

BIODIGESTORES

**DIMENSIONAMIENTO, DISEÑO
Y CONSTRUCCIÓN DE BIODIGESTORES Y
PLANTAS DE BIOGÁS**



**MANUAL PRÁCTICO
DE DISEÑO**

PROLOGO

Hace más de 100 años, la biomasa de origen animal o vegetal era la fuente de energía más importante para la humanidad y en ella se basaba la producción industrial. Con el uso masivo de combustibles fósiles el aprovechamiento energético de la biomasa fue disminuyendo progresivamente y en la actualidad presenta en el mundo un reparto muy desigual como fuente de energía. Mientras que en los países desarrollados ubicados en América del Norte y en Europa, la energía renovable y el aprovechamiento de los desechos agropecuarios esta en boga, en muchos países en vías de desarrollo esta fuente de energía provoca, en muchos casos, problemas medioambientales como la contaminación y deforestación.

Una de las maneras de contrarrestar el calentamiento global y transformar este residuo contaminante en un recurso valioso, es su aprovechamiento controlado en biodigestores para la producción y captación de biogás, su aprovechamiento energético y la producción de fertilizante orgánico. El aprovechamiento de la biomasa es de importancia para sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, escasas y costosas, convirtiendo la explotación agropecuaria en una actividad económica más rentable y menos contaminante.

En este libro se tratan todos los fundamentos técnicos de la digestión anaeróbica, el aprovechamiento de desechos agroindustriales, también considerando los desechos que se producen en Latino América, como las vinazas, efluentes de extractoras de aceite de palma africana, gallinaza, estiércol de cerdo y ganado, forrajes, etc.

Se exponen ampliamente las bases del dimensionamiento de biodigestores y plantas de biogás y se presentan los criterios de diseño, esquemas, diagramas y ejemplos reales para el diseño de biodigestores y sus estructuras auxiliares como tanques de mezcla y entrada, sistemas de bombeo, tuberías de captación de biogás, sistemas de purificación de H₂S, válvulas de seguridad, sistemas de generación de energía eléctrica y calor, análisis financiero, rentabilidad, etc.

Este libro se basa en mas de 20 años de experiencia en el dimensionamiento y diseño de plantas de biogás para la producción de energía eléctrica y calorífica y fertilizante orgánico. Se ha escrito mayormente para el diseño de digestores semi industriales e industriales, pero debido a la amplitud y detalles de los conceptos técnicos expuestos, se lo puede utilizar también para el dimensionamiento de digestores domésticos.

El libro trata también la construcción de biodigestores utilizando materiales de construcción muy utilizados en Latino América, como geomembrana, hormigón, ladrillo, etc.

CONTENIDO

Capítulo 1

APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA

Capítulo 2

LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Capítulo 3

BIOMASA Y PRODUCCION DE BIOGÁS

Capítulo 4

CLASIFICACIÓN DE LOS BIODIGESTORES

Capítulo 5

ACONDICIONAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS

Capítulo 6

DIMENSIONAMIENTO DE BIODIGESTORES

Capítulo 7

DISEÑO DE BIODIGESTORES Y ESTRUCTURAS AUXILIARES

Capítulo 8

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BIODIGESTORES

Capítulo 9

APROVECHAMIENTO DE BIOABONO

Capítulo 10

ANALISIS FINANCIERO Y RENTABILIDAD

Capítulo 11

DIGESTORES Y EL PROTOCOLO DE KYOTO

Capítulo 12

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



Version 1: 06/2008

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: LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

2.1	Características del proceso.....	53
2.2	Principales factores que influyen la producción 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)	74
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 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

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	173
3.2.2	Desechos de procesadoras de lácteos	175
3.2.3	Desechos de industria aceitera y grasas, proceso de..... semillas.....	181 181
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 producidos en..... procesadoras de carnes y mataderos.....	183 183
3.2.7	Aprovechamiento de vinazas en biodigestores.....	192
3.2.8	Aprovechamiento de efluentes producidos en extractoras..... de aceite de palma africana	202 202
3.2.9	Aprovechamiento de desechos de ingenios 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.....	223
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..... concentración de DQO	250 250
3.6.2	Ejemplo de cálculo de la producción de biogás para el..... aprovechamiento de aguas residuales en un biodigestor	254 254
3.7	Calidad del biogás	264
3.8	Producción de lodos	264

CAPITULO 4: CLASIFICACIÓN DE LOS BIODIGESTORES

4.1	Digestores carga en batch.....	268
4.2	Digestores de regimen semicontinuo	269
4.3	De regimen continuo	269
4.4	Completamente mezclados	271
4.5	Digestores de dos etapas	272
4.6	Digestión seca	274

CAPITULO 5: ACONDICIONAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS

5.1	Características del biogás	276
5.2	Propiedades de los gases	281
5.3	Acondicionamiento del biogás	285
5.4	Purificación de biogás	286
5.4.1	Agresividad del H ₂ S.....	288
5.4.2	Reducción de CO ₂	291
5.4.3	Problemas que causa el alto contenido de H ₂ S.....	292
5.5	Sistemas de purificación H ₂ S.....	296
5.5.1	Selección del proceso más adecuado.....	297
5.5.2	Purificación biológica del biogás – remoción de H ₂ S.....	299
5.5.3	Filtros biológicos.....	308
5.5.4	Filtros biolavadores	318
5.5.5	Filtros de carbón activado.....	321
5.5.6	Filtro de limallas o esponjas de hierro	329
5.6	Reducción de humedad	338
5.7	Aprovechamiento energético del biogás	342
5.7.1	Generación de energía eléctrica	349
5.7.2	Producción de energía eléctrica en generadores.....	352
5.7.3	Aprovechamiento de biogás en calderas.....	353
5.8	Recuperación de calor de los generadores.....	356
5.9	Aprovechamiento de biogás en transporte publico.....	358

CAPITULO 6: DIMENSIONAMIENTO DE BIODIGESTORES

6.1	Tipo y disponibilidad de biomasa.....	363
6.2	Características físico-químicas.....	366
6.3	Temperatura de la biomasa y del medio ambiente	367

6.4	Selección del tiempo de retención hidráulica (TRH).....	369
6.5	Ubicación geográfica - Latitud, longitud y altitud	375
6.6	Energía requerida	376
6.7	Carga orgánica volumétrica (COV).....	377
6.8	Dimensionamiento planta de biogás	380
6.8.1	Tanques de alimentación.....	380
6.8.2	Sistema de alimentación.....	382
6.8.3	Dimensionamiento del digestor	382
6.8.4	Tanques de descarga	385
6.8.5	Lecho de secado de lodos.....	386
6.8.6	Tuberías de captación de biogás	387
6.8.7	Sistemas de purificación de biogás	388
6.8.8	Tanques de almacenamiento de biogás.....	388
6.8.9	Generación de energía eléctrica y/o calorífica	393
6.8.10	Dimensionamiento de antorchas	398
6.9	Preparación de estudios de factibilidad y diseños	399
6.10	Selección de materiales de construcción	400
6.11	Ejemplos de plantas de biogas	402

CAPITULO 7: DISEÑO DE BIODIGESTORES Y ESTRUCTURAS AUXILIARES

7.1	Biodigestores.....	422
7.1.1	Ubicación de los digestores.....	428
7.1.2	Digestores de hormigón	432
7.1.2	Digestores de hormigón	433
7.1.3	Recomendaciones para las construcciones de hormigón	439
7.1.4	Digestores de geomebrana HDPE	442
7.1.5	Digestores de acero	469
7.2	Cubiertas de EPDM	470
7.3	Aislamiento de los digestores.....	480
7.4	Calefacción de los digestores.....	484

7.5	Descarte de lodos y bioabono	489
7.6	Tanques de alimentación.....	494
7.7	Equipamiento para la alimentación de biomasa	498
7.8	Sistemas de bombeo.....	506
7.9	Tuberías de captación y conducción de biogás.....	508
7.10	Agitadores.....	513
7.10.1	Agitadores verticales	516
7.10.2	Agitadores verticales con motor sumergido	519
7.10.3	Agitadores horizontales.....	522
7.10.4	Agitadores inclinados	526
7.11	Tanque de descarga	527
7.12	Lecho de secado de lodos.....	529
7.13	Tuberías de conducción	539
7.14	Sistema de control del proceso	543
7.15	Antorchas para quema del biogás.....	553
7.15	Antorchas para quema del biogás.....	553
7.16	Sistema corta llamas.....	556
7.17	Almacenamiento de biogás	559
7.18	Tramo de calibración de biogás.....	565
7.19	Eliminación de condensados y válvulas de control de	568
	sobre presión.....	568
7.20	Sopladores	571
7.21	Sistemas de generación de energía eléctrica.....	573
7.21.1	Aprovechamiento en motores y generadores	574
7.21.2	Eficiencia de motores y unidades de cogeneración	577
7.21.3	Aprovechamiento en motores diesel	580
7.21.4	Adecuación de motores de gasolina para que	581
	funcionen con biogás	581
7.21.5	Aprovechamiento en microturbinas	582
7.21.6	Sistemas de cogeneración	582
7.21.7	Casa de máquinas	584
7.21.8	Circuito de salida de los gases de escape.....	589
7.21.9	Sistemas de seguridad para los generadores	590
7.22	alimentación a la red pública de energía eléctrica.....	591

7.22.1	Tarifas de conexión y costos de generación.....	591
7.22.2	La interconexión a la red publica.....	595
7.23	Sistemas de seguridad	596
7.24	Zonas de seguridad.....	602

CAPITULO 8: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BIODIGESTORES

8.1	Puesta en marcha.....	610
8.2	Operación.....	614
8.3	Mantenimiento	617
8.4	Higiene y salud en la operación de digestores.....	622
8.5	Reglas de seguridad	623
8.6	Remediación de problemas.....	626

CAPITULO 9: APROVECHAMIENTO DE BIOABONO

CAPITULO 10: ANALISIS FINANCIERO Y RENTABILIDAD

10.1	Costos de inversión para la planta de biogás	646
10.2	Depreciacion de las instalaciones	649
10.3	Costos de Operación y Mantenimiento (CO&M).....	650
10.4	Ingresos por la generacion de energia electrica	653
10.5	Ingresos por MDL	654
10.6	Ingresos por venta de bioabono	656
10.7	Costos de producción de energia electrica	657
10.8	Costos Capitales (aKK).....	657
10.9	Gastos de Producción (aB)	658
10.10	Costos Mano de Obra	659

10.11	Costos Biomasa (aKB).....	660
10.12	Análisis costo beneficio	660
10.13	Costos de construcción	661

CAPITULO 11: LOS BIODIGESTORES Y EL PROTOCOLO DE KYOTO

11.1	Proyectos MDL	666
11.2	¿Cómo funciona el MDL?	669
11.3	Porque califican los biodigestores como proyectos MDL?	669
11.4	Mercado de emisiones	670
11.5	Negociación de los CERs	672
11.6	El trámite de los proyectos MDL.....	672
11.7	Cómo es el ciclo de un proyecto en el marco de las Medidas para el (MDL).....	675
11.8	Los costos de transacción de un proyecto MDL.....	676

CAPITULO 12: UTILIZACIÓN DE SOFTWARE: PROGRAMA BIODIGESTOR

LISTADOS DE TABLAS, FOTOS Y FIGURAS

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

12

Listado 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 acetoclásticos (Van Lier 1993)	78
6	Degradación de la biomasa en relación de temperatura de procesos de TRH	92
7	Rangos de concentración de nutrientes, necesarios para el correcto crecimiento de bacterias anaerobias.	93
8	Concentración mínima de elementos, necesaria para la metanogénesis 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 digestor 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 digestor 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 biodigestor	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 industria de frutas	207
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
97	Componentes contaminantes del biogás	288
98	Otras versiones	293
99	Concentraciones de H ₂ S y daños a la salud	295
100	Características de los carbones activados	324
101	Parámetros de diseño de un absorbedor de carbón activado	328
102	Parámetros necesarios para análisis físico químico	344
103	Contaminantes contenidos en el biogás	348
104	Ejemplo de requerimientos de energía eléctrica digestores	353
105	Características calderas de biogás	354
106	Parámetros para conversión	354
107	Equivalencias energéticas	355
108	TRH en relación de temperatura del digestor	371
109	Producción de biogás para diferentes tipos de biomasa en relación a TRH	373
110	Degradación de biomasa en relación de temperatura de proceso TRH	374
111	Cálculo de la cov para una mezcla de sustrato para digestor v=2000m ³	378

112	Ejemplo de dimensionamiento de volumen requerido para almacenamiento de biogás	389
113	Ejemplo de cálculo producción de energía eléctrica biodigestor	395
114	Ejemplo de dimensionamiento como se efectúa en Alemania en base a VAE	397
115	Criterios de selección – tipo de biodigestor	400
116	Especificaciones mínimas geomembrana de HDPE	453
117	Especificaciones técnicas membrana EPDM de cubierta biodigestores	475
118	Especificaciones de aislantes térmicos	483
119	Tanques de mezcla y homogenización - alimentación	494
120	Especificaciones técnicas del sistema de antorchas	555
121	Especificaciones para la construcción de tanques de almacenamiento de biogás de EPDM	563
122	Especificaciones para tanques de almacenamiento de biogás	564
123	Características de motores	574
124	Precio pagado por energías renovables	594
125	Zonas de seguridad	603
126	Letreros de seguridad	606
127	Remediación de problema	627
128	Mal funcionamiento y remediación	629
129	Fertilizante orgánico – contenidos de nutrientes	635
130	Producción de N, P, K en varios tipos de excrementos animales	635
131	Efecto del uso de efluentes de biodigestores sobre el rendimiento en las cosechas de varios cultivos	639
132	Contenido de fertilizantes de bioabono	642
133	Porcentajes de depreciación de instalaciones	649
134	Porcentajes por mantenimiento y reparaciones	651
135	Costos de obras civiles y equipo electromecánico	662
136	Gases con efecto invernadero	665
137	Fases del proyecto	672
138	Costos de transacción proyectos MDL	676

Listado 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 restaurantes	69
6	Trilladoras Strautmann (Alemania)	70
7	Restos de verduras para ser aprovechados en un biodigestor en Chile	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	Entre piso de maderas para depósito de azufre elemental	299
32	Compresores para suministro de oxígeno	300
33	vigas para depósito de azufre elemental	300
34	Filtros biológicos remoción H ₂ S	309
35	Filtros biolavadores	319
36	Filtros de carbón activado	321
37	Filtros de carbón activado, Q biogás = 2x500m ³ /h	322
38	Filtros de limallas de hierro	330
39	Fotos biofiltros	337
40	Reductores de humedad y condensados	338
41	Generadores Guascor para Biogás	350
42	Gasolinera de biogás en Alemania	358
43	Confinamiento de cerdos sobre piso	364
44	Sicos para almacenamiento de forrajes de maíz	365
45	Vinazas producidas en el ingenio azucarero Cartavio - Perú	368
46	Lecho de secado de lodos	387
47	Tanques de almacenamiento biogás	393
48	Planta de biogás Senftenberg - Alemania	407
49	Planta de biogás Juneda	408
50	Planta de biogás Kogel - Alemania	410
51	Interior de un digestor	413
52	Planta de biogás Grundorf - Alemania	414
53	Recolección de diferentes tipos de biomasa	416
54	Planta de biogás en zona rural	417
55	Construcción de drenajes para biodigestor	418
56	Planta de biogás Seftenberg/Alemania	422
57	Ojo de buey o ventanilla de inspección	424
58	Planta de biogás	425
59	Lagunas de oxidación vinazas. Ingenio azucarero Cartavio - Perú	426
60	Planta de biogás diseñada y construida por ENTEC GMBH	427
61	Canal de recolección de estiércol de ganado y de cerdo	429

62	Construcción de taludes digestor Latacunga/Ecuador	432
63	Digestores de hormigón armado construidos en Alemania	434
64	Construcción de digestores en Alemania	437
65	Construcción de cimentación de digestores de hormigón	438
66	Construcción de digestores de hormigón	438
67	Tanques de hormigón armado en Alemania	439
68	Planta de biogás en Finlandia – Estructuras de hormigón armado	441
69	Digestor de geomembrana EPDM	442
70	Lagunas para almacenamiento de agua construidas en el Ecuador	444
71	Colocación de geomembrana y tuberías de alimentación	445
72	Tuberías de alimentación captación de biogás	445
73	Colocación de la geomembrana	446
74	Sellado de geomembrana. Emin Perú	447
75	Colocación de la geomembrana	448
76	Colocación de la cubierta	449
77	Colocación de la geomembrana y cubierta en digestores de gran tamaño	451
78	Cubierta no inflada por presión de biogás-succión de lodos	452
79	Canal sello hidráulico para amarre de la membrana de cubierta	459
80	Tuberías de captación de biogás	460
81	Captación de biogás	460
82	Colocación de geomembrana	464
83	Digestor de geomembrana construido en Brasil, cubierta EPDM	469
84	Digestores de acero inoxidable. Luetke - Alemania	470
85	Digestores con cubierta de EPDM	471
86	Base de madera para depósito de azufre elemental y soporte de la membrana	474
87	Colocación de la membrana de EPDM	477
88	Biodigestores con cúpula de EPDM	479
89	Aislamiento de digestor de acero	481
90	Instalación de sistemas de calefacción	485
91	Sistemas de calefacción	486

92	Descarte de biol	490
93	Descarga de fondo en biodigestores de acero	490
94	Tanques de alimentación	495
95	Sistema de agitación para tanque de homogenización	496
96	Sistema de mezcla	497
97	Alimentación por gravedad. Plataforma para llegada de tractores o tolvas	500
98	Sistemas de alimentación con bombas de tornillo sin fin	501
99	Alternativa para alimentación	502
100	Ejemplos de alimentación	502
101	Alimentación por medio de tornillo sin fin	503
102	Tanque de alimentación digestor alemán	504
103	Sistemas de alimentación - tornillo sin fin	505
104	Bombas alimentación digestores	506
105	Valvulería, bombas y accesorios	507
106	Bomba de acero. Tewe, Alemania	508
107	Accesorios, válvulas de cierre neumáticas y manuales. Tewe, Alemania	508
108	Instalación de tuberías biogás	509
109	Válvulas de sobre presión	511
110	Tuberías de captación de biogás	512
111	Agitadores verticales	516
112	Sistema vertical de agitación digestores cubierta hormigón	517
113	Sistema vertical de agitación digestores cubierta EPDM	518
114	Agitadores	520
115	Motores externos agitadores	521
116	Motor Externo Agitador	522
117	Agitador horizontal	523
118	Agitadores verticales construidos en Alemania	524
119	Agitadores inclinados	527
120	Lechos de secado de lodos	531
121	Lecho de secado de lodos para digestor pequeño (500m3)	532

122	Lecho de secado de lodos para planta de biogás de 5000m3	533
123	Lecho de secados de lodos en países tropicales	537
124	Lodos granulados en lecho de secado	537
125	Tuberías y válvulas	540
126	Llave para toma de muestras de sustrato - pararrayos	546
127	Medidor de temperatura ubicado en la pared exterior de digestor	549
128	Sistemas de control	551
129	Antorchas para quema de biogás	553
130	Foto de antorcha	554
131	Válvula corta llama para ser instalada en línea	558
132	Tanques de almacenamiento de biogás	559
133	Tanques de EPDM para almacenamiento de biogás, bajo cobertura sencilla para protección climática	559
134	Tanques de almacenamiento de biogás de doble membrana	560
135	Alternativa de almacenamiento de biogás en bolsa de EPDM ubicada junto a digestor	560
136	Almacenamiento de biogás membrana EPDM de doble capa	562
137	Construcción de tanque de biogás	563
138	Tramo de calibración	565
139	Filtro de condensados, grava y cerámica	567
140	Tramo de calibración Mefisto - Alemania	568
141	Sopladores planta de biogás	572
142	Unidades de generación de 170 y 330 Kw.	576
143	Sala de máquinas planta de biogás Alemania	585
144	Casa de máquinas	587
145	Antes y después de la fertilización de bioabono	638
146	vehículos para aplicación de bioabono líquido en Alemania	639

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 biomas	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 de 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 de digestor de hormigón, zona rural	436
81	Tanque de alimentación	437
82	Diagrama de implantación de digestor tipo geomembrana	443

83	Esquema de digestor de geomembrana 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 geomembrana	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 geomembrana	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 geomembrana	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 geomembrana	604
127	Factores clave para la validación	675
128-136	Pantallas programas biodigestor	683

Lista abreviaturas	
Abreviatura	Descripción
aB	Gastos de Producción
AGCL	Aácidos Grasos de Cadena Larga
AGV	Ácidos Grasos Volátiles
aKB	Costos Biomasa
aKK	Costos Capitales
ANSI	American National Standard Institute
ASME	
ASTM	American Society for testing and materials
AT	
AWWA	American Water Works Association
AyG	Ácidos Grasos
B Gesp	Tasa específica de producción de biogás
BG	Producción de Biogás
BHP	British Horse Power
BPM	Bacterias Productoras de Metano
BRS	Bacterias Reductoras de Sulfato
BSR	Bacterias Sulfato Reductoras
BTU/d	British Thermal Units por día
C	Carbono
C:N	Relacion Carbono - Nitrógeno
Ca(OH) ₂	Cal hidratada
CaO	Cal virgen
Cd	Cadmio
CDM	Clean Development Mechanism
CE (mS/cm)	Conductividad eléctrica
CERs	Certificados emisiones reducidas
CH ₄	Gas Metano
CHP	Combined Heat and Power
CHV	Carga Hidráulica volumétrica
CI	Carga de Lodos

cm	Centímetros
CO&M	Costos de Operación y Mantenimiento
CO ₂	Dióxido de carbón
COT	Carbono Orgánico Total
COV	Carga Orgánica Volumétrica
Cr(III)	Cromo trivalente
Cr(VI)	Cromo Sexavalente
DQO	
CSTR	Continuously stirred tank reactor
Cu	Cobre
d	día
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO	
DBO kg/t	Demanda bioquímica de oxígeno kilogramos por toneladas
DBOs	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DN	
DQO/SO ₄	Demanda Química de Oxígeno / Sulfatos
EPDM	Etileno, Propileno, Dieno, Monómero
FeO	Minóxido de hierro
g/kg	Gramos por kilogramo
g/kg SSV	gramos por kilogramos solidos volátil
g/l	Gramos por litro
g/l DQO	Gramos por litro de DQO
GAC	Granular Activated Carbon
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GER	Generadores de Energía Renovables
GHG	Green House Gas
GLP	Gas Licuado Petróleo
H	Hidrógeno
H ₂ O	Agua

H ₂ S	Sulfuro de Hidrógeno
HCL	Ácido hidrocloreídico
HDPE	Geomembrana de alta densidad
HFC	Hidrofluorcarbonos
HIC	Hidrogen Induced Cracking
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
ISO	International Standard Organization
K	Potasio
K ₂ O	Oxido de Potasio
kg	Kilogramos
kg N/plaza	Kilogramos de nitrógeno por plaza
kg/m ³ .d	Kilogramo por metro cúbico por día
kgMv/m ³	Kilogramo de masa volátil por metro cúbico
kw	Kilowatio
kWh	Kilowatios por hora
l/kg.d	Litros por kilogramo por día
m ³	Metros Cúbicos
m ³ /d	Metro cúbico por día
m ³ /kg	Metro cúbico por kilogramo
m ³ /m ³ *d	Metro cúbico por metro cúbico por día
m ³ /t	Metros cúbicos por toneladas
m ³ /t MH	Metros Cúbicos por Toneladas Masa Húmeda
m ³ /t*	Metros cúbicos por toneladas
MDL	Mecanismo de Desrrollo Limpio
metano/kg DQO	metano por kilogramo de demanda química de oxígeno
mg	Miligramos
Mg	Mangnesio
mg/kg	Miligramos por kilogramos
mg/l	miligramos por litro

MJ	Mega Joule
Mn	Manganeso
MS	Masa Seca
MV	Masa Volátil
Mw	Megawatios
N	Nitrógeno
N2O	Óxido Nitroso
Na	Sodio
Na2CO3	carbonato de sodio
NaHCO3	Bicarbonato de sodio
NaOH	Hidróxido de sodio
NDPE	High Density Polietileno
NH3	Amoniacó
NH4	Amonio
NH4Hco3	Bicarbonato de amonio
Ni	Níquel
Nm3/kg	Volumen normado de biogás por kilogramos
NMOC	Concentraciones mínimas de compuestos orgánicos no metánicos
N-NH4	Nitrógeno - Amonio
O2	Oxígeno
ONU	Organización de Naciones Unidas
OTS	Organik Trocken Substanz
P	Fósforo
P2O5	Fosfatos
Pa	Pascal
Pb	Plomo
PC	Personal Computer
PCI	Poder calorífico Inferior
PE	Polietileno
PFC	Perfluorcarbonos

pH	Potencial Hidrógeno (Acidez)
POME	Palm Oil Mill Effluent
ppm	Pasta por millón
RPM	Revoluciones por minuto
S	Azufre
SFG	Hexafluoruro de azufre
SO4	Sulfatos
SOHIC	Stress Oriented Hydrogen Induced Cracking
SS	Sólidos Suspendidos
SSC	sulfide Stress Cracking
SST kg/t	Sólidos Suspendidos totales por kilogramos y por toneladas
ST	Sólidos Totales
STV(mg/l)	Saldo Totales Volátiles por miligramos por litros
t/m3	Tonelada por metro cúbico
TBG	Tasa de Producción de Biogás
T°C	Temperatura en grados centígrados
TPN	Temperatura y presión normal
TPN	Temperatura y presión normal
TRD	Tiempo de Retención Días
TRH	Tiempo de Retención Promedio
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
TTZ	Centro de Transferencia Tecnológica
UAE	Unidad Animal Equivalente
UASB	Upflow Anarobic Sludge Blanket
UE	Union europea
UGM	Unidad de Ganado Mayor
UNFCCC	Convenio Marco sobre Cambio Climático de la ONU
V-H	Vacuno Hembras
V-M	Vacuno Macho
V-P	Vacas Paridas



Biodigestores construidos en Brasil
Membrana de cubierta EPDM.
Fabricada por Firestone.
Distribuidor autorizado AquaLimpia B.I.
aqua@aqualimpia.com

Copyright:

2007-2008 AquaLimpia Beratende Ingenieure. El contenido de este libro tiene derechos reservados. Ninguna parte puede ser copiado, o transferido a medios magnéticos o impresos. Tampoco puede se traducido a otros idiomas o lenguaje de programación sin el consentimiento expreso y por escrito por parte de AquaLimpia Beratende Ingenieure.

Aspecto legal

Aqualimpia ha desarrollado este libro basándose en extensas investigaciones y conocimientos técnicos sobre el dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores. Aqualimpia no se hace responsable por el uso que se de a este libro para el dimensionamiento de plantas de biogás y biodigestores.

Soporte técnico

Aqualimpia provee de soporte técnico a usuarios registrados y sin costo alguno. Para mas información dirigirse a:

AquaLimpia
Email aqua@aqualimpia.com
www.aqualimpia.com

CAPITULO 1

APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA

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

35

Aprovechamiento de la biomasa

Los altos costos de generación de energía eléctrica utilizando combustibles convencionales derivados de materiales fósiles, los costos crecientes del abastecimiento de petróleo, la contaminación ambiental por su uso, sumado al costo que involucra su obtención y su carácter finito, cuya extinción está prevista para este siglo, generan la necesidad de desarrollar proyectos que utilicen energías renovables, para la generación de energía eléctrica y de calor.

Foto 1: Aprovechamiento de desechos de restaurantes en Hamburgo-Alemania



Diseño y construcción ENTEC GMBH, Austria – Grupo Aqualimpia