

BIODIGESTORES

MANUAL PRÁCTICO
DE DISEÑO



DIMENSIONAMIENTO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BIODIGESTORES Y PLANTAS DE BIOGÁS

DIPL. ING. SANITARIO AMBIENTAL – ING. CIVL
GABRIEL MONCAYO ROMERO

2010

CONTENIDO

Capítulo 1

APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA

Capítulo 2

DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Capítulo 3

BIOMASA Y PRODUCCION DE BIOGÁS

Capítulo 4

TIPOS DE BIODIGESTORES

Capítulo 5

APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS

Capítulo 6

DIMENSIONAMIENTO DE BIODIGESTORES

Capítulo 7

DISEÑO DE BIODIGESTORES

Capítulo 8

LOS BIODIGESTORES Y EL PROTOCOLO DE KIOTO

Capítulo 9

APLICACIÓN DEL SOFTWARE BIODIGESTOR



EDICIÓN: Aqualimpia Beratende Ingenieure
AUTOR: Dipl. Ing. Sanitario Ambiental . Ing. Civil Gabriel Moncayo Romero
DISEÑO GRÁFICO: Ing. Gunther Zimmerman
ILUSTRACIONES: GeoCad - Diseño gráfico
ISBN: 978-9942-01-719-2

ISBN 978-9942-01-719-2



Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de
biogás . Dipl. Ing. Gabriel Moncayo Romero

3

INDICE

CAPITULO 1: APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA

1.1	Historia de la aplicación del biogás.....	39
1.2	Los biodigestores en el siglo 21.....	42
1.3	Beneficios que aportan los biodigestores.....	45

CAPITULO 2: DIGESTION ANAEROBICA

2.1	Características del proceso	53
2.2	Principales factores que influyen la producción	61
	del biogás	61
2.2.1	Ausencia de oxígeno.....	62
2.2.2	Tipo y calidad de biomasa.....	63
2.2.3	Almacenamiento	67
2.2.4	Preparación de la biomasa.....	67
2.2.5	Clasificación, eliminación de materia extraña	68
2.2.6	Higienización	68
2.2.7	Troceado, trillado de la biomasa.....	69
2.2.8	Mezcla y homogenización	70
2.2.9	Alimentación del digestor	71
2.2.10	Masa seca (MS).....	71
2.2.11	Masa volátil (MV)	73
2.2.12	Carga orgánica volumétrica (COV).....	73
2.2.13	Temperatura del proceso	76
2.2.14	Tiempos de retención hidráulica (TRH).....	83
2.2.15	Acidez.....	88
2.2.16	Alcalinidad	90
2.2.17	Porcentaje de de degradación.....	91
2.2.18	Nutrientes	93
2.2.19	Agitación - mezclado.....	93

2.3	Factores que inhiben la producción de biogás	95
2.3.1	Nitrógeno amoniacal	98
2.3.2	Ácidos grasos volátiles.....	101
2.3.3	Ácidos grasos de cadena larga	102
2.3.4	Compuestos azufrados en los sistemas anaerobios	102
2.3.5	Cationes y metales pesados	104
2.3.6	Desinfectantes y antibióticos	107
2.3.7	Sulfatos	110

CAPITULO 3: BIOMASA Y PRODUCCION DE BIOGAS

3.1	Desechos agropecuarios.....	130
3.1.1	Estiércol de cerdo	141
3.1.2	Estiércol de ganado	154
3.1.3	Gallinaza o pollinaza.....	160
3.2	Desechos agroindustriales	170
3.2.1	Desechos de agroindustria de proceso de hortalizas.....	172
3.2.2	Desechos de procesadoras de lácteos	175
3.2.3	Desechos de industria aceitera y grasas, proceso de	181
	semillas.....	181
3.2.4	Desechos de beneficios de café.....	182
3.2.5	Desechos de industria pesquera	182
3.2.6	Aprovechamiento de efluentes y desechos.....	183
3.2.7	Aprovechamiento de vinazas en biodigestores	192
3.2.8	Aprovechamiento de efluentes producidos en	202
3.2.9	Aprovechamiento de desechos de ingenios.....	204
	azucareros	204
3.2.10	Desechos de procesadoras de pollos.....	206
3.2.11	Desechos de procesadoras de frutas	206

3.3	Cultivos energéticos	209
3.3.1	Maíz y forrajes	213
3.3.2	Topinambur.....	216
3.3.3	Pasto sudan.....	218
3.3.4	Planta piloto para cultivos energéticos.....	220
3.4	Importancia de la co-digestión	225
3.4.1	Producción de biogás y co-digestión	232
3.5	Características que definen a la biomasa	235
3.5.1	Contenido de masa seca (MS)	235
3.5.2	Contenido de masa volátil (MV).....	236
3.5.3	Demanda química de oxígeno DQO	237
3.5.4	Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	237
3.5.5	Relación carbono . nitrógeno (C:N)	238
3.5.6	Biodegradabilidad de desechos orgánicos.....	241
3.6	Producción de biogás.....	242
3.6.1	Cálculo de la producción de biogás en base a la	250
3.6.2	Ejemplo de cálculo de la producción de biogás para.....	254
3.7	Calidad del biogás.....	264
3.8	Producción de lodos.....	264

CAPITULO 4: TIPOS DE BIODIGESTORES

4.1	Digestores carga en batch.....	268
4.2	Digestores de régimen semicontinuo.....	269

4.3	De régimen continuo	269
4.4	Completamente mezclados	271
4.5	Digestores de dos etapas	272
4.6	Digestión seca.....	274

CAPITULO 5: APROVECHAMIENTO DEL BIOGAS

5.1	Características del biogás	276
5.2	Propiedades de los gases	281
5.3	Acondicionamiento del biogás	285
5.4	Aprovechamiento energético del biogás	287
5.4.1	Generación de energía eléctrica.....	294
5.4.2	Producción de energía eléctrica en generadores	297
5.4.3	Aprovechamiento de biogás en calderas	298
5.5	Recuperación de calor de los generadores.....	301
5.6	Aprovechamiento de biogás en transporte publico.....	303

CAPITULO 6: DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

6.1	Tipo y disponibilidad de biomasa	308
6.2	Características físico-químicas	311
6.3	Temperatura de la biomasa y del medio ambiente.....	312
6.4	Selección del tiempo de retención hidráulica (TRH).....	314

6.5	Ubicación geográfica - latitud, longitud y altitud.....	320
6.6	Energía requerida	321
6.7	Carga orgánica volumétrica (COV).....	322
6.8	Dimensionamiento planta de biogás.....	325
6.8.1	Tanques de alimentación	325
6.8.2	Sistema de alimentación	327
6.8.3	Dimensionamiento del digestor	327
6.8.4	Tanques de descarga	330
6.8.5	Lecho de secado de lodos.....	331
6.8.6	Tuberías de captación de biogás.....	332
6.8.7	Sistemas de purificación de biogás	333
6.8.8	Tanques de almacenamiento de biogás	333
6.9	Dimensionamiento de antorchas.....	343
6.10	Preparación de estudios de factibilidad y diseños	344
6.11	Selección de materiales de construcción	345
6.12	Ejemplos de plantas de biogás	347

CAPITULO 7: DISEÑO DE BIODIGESTORES

7.1	Biodigestores	367
7.1.1	Ubicación de los digestores.....	373
7.1.2	Digestores de hormigón	378
7.1.3	Recomendaciones para las construcciones de	384
	digestores de hormigón.....	384
7.1.4	Digestores de membrana HDPE.....	387
7.1.5	Digestores de acero	414

7.2	Cubiertas de EPDM.....	414
7.3	Aislamiento de los digestores	424
7.4	Calefacción de los digestores	428
7.5	Descarte de lodos y bioabono	433
7.6	Tanques de alimentación	438
7.7	Equipamiento para la alimentación de biomasa	442
7.8	Sistemas de bombeo.....	450
7.9	Tuberías de captación y conducción de biogás.....	452
7.10	Agitadores.....	456
7.11	Tanque de descarga	457
7.12	Lecho de secado de lodos.....	458
7.13	Tuberías de conducción	468
7.14	Antorchas para quema del biogás	472
7.15	Almacenamiento de biogás	476
7.16	Sistemas de generación de energía eléctrica.....	483
7.17	Aprovechamiento en motores y generadores.....	484
7.18	Eficiencia de motores y unidades de.....	487
	cogeneración	487
7.19	Aprovechamiento en motores diesel.....	490
7.20	Adecuación de motores de gasolina para que	491

funcionen con biogás	491
7.21 Aprovechamiento en micro turbinas.....	491
7.22 Sistemas de cogeneración	492
7.23 Casa de máquinas	494
7.24 Circuito de salida de los gases de escape	500
7.25 Sistemas de seguridad para los generadores	500
7.26 Alimentación a la red pública de energía eléctrica	501
7.26.1 Tarifas de conexión y costos de generación	501
7.26.2 La interconexión a la red publica	505
CAPITULO 8: LOS BIODIGESTORES COMO PROYECTO MDL	
8.1 Proyectos MDL.....	509
8.2 ¿Cómo funciona el MDL?.....	512
8.3 Porque califican los biodigestores como proyectos	513
MDL?	513
8.4 Mercado de emisiones	513
8.5 Negociación de los CERs.....	515
8.6 El trámite de los proyectos MDL	515
8.7 Cómo es el ciclo de un proyecto en el marco de.....	519
las Medidas para el Desarrollo Limpio (MDL).....	519
8.8 Los costos de transacción de un proyecto MDL.....	520
CAPITULO 9: UTILIZACIÓN DE SOFTWARE: PROGRAMA BIODIGESTOR	522
BIBLIOGRAFIA	528

LISTADOS DE TABLAS, FOTOS Y FIGURAS

Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de
biogás . Dipl. Ing. Gabriel Moncayo Romero

11

Lista de tablas		
Nº	Descripción	Página
1	Ventajas de la digestión anaeróbica	59
2	Valores mínimos de parámetros físicos y químicos necesarios para la digestión anaeróbica	62
3	Análisis masa seca proyecto en Chile	72
4	Contenido de agua diferentes sustratos	73
5	Temperatura óptima máxima, parámetros cinéticos de crecimiento de diferentes cultivos metano genéticos	78
6	Degradación de la biomasa en relación de temperatura de	92
7	Rangos de concentración de nutrientes, necesarios para el correcto crecimiento de bacterias anaerobias.	93
8	Concentración mínima de elementos, necesaria para la metalogénesis y factores ambientales.	98
9	Concentración inhibidora de amonios como N (mg/l)	100
10	Efecto de la concentración de algunos cationes (14)	101
11	Concentración límite de cationes en sistemas anaerobios	105
12	Concentración de inhibición y toxicidad de metales pesados	106
13	Concentración inhibidora de metales pesados en procesos anaeróbicos	106
14	Toxicidad de antibióticos en la producción de biogás	108
15	Producción de biogás estiércoles, cerdo ganado y gallinaza	131
16	Resultados de análisis FQ en estiércol de animales	132
17	Características físico químicas promedio de estiércol de animales	132
18	Contenido de metales pesados	133
19	Producción de biogás y nutrientes . valores referenciales	133
20	Producción de biogás . excrementos de animales	134
21	Producción anual de estiércol (Kg./PVA.a) y % de MS-MV y N	135
22	Producción anual (Kg./PVA/a) y porcentajes	136
23	Estiércol y heces por animal y por día y producción de biogás	136
24	Características físico químicas de excrementos animales	137

25	Producción de estiércol . biogás para diferentes tipo de animal - base peso de animal	137
26	Producción de nitrógeno y estiércol de varios tipos de animales por plaza de animal	139
27	Producción de heces y orinas de cerdos	140
28	Composición típica de los purines porcinos frescos y digeridos anaeróbicamente	143
29	Cerdos . producción de excretas según el estado del animal	143
30	Ejemplo de producción húmeda total (heces y orina)/día para varios tipos de cerdos	145
31	Composición de totales	145
32	Rendimientos de purines de cerdo aprovechados en biodigestores, temperatura en el digester 35°C TRH 20 días	146
33	Contenidos de nutrientes estiércol de cerdo	147
34	Porcentajes de MS, MV y producción de biogás de purín de cerdo	148
35	Análisis físico químico de afluentes a las lagunas de oxidación y cargas contaminantes	150
36	Producción de biogás y energía eléctrica	151
37	Producción de estiércol y nutrientes ganado vacuno	157
38	Producción de biogás . excrementos de animales	159
39	Porcentajes de MS, MV y producción de biogás, vacuno	159
40	Composición promedio de la gallinaza	162
41	Relación C/N gallinaza y % de degradación	163
42	Gallinaza - Contenido de metales pesados	164
43	Porcentajes de MS, MV y producción de biogás, gallinaza	164
44	Producción de biogás . pollos y gallinas	165
45	Consumo balanceado (año 2005 . 2006)	167
46	Análisis físico químico gallinaza	168
47	Contenido de MS, MV, nutrientes y biogás de varios sustratos	171
48	Carga de los residuos líquidos de diversos procesos de la industria de hortalizas	174
49	Pérdidas de producto generadas en industriales lácteas modernas	177

50	Pérdidas de productos generados en industrias lácteas bajo condiciones estándares, expresadas como porcentaje del volumen de leche grasa o suero procesado	178
51	Resultados de un análisis físico químico a desechos lecheros	179
52	Rendimiento digester a flujo de 3/d	180
53	Contenido de contaminantes aguas de industria aceitera	181
54	Caracterización de los RILES de la industria pesquera	183
55	Concentraciones de contaminantes en residuos líquidos de fábricas de cecinas	184
56	Concentración de contaminantes en las aguas residuales en procesadora	184
57	Análisis físico químico de desechos en matadero A	184
58	Resultados de análisis físico químico de desechos en matadero B	185
59	Resultados medidos en análisis físico químicos de mataderos y fábricas de cenizas	186
60	Parámetros característicos de aguas de mataderos	187
61	Características físico químicas de los desechos	188
62	Producción de biogás	189
63	Características del rúmen y producción de biogás	191
64	Generación mensual de residuos el matadero	192
65	Características físico - químicas de los lotes de vinazas obtenidos a partir de azúcar mascabado y melazas	192
66	Análisis físico químico de afluentes y efluentes de un biodigester	199
67	Caracterización de efluentes de la producción de alcohol	200
68	Características de aguas residuales de producción de azúcar y alcohol	204
69	Características físico químicas diferentes sustratos industria azucarera	205
70	Calidad de agua residual en la producción de levadura	205
71	Demanda de agua y DBO procesadoras de pollos	206
72	Carga de los residuos líquidos de diversos procesos de la	207

	industria de frutas	
73	Desechos de mercados, frutas	208
74	Producción de biogás de cultivos energéticos	209
75	Contenido de proteínas y nitrógeno de cultivos energéticos	210
76	Producción de biogás de varios cultivos energéticos	211
77	Contenido de MS, MV producción de biogás	214
78	Contenido de metales forrajes	215
79	Maíz, contenido de masa seca y volátil dependiendo de la época de cosecha	216
80	Producción de biogás	235
81	Relación C/N varios tipos de desechos agroindustriales	240
82	Relación C/N varios tipos de estiércol	241
83	Producción de biogás de varios tipos de biomasa	243
84	Componentes del biogás y producción de diferentes tipos de biomasa	244
85	Producción de biogás diferentes tipos de biomasa	246
86	Producción de biogás y metano de varios sustratos a un TRH de 20 días y una temperatura de 30°C	247
87	Producción de biogás y gas metano de diferentes co-sustratos	248
88	Estimación de la producción de metano aprovechando aguas residuales	254
89	Coeficiente de distribución de varios componentes de biogás	256
90	Estimación de la composición del biogás	263
91	Composición del biogás	277
92	Equivalencias energéticas 1m ³ de biogás	277
93	Características del biogás y comparación con otros gases	278
94	Contenido de CH ₄ y CO ₂	279
95	Características de los componentes del biogás	280
96	Requerimientos mínimos del biogás para su aprovechamiento energético	286
102	Parámetros necesarios para análisis físico químico	289
103	Contaminantes contenidos en el biogás	293

104	Ejemplo de requerimientos de energía eléctrica digestores	298
105	Características calderas de biogás	296
106	Parámetros para conversión	296
107	Equivalencias energéticas	300
108	TRH en relación de temperatura del digestor	316
109	Producción de biogás para diferentes tipos de biomasa en relación a TRH	318
110	Degradación de biomasa en relación de temperatura de proceso TRH	319
111	Cálculo de la cov para una mezcla de sustrato para digestor $v=2000m^3$	323
112	Ejemplo de dimensionamiento de volumen requerido para almacenamiento de biogás	334
113	Ejemplo de cálculo producción de energía eléctrica biodigestor	340
114	Ejemplo de dimensionamiento como se efectúa en Alemania en base a VAE	342
115	Criterios de selección . tipo de biodigestor	345
116	Especificaciones mínimas membranana de HDPE	398
117	Especificaciones técnicas membrana EPDM de cubierta biodigestores	419
118	Especificaciones de aislantes térmicos	427
119	Tanques de mezcla y homogenización - alimentación	438
120	Especificaciones técnicas del sistema de antorchas	476
121	Especificaciones para la construcción de tanques de almacenamiento de biogás de EPDM	482
122	Especificaciones para tanques de almacenamiento de biogás	483
123	Características de motores	485
124	Precio pagado por energías renovables	505
136	Gases con efecto invernadero	509
137	Fases del proyecto	517
138	Costos de transacción proyectos MDL	521

Lista de fotos		
Nº	Descripción	Página
1	Aprovechamiento de desechos de restaurantes en Hamburgo - Alemania	36
2	Calentamiento Global	38
3	Planta de biogás "Nawaro BioEnergie AG"	42
4	Planta de biogás en Nicaragua	44
5	Tewe (Alemania) Tanques de higienización de desechos de	69
6	Trilladoras Strautmann (Alemania)	70
7	Restos de verduras para ser aprovechados en un biodigestor en	119
8	Aprovechamiento de verduras en digestor en Alemania	119
9	Forraje de pasto aprovechado en digestores en Alemania	120
10	Estiércol de ganado en república Dominicana	122
11	Gallinaza se vierte al medio ambiente - Ecuador	123
12	Desechos domiciliarios urbanos y producción de Biogás en Ambato/Ecuador	124
13	Contaminación	128
14	Separador de sólidos en granja porcina	152
15	Separador de sólidos industriales	153
16	Feedlot y establos.	156
17	Criadero de pollos en piso y en jaulas	168
18	Pollos de engorde en piso	169
19	Desechos orgánicos en fábrica de conservas en el Perú	173
20	Desechos de industria lechera	176
21	Biodigestor en Dinamarca para producción de biogás	180
22	Producción de desechos	187
23	Composición y recolección artesanal del rúmen	191
24	Producción de vinazas en ingenio azucarero Cartavio . Perú	194
25	Descarga de vinazas en laguna de oxidación	192
26	Maíz forrajero	135
27	Topinambur	217
28	pasto sudan	219
29	Planta Piloto Chile	222

30	Planta Piloto construcción de agitador - Ecuador	223
31	Generadores Guascor para Biogás	295
32	Gasolinera de biogás en Alemania	303
33	Confinamiento de cerdos sobre piso	309
34	Silos para almacenamiento de forrajes de maíz	310
35	Vinazas producidas en el ingenio azucarero Cartavio - Perú	313
36	Lecho de secado de lodos	332
37	Tanques de almacenamiento biogás	338
38	Planta de biogás Senftenberg - Alemania	352
39	Planta de biogás Juneda	353
40	Planta de biogás Kogel - Alemania	355
41	Interior de un digestor	358
42	Planta de biogás Grundorf - Alemania	359
43	Recolección de diferentes tipos de biomasa	381
44	Planta de biogás en zona rural	362
45	Construcción de drenajes para biodigestor	363
46	Planta de biogás Seftenberg/Alemania	367
47	Ojo de buey o ventanilla de inspección	369
48	Planta de biogás	370
49	Lagunas de oxidación vinazas. Ingenio azucarero Cartavio - Perú	371
50	Planta de biogás diseñada y construida por ENTEC GMBH	372
51	Canal de recolección de estiércol de ganado y de cerdo	374
52	Biodigestor Latacunga/Ecuador	377
53	Digestores de hormigón armado construidos en Alemania	379
54	Construcción de digestores en Alemania	382
55	Construcción de cimentación de digestores de hormigón	383
56	Construcción de digestores de hormigón	383
57	Tanques de hormigón armado en Alemania	384
58	Planta de biogás en Finlandia . Estructuras de hormigón armado	386
59	Digestor de membranana EPDM	387

60	Lagunas para almacenamiento de agua construidas en el Ecuador	389
61	Colocación de membranana y tuberías de alimentación	390
62	Tuberías de alimentación captación de biogás	390
63	Colocación de la membranana	391
64	Sellado de membranana. Emin Perú	392
65	Colocación de la membranana	393
66	Colocación de la cubierta	394
67	Colocación de la membranana y cubierta en digestores de gran tamaño	395
68	Cubierta no inflada por presión de biogás-succión de lodos	397
69	Canal sello hidráulico para amarre de la membrana de cubierta	404
70	Tuberías de captación de biogás	405
71	Captación de biogás	405
72	Colocación de membranana	408
73	Digestor de membranana construido en Brasil, cubierta EPDM	413
74	Digestores de acero inoxidable. Luetke - Alemania	414
75	Digestores con cubierta de EPDM	415
76	Base de madera para depósito de azufre elemental y soporte de la membrana	418
77	Colocación de la membrana de EPDM	421
78	Biodigestores con cúpula de EPDM	423
79	Aislamiento de digestor de acero	425
80	Instalación de sistemas de calefacción	429
81	Sistemas de calefacción	430
82	Descarte de biol	434
83	Descarga de fondo en biodigestores de acero	434
84	Tanques de alimentación	439
85	Sistema de agitación para tanque de homogenización	440
86	Sistema de mezcla	441
87	Alimentación por gravedad. Plataforma para llegada de tractores o tolvas	444

88	Sistemas de alimentación con bombas de tornillo sin fin	445
89	Alternativa para alimentación	446
90	Ejemplos de alimentación	446
91	Alimentación por medio de tornillo sin fin	447
92	Tanque de alimentación digestor alemán	448
93	Sistemas de alimentación - tornillo sin fin	449
94	Bombas alimentación digestores	450
95	Valvulería, bombas y accesorios	451
96	Instalación de tuberías biogás	452
97	Válvulas de sobre presión	454
98	Tuberías de captación de biogás	455
99	Lechos de secado de lodos	460
100	Lecho de secado de lodos para digestor pequeño (500m ³)	461
101	Lecho de secado de lodos para planta de biogás de 5000m ³	462
102	Lecho de secados de lodos en países tropicales	466
103	Lodos granulados en lecho de secado	466
104	Tuberías y válvulas	469
105	Antorchas para quema de biogás	473
106	Foto de antorcha	474
107	Tanques de almacenamiento de biogás	477
108	Tanques de EPDM para almacenamiento de biogás, bajo cobertura sencilla para protección climática	477
109	Tanques de almacenamiento de biogás de doble membrana	478
110	Alternativa de almacenamiento de biogás en bolsa de EPDM ubicada junto a digestor	479
111	Almacenamiento de biogás membrana EPDM de doble capa	480
112	Construcción de tanque de biogás	481
113	Unidades de generación de 170 y 330 kW.	480
114	Sala de máquinas planta de biogás Alemania	495
115	Casa de máquinas	497

Listado de figuras		
Nº	Descripción	Página
1	Aprovechamiento de desechos orgánicos	49
2	Esquema de degradación anaeróbica de desechos orgánicos	53
3	Diagrama descomposición anaeróbica	54
4	Ciclo anaeróbico	55
5	Esquema simplificado proceso anaeróbico	57
6	Variación del pH con cambio de biomasa	66
7	Influencia de la COV en la producción de biogás	75
8	Producción de metano en relación al TRH	77
9	Rango óptimo tiempo de retención	81
10	Relación producción de biogás - MV	82
11	Tiempo de retención - temperatura	84
12	Producción de biogás . tipos de biomasa	85
13	Producción de biogás - TRH	86
14	Degradación materia orgánica	97
15	Formación de sulfatos	110
16	Influencia del pH en la producción de H ₂ S	112
17	Ciclo de biomasa	117
18	División de la biomasa	118
19	Constitución de la biomasa	130
20	Tipos de explotación porcina	142
21	Esquema de planta de biogás y planta depuradora para efluentes granja porcina	149
22	Porcentajes de desechos por tipo de animal	189
23	Producción de biogás en relación al pH - vinazas	197
24	Velocidad de producción de biogás en relación al pH vinazas	198
25	Producción de biogás de naranjas	208
26	Producción de metano en relación a la MV de diferentes cultivos energéticos	211
27	Producción de metano diferentes cultivos energéticos en relación a una hectárea	212

28	Producción de biogás de Cebada, Centeno y Triticale	212
29	Producción de metano diferentes cultivos energéticos	215
30	Plano de planta piloto para cultivos energéticos	221
31	Componentes de la biomasa	226
32	Alternativas de co-digestión	227
33	Co-digestión naranjas -estiércol	230
34	Producción de biogás de proteínas, grasas e hidratos de carbono	233
35	Producción de biogás de diferentes tipos de biomasa	234
36	Estiércol de ganado, gallinaza, paja . producción de biogás	245
37	Representación esquemática del equilibrio de los diferentes componentes de biogás entre las fases gaseosa y líquida	257
38	Ejemplo esquemático de la producción de lodos	265
39	Proceso de producción de biogás	267
40	Digestor carga en batch	269
41	Esquema de los digestores más utilizados para la generación energía eléctrica	271
42	Digestores sistema CSTR	272
43	Sistema dos etapas hidrólisis - digestor	273
44	Diagrama de degradación de la materia orgánica	287
45	Diagrama de proceso de biofiltración exterior	302
46	Inyección mínima de oxígeno en dependencia del contenido de H ² S	304
47	Inyección mínima de oxígeno en dependencia del volumen de biogás para 2000ppm de H ₂ S	305
48	Inyección de aire % en dependencia del volumen de biogás 150m ₃ /h y en dependencia del contenido ppm de H ₂ S	306
49	Diagrama de biofiltración con alimentación externa de nutrientes y humedad	310
50	Diagrama de proceso biológico de reducción de H ₂ S	312
51	Superficies para depósito de azufre elemental	314
52	Filtro biológico con prehumidificador	316
53	Esquema constructivo de filtro biológico	317

54	Filtro biolavador	319
55	Alternativa de filtros lavadores	320
56	Filtros en serie o paralelo	325
57	Filtro de remoción de H ² S	331
58	Alternativa de filtro de limallas de hierro	336
59	Eliminación de condensados	341
60	Sistema de aprovechamiento de color	356
61	Diagrama aprovechamiento biomasa	360
62	Dimensionamiento digestor	362
63	Producción de biogás de estiércol fresco de ganado vacuno dependiendo del TRH	370
64	Relación COV, MV, TRH	371
65	Influencia del TRH en la producción de Biogás	372
66	Mapa ubicación zonas climáticas	375
67	Relación COV, MS, TRH	379
68	Flujograma para dimensionamiento de digestores	383
69	Curva producción de biogás - consumo	391
70	Aspectos mínimos analizar en los estudios d factibilidad	392
71	Planta de biogás, diseño en hormigón armado para aprovechar desechos orgánicos de mercados (60 t/d)	399
72	Esquema de planta de biogás	415
73	Esquema etapas para el diseño de plantas de biogás	419
74	Esquema de planta de biogás	425
75	Implantación de planta de biogás integrada a laguna de oxidación existente	426
76	Esquema idealizado de una topografía de terreno para construcción de digestor	428
77	Planta de biogás Latacunga/Ecuador	431
78	Propuesta para digestor sobre tierra en hormigón armado	435
79	Diagrama de flujo de esta instalación	435
80	Diseño d digestor de hormigón, zona rural	436
81	Tanque de alimentación	437

82	Diagrama de implantación de digestor tipo membranana	443
83	Esquema de digestor de membranana sobre plataforma	455
84	Corte transversal digestor plataforma sobre nivel suelo 2m de alto	455
85	Tanque de alimentación	456
86	Estructura de descarga	457
87	Tubería de rebose.	458
88	Detalle amarre de cubierta en sello hidráulico	461
89	Canal de amarre membrana	462
90	Otra alternativa para muro de retención digestor de membranana	465
91	Esquemas para instalación de agitador	466
92	Soportes para tuberías de calefacción	468
93	Esquema de ubicación de columnas que sujetan las tuberías de calefacción	468
94	Diagrama para cálculo de los rompimientos de energía para sistema de calefacción	488
95	Alternativas para descarga de biol-biocarbono	491
96-97	Esquema del pozo de bombas ubicado exteriormente a un costado del digestor	493
98	Tanque de mezcla	497
99	Esquema de ubicación tanques de alimentación	499
100	Ejemplos de alimentación	499
101	Esquemas de sistemas de agitación	514
102	Principio de agitador utilizado con mucha frecuencia en Europa	515
103	Ubicación de agitador en digestor de membranana	526
104	Esquema ubicación tanque de descarga	528
105	Diagrama de ubicación de lecho de secado de lodos	530
106-109	Planta y cortes de lecho de secado de lodos	534
110	Lecho de secado de lodos con fondo membranana	538
111	T para limpieza de tuberías	539
112	Diagrama para control de procesos de planta de biogás	547

113	Esquema para control de proceso en digestor	550
114	Tres unidades corta llama en proyecto planta de biogás	557
115	Esquema corta llamas que puede construirse en acero inoxidable	558
116	Esquemas de tanques de almacenamiento de biogás	561
117	Muestra de unidades corta llamas	569
118	Pozo de eliminación de condensados	570
119	Válvula para control de presión	571
120	Esquema CHP	583
121	Sistema de seguridad y control planta de biogás	597
122	Sistema de seguridad planta de biogás	598
123	Diagrama sencillo de sistema de seguridad biodigestor	599
124	Válvulas de presión	600
125	Zonas de seguridad	603
126	Zonas de seguridad digestores de membranana	604
127	Factores clave para la validación	675
128-136	Pantallas programas biodigestor	683