende de la producción en el campo, la cual es mayor en los meses de invierno que en los de verano.

Además fue necesario contar con los planos de las lagunas de oxidación del efluente existentes en aquel entonces. Para el efecto fue necesario el apoyo de personal técnico con las capacidades apropiadas.

4.1.2.2. Invitación a diseñadores del sistema

Cuando se tuvo lista toda la información pertinente, se procedió a invitar a varias empresas especializadas en diseño de sistemas de captura y quema de biogás a conocer el sitio del proyecto, en una visita guiada el 27 de mayo de 2008, donde les fue entregada la información recopilada y las bases para la presentación de su propuesta de diseño y construcción.

De las empresas invitadas, 6 aceptaron y se presentaron el día programado para la visita del sitio del proyecto. De esas 6, únicamente 4 manifestaron interés en presentar una propuesta. Se les dio como plazo el 20 de junio de 2008 para presentar su propuesta.

4.1.2.3. Decisión sobre el diseño

Luego de recibir todas las propuestas, se evaluaron, teniendo en cuenta criterios técnicos y prácticos, para evaluar no solo el diseño propuesto, sino la experiencia previa de las empresas proponentes y las garantías y respaldo con que cada uno contaba. Luego de un primer análisis, se escogieron únicamente dos propuestas y se realizó una comparación entre ambas evaluando sus puntos fuertes y débiles. En esta evaluación participaron los ingenieros de la empresa dueña del proyecto y los ingenieros de la empresa financiera del proyecto expertos en el tema de proyectos de mecanismo de desarrollo limpio y también en sistemas de captura y quema de biogás.

En esta fase inició la transferencia de conocimiento de los ingenieros extranjeros hacia los locales participantes en el proceso.

Finalmente, luego de la evaluación realizada, se escogió la propuesta de una empresa mexicana, filial de otra empresa de mucho mayor tamaño de origen estadounidense, la cual contaba con la experiencia de haber construido más de 300 biorreactores en granjas porcinas en México y Estados Unidos, y también de sistemas de captación y quema de biogás en rellenos sanitarios en los mismos países y en Sudamérica.

4.1.2.4. La firma del contrato

Luego de tomada la decisión, le fue notificada a la empresa a quien se le adjudicaron los trabajos, para afinar detalles en torno a las especificaciones requeridas por parte de los dueños del proyecto y los financistas.

Se elaboró una lista de todos los componentes y fases de la construcción y puesta en marcha, y hubo un acuerdo en cuanto a que la parte de obra civil, la construcción de la red de distribución eléctrica, la compra de los generadores a base de biogás y su instalación, serían realizados directamente por la empresa dueña del proyecto, con supervisión por parte del contratista para garantizar la calidad de los trabajos.

El resto de trabajos de construcción quedaron a cargo del contratista. Se acordó también que las autorizaciones legales necesarias para la realización del proyecto serían obtenidas por la empresa propietaria del mismo.

Finalmente los trámites y documentos necesarios para el registro y certificación del proyecto por parte de la UNFCCC, quedaron a cargo de los expertos designados por los financistas del proyecto.

4.1.3. División de los trabajos

Teniendo ya definido todos los pasos y componentes para la culminación del proyecto, se trazaron dos cronogramas de trabajo, uno para la parte física del proyecto, y otro para la parte documental y de registro.

Se presentan a continuación las listas con los pasos incluidos en los cronogramas, que son los que servirán de guía para la elaboración de un modelo para la realización de proyectos de mecanismo de desarrollo limpio.

4.1.3.1. Cronograma de construcción del proyecto del sistema de destrucción de metano en la planta extractora de aceite de palma africana de Tecún Umán, San Marcos

Con el fin de llevar un control eficiente sobre el avance de los trabajos de construcción, se elaboro un cronograma que detalla las actividades a realizar en cada fase de la construcción, se puede consultar en la figura 7.

Al finalizar los trabajos, se fueron comparando los tiempos reales contra los tiempos estimados y se determinó que hubo un cumplimiento del 90 por ciento del cronograma.

Figura 7. Cronograma de construcción

Tarea	Duración
PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA	193,67 días
Asignación de Proyecto y Firma de Contrato	1 día
Preliminares	1,78 días
Levantamiento Topográfico	1 día
Limpieza y preparación del terreno	1,78 días
Torre de Enfriamiento	32,56 días
Construcción de losa de concreto y/o cimentación	7 días
Instalación de Estructura de Acero	7 días
Instalación de Hojas de Policarbonato	5 días
Instalación de Tubería	5 días
Acabados	4 días
Pruebas al sistema	2 días
Digestor 1	96,39 días
Excavación	31,78 días
Trazo y Nivelación	1 día
Excavación	19,44 días
Formación de Bordo	19,44 días
Preparación de Superficie	7 días
Preparación de zanja de anclaje	4 días
Instalación de Liner	10,11 días
Instalación de Liner	5,56 días
Concreto en zanja de anclaje	2,78 días
Terminados en zanja de anclaje	2,56 días
Instalación de Cover	31,28 días
Sembrado / Llenado	25,56 días
Instalación de tubería de colección de gas	19 días
Instalación de Mamparas	4 días
Instalación de Cubierta	5 días
Instalación de Tubería interior	51,56 días
Diseño de líneas de tubería	0,78 días
Instalación de penetraciones(camisas) – Efluente	1,33 días
Instalación de penetraciones (camisas) – Influyente	1,33 días
Instalación de camisas para tubería de lodos	2,33 días
Instalación de soportes para tubería de lodos	6,33 días
Instalación de tubería de lodos	9,11 días

Continuación de la figura 7.

Digestor 2	151,89 días
Excavación	89,2 días
Trazo y Nivelación	3,33 días
Limpieza de lagunas actuales	19 días
Excavación	18 días
Formación de Bordo	70 días
Preparación de Superficie	4 días
Preparación de zanja de anclaje	4 días
Instalación de Liner	13 días
Instalación de Liner	5 días
Concreto en zanja de anclaje	4 días
Terminados en zanja de anclaje	4 días
Instalación de Cover	43,02 días
Sembrado / Llenado	35 días
Instalación de tubería de colección de gas	4 días
Instalación de Mamparas	4 días
Instalación de Cubierta	5 días
Instalación de Tubería interior	109,87 días
Diseño de líneas de tubería	0,78 días
Instalación de penetraciones(camisas) - Efluente	1,78 días
Instalación de penetraciones (camisas) - Influyente	2 días
Instalación de camisas para tubería de lodos	3 días
Instalación de soportes para tubería de lodos	2 días
Instalación de tubería de lodos	3 días
Procuración de Material y Equipos	178,67 días
Procuración de Liner y llegada de material a sitio	55,33 días
Procuración de tubería y entrega a sitio	32,11 días
Procuración de bombas	60 días
Quemador - procuración y fabricación	130 días
Quemador - Transportación Marítima	29 días
Quemador - Llegada de equipo puerto y transportación a sitio	5 días
Biofiltros - Procuración y fabricación	110 días
Biofiltros - Transportación Marítima	29 días
Biofiltros - Llegada de Equipo a puerto y transportación a sitio	5 días
Sistema de bombeo	27,98 días
Instalación de tubería	7 días
Preparación para instalación eléctrica	4 días
Instalación eléctrica (líneas eléctricas suministradas por finca)	10 días
Instalación de bombas	5 días
Pruebas al sistema	2 días
Sistema de Quemado y monitoreo	116,44 días
Construcción de losa de concreto para quemador	13 días

Continuación de la figura 7.

Construcción de losa de concreto para soplador y secador	5 días
Tubería de gas para quemador	8 días
Instalación de Equipo	10 días
Biofiltros	85,33 días
Construcción de losas de concreto para los biofiltros	5 días
Tubería de gas para biofiltros	8 días
Instalación de Equipo	10 días
Pruebas al sistema	3 días
Motores de generación eléctrica	85,33 días
Construcción de losas de concreto para generadores	5 días
Tubería de gas para biofiltros	8 días
Instalación de Equipo	10 días

Fuente: BURON, Michel. *Documento de diseño de proyecto (PDD)*.

<<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1244558254.22/view>>.

Consulta: 14 de abril de 2011.

4.1.3.2. Detalle de los pasos necesarios para el registro y certificación del proyecto ante la Junta Ejecutiva de las Naciones Unidas de la Convención Marco para el Cambio Climático (UNFCCC)

El registro y aprobación del proyecto ante la UNFCCC consta de 7 etapas, que son las siguientes:

4.1.3.2.1. Diseño

Esta corresponde a los participantes del proyecto. Se debe elaborar un documento de diseño del proyecto (PDD por sus siglas en inglés: *Project Design Document*). Para este fin se han desarrollado formatos por parte de la UNFCCC. Existen 4 categorías dentro de las cuales se debe enmarcar un proyecto:

- Proyecto de gran escala
- Proyecto de aforestación y reforestación de gran escala
- Proyecto de pequeña escala
- Proyecto de aforestación y reforestación de pequeña escala

Dentro de cada uno de estos existen diversas metodologías preestablecidas, dentro de las cuales se debe seleccionar cual es la que corresponde al proyecto que se está proponiendo. Si no se encuentra una metodología dentro de la cual encaje el proyecto, se debe proponer una metodología de monitoreo, la cual estará sujeta a la evaluación de la junta ejecutiva para su aprobación.

El proyecto que se desarrolló, se enmarcó dentro de la categoría de proyecto de pequeña escala, y las metodologías que se propusieron y aprobaron para su monitoreo fueron:

- Tipo III categoría III.H Recuperación de metano en un sistema de tratamiento.
- Tipo I categoría I.A Generación de electricidad por el usuario.

4.1.3.2.2. Aprobación nacional

La Autoridad Nacional Designada (DNA por sus siglas en inglés *Designated National Authority*) de una parte involucrada en un proyecto de MDL propuesto debe otorgar una carta indicando que:

- El país ha ratificado el protocolo de Kioto
- La participación es voluntaria

- Para las partes de país anfitrión, una declaración de que el proyecto MDL propuesto contribuye al desarrollo sostenible.

4.1.3.2.3. Validación

Validación es el proceso de evaluación independiente de una actividad de proyecto, por una Entidad Operacional Designada (DOE por sus siglas en inglés), contra los requerimientos del mecanismo de desarrollo limpio, como se establece en las modalidades y procedimientos de MDL, sobre la base del documento de diseño de proyecto.

4.1.3.2.4. Registro

El registro es la aceptación formal por parte de la Junta Ejecutiva de un proyecto de MDL validado.

El registro es el prerrequisito para la verificación, certificación y otorgamiento de certificados de reducción de emisiones relacionados al proyecto.

4.1.3.2.5. Monitoreo

El participante del proyecto es responsable por monitorear las emisiones reales de acuerdo con la metodología aprobada.

4.1.3.2.6. Verificación y certificación

Verificación es la revisión independiente y ex post determinación por la entidad operacional designada de las reducciones monitoreadas de emisiones

antropogénicas por fuentes de gases de efecto invernadero que han ocurrido como resultado de un proyecto MDL registrado durante el período de verificación.

Certificación es la constancia escrita por la DOE de que, durante el período especificado, el proyecto ha cumplido la reducción de emisiones tal como se ha verificado.

4.1.3.2.7. Otorgamiento

La DOE envía el reporte de verificación con el requerimiento para el otorgamiento a la Junta Ejecutiva MDL.

Los pasos detallados son:

- Revisión de cumplimiento por la secretaria.
- Veto por la secretaria.
- Veto por la Junta Ejecutiva.
- Si una parte o tres miembros de la junta ejecutiva requieren revisión, la solicitud de otorgamiento pasa por una revisión, de otra manera procede el otorgamiento de CERs.

4.2. Detalle fotográfico del proceso de construcción del proyecto

Durante el proceso de construcción, se llevó un registro fotográfico de los avances del proyecto en sus distintas fases y componentes. A continuación se presenta en orden cronológico una serie extraída del registro.

Figura 8. Inicio del movimiento de tierras



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 9. Trabajos interrumpidos por la lluvia



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 10. **Construcción de talud**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 11. **Construcción de drenaje francés**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán

Figura 12. Remoción de piedras y raíces



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 13. Preparación de superficie para geotextil



Fuente: biodigestor 2, extractora en Tecún Umán.

Figura 14. **Geotextil instalado**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 15. **Pegado de geomembrana**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 16. **Colocación de anclaje con concreto**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 17. **Compactación de tierra sobre anclaje**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 18. **Nivelación y limpieza**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 19. **Siembra de grama en talud exterior**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 20. **Descarga de tuberías de HDPE**



Fuente: área de maniobras, extractora en Tecún Umán.

Figura 21. **Rollos de geomembrana para cubierta**



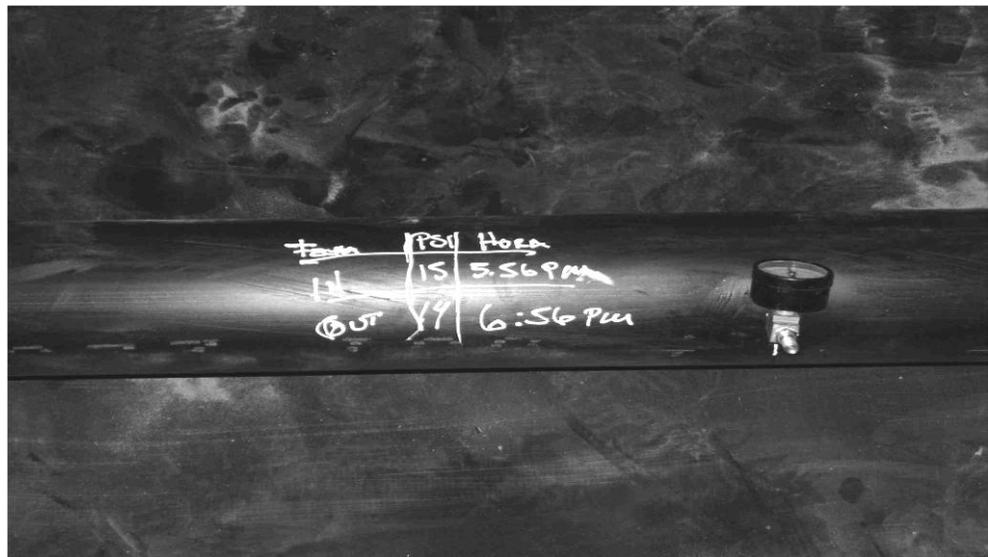
Fuente: área de maniobras, extractora en Tecún Umán.

Figura 22. **Instalación de tubería de extracción de lodos**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 23. **Control de calidad de sellos de tuberías**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 24. **Bombeo de lodos de lagunas existentes**



Fuente: lagunas de oxidación, extractora en Tecún Umán.

Figura 25. **Lagunas existentes vacías**



Fuente: lagunas de oxidación, extractora en Tecún Umán.

Figura 26. **Excavación para cimentación de biofiltros**



Fuente: área de biofiltros, extractora en Tecún Umán.

Figura 27. **Llegada de generadores**



Fuente: área de generadores, extractora en Tecún Umán.

Figura 28. **Tubería de entrada de afluente y tubería de recolección de biogás colocadas**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 29. **Construcción de edificio para generadores**



Fuente: área de generadores, extractora en Tecún Umán.

Figura 30. **Instalación de cubierta en biodigestor 1**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 31. **Instalación de geotextil en biodigestor 2**



Fuente: biodigestor 2, extractora en Tecún Umán.

Figura 32. **Biodigestor 1 concluido**



Fuente: biodigestor 1, extractora en Tecún Umán.

Figura 33. **Quemador temporal**



Fuente: lagunas de oxidación, extractora en Tecún Umán.

Figura 34. **Instalación de torre de enfriamiento**



Fuente: área de tanques, extractora en Tecún Umán.

Figura 35. **Instalación de bomba de recirculación**



Fuente: biodigestor 1 y 2, extractora en Tecún Umán.

Figura 36. **Equipos de los biofiltros**



Fuente: área de biofiltros, extractora en Tecún Umán.

Figura 37. **Quemador**



Fuente: área de generadores, extractora en Tecún Umán.

Figura 38. **Torre de enfriamiento**



Fuente: área de tanques, extractora en Tecún Umán.

Figura 39. **Biofiltros instalados, edificio de generadores terminado**



Fuente: área de generación, extractora en Tecún Umán.

Figura 40. **Biodigestores 1 y 2 terminados**



Fuente: biodigestor 1 y 2, extractora en Tecún Umán.

4.3. Determinación de la aplicabilidad al mecanismo de desarrollo limpio para obtención de reducción de emisiones certificada (adicionalidad del proyecto)

La adicionalidad de la actividad de proyecto ha sido evaluada usando la herramienta para la demostración y evaluación de adicionalidad, versión 5.

El acercamiento paso a paso como se describe en la herramienta en el contexto de la actividad del proyecto es descrito a continuación:

Paso 1: Identificación de alternativas a la actividad del proyecto consistentes con las leyes y regulaciones vigentes

Sub paso 1 a: Definir alternativas a la actividad de proyecto

Las siguientes son alternativas reales y creíbles para la actividad del proyecto que proveen resultados o servicios comparables con los propuestos con la actividad de proyecto de MDL

Alternativa 1: continuación de la situación actual (lagunas anaeróbicas)

Alternativa 2: la actividad del proyecto sin asistencia MDL

Alternativa 3: descarga directa del agua de desecho a un cuerpo de agua cercano

Tabla II. **Alternativas reales y creíbles para la actividad del proyecto**

Salida del paso 1 a	Escenarios alternativos realísticos y creíbles identificados a la actividad del proyecto
Alternativa 1:	Continuación de la situación actual (lagunas anaeróbicas)
Alternativa 2:	La actividad de proyecto sin asistencia MDL
Alternativa 3:	Descarga directa del agua de desecho a un cuerpo de agua cercano

Fuente: BURON, Michel. *Documento de diseño de proyecto (PDD)*.

<<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1244558254.22/view>>.

Consulta: 14 de abril de 2011.

Sub-paso 1b: Consistencia con leyes y regulaciones obligatorias

La consistencia de cada alternativa con las leyes y regulaciones obligatorias actuales es descrita a continuación

Alternativa 1: Continuación de la situación actual (lagunas anaeróbicas)

La situación actual de sistema de tratamiento de aguas de desecho a través de una serie de lagunas abiertas interconectadas es consistente con las leyes y regulaciones obligatorias de Guatemala. La ley ambiental estipula el límite de descarga con una reducción de 10 – 50 por ciento de DQO basado en la tasa de entrada de DQO al sistema de tratamiento de aguas de desecho (del 2006 al 2 de mayo de 2011).

Alternativa 2: la actividad del proyecto sin la asistencia de MDL

La actividad del proyecto sin asistencia MDL no solo llenará las regulaciones ambientales en Guatemala sino que también contribuirá a la captura y destrucción de gas de efecto invernadero.

Alternativa 3: descarga directa de las aguas de desecho a un cuerpo de agua cercano

Esta alternativa no cumple con las leyes y regulaciones obligatorias, ya que la descarga directa de las aguas de desecho a un cuerpo de agua sin cumplir con los límites de descarga no es permisible bajo la actual regulación ambiental de Guatemala.

Por lo tanto solo las alternativas 1 y 2 son realistas y creíbles a la actividad del proyecto y en cumplimiento de las leyes y regulaciones obligatorias en Guatemala.

La tabla III muestra la consistencia de las alternativas con las leyes y regulaciones vigentes en el país.

Tabla III. **Consistencia con las leyes y regulaciones**

Salida del paso 1b	Escenarios alternativos realísticos y creíbles alternativos a la actividad de proyecto que cumplen con la legislación y regulaciones obligatorias tomando en cuenta la imposición en la región o país y las decisiones de JE sobre políticas y regulaciones nacionales o sectoriales
Alternativa 1	Continuación de la situación actual (lagunas anaeróbicas)
Alternativa 2	La actividad de proyecto sin asistencia MDL

Fuente: BURON, Michel. *Documento de diseño de proyecto (PDD)*.
 <<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1244558254.22/view>>.
 Consulta: 14 de abril de 2011.

Paso 2: Análisis de inversión

El siguiente paso sirve para determinar si la actividad de proyecto propuesta es o no:

- (a) La más atractiva económica o financieramente.
- (b) Viable económica o financieramente, sin los ingresos por la venta de los certificados de reducción de emisiones (CERs).

Para conducir el análisis de inversión, use los siguientes sub pasos:

Sub paso 2a: Determinar el método apropiado de análisis

Dado que la alternativa 2 genera ingresos de la electricidad producida, la alternativa 1 no es apropiada.

Por tanto para determinar la viabilidad de la actividad proyecto sin créditos de carbono, se ha adoptado un análisis de punto de referencia

Sub paso 2 b Opción III: Aplicar un análisis de punto de referencia

La tasa interna de retorno (TIR) del proyecto se ha escogido como el indicador financiero para el análisis financiero de la actividad del proyecto.

La TIR del proyecto tiene que ser comparada con una tasa de retorno de referencia para demostrar la adicionalidad del proyecto. La herramienta de adicionalidad establece que las tasas de referencia/descuento deben ser derivadas de estimados del costo de financiamiento y el retorno requerido de capital (e.g. tasas comerciales de préstamos y garantías requeridas para el país y el tipo concerniente de actividad de proyecto), basado en vistas de banqueros y retornos requeridos por fondos o inversionistas privados para proyectos comparables.

Además, la guía de estimación de análisis de inversiones (anexo 45 JE 41) establece: en casos donde una aproximación de referencia es usada, la referencia aplicada debe ser apropiada para el tipo de TIR calculada. Las tasas locales para préstamos o los costos pesados promedio de capital son referencias apropiadas para una TIR de proyecto. El participante del proyecto ha tomado la tasa comercial de interés para préstamos como el punto de referencia.

La tasa de interés cobrada por créditos en moneda local (quetzal) por el Banco de Guatemala al momento de tomar la decisión (abril 2008, relevante al tiempo cuando la decisión de inversión fue tomada) era de 13,23 por ciento. La tasa de interés, la cual corresponde a la tasa para préstamos comerciales,

representa el interés cargado por bancos propiedad del Estado y que están por completo asegurados.

La lógica de escoger esta tasa es que el proyecto debe dar un retorno de al menos el equivalente de la tasa por préstamos comerciales para ameritar su consideración.

La referencia anterior cumple todas las condiciones, está disponible públicamente, las decisiones financieras son tomadas basándose en esta tasa ya que los bancos deciden otorgar préstamos para inversiones si y solo si la actividad del proyecto es capaz de pagar el préstamo.

Por tanto la referencia es de 13,23 por ciento.

Sub paso 2 c: cálculo y comparación de indicadores financieros

Alternativa 2: la actividad del proyecto sin asistencia MDL

La TIR del proyecto sin la consideración de los créditos de carbono es de 4,88 por ciento. Esta TIR está por debajo de la tasa de retorno de referencia de 13,23 por ciento, por tanto la actividad de proyecto no puede ser considerada como financieramente atractiva según el sub paso 2 c.

Al computar el indicador financiero, TIR del proyecto, se han asumido los valores resumidos en la tabla IV a continuación:

Tabla IV. **Calculo de TIR**

No.	Descripción	Valor
1	Inversión	3 203 151 USD
2	ISR	31%
3	Electricidad vendida (garantizada)	6 500 MWh/año
4	Tarifa eléctrica (garantizada)	0,12 USD/Kwh
5	Costo anual de operación y mantenimiento (calculado de los siguientes 2 componentes)	6,32%
	(a) Motores de biogás (incluyendo overhauls mayores)	0,016 US\$/Kwh
	(b) Sistema de biogás (% costo de inversión)	5%
6	Seguro Premium por año	0,15%
7	Sueldos y remuneraciones anuales por operación del proyecto	57 600 USD
8	Incremento anual de costos (remuneraciones y O&M) basado en inflación	7,50%
9	Precio de los CER (garantizado)	15 USD
10	Depreciación del equipo	20%
11	TIR (20 años) sin créditos de carbono	4,88 %
12	TIR (20 años) con créditos de carbono	24,93%

Fuente: BURON, Michel. *Documento de diseño de proyecto (PDD)*.

<<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1244558254.22/view>>.

Consulta: 14 de abril de 2011.

El incremento anual se ha provisto en 7,50 por ciento en los costos de O&M en base a la inflación experimentada por el país en el pasado y la esperada en el futuro. Las remuneraciones y salarios han sido estimadas basados en el número de operadores y ayudantes predichos a ser contratados y la estructura de remuneraciones / salarios de la compañía.

Similarmente los incrementos anuales han sido provistos en 7,50 por ciento para tomar cuidado de los incrementos y la inflación.

La depreciación ha sido provista en base a una línea recta asumiendo una depreciación anual del 20 por ciento (excepto por algunos movimientos de tierras, el proyecto consiste principalmente de equipos). Esto está alineado a la política gubernamental.

Basado en lo asumido arriba, el TIR del proyecto resulta en 4,88 por ciento en contraste con la tasa de referencia que es de 13,23 por ciento. Por tanto, el análisis prueba que el proyecto no es financieramente atractivo.

Sub paso 2d: análisis de sensibilidad

Se realiza un análisis de sensibilidad con el porcentaje de variación de las figuras de ingreso clave. Los siguientes parámetros están sujetos a variación en el análisis de sensibilidad.

- Inversión (costo del proyecto)
- Costos de operación y mantenimiento
- Precio de la electricidad
- Monto de electricidad vendida

La tabla V explica los resultados del análisis de sensibilidad.

Tabla V. **Análisis de sensibilidad**

Factor	-10%	10%
Inversión	9,21%	Negativo
Costos de O & M	7,31%	Negativo
Precio de electricidad	Negativo	9,34%
Monto de electricidad vendida	Negativo	9,34%

Fuente: BURON, Michel. *Documento de diseño de proyecto (PDD)*.
 <<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1244558254.22/view>>.
 Consulta: 14 de abril de 2011.

Las conclusiones del análisis de inversión permanecen idénticas a las variaciones razonables de las asunciones críticas (análisis de sensibilidad): la TIR de la actividad del proyecto permanece más baja que la tasa de retorno de referencia de 13,23 por ciento. Sin embargo la TIR con la consideración de los créditos de carbono cruza la referencia y hace el proyecto viable financieramente (24,93%).

El participante de proyecto ha optado por el paso 2 únicamente. De hecho otras barreras son consideradas menos significativas que la barrera de inversión por los participantes del proyecto.

Sub paso 4 a: Analizar otras actividades similares a la actividad del proyecto

El uso de aguas de desecho de extractora de aceite de palma a través de procesos de tratamiento avanzados (instalaciones de captura de metano, tecnología de limpieza de H₂S, motores de biogás para generar energía renovable) y para extraer energía renovable tiene poca penetración en Guatemala. Hay únicamente un (1) proyecto similar (registrado) con consideración de MDL en Guatemala en el sector de aceite de palma en el cual se está capturando el gas metano por medio de una cubierta de las lagunas anaeróbicas del efluente de extractora de aceite de palma con una membrana y que utiliza el biogás capturado para generar electricidad, para uso propio como también para venta a la red nacional.

No hay una actividad de proyecto similar en Guatemala que se haya observado en el sector de aceite de palma sin consideración de MDL. Esta baja penetración se atribuye a los siguientes factores:

- Requerimiento de alto gasto de capital
- Alta dependencia de tecnología importada
- Falta de incentivos provistos por el gobierno
- Baja habilidad de los recursos humanos

El desarrollador del proyecto cree que el registro exitoso de la actividad de proyecto MDL propuesta promoverá la tecnología y motivará a otros dueños de proyecto en sectores similares a tomar las tecnologías de energía renovable.

Sub paso 4 b: Discutir cualquier opción similar que esté ocurriendo

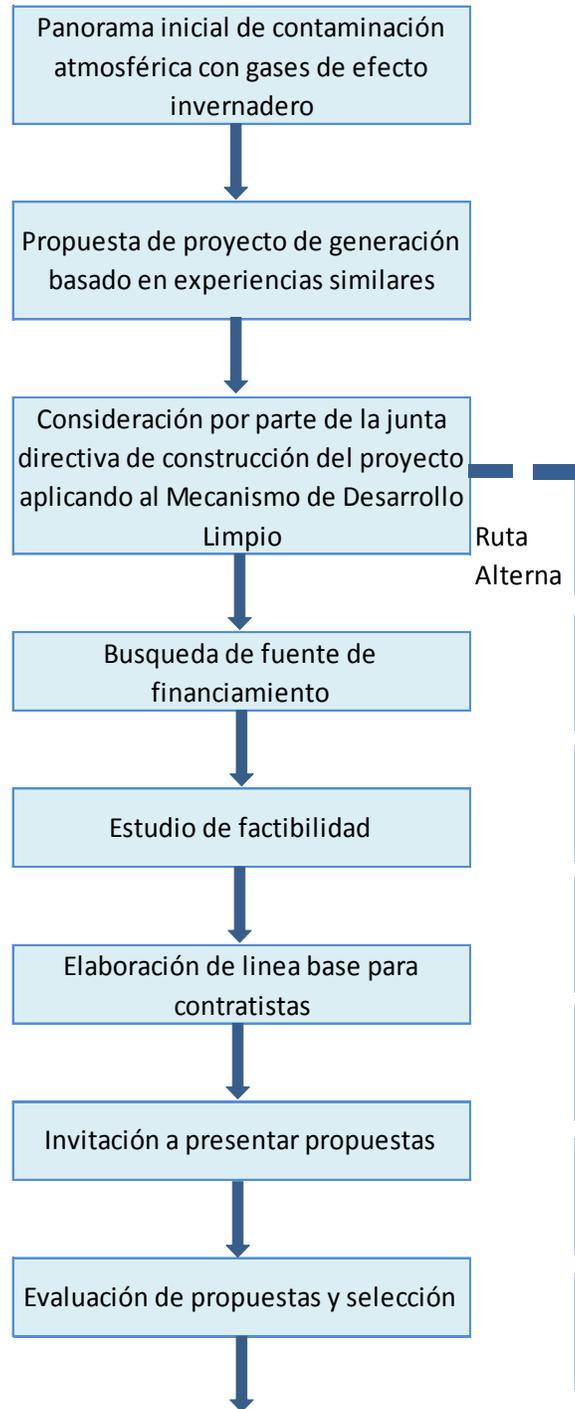
Al momento de la redacción de este documento no hay actividades similares comparables a la actividad de proyecto MDL ocurriendo en Guatemala, solamente un (1) proyecto de extracción de biogás en Extractora del Atlántico, S.A., ha sido implementado con consideración MDL. Esto demuestra que sin el MDL estos proyectos no son viables.

El resultado del análisis es que la actividad de proyecto MDL propuesta pasa con éxito todos los pasos descritos bajo la herramienta de adicionalidad. Esto hace del proyecto adicional y no un negocio en un escenario usual.

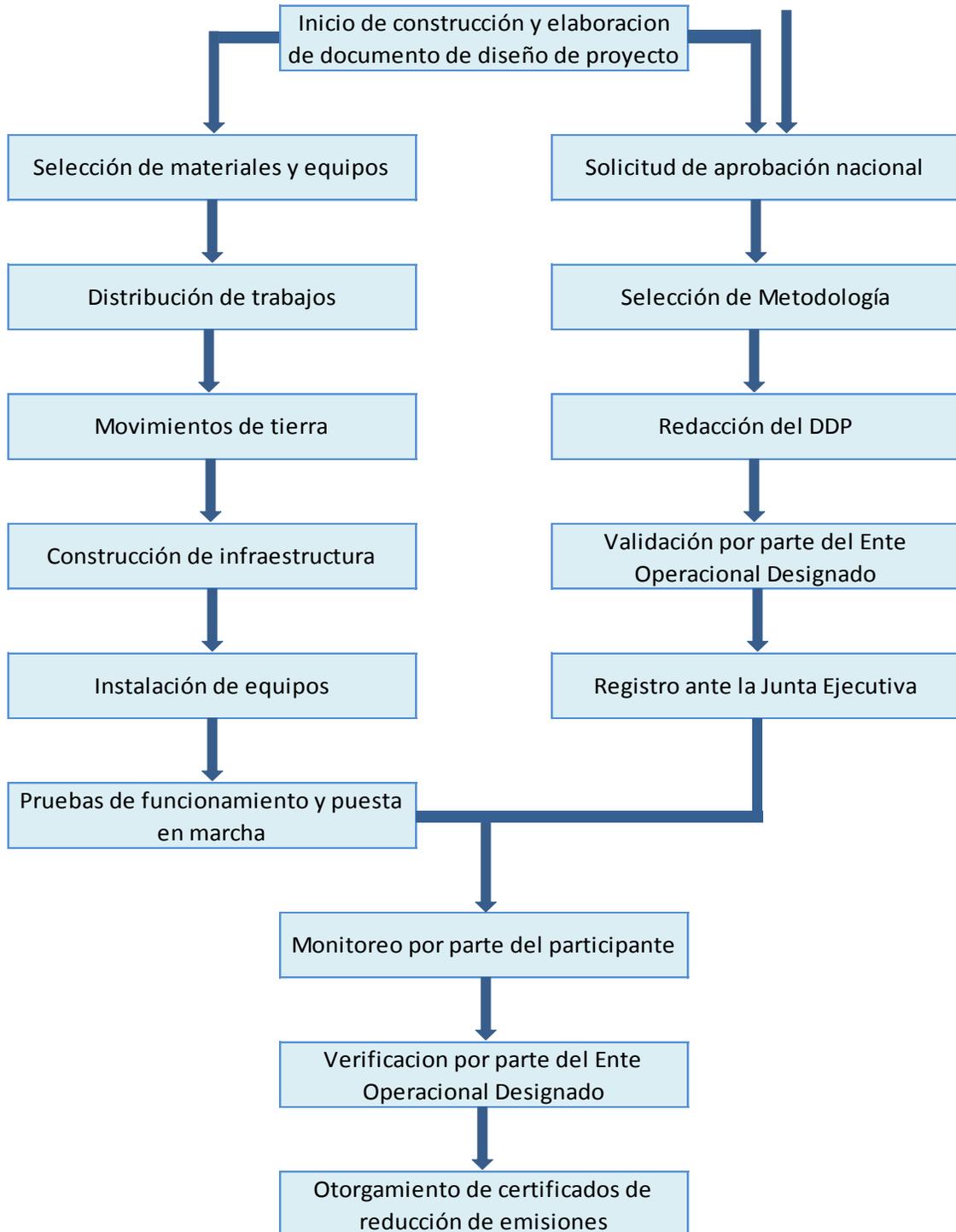
4.4. Diagrama del proceso para construcción del proyecto

A continuación se presenta el diagrama del proceso seguido en la extractora de aceite de palma africana desde la toma de decisión hasta la puesta en marcha del proyecto.

Figura 41. **Diagrama de proceso de construcción**



Continuación de la figura 41



Fuente: elaboración propia.

4.5. Criterios técnicos para la selección de los materiales de construcción

Para la selección de los materiales para construcción del aislamiento (liner) del fondo y de la cubierta (cover) de los biorreactores, se optó por elaborar una matriz en la cual se listaron las características importantes del material, dándole una calificación de significancia de 1 a 5 tanto para el aislamiento como para la cubierta. Luego a cada uno de los dos materiales que fueron propuestos (HDPE y pvc) se les asignó un valor de 1 a 10 de acuerdo a su menor o mayor desempeño tanto para el liner como para el cover. Para cada material se obtuvo una nota multiplicando la significancia por su desempeño para cada parámetro. La suma de las notas da la calificación total de cada material.

Se agregó al final el costo como una consideración adicional, aunque el mismo no constituya un factor decisivo. Se sumo a las calificaciones para determinar si al incluirlo en la ponderación se modificaban los resultados para la nota más alta.

En la tabla VI se presenta la tabulación de la ponderación de ambos materiales.

Tabla VI. **Criterios técnicos para la selección de materiales de construcción de liner y cover**

PARAMETROS	SIGNIFICANCIA		HDPE						PVC		
	Liner	Cover	LINER			COVER			LINER		COVER
	A	B	C - Valor	Nota- A x C	D - Valor	Nota- B x D	E - Valor	Nota- A x E	F - Valor	Nota- B x F	
Resistencia a líquidos	5	4	10	50	10	40	5	25	5	20	
Resistencia UV	2	5	8	16	8	40	4	8	4	20	
Resistencia a oxidación	3	5	10	30	10	50	6	18	6	30	
Contracción en subsuelo	5	1	5	25	5	5	8	40	8	8	
Tensión biaxial	4	3	3	12	3	9	9	36	9	27	
Tensión de puntura	4	1	5	20	5	5	8	32	8	8	
Fricción de interface	4	1	8	32	8	8	4	16	4	4	
Resistencia a rotura por estrés	5	2	6	30	6	12	9	45	9	18	
Facilidad de soldadura (ventanas)	3	3	7	21	7	21	5	15	5	15	
Facilidad de soldadura (detalles)	4	3	7	28	7	21	5	20	5	15	
Calificación Técnica				264		211		255		165	
Costo	5	5	10	50	10	50	8	40	8	40	
Calificación Total				314		261		295		205	

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Proceso de construcción del proyecto

Cuando se realizó la firma del contrato de construcción por parte del contratista, se acordó que la empresa dueña del proyecto realizaría los trabajos de movimientos de tierra, por contar con la maquinaria y el personal calificado para dichas obras civiles. Con esto se alcanzó el objetivo de minimizar el costo de esa parte del proyecto.

Para que el tratamiento existente no se viera interrumpido, se inició la construcción del primer biorreactor en el área aledaña que hasta entonces era utilizada como parte de la plantación de palma africana, sin afectar a las lagunas existentes. Esto es de suma importancia, pues la población bacteriana que se encontraba en las lagunas se desarrolló en un periodo prolongado, y sirvió como material de siembra para el primer biorreactor cuando fue terminada su construcción. De no hacerse de esa forma, el tiempo para que el biorreactor alcanzara su funcionamiento óptimo hubiera sido mucho más prolongado.

Con la forma de trabajo adoptada el tiempo para la estabilización de las condiciones fue de aproximadamente 4 meses, sin el material original de las lagunas existentes ese período pudo haberse prolongado hasta 1 año, según la experiencia adquirida en la construcción de las lagunas en 5 efluentes de aguas residuales de extractoras de aceite de palma africana.

5.2. Determinación de la aplicabilidad al mecanismo de desarrollo limpio para obtención de reducción de emisiones certificada (adicionalidad del proyecto)

Para evaluar la adicionalidad de la actividad de proyecto se utilizó la herramienta para la demostración y evaluación de adicionalidad, versión 5.

Esta herramienta consiste en un acercamiento paso a paso de la actividad del proyecto, con el fin de demostrar que el proyecto considerado no es atractivo financieramente para un inversionista si no se obtuvieran certificados de reducción de emisiones.

Se inicia con la identificación de alternativas a la actividad del proyecto que sean consistentes con las leyes y regulaciones vigentes.

Se consideraron 3 alternativas de las cuales una fue descartada por no cumplir con el requisito de ser consistente con las leyes y regulaciones. Las otras dos alternativas fueron sometidas a los siguientes pasos de la herramienta.

A continuación se realizó un análisis de inversión para determinar si la actividad del proyecto es: o la más atractiva financieramente o si es viable financieramente sin los ingresos por venta de certificados de reducción de emisiones.

En este paso se redujo a una alternativa, la cual se analizó con el indicador financiero tasa interna de retorno, comparándolo a una tasa de interés comercial para préstamos como punto de referencia.

Se escogió la tasa de interés para préstamos en quetzales del Banco de Guatemala al momento de la decisión, que era de 13,23 por ciento.

Se calculó la tasa interna de retorno del proyecto sin las certificaciones de reducción de emisiones y con las mismas. En el primer caso se obtuvo un resultado de 4,88 por ciento y en el segundo de 24,93 por ciento.

Basado en estos resultados quedó demostrado que el proyecto no es atractivo financieramente sin los certificados de reducción de emisiones por tener una tasa interna de retorno menor a la tasa de interés de referencia.

Se analizaron luego otras actividades similares a la propuesta, encontrándose únicamente una, la cual para su implementación también tomo en consideración aplicar al mecanismo de desarrollo limpio.

El análisis lleva a la conclusión de que la actividad de proyecto de mecanismo de desarrollo limpio propuesta pasa con éxito todos los pasos descritos bajo la herramienta de adicionalidad. Esto hace del proyecto adicional y no un negocio en un escenario usual.

5.3. Diagrama de construcción

En este diagrama que detalla el proceso seguido desde la toma de decisión hasta la puesta en marcha del proyecto, se muestra de la forma exacta como se realizaron los pasos para el proyecto presentado. Una variación que puede presentarse si se desea utilizar dicho diagrama como guía, es el momento en que se inician los pasos de aprobación nacional hasta el registro ante la junta ejecutiva de la convención marco para el cambio climático.

La aprobación nacional se puede solicitar desde el momento en que se ha tomado la decisión de aplicar al mecanismo de desarrollo limpio, y puede concluirse el proceso de registro incluso antes de iniciar la construcción del proceso.

Lo que no es permitido, es que se inicie ningún tipo de obra que modifique el escenario de la línea base, sin haber realizado el paso cero de consideración por la junta directiva de la ejecución del proyecto aplicando al mecanismo de desarrollo limpio. Si se hiciera de esa forma, el proyecto dejaría de ser elegible y no se obtendría el registro, ocasionando que si se desea continuar con el mismo, tendría que ser financiado sin la venta de certificados de reducción de emisiones.

5.4. Criterios técnicos para la selección de los materiales de construcción

La selección del material que se utilizaría en la instalación del aislante del fondo y de la cubierta de los biorreactores fue un factor de gran importancia.

Para realizar la selección, se elaboró un listado de las características más importantes que debía cumplir el material para el fondo y para la cubierta, individualmente. A cada parámetro de la lista se le asignó un valor entre 1 y 5, según su importancia, siendo 1 poco significativo y 5 muy significativo. Luego se evaluaron los dos materiales de uso común en obras similares, polietileno de alta densidad (HDPE) y policloruro de vinilo (pvc), asignándole a cada uno una nota de 1 a 10 según su desempeño para cada parámetro significativo, siendo 1 un desempeño pobre y 10 un desempeño óptimo. Se asignó una nota para desempeño como aislante de fondo y otra como material de cobertura.

Para calcular la nota de cada material, se multiplico la significancia por el desempeño para cada uno de los 10 criterios técnicos escogidos, siendo la suma de estos resultados la nota total del material. En ambos casos, tanto para el aislante de fondo como para la cubierta, el HDPE obtuvo la mayor nota entre los dos materiales comparados.

Luego, se tomo en cuenta también el factor del costo del material, procediendo de la misma forma que para los criterios técnicos, y sumando la nota de la calificación técnica a la nota de la calificación económica, nuevamente el HDPE resultó el material más adecuado para utilizar en la construcción de los biorreactores.

Se decidió utilizar tuberías del mismo material para la captura y transporte del biogás, porque en el análisis ya se habían tomado en cuenta los factores de facilidad de soldadura de ventanas y detalles, resultando mejor calificado el HDPE que el pvc.

Para la utilización como material para el liner, el HDPE tuvo una nota total de 264 en los criterios técnicos y de 50 en el costo, para un total de 314. Las notas totales del pvc fueron de 255 en los criterios técnicos y 40 en el costo, para un total de 295.

Para la utilización como material para el cover, el HDPE tuvo una nota total de 211 en los criterios técnicos y de 50 en el costo, para un total de 261. Las notas totales del pvc fueron de 165 en los criterios técnicos y 40 en el costo, para un total de 205.

CONCLUSIONES

1. El proyecto diseñado y construido cumple con todos los requisitos para ser registrado como un proyecto de mecanismo de desarrollo limpio.
2. El proyecto construido tiene la capacidad de generar anualmente 37 000 certificados de reducción de emisiones, que equivalen a una reducción de emisiones de 37 000 toneladas de CO₂.
3. El proyecto presentado en este trabajo de graduación es replicable en otras extractoras de aceite de palma africana, y extensible a otros sistemas tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de oxidación similares a las de una extractora de palma africana.
4. La tecnología de generación eléctrica por medio de biogás presenta un potencial de crecimiento dentro de Guatemala en la agroindustria de extracción de aceite de palma africana y otras con capacidades de producción de biogás similares a ésta.
5. El proyecto de mecanismo de desarrollo limpio propuesto pasa con éxito todos los pasos descritos bajo la herramienta de adicionalidad. Esto hace del proyecto adicional y no un negocio en un escenario usual.

6. El método utilizado para la selección de materiales de construcción del aislamiento de fondo y cobertura de los biorreactores, basado en criterios técnicos, puede ser utilizado como base para la selección entre dos o más materiales de construcción alternativos de sistemas similares, considerando sus propias características de interés.

RECOMENDACIONES

1. Difundir entre las industrias y agroindustrias la información sobre el mecanismo de desarrollo limpio del Protocolo de Kioto para que el mismo pueda ser aprovechado por todos aquellos que tienen el potencial para aplicar al mismo con diversos proyectos.
2. Promover la utilización del mecanismo de desarrollo limpio como una herramienta de mejora a la calidad del aire y del medio ambiente en general.
3. Aprovechar la transferencia de tecnología sobre generación eléctrica con biogás que ya se ha obtenido a la fecha, divulgándola a nivel general en Guatemala, para incrementar su utilización.
4. Elaborar trabajos similares a este trabajo de graduación en otros proyectos de mecanismo de desarrollo limpio que se encuentran funcionando actualmente en Guatemala, para que sean conocidas otras metodologías bajo las cuales se puede aplicar a proyectos de mecanismo de desarrollo limpio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Afexparachicos. *Página Web*. [en línea].
<<http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm>> [Consulta: 4 de agosto de 2009].
2. BURON, Michel. *Documento de diseño de proyecto (PDD): Biogas Project, Olmeca III Tecún Umán*. [en línea]. Versión 03. Guatemala, Kyoto Energy Pte. Ltd. [ref. agosto de 2008]. Disponible en Web: <<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1244558254.22/view>>.
3. *Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León*. [en línea].
<http://www.cesefor.com/pub/Bioenergiaactiva/CATALOGO_WORKSHOP-08.pdf> [Consulta: 5 de agosto de 2009].
4. *Corporación para la promoción del Mecanismo de Desarrollo Limpio*. [en línea]. <<http://www.cordelim.net/cordelim.php?c=418>>. [Consulta: 4 de agosto de 2009].
5. *Executive Board. CDM Project Activity Cycle*. [en línea]. UNFCCC. 2008. <<http://cdm.unfccc.int/Projects/pac/index.html>>. [Consulta: 21 de junio de 2011].

6. GALLEGUILLOS, Carolina. *Agriculture & biomass: competition or synergy?* [en línea]. Lima, Perú. Organización Latinoamericana de Energía. [ref. agosto de 2007]. Disponible en web: <<http://www.olade.org.ec/sites/default/files/forocarbonoII/Dia3/10%3B00%20Sesi%C3%83%C2%B3n%201/CaGalleguillos.pdf>>.
7. *General Electric Energy Services*. [en línea]. <http://www.ge-energy.com/products_and_services/products/gas_engines_power_generation/ge_jenbacher_type_3_gas_engines.jsp>. [Consulta: 4 de agosto de 2009].
8. *General Electric Energy Services*. [en línea]. <http://www.ge-energy.com/prod_serv/products/ recip_engines/es/gas_types/biogas_landfill.htm>. [Consulta: 4 de agosto de 2009].
9. *Ministerio del Ambiente de Ecuador*. [en línea]. <<http://www.ambiente.gov.ec/userfiles/222/file/CUMPLIMIENTO%20NORMATIVA/BORRADOR%20ESTUDIO%20PALDUANA.pdf>>. [Consulta: 5 de agosto de 2009].
10. PEGGS, Ian D. *Selecting a geomembrane material*. [en línea]. Geosynthetica.net, 2008. Disponible en Web: <http://www.geosynthetica.net/tech_docs/selecting_a_geomembrane_material.asp>. [Consulta: 19 de agosto de 2011].
11. Wikipedia.org. *Mecanismo de desarrollo limpio*. [en línea]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_de_desarrollo_limpio>. [Consulta: 4 de agosto de 2009].

APÉNDICES

APÉNDICE 1.

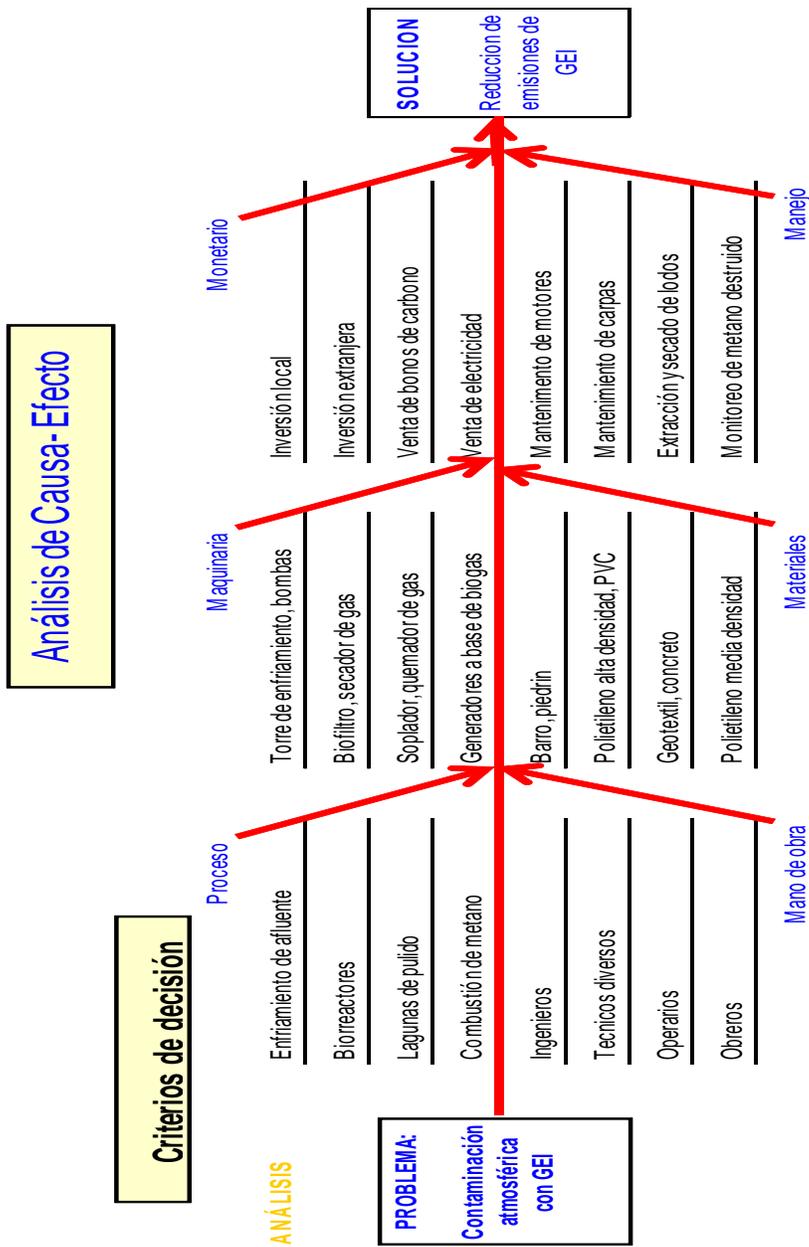
REQUISITOS ACADÉMICOS

Área	Tema Genérico	Tema Específico	Especificación	Problema a Resolver	Temario Tentativo
Operaciones unitarias	Flujo de Fluidos	Dinámica de fluidos	Transporte de fluidos. Equipo para impulsar gases	Selección del tipo adecuado de equipo para el transporte del gas del bioreactor al área de trabajo	Uso de ventilador vs uso de soplante
Área Complementaria	Control de Contaminantes Industriales	Manejo de los desechos líquidos	Gases	Vertido a cuerpos de agua de desechos con niveles altos de DBO/DQO	Eliminación de la carga orgánica del efluente en bioreactores
Área Complementaria	Control de Contaminantes Industriales	Manejo de los desechos gaseosos	Tratamientos y reuso de la materia y energía	Emisión a la atmósfera de biogás con alto contenido de metano	Captura, limpieza y aprovechamiento del biogás
Ingeniería Química				Cumplimiento del reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos acuerdo gubernativo No. 236-2006	Importancia del proyecto en la consecución del cumplimiento del reglamento
Área Complementaria	Control de Contaminantes Industriales	Gestión Ambiental	Normativa ambiental		
Área Complementaria	Ecología	Contaminación del agua	Demanda bioquímica de oxígeno / Demanda química de oxígeno	Explicar por que son importantes estos parámetros en el efluente de la planta extractora de aceite de palma africana	Calculo de la reducción de emisiones de GEI a la atmósfera con el proyecto
Área Complementaria	Ingeniería Económica 3	Evaluación de opciones económicas	Tasa Interna de Retorno	Determinación de la elegibilidad del proyecto para el mecanismo de desarrollo limpio	Comparación de la TIR del proyecto vs otras alternativas

Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE 2.

DIAGRAMA DE ISHIKAWA



Fuente: elaboración propia

ANEXOS

I. Artículo 12 del Protocolo de Kioto

Artículo 12

1. Por el presente se define un mecanismo para un desarrollo limpio.
2. El propósito del mecanismo para un desarrollo limpio es ayudar a las Partes no incluidas en el anexo I a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, así como ayudar a las Partes incluidas en el anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3.
3. En el marco del mecanismo para un desarrollo limpio:
 - a) Las Partes no incluidas en el anexo I se beneficiarán de las actividades de proyectos que tengan por resultado reducciones certificadas de las emisiones; y
 - b) Las Partes incluidas en el anexo I podrán utilizar las reducciones certificadas de emisiones resultantes de esas actividades de proyectos para contribuir al cumplimiento de una parte de sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3, conforme lo determine la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo.
4. El mecanismo para un desarrollo limpio estará sujeto a la autoridad y la dirección de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo y a la supervisión de una junta ejecutiva del mecanismo para un desarrollo limpio.
5. La reducción de emisiones resultante de cada actividad de proyecto deberá ser certificada por las entidades operacionales que designe la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo sobre la base de:

- a) La participación voluntaria acordada por cada Parte participante;
 - b) Unos beneficios reales, mensurables y a largo plazo en relación con la mitigación del cambio climático; y
 - c) Reducciones de las emisiones que sean adicionales a las que se producirían en ausencia de la actividad de proyecto certificada.
6. El mecanismo para un desarrollo limpio ayudará según sea necesario a organizar la financiación de actividades de proyectos certificadas.
7. La Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo en su primer período de sesiones deberá establecer las modalidades y procedimientos que permitan asegurar la transparencia, la eficiencia y la rendición de cuentas por medio de una auditoría y la verificación independiente de las actividades de proyectos.
8. La Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo se asegurará de que una parte de los fondos procedentes de las actividades de proyectos certificadas se utilice para cubrir los gastos administrativos y ayudar a las Partes que son países en desarrollo particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático a hacer frente a los costos de la adaptación.
9. Podrán participar en el mecanismo para un desarrollo limpio, en particular en las actividades mencionadas en el inciso a) del párrafo 3 *supra* y en la adquisición de unidades certificadas de reducción de emisiones, entidades privadas o públicas, y esa participación quedará sujeta a las directrices que imparta la junta ejecutiva del mecanismo para un desarrollo limpio.

10. Las reducciones certificadas de emisiones que se obtengan en el período comprendido entre el año 2000 y el comienzo del primer período de compromiso podrán utilizarse para contribuir al cumplimiento en el primer período de compromiso.

II. Proyectos MDL en Guatemala con registro

Titulo del Proyecto	Reducciones	Estado
Hidroeléctrica Candelaria	24 033	validación en proceso
Rio Hondo II Hydroelectric Project	101 928	validación negativa
Las Vacas Hydroelectric Project	271 080	validación en proceso
Matanzas Hydroelectric Plant	30 574	Certificado
San Isidro Hydroelectric Plant	10 737	Certificado
Ingenio Magdalena S.A. cogeneration Project	151 083	rechazado
El Canadá Hydroelectric Project	118 527	validación en proceso
Montecristo Hydroelectric Project	36 655	rechazado
Biomass thermal energy plant – Ecoenergía S.A., Escuintla	6 352	validación en proceso
AMATITLAN Geothermal Project	99 251	proceso de consulta
Ingenio Trinidad cogeneration 89project	39 567	proceso de consulta
Ingenio Magdalena S.A. cogeneration Project	142 671	proceso de consulta
Tres Ríos Hydroelectric Project	148 840	validación en proceso
Xacbal Hydroelectric Project	343 264	validación en proceso
Biogas energy plant from palm oil 89ro effluent- Extractora del Atlántico, S.A., Champona, Guatemala	31 015	validación en proceso
Amatitlan Geothermal Project	83 140	validación en proceso
Ingenio Trinidad cogeneration Project	24 571	contrato terminado
Bioenergía Anaerobic Digestion and Biogas Generation Project	90 003	validación en proceso
Co-composting of EFB and POME – INDESA S.A., Finca Pataxte, Guatemala	20 882	validación en proceso
Santa Teresa Hydroelectric Project	36 565	contrato terminado
Arizona Combined-Cycle Power Plant Implementation Project	48 902	validación en proceso
Zone 3 Landfill Gas Project	159 080	validación en proceso
AMSA Landfill Gas Project	40 905	contrato terminado
Biogas 89project, Olmeca III, Tecún Umán	37 370	validación en proceso
Montecristo Small Hydroelectric Project	34 547	validación en proceso

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

III. Presupuesto de construcción del proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TOTAL EN US\$
1	Motores JENBACHER	2	\$ 1 122 824,00
2	Línea de transmisión	1	\$ 268 965,00
3	transformadores convencionales 13,2/7,6 240/480 v 100 Kva	9	\$ 29 250,00
4	transformadores convencionales 13,2/7,6 240/480 v 50 Kva	57	\$ 121 296,00
5	Motores eléctricos de 300 hp/480v/3ph/60 hz	3	\$ 29 355,00
6	Motores eléctricos de 150 hp/480v/3ph/60 hz	19	\$ 93 632,00
7	Clutch /pto sae 2	19	\$ 26 462,00
8	acoples flexibles para 150 hp con poleas y ejes	19	\$ 44 000,00
9	Arrancadores Y-D para 150 hp	19	\$ 50 539,00
10	Arrancadores suave para 300 hp	3	\$ 24 000,00
14	Construcción y conexión de acometida aérea de 150 hp	19	\$ 44 935,00
15	Construcción y conexión de acometida aérea de 300 hp	3	\$ 7 500,00
16	Acometidas internas	1	\$ 40 000,00
18	Varios	1	\$ 40 000,00
17	Carpado, aislado, filtrado y secado de gas	1	\$ 1 490 916,27
19	GRAN TOTAL		\$3 433 674,27

Fuente: elaboración propia.