

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
(DECEM)**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

**“OPTIMIZACIÓN DE UN BIODIGESTOR DE 0.5 m³ PARA
DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE CARGA PARA
DESHECHOS VEGETALES Y ORGÁNICOS”**

Elaborado por: SANTIAGO VACA ARCENTALES

DIRECTOR: Ing. José Guasumba

CODIRECTOR: Dr. Patricio Carrera

Diciembre 19, 2007

Sangolquí-Ecuador

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto de grado que lleva como título: **OPTIMIZACIÓN DE UN BIODIGESTOR DE 0.5 m³ PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE CARGA PARA DESHECHOS VEGETALES Y ORGÁNICOS**, fue desarrollado en su totalidad por el Sr. Santiago Vaca Arcentales, como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Guasumba

DIRECTOR

Dr. Patricio Carrera

CODIRECTOR

Diciembre 19, 2007
Sangolquí-Ecuador

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“OPTIMIZACIÓN DE UN BIODIGESTOR DE 0.5 m³ PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE CARGA PARA DESHECHOS VEGETALES Y ORGÁNICOS”

ELABORADO POR:

Santiago Vaca Arcentales

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

COORDINADOR
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Diciembre 19, 2007
Sangolquí-Ecuador

DEDICATORIA

Este prolijo trabajo de alto nivel técnico y científico lo dedico a mi familia, que ha sido la base y el puntal, que me permitieron emular sus pasos, para ahora encontrarme en la cumbre de mi realización tanto personal como profesional.

Sea para ustedes, el trofeo invalorable de arduas e invaluables horas de gran esfuerzo, sacrificio, dedicación, empeño y constancia, este sea motivo de recompensa a su apoyo.

Anhelo que esta investigación, sea fuente inagotable de conocimientos, para quienes se interesan en el tema, para que nazca en ellos la avidez se superación, investigación y creatividad.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación, es fruto de una agenda metódica estricta de estudio, en el camino aprendí a levantarme como el ave Fénix; para ahora encontrarme saboreando la dicha del deber cumplido.

Agradezco infinitamente a todos y cada una de las personas que confiaron en mi, que con sus palabras de aliento siempre repetían “te esperamos en la cumbre”.

A MI MADRE MARÍA ESTHER; Por enseñarme a ser perseverante, a luchar por mi ideal, a cumplir mis metas, a ser emprendedor, líder, amigo, padre, vecino, cristiano e hijo; gracias por llenarme de grandes valores, como GRANDE ERES TU.

A MI HIJO FRANCISCO ANTONIO; Sea par ti hijo mío el mejor legado; pues se hace camino al andar, no importa llegar primero sino saber llegar, gracias por tus juegos, risas, sueños, caricias, que me dieron fuerza para continuar.

A MI HERMANA RITA CECIBEL; Gracias por ser esa caja de Pandora, a ti que a pesar de la distancia eres la mano amiga el oído presto, el libro abierto, donde escribo con mi esfuerzo y su punta de cristal mis penas, alegrías, triunfos, anécdotas, gracias por conservar en este dorado libro, tu mente y corazón lo mejor de mí; olvidar mis debilidades y resaltar permanentemente mis fortalezas.

A MI SOBRINA FRANCCESCA NICOLE; Como olvidarme de ti pequeño lucero de luz intensa, que pese a tu corta edad; brindan confianza, amor fidelidad y palabras de alimento me haz sabido brindar.

A MIS TIOS MANUEL Y MIRYAM; Tíos, amigos, padrinos, confidentes, no encuentro palabras para describir y agradecer su apoyo incondicional, su motivación sus palabras a aliento, gracias por ser los mejores segundos padres.

A MI TIO NELSON RODRIGO; Especiales y calurosas palabras para usted “Compañero” por saber ser el Padre que no tuve; por no dejarme caer, por sostenerme cuando tambalee, gracias por mantenerme de pie.

A MI PATRIA ECUADOR; porque sentirme ecuatoriano, cobijarme en tu bandera despierta en mí un reto de obtener un trabajo de gran calidad y competitividad por hacer grande mi país, por darte un orgullo más mi tricolor.

A MIS MAESTROS; Por su dedicación, empeño, oportunidad, paciencia, gracias por poner en mis manos todos los conocimientos básicos, para hacer florecer en mí la avidez de investigación.

A LA ESPE. Agradezco a los señores Director y Codirector y a toda la cefalía de tan noble institución que con esfuerzo, amor y entrega incondicional hacen de la ESPE y sus docentes los gestores de un cambio social de líderes creativos, creadores, preactivos en beneficio de la sociedad poniendo a la altura del cambio del nuevo milenio a sus profesionales, gracias por estar en actualización permanente que nos sirven de ejemplo para estar en busca de superación y perfeccionamiento.

No sería justo dejar afuera a tanto mentor que hizo de mi el mejor de los Ingenieros, hago extensivo a todos ellos el mas sincero de los agradecimientos porque me siento competitivo para el duro mercado pues tengo las mejores bases, los mas amplios conocimientos y gracias muchas gracias a nombre de mi patria y en mi nombre personal.

Agradezco a tan noble institución que me abrió las puertas y me acunó en su seno, cuando ávido de conocimiento estaba, gracias a la visión y misión crearon en mi el mejor profesional con el mejor perfil y gran competitividad, gracias a ti oh noble institución, nace hoy un ingeniero al servicio de la patria y la sociedad.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACION DE LA ELABORACION DEL PROYECTO.....	II
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
INDICE DE CONTENIDOS.....	VI
FIGURAS.....	X
TABLAS.....	XIII
ANEXOS.....	XV
RESUMEN.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	XVII

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Definición del Problema.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 General.....	2
1.3.2 Específicos.....	2
1.4 Alcance.....	3
1.5 Justificación e Importancia.....	3

CAPÍTULO 2

DETERMINACION DE LAS ESPECIFICACIONES FUNCIONALES DEL BIODIGESTOR.....	5
2.1 Energía térmica disponible para calentamiento.....	5
2.2 Volumen de biorreacción.....	25
2.3 Aspectos básicos del diseño.....	26
2.4 Temperaturas del proceso.....	27
2.5 Presión de almacenamiento y condiciones de carga inicial.....	29
2.6 Análisis de cargas preliminares.....	30
2.7 Homologación campo de colectores.....	34

CAPITULO 3

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE CARGAS DE PRUEBA.....	41
3.1 Materia orgánica.....	41
3.2 Materia vegetal.....	44
3.3 Cantidad de agua.....	44
3.4 Tipos de mezclas.....	47
3.5 Tiempos de fermentación.....	50
3.6 Análisis de cargas.....	50
3.7 Producción de BIOGAS.....	51
3.8 Condiciones para la biodigestión y seguridad industrial.....	53

CAPITULO 4

DISEÑO DE COMPONENTES DEL BIODIGESTOR.....	55
4.1 Accesorio de carga.....	55
4.2 Sistema de captación de BIOGAS.....	55
4.3 Selección de alternativas de captación de Biogas.....	62
4.4 Anclajes y cimentación.....	63
4.5 Distribución en planta.....	68
4.6 Acoplamiento de componentes.....	68

CAPITULO 5

CONSTRUCCION DE COMPONENTES.....	70
5.1 Hoja de procesos.....	70
5.2 Selección de materiales.....	71
5.3 Mano de obra.....	72
5.4 Procesos de fabricación.....	73
5.5 Montaje.....	79
5.6 Documentación.....	80

CAPITULO 6

PARTE EXPERIMENTAL.....	81
6.1 Modelo experimental.....	81
6.2 Datos de cargas.....	90
6.3 Instrumentación utilizada.....	96
6.4 Hoja de pruebas.....	100
6.5 Facilidades requeridas para experimentación.....	101
6.6 Tiempos de fermentación de cargas combinadas.....	109
6.7 Presión interna.....	109
6.8 Determinación de la composición química.....	109
6.9 Tecnología de la combustión.....	111
6.10 Análisis de llamas.....	118
6.11 Características del proceso mejorado.....	121

CAPITULO 7

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION.....	124
7.1 Curvas representativas.....	124
7.2 Muestreo para aceptación.....	124
7.3 Análisis estadístico de muestras.....	126
7.4 Selección de parámetros para el proceso de producción de Biogás.....	133

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	137
8.1 Conclusiones.....	137
8.2 Recomendaciones.....	139
BIBLIOGRAFÍA.....	140
ANEXOS.....	141

INDICE DE FIGURAS

FIGURAS	CONTENIDO	PÁGINA
2.1	Instalación de colectores planos para calentamiento de agua.....	6
2.2	Zona de radiación térmica del colector.....	7
2.3	Componentes del captador básico.....	8
2.4	Balance energético del captador básico.....	9
2.5	Balance energético en el tubo del colector.....	10
2.6	Transferencia de calor hacia el fluido de proceso.....	10
2.7	Angulo de incidencia y de refracción.....	12
2.8	Paredes compuestas.....	13
2.9	Esquema eléctrico equivalente del colector.....	16
2.10	Campo de colectores solares planos.....	24
2.11	Esquema del reactor para fermentación de biomasa.....	25
2.12	Biorreactor y campo solar en proceso de montaje.....	27
2.13	Aspectos energéticos del biorreactor.....	27
2.14	Biorreactor de tipo cilíndrico vertical.....	28
2.15	Esquema de la configuración estándar para sistemas de líquido como fluido de transferencia y almacenamiento.....	37
2.16	Esquema de la configuración estándar para sistemas de preparación de agua caliente.....	39
2.17	Esquema de la configuración estándar para sistemas de aire.....	40
3.1	Recursos orgánicos para obtención de biogás y BIOL.....	42
3.2	La biomasa considerada como un desperdicio.....	44
3.3	Vegetal en preparación.....	49
4.1	Válvula antiretorno.....	55
4.2	Acumulador.....	60
4.3	Filtro para aire o gases.....	63
4.4	Compresor de aire.....	63
4.5	Distribución de las bases del biorreactor.....	64
4.6	Dimensiones de la base y perfil columna.....	64
4.8	Fuerza de compresión sobre el plinto.....	66

4.9	Geometría del plinto.....	67
4.10	Distribución en planta del biorreactor y campo solar.....	68
4.11	Acoplamiento de componentes para pruebas experimentales de fermentación anaeróbica.....	69
5.1	Soldadura SMAW.....	73
5.2	Cordón de soldadura utilizando electrodo E6010.....	74
5.3	Soldadura de cabezas toriesféricas en un recipiente para soportar presión interna.....	75
5.4	Corte oxiacetilénico utilizando un pantógrafo.....	76
5.5	Canal metálico obtenido mediante procesos de doblado a 90°.....	77
5.6	Barolado de un perfil.....	77
5.7	Cabeza toriesférica obtenida mediante estampado.....	78
5.8	Taladro de pedestal para acoplamiento de brocas de mango cónicas.....	78
6.1	Bacteria metanogénica.....	82
6.2	Tamaño de una bacteria metanogénica.....	82
6.3	Crecimiento bacteriano en un residuo vegetal.....	83
6.4	Crecimiento bacteriano separado por intersticios o espacios vacíos.....	84
6.5	Crecimiento en las cargas vegetales peletizadas.....	84
6.6	Producción de biogás con cargas sin preparación.....	85
6.7	Producción de biogás con cargas vegetales peletizadas.....	85
6.8	Silo con cargas de biomas residual y aislamiento superior.....	86
6.9	Diagrama de presiones en el interior del recipiente.....	86
6.10	Temperatura promedio de los fluidos.....	87
6.11	Separación de las moléculas de biogás desde el sustrato.....	87
6.12	Fuerzas verticales sobre las moléculas de biogás.....	88
6.13	Elementos constitutivos del biogás.....	88
6.14	Obtención de biogás con alta incidencia de cargas vegetales peletizadas.....	89
6.15	Balanza digital pesando el sustrato.....	97
6.16	Recipiente de vidrio para medición de volumen de agua.....	97
6.17	Medidor de temperatura interna del digestor.....	98
6.18	Manómetro para medir la presión interna del reactor.....	99

6. 19	Termómetro de bolsillo para temperatura ambiente.....	99
6. 20	Higrómetro.....	99
6. 21	PHímetro.....	100
6. 22	Instrumentos de medida de presión y temperatura.....	101
6. 23	Tapa del recipiente.....	101
6. 24	Recipiente con fondo anticorrosivo.....	102
6. 25	Verificación de los recipientes para muestras experimentales.....	102
6. 26	Colocación de aislamiento térmico.....	103
6. 27	Recipiente con aislamiento térmico.....	103
6. 28	Materia prima en estado de crecimiento.....	104
6. 29	Materia prima en estado de descomposición.....	104
6. 30	Secado en horno.....	105
6. 31	Bandeja con hierba seca.....	105
6. 32	Desechos orgánicos.....	106
6. 33	Colocación de urea.....	106
6. 34	Mezclado.....	107
6. 35	Pesaje del sustrato en balanza digital.....	107
6. 36	Carga en el biorreactor.....	108
6. 37	Envoltura térmica.....	108
6.38	Tipo de llama al quemar biogás producido por estiércol.....	119
6.39	Tipo de llama al quemar biogás producido por hierba.....	119
6.40	Combustión de biogás producido por estiércol predominante.....	120
6.41	Combustión de biogás producido por biomasa residual predominante.....	120
6.42	Preparación de la materia prima vegetal.....	121
6.43	Elaboración de cargas con desechos orgánicos.....	122
6.44	Combustión de biogás.....	123
7.1	Diagrama indicador de presión interna.....	128
7.2	Datos de presión interna del recipiente 3.....	129
7.3	Datos de presión interna del recipiente 5.....	130
7.4	Datos de presión del recipiente 8.....	130
7.5	Datos de presión interna del recipiente 10.....	131
7.6	Variación de presión en los recipientes más representativo.....	132
7.7	Diagrama barras sobre presiones internas de los recipientes.....	133

INDICE DE TABLAS

TABLAS	CONTENIDO	PÁGINA
2.1	Porcentaje de mezclas biodegradables.....	29
2.2	Características de carga en el biorreactor prototipo.....	30
2.3	Datos de presión y temperatura del proceso de fermentación.....	31
2.4	Parámetros de análisis.....	35
2.5	Rango de validez de los parámetros.....	37
3.1	Desechos utilizados para la fermentación anaeróbica.....	43
3.2	Cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y su rendimiento en gas.....	43
3.3	Cantidad de agua en porcentaje.....	45
3.4	Porcentaje de mezcla vegetal estiércol.....	48
3.5	Porcentaje de mezclas biodegradables.....	49
3.6	Tiempos de fermentación de residuos de granja.....	50
3.7	Porcentaje de metano.....	52
3.8	Materias primas bioproductoras de CH ₄ y sus rendimientos en biogás.....	52
5.1	Materiales utilizados en el proyecto.....	71
5.2	Mano de obra y descripción de responsabilidades.....	72
6.1	Densidad aparente de los componentes orgánicos.....	91
6.2	Combinaciones de biomasa, pesos y porcentajes.....	91
6.3	Relación carbono nitrógeno.....	92
6.4	Agua para rehidratación de la biomasa seca.....	93
6.5	Datos experimentales de densidad de sustratos.....	94
6.6	Cantidad de agua, volúmenes del sustrato y del gasómero (VG).....	96
6.7	Hoja para datos de presión y temperatura.....	100
6.8	Características de sustancias.....	110
6.9	Temperaturas teóricas de combustión de algunos gases combustibles (teniendo en cuenta la disociación y el exceso de aire).....	116

7.1	Datos de presión de 4 cilindros más representativos.....	127
7.2	Cuadro comparativo entre las cargas de mayor incidencia.....	134
7.3	Análisis FODA para el nuevo proceso de obtención de biogás.....	135

INDICE DE ANEXOS

ANEXOS	CONTENIDO	PÁGINA
2	DETERMINACION DE LAS ESPECIFICACIONES FUNCIONALES DEL BIORREACTOR.....	140
2.1	Informe de resultados gases de fermentación anaeróbica.....	142
2.2	Energía promedio anual disponible en Sangolquí.....	144
2.3	Temperatura ambiente promedio anual.....	145
2.4	Temperatura promedio anual del agua de la red.....	146
2.5	Porcentaje de la demanda de A.C.S. que cubre el sol.....	147
3	PLANOS DE LA INSTALACION.....	148
3.1	Zapata y plinto.....	149
3.2	Zapata y base de columna.....	150
3.3	Cimentación de hormigón y columna.....	151
3.4	Bases del biorreactor.....	152
3.5	Distribución en planta.....	153
3.6	Acumulador.....	154
3.7	Instalaciones de biogás.....	155
4	DIAGRAMAS DE PROCESOS DE FABRICACION.....	156
4.1	Diagrama de construcción de la cimentación.....	157
4.2	Fabricación de recipientes para experimentos.....	158
4.3	Fabricación del acumulador de biogás.....	159
5	DIAGRAMAS DE PREPARACION DE BIOMASA VEGETAL.....	160
5.1	Preparación de biomasa vegetal.....	161
5.2	Preparación de mezclas.....	162
6	ANALISIS DE RESULTADOS.....	163
6.1	Diagrama de ISHIKAWA.....	164
6.2	Valores de presión interna en los recipientes.....	165
6.3	Reporte de análisis por cromatografía de gases.....	173

RESUMEN

La biomasa se constituye en uno de los recursos energéticos renovables más importantes que dispone nuestro país, por ésta razón se trató de orientar los esfuerzos en el desarrollo de estudios técnicos así como también análisis de carácter experimental que permitan alcanzar procesos eficientes de generación de biogás, mediante el uso de cargas con predominio de masa vegetal, mezcladas con determinadas proporciones de estiércol proveniente de diversas especies, urea, entre otros, para lograr una adecuada relación C/N que puede variar desde 20/1 a 30/1. El presente proyecto tiene como finalidad determinar las cargas adecuadas de desechos orgánicos, para obtener biogás a partir de una mezcla con una incidencia de harina vegetal del 60 al 70%.

INTRODUCCION

Existen muchos métodos para producción de biogás y abono orgánico líquido a partir del uso de estiércol, se han probado varios equipos de tipo artesanal utilizando modelos hechos en la India o China, su fabricación se utilizan paredes conformadas con mampostería de ladrillo y cilindros con campana flotante. Sin embargo estos son de de baja eficiencia. Por otra parte, para realizar la recolección de este recurso orgánico, en diversas regiones de nuestro país es muy difícil en vista de la exuberante vegetación y al exceso de lluvias, por lo que para obtener la carga necesario para abastecimiento del biorreactor se torna muy complicado, una de las posibilidades sería factible si los animales estarían semiestabulados. En vista de estas dificultades y debido a la existencia de grandes cantidades de materia vegetal que se lo considera como un desperdicio, en el presente proyecto se realizan los estudios necesarios sobre el comportamiento de diversas mezclas vegetales, las cuales dan mayor o menor producción de biogás.

El trabajo consiste en describir las generalidades en el capítulo 1, la determinación de las especificaciones funcionales del biorreactor, se indican en el capítulo 2, a continuación, en el capítulo 3 se aborda el análisis y selección de cargas, posteriormente se presenta el diseño de componentes, luego viene la construcción y parte experimental, para finalizar con el análisis de resultados y las conclusiones al proyecto.