

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **“SISTEMA DE BIODEGRADACIÓN ACELERADA PARA LA REUTILIZACIÓN DE DESECHOS VEGETALES, CICTE-ESPE”**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**Elaborado por:**

**Ramón Agustín Rodríguez Cedeño**

**Fredy Patricio Vega Pérez**

**Director: Dr. Luis Cumbal**

**Codirector: Ing. José Guasumba**

**Sangolquí, 2006 – 02**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “SISTEMA DE BIODEGRADACIÓN ACELERADA PARA LA REUTILIZACIÓN DE DESECHOS VEGETALES, CICTE–ESPE”, fue realizado en su totalidad por los alumnos Ramón Agustín Rodríguez Cedeño y Fredy Patricio Vega Pérez, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

---

Dr. Luis Cumbal  
DIRECTOR

---

Ing. José Guasumba  
CODIRECTOR

Sangolquí, 2006-02-07

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

### **“SISTEMA DE BIODEGRADACIÓN ACELERADA PARA LA REUTILIZACIÓN DE DESECHOS VEGETALES, CICTE-ESPE”**

ELABORADO POR:

---

Ramón Rodríguez Cedeño

CC: 1307783801

---

Fredy Vega Pérez

CC: 1711751576

### **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

MAYO. de E. ING. Edgar Pazmiño

DECANO

Sangolquí, 2006-02

## DEDICATORIA

A Dios por su inmenso amor demostrado día a día.

A mis padres Rafael y Genoveva por su amor, sacrificio, y apoyo incondicional que he recibido a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Germano y Cindy por su cariño y entusiasmo que en todo momento alentaron mi espíritu.

A mi hermana Bibiana y su esposo Marcelo, por la confianza, el afecto y el apoyo brindado que fueron los cimientos de esta meta tan anhelada.

A mi esposa Verónica, por su ayuda permanente que no ha dejado que yo desista de mis sueños.

A Amy Daniela, mi hija que vino a iluminar mi existencia dándome con una sonrisa la fuerza necesaria para no desmayar.

Son ustedes quienes hicieron posible la realización de este esperado momento, Dios les bendiga siempre!

Ramón Rodríguez

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la oportunidad de estar aquí con su Gracia.

A mis padres Belisario y Edelina, por el apoyo que me han brindado durante toda mí vida.

A mi hermana Consuelo y Freddy su esposo, por su apoyo y ejemplo.

A todos mis hermanos, así como a todas esas personas que de una u otra manera han puesto en mi vida un granito de arena para mi crecimiento personal.

Fredy Vega

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Escuela Politécnica del Ejercito – ESPE, por sus valiosos conocimientos impartidos a lo largo de la carrera, lo que nos ha ayudado a ser excelentes profesionales.

Al Dr. Luis Cumbal, Director de tesis y al Ing. José Guasumba, Codirector de tesis por la correcta orientación y predisposición recibida durante la realización de este proyecto.

Al Mayo. de Art. Ing. Byron Sierra, Director del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Ejercito (CICTE), por el financiamiento del Proyecto “Biorreactor con Utilización de Energías Alternativas”.

Al Ing. Alfredo Mena, Director Ejecutivo de la Corporación para la Investigación Energética – CIE, por la confianza brindada, y por su total apertura para culminar este proyecto.

Al Ing. Freddy Oñate, Especialista en Mantenimiento, Jefe de Estaciones Reductoras del Oleoducto Transecuatoriano – Petroecuador, por su desinteresada colaboración.

Al Ing. Andrés Tobar, Gerente General de Energyalt, quien colaboró con el análisis del biogás.

Y a todos aquellos que de manera directa o indirectamente colaboraron en el desarrollo del proyecto.

Ramón Rodríguez, Fredy Vega

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Títulos</b>	<b>Pg.</b>
CERIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
LAGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iii
DEDIATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Definición del problema.....	1
1.3. Objetivo general.....	2
1.4. Objetivos específicos.....	2
1.5. Alcance.....	3
1.6. Justificación e importancia.....	3
CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE LA BIOMASA Y SUS APLICACIONES.....	5
2.1 Biomasa.....	5
2.1.1. Definición de la biomasa.....	6
2.1.2. Características energéticas de la biomasa.....	8
2.1.3. Instalaciones en las que se puede utilizar la biomasa.....	10
2.1.3.1. Aplicaciones energéticas.....	10
2.1.3.1.1. Generación de energía térmica.....	10
2.1.3.1.2. Generación de energía eléctrica.....	10
2.1.3.1.3. Generación de energía mecánica.....	12
2.1.4. Ventajas del uso de la biomasa.....	12
2.1.5. Ventajas ambientales del uso energético de la biomasa.....	12
2.1.6. Ventajas socioeconómicas del uso energético de la biomasa.....	13
2.1.7. Problemas que puede presentarse en su uso.....	14
2.1.8. Sistema de aprovechamiento energético de la biomasa.....	14
2.2. Tipos de biomasa.....	15
2.2.1. Primera clasificación.....	15
2.2.1.1. Bosques.....	15
2.2.1.2. Residuos agrícolas y deyecciones y camas de ganado.....	15
2.2.1.3. Cultivos energéticos.....	16
2.2.2. Segunda clasificación.....	16

2.2.2.1. Biomasa natural.....	16
2.2.2.2. Biomasa residual (seca y húmeda).....	17
2.2.2.3. Cultivos energéticos.....	18
2.3. Proceso de transformación.....	18
2.3.1. Métodos termoquímicos.....	18
2.3.2. La combustión.....	18
2.3.3. La pirolisis.....	19
2.3.4. Métodos biológicos.....	19
2.3.5. La fermentación metánica.....	20
CAPÍTULO 3: BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	21
3.1. Tipos de materia prima.....	21
3.2. Tipos de microorganismos.....	23
3.3. Productos finales.....	26
3.3.1. Biogás.....	27
3.3.2. Bioabono.....	30
CAPÍTULO 4: REACTORES ANAERÓBICOS.....	35
4.1. Tipos.....	35
4.1.1. Tipo Hindú.....	36
4.1.1.1. Ventajas.....	38
4.1.1.2. Desventajas.....	38
4.1.2. Tipo Chino.....	38
4.1.2.1. Ventajas.....	40
4.1.2.2. Desventajas.....	40
4.1.3. Tipo bolsa.....	41
4.1.3.1. Ventajas.....	42
4.1.3.2. Desventajas.....	43
4.2. Selección del biorreactor.....	44
CAPÍTULO 5: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	47
5.1. Diseño del prototipo.....	47
5.1.1 Cámara.....	56
5.1.1.1. Posición del biodigestor.....	62
5.1.1.2. Espesor de la chapa de acero para el tanque del biodigestor.....	63
5.1.1.2.1. Cálculo espesor cilindro biodigestor.....	63
5.1.1.2.2. Cálculo espesor de las cabezas del biodigestor.....	66
5.1.1.2.3. Cálculo espesor cilindro de la camisa.....	68
5.1.1.2.4. Cálculo espesor para la cabeza de la camisa.....	69
5.1.1.3. Calor que se pierde en el proceso de transferencia de calor del biodigestor..	70
5.1.1.4. Cantidad de calor necesario en el prototipo para lograr un proceso de fermentación eficiente.....	73
5.1.1.5. Masa de agua que debe contener la camisa.....	74



5.1.1.6. Estructura soporte del sistema.....	74
5.1.1.6.1. Peso de la camisa, tanque del biodigestor aislado y el líquido.....	75
5.1.1.6.2. Dimensionar el perfil a utilizarse como soporte del tanque del biodigestor..	79
5.1.2. Selección de tuberías y sensores.....	82
5.1.2.1. Tuberías.....	82
5.1.2.1.1. Tubería para el interior del colector.....	82
5.1.2.1.2. Tubería para el sistema colectores – tanque.....	82
5.1.2.2. Sensores.....	82
5.1.3. Sistema de calentamiento.....	84
5.1.3.1. Modelo matemático de los colectores planos.....	84
5.1.3.2. Cálculo del número de colectores.....	91
5.1.3.3. Selección de la bomba del sistema.....	92
5.1.4. Sistema de carga y descarga.....	92
5.1.5. Accesorios.....	93
5.2. Construcción del prototipo.....	95
5.2.1. Hoja de procesos.....	95
5.2.2. Planos de montaje y de instalación.....	96
5.2.3. Medidas de seguridad.....	96
CAPÍTULO 6: EVALUCIÓN DE RESULTADOS.....	99
6.1. Producción de gas.....	99
6.2. Calidad de gas / muestreo.....	102
6.2.1. Datos iniciales de carga del prototipo.....	103
6.2.2. Resultados obtenidos del prototipo.....	103
CAPÍTULO 7: ASPECTO ECNÓMICO FINANCIERO.....	107
7.1. Materiales directos.....	107
7.2. Mano de obra directa.....	108
7.3. Materiales indirectos.....	109
7.4. Mano de obra indirecta.....	110
7.5. Logística de materiales.....	110
7.6. Servicios técnicos especializados para la fabricación y montaje.....	110
7.7. Imprevistos.....	111
7.8. Costo total del proyecto.....	111
7.9.TIR- VAN.....	112
CAPÍTULO 8	
8.1. Conclusiones.....	115
8.2. Recomendaciones.....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Ciclo de la biomasa.....	8
Figura 3.1: Posibles aplicaciones del biogás.....	28
Figura 4.1: Biodigestor tipo Hindú.....	37
Figura 4.2: Biodigestor tipo Chino.....	39
Figura 4.3: Biodigestor tipo Bolsa.....	42
Figura 5.1: Biorreactor calentado mediante colectores solares.....	48
Figura 5.2: Biorreactor calentado con la ayuda de un concentrador solar.....	49
Figura 5.3: Biorreactor calentado mediante un sistema breadbox solar.....	51
Figura 5.4: Biodigestor con intercambiador de tubos.....	54
Figura 5.5: Biodigestor con una camisa para el intercambio de calor.....	55
Figura 5.6: Vista lateral de un biodigestor en posición horizontal.....	61
Figura 5.7: Vista frontal de un biodigestor en posición vertical.....	61
Figura 5.8: Biodigestor en posición vertical.....	62
Figura 5.9: Biodigestor en posición horizontal.....	62
Figura 5.10: Esquema de recipiente sometido a presión.....	64
Figura 5.11: Esquema de cabeza torisférica de recipiente sometido a presión.....	66
Figura 5.12: Corte superior del tanque de biorreacción.....	70
Figura 5.13: Diagrama de cuerpo libre de la columna.....	79
Figura 5.14: Balance energético de los colectores.....	84
Figura 6.1: Partes de un tanque de prueba.....	99
Figura 6.2: Gráfica presión versus tiempo.....	101
Figura 6.3: Gráfica temperatura versus tiempo.....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Contenido energético de algunos recursos englobados bajo el término biomasa residual seca.....	9
Tabla 2.2: Contenido energético de algunos recursos englobados bajo el término biomasa residual húmeda.....	9
Tabla 2.3: Sistemas de generación de energía eléctrica con biomasa. Generalidades.	11
Tabla 3.1: Cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y su rendimiento en gas .....	22
Tabla 3.2: Consumo medio de artefactos que utilizan biogás.....	28
Tabla 3.3: Valores aproximados de la composición del bioabono.....	32
Tabla 4.1: Resumen de características de algunos tipos de biodigestores.....	44
Tabla 5.1: Matriz de decisión para seleccionar un sistema de calentamiento óptimo...	53
Tabla 5.2: Matriz de decisión para seleccionar modelo de transferencia de calor.....	56
Tabla 5.3: Características de termómetros WIKA.....	83
Tabla 5.4: Características de manómetros WIKA para gas.....	83
Tabla 5.5: Características de manómetros para líquidos.....	83
Tabla 5.6: Accesorios del proyecto.....	93
Tabla 5.7: Accesorios del proyecto (continuación).....	94
Tabla 5.8: Accesorios del proyecto (continuación).....	95
Tabla 6.1: Condiciones iniciales y finales de la prueba.....	100
Tabla 6.2: Cantidad de carga de los tanques.....	100
Tabla 6.3: Valores promedio de los análisis de biogás del tanque # 4.....	103
Tabla 6.4: Datos obtenidos del prototipo.....	104
Tabla 7.1: Costos totales de materiales directos utilizados en el sistema de biorreacción acelerada.....	107
Tabla 7.2: Costo de mano de obra directa para la construcción de un colector solar...	108
Tabla 7.3: Costo de mano de obra directa para la construcción del tanque de biorreacción.....	108
Tabla 7.4: Costo de mano de obra directa para la instalación del sistema de biorreacción acelerada.....	108
Tabla 7.5: Costo de total de mano de obra directa utilizada en el sistema de biorreacción acelerada.....	109
Tabla 7.6: Costos de materiales y accesorios utilizados en la preparación de los tanques de prueba.....	109
Tabla 7.7: Costos totales de mano de obra indirecta.....	110
Tabla 7.8: Gastos de movilización y transporte.....	110
Tabla 7.9: Costo de servicios técnicos especializados en la fabricación del tanque de biorreacción acelerada.....	111

Tabla 7.10: Gastos imprevistos de movilización y transporte.....	111
Tabla 7.11: Costo total del proyecto.....	111
Tabla 7.12: Ingreso anual del proyecto.....	113
Tabla 7.13: Egreso anual del proyecto.....	113
Tabla 7.14: Flujo de caja del proyecto.....	113

## RESUMEN

En la actualidad debido al crecimiento de la población existe una gran demanda de energía, para suplir esto, se está volviendo a ver como una gran alternativa el uso de energías no convencionales, motivo por el cual, se realiza este proyecto con la finalidad de buscar el mejor uso de una parte de estas energías como es el biogás producto de los biodigestores y el calentamiento del agua con colectores solares. Este proyecto tiene como objetivos: Construir un prototipo experimental de biodigestor, que sirva para realizar investigaciones, para que en un futuro no muy lejano, se pueda proveer de biogás a recintos militares y a comunidades que se encuentran en sectores marginales, reducir el tiempo de fermentación de un biodigestor con la utilización de desechos vegetales. Como la temperatura es uno de los factores preponderantes en la fermentación de desechos se trabajó con esta variable, para lo cual, se le construyó al prototipo con un sistema de calentamiento utilizando colectores solares planos. Para esto, se lo diseñó con una camisa que bordea a toda la parte del biodigestor propiamente dicho que contiene la carga (estiércol, agua, desecho vegetal) por la cual circula agua caliente que proviene de los colectores, asegurando así, que la carga que contenga el biorreactor esté a una temperatura más elevada que si estuviera el tanque del biodigestor a un ambiente natural.

Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios pues se comprobó que: uno de los principales inconvenientes para el uso de la energía solar es la gran variación de insolación que tiene nuestro país, que la fermentación tiene una estrecha relación con la temperatura del ambiente, en un principio antes de que se produzca biogás se tiene una presencia muy elevada de CO<sub>2</sub>. En el prototipo, que fue uno de los objetivos, se puede realizar un sinnúmero de pruebas para ayudar en el desarrollo del uso de las energías no convencionales, por lo que se hace muy importante seguir desarrollando temas de tesis complementarios a este proyecto para continuar con la investigación.