

Índice general

<i>Resumen</i>	<i>i</i>
<i>Summary</i>	<i>ii</i>
<i>Índice general</i>	<i>iii</i>
<i>Índice de fotografías</i>	<i>viii</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>viii</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>ix</i>
Capítulo I	11
Introducción	11
1.- Introducción	12
1.1.- Antecedentes y motivación	13
1.2.- Descripción del problema	13
1.3.- Solución propuesta	14
1.4.- Objetivos y alcances del proyecto	14
1.4.1.- Objetivo general	14
1.4.2.- Objetivos específicos	14
1.4.3.- Alcances del proyecto	15
1.5.- Metodologías y herramientas utilizadas	15
1.5.1.- Instrumentos de medición	16
1.6.- Resultados obtenidos	19
Capítulo II	20
Fundamentos teóricos sobre la tecnología del biogás	20
2.1.- Introducción	21

2.2- Biomasa	21
2.3.- Digestión anaeróbica y sus procesos	22
2.3.1- Primera etapa o hidrólisis	22
2.3.2.- Segunda etapa o acetogénesis	22
2.3.3.- Tercera etapa o metanogénesis	23
2.4.- Equilibrio bacteriano y factores limitantes	24
2.4.1.- Temperatura	25
2.4.1.1.- Rango Psicrófilico	25
2.4.1.2.- Rango Mesófilico	25
2.4.1.3.- Rango Termófilico	26
2.4.2.- pH y alcalinidad	26
2.4.3.- Nutrientes	27
2.4.4.- Agitación	27
2.4.5.- Presión de Operación	28
2.4.6.- Destrucción Patógena	28
2.5.- El calor y el color	29
Capítulo III	30
Metodología de diseño	30
3.1- Introducción	31
3.2.- Conceptos en el diseño de un biodigestor	31
3.2.1.- Tiempo de retención según la temperatura	32
3.2.2.- Estiércol disponible	34
3.2.3.- Alimentación o carga de mezcla diaria	35
3.2.4.- Producción de biogás	36
3.2.4.1.- Método de los sólidos totales (ST)	36
3.2.4.2.- Sólidos volátiles (SV)	36
3.2.4.3.- Factor de Producción	37
3.2.5.- Ejemplo de cómo estimar la producción de biogás	37
3.2.6.- Consumo y equivalencias energéticas del biogás	38
3.3.- Dimensionamiento	39

3.3.1.- Volumen total del biodigestor (Vt)	39
3.3.2.- Volumen líquido (VI)	39
3.3.3.- Volumen gaseoso (Vg)	40
3.4.- Materiales necesarios	40
3.4.1.- Prestaciones generales del polietileno	40
3.4.2.- Dimensionamiento y diseño del reactor	41
3.4.3.- Relación óptima entre longitud y diámetro	42
3.4.4.- Dimensionamiento de la zanja	43
3.4.5.- Nivel hidráulico	44
3.5.- Diseño del prototipo de prueba	45
3.5.1.- Condiciones existentes	45
3.5.2.- Desarrollo del diseño	46
3.5.3.- Búsqueda y cotización de materiales	50
Capítulo IV	52
Metodología de construcción y montaje	52
4.1.- Introducción	53
4.2.- Elección del lugar de construcción	53
4.2.1.- Ubicación del prototipo	54
4.3.- Cavado y preparación de la zanja	54
4.3.1.- Preparación de la cama y/o aislación de la zanja	57
4.4.- Construcción del cuerpo del biodigestor	58
4.4.1.- Doble o triple capa de polietileno	58
4.4.2.- Instalación de la salida del biogás	59
4.4.3.- Instalación de los tubos de entrada y salida	60
4.5.- Instalación de la manga en la zanja	63
4.5.1.- Fijación de las alturas de los tubos de entrada y salida	63
4.5.2.- Inflado de la manga y comprobación de medidas	65
Capítulo V	66

<i>Puesta en marcha, accesorios y operación</i>	66
5.1- Introducción	67
5.2.- Primera carga de llenado	67
5.3.- Construcción del invernadero	68
5.4.- Válvula de seguridad	69
5.5.- Reposo hasta la generación del biogás.	70
5.6.- Accesorios necesarios en la conducción de biogás.	72
5.6.1.- Filtro de sulfhídrico (H ₂ S).	72
5.6.1.1.- Filtro de sulfhídrico mediante virutas de hierro.	72
5.6.1.2.- Filtro de sulfhídrico mediante solución de óxido de calcio (CaO).	73
5.6.2.- Manómetro diferencial de agua tipo pozo.	75
5.6.3.- Acumulación de agua.	76
5.6.4.- Gasómetro o reservorio de biogás.	76
5.6.4.1.- Construcción del gasómetro	77
5.6.5.- Adaptaciones de cocinas y quemadores	78
<i>Capítulo VI</i>	79
<i>Análisis y discusión del proyecto</i>	79
6.1.- Introducción	80
6.2.- Registros de operación del prototipo	80
6.2.1.- Registro de variación de temperatura	80
6.2.2.- Registro de variación de temperatura durante un día	83
6.2.2.- Registro de variación de pH	84
6.3.- Cuidados para la operación del equipo	86
6.4.- Mejoramiento del proyecto	87
<i>Capítulo VII</i>	89
<i>Evaluación financiera</i>	89
7.1.- Introducción	90

7.2.- Costos v/s beneficios del proyecto	90
7.2.1.- Costo de materiales	90
7.2.2.- Costos de Operación	92
7.2.3.- Costos por mantenimiento	92
7.2.4.- Biogás como beneficio	93
7.2.5.- Biofertilizante como beneficio	94
7.2.6.- Evaluación financiera del proyecto	96
7.2.6.1.- Vida útil del proyecto	96
7.2.6.2.- Valor residual del proyecto	97
7.2.6.3.- Tasa de retorno minima atractiva (T.R.E.M.A.)	97
7.2.6.4.- Valor actual neto (V.A.N.)	97
7.2.6.5.- Tasa interna de retorno (T.I.R.)	98
7.2.6.6.- Índice de rentabilidad	99
7.2.6.7.- Periodo de pago o pay back	99
7.3.- Conclusión de la evaluación financiera	100
Conclusiones	101
Referencias bibliográficas	103
Apéndices	106
A.-Presentación del prototipo	106
A.1.- Planimetría esquemática de cotas principales	107
A.2.- Planimetría esquemática de accesorios	108
A.3.-Ficha técnica del biodigestor prototipo	109
B.- Prueba práctica del biogás	110
B.- Biofertilizante o Biol. (Fertilizante foliar líquido)	111
B.1.- Aplicación general del Biol	113
B.2.- Ventajas del uso del Biol como fertilizante	114

Índice de fotografías

<i>Fotografía 1: Termómetro digital CIE modelo 303K</i>	16	
<i>Fotografía 2: Manómetro diferencial artesanal de agua tipo pozo</i>	18	
<i>Fotografía 3: Biogás y biodigestor</i>	19	
<i>Fotografía 4: Imagen aérea lechería fundo TRAFALGAR</i>	46	
<i>Fotografía 5 Imagen aérea del lugar de construcción del prototipo</i>	54	
<i>Fotografía 6: Montaje en zanja o en tapiales de adobe</i>	55	
<i>Fotografía 7: Aislación térmica y acolchado de la zanja</i>	57	
<i>Fotografía 8: Corte de la manga de polietileno</i>	58	
<i>Fotografía 9: Introduciendo una manga dentro de otra</i>	59	
<i>Fotografía 10: Materiales para la construcción de la salida del biogás</i>	59	
<i>Fotografía 11: Tiras de liga</i>	61	
<i>Fotografía 12: Amarre de la manga al tubo de PVC</i>	61	
<i>Fotografía 13: La liga no esta suficientemente</i>	<i>Fotografía 14: Liga bien tensa.</i>	62
<i>Fotografía 15: Amare final con ayuda de un alicate.</i>	62	
<i>Fotografía 16: Primera carga de llenado.</i>	68	
<i>Fotografía 17: Estructura del invernadero.</i>	68	
<i>Fotografía 18: Filtro de sulfhídrico</i>	<i>mediante lana de hierro.</i>	73
<i>Fotografía 19: Dobles y Amarre del reservorio de biogás.</i>	77	
<i>Fotografía 20: Adaptación de quemadores</i>	78	

Índice de figuras

<i>Figura 1: Termocupla</i>	17
<i>Figura 2: Cinta de papel medidora de pH marca MERCK</i>	17
<i>Figura 3: Etapas metabólicas involucradas en el proceso de digestión.</i>	23
<i>Figura 4: Procesos biológico que suceden dentro de un biodigestor de forma simplificada.</i>	24

<i>Figura 5: Refracción de la luz según el color de la superficie</i>	29
<i>Figura 6: Gráficos de tiempos de retención normal</i>	33
<i>Figura 7: Gráficos tiempos de retención para un efluente mejorado.</i>	34
<i>Figura 8: Esquema básico de un biodigestor de polietileno.</i>	42
<i>Figura 9: Dimensiones de la zanja contenedora del biodigestor.</i>	44
<i>Figura 10: Esquema del concepto de flujo continuo.</i>	45
<i>Figura 11: Dimensiones de la zanja del prototipo</i>	50
<i>Figura 12: Vista en cortes de la zanja de instalación</i>	56
<i>Figura 13: Entrada y salida de la zanja</i>	56
<i>Figura 14: Conjunto de salida del biogás</i>	60
<i>Figura 15: Colocación de la manga en la zanja</i>	63
<i>Figura 16: (A) Biodigestor con sello hidráulico; (B) Biodigestor sin sello hidráulico</i>	64
<i>Figura 17: Nivel del lodo al interior del biodigestor.</i>	65
<i>Figura 18: Estructura del invernadero modelada en 3D.</i>	69
<i>Figura 19: Esquema de la válvula de seguridad o alivio.</i>	70
<i>Figura 20: Biodigestor, válvula de seguridad y llave de bola. Conjunto mínimo para esperar la generación de biogás.</i>	71
<i>Figura 21: Esquema del filtro de sulfhídrico con solución de óxido de calcio (CaO)</i>	74
<i>Figura 22: Trampa de agua construida con una tee.</i>	76
<i>Figura 23: Prototipo modelado en 3D</i>	106
<i>Figura 24: Conjunto de seguridad y control</i>	106

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Tiempo de retención según temperatura [12]</i>	32
<i>Tabla 2: Tiempo de retención según temperatura para un fertilizante mejorado</i>	33
<i>Tabla 3: Producción de estiércol diario [12]</i>	35
<i>Tabla 4: Factor de producción para los sustratos más utilizados [12]</i>	37
<i>Tabla 5: Producción de biogás por kg de estiércol [14]</i>	38
<i>Tabla 6: Equivalencias energéticas del biogás [12]</i>	38
<i>Tabla 7: Prestaciones según ancho de rollo</i>	41

<i>Tabla 8: Longitud del biodigestor según el ancho del rollo</i>	42
<i>Tabla 9: Relación optima de entre longitud y diámetro del biodigestor. [12]</i>	43
<i>Tabla 10: Dimensiones de la zanja según ancho de rollo (AR) [12]</i>	44
<i>Tabla 11: Estimación de prestaciones óptimas del polietileno.</i>	49
<i>Tabla 12: Longitudes de polietileno para la construcción del reservorio de biogás.</i>	77
<i>Tabla 13: Registro de temperatura del prototipo</i>	82
<i>Tabla 14: Seguimiento de la temperatura del reactor durante un día</i>	83
<i>Tabla 15: Registro de la medición de pH</i>	85
<i>Tabla 16: Costos de los materiales del proyecto</i>	91
<i>Tabla 17: Equivalencia del combustible sustituto</i>	93
<i>Tabla 18: Costos y composición de fertilizantes químicos más utilizados</i>	95
<i>Tabla 19: Componentes químicos encontrados en el biofertilizante</i>	95
<i>Tabla B.1: Composición práctica GLP v/s Biogás</i>	110
<i>Tabla C.1: Composición química del biol</i>	111
<i>Tabla C.2: Componentes químicos encontrados en el biofertilizante</i>	112
<i>Tabla C.3: Ejemplo de dosificación del biol</i>	113