



Universidad de La Laguna

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Química Industrial

Trabajo de Fin de Grado

Tecnologías de biodigestión aplicadas al turismo

Autor: Sandra Rodríguez Suárez

Tutor Interno: María del Cristo Marrero Hernández

Tutor Externo: Diego Broock Hajar

San Cristóbal de La Laguna, Septiembre 2015

Resumen

Una de las opciones para la gestión de residuos urbanos es la valorización. Si nos referimos a la fracción orgánica de los mismos, la biodigestión anaerobia es una óptima solución, ya que mediante esta se obtiene biogás. El biogás es rico en metano, por lo que puede ser empleado para generación de energía eléctrica y/o térmica. Además, a la salida del proceso se obtiene un digerido, generalmente dividido en una fase líquida y otra sólida, aptas para ser empleadas como fertilizante y abono, respectivamente. Debido a estas ventajas se ha decidido estudiar la aplicabilidad del proceso de digestión anaerobia en hoteles rurales de las Islas Canarias.

Para llevar a cabo el estudio, se ha realizado un análisis del estado del arte, a fin de conocer las tecnologías existentes de biodigestión, pretratamientos, postratamientos, condiciones óptimas de operación, etc. Además, se ha analizado la normativa vigente a nivel europeo, nacional y autonómico, así como las ofertas de servicios de ingeniería. Todo ello con el fin de conocer las limitaciones del proyecto y poder discernir sobre la solución óptima.

Abstract

One option for the management of urban waste is the valorization. Speaking about the organic fraction, the anaerobic digestion is an optimal solution because it means the obtaining of biogas. Biogas is rich in methane, which can be used to generate electricity and / or heat. In addition, there is an output of the process, the digest, generally divided into a liquid phase and a solid, suitable to be used as fertilizer and compost, respectively. Because of these advantages, it was decided to study the applicability of anaerobic digestion process in rural hotels in the Canary Islands.

To conduct the study, there has been an analysis of the state of the art, in order to know the existing technologies of digestion, pretreatment, post-treatment, optimum operating conditions, etc. It has also been analyzed the regulations at European, national and regional level, as well as the offers of engineering services. All with the purpose of knowing the limitations of the project and discern about the optimal solution.

Índice

1. Introducción	5
2. Objetivo.....	6
3. Revisión bibliográfica.....	6
3.1 Biodigestión anaerobia	6
3.2 Biogás	9
3.3 Digerido.....	10
3.4 Parámetros físicos y químicos	13
3.4.1 Composición del residual	14
3.4.2 Efecto del pH.....	14
3.4.3 Nutrientes	17
3.4.4 Tóxicos e inhibidores	17
3.4.5 Temperatura	19
3.4.6 Agitación	21
3.4.7 Adición de sólidos inertes	21
3.4.8 Tiempo de retención.....	22
3.4.9 Carga Orgánica Volumétrica.....	23
3.5 Bases microbiológicas del proceso anaerobio	24
3.6 Cinética del Tratamiento Anaeróbico.....	27
3.7 Ventajas y desventajas de la digestión anaerobia.....	29
3.7.1 Ventajas.....	29
3.7.2 Desventajas.....	31
3.8 Biodigestor.....	31
3.9 Clasificación de biodigestores según la frecuencia de carga.....	32
3.9.1 Sistemas discontinuos	32
3.9.2 Sistemas continuos	33

3.9.3	Sistemas de dos etapas.....	33
3.10	Clasificación de biodigestores según su funcionamiento	34
3.10.1	Pozos sépticos.....	34
3.10.2	Biodigestor tipo chino o de cúpula fija.....	35
3.10.3	Biodigestor de campana flotante o tipo hindú.....	36
3.10.4	Biodigestor tubular	37
3.10.5	Filtro anaerobio	38
3.10.6	Lecho de lodos (sistema UASB)	39
3.10.7	Lecho fijo.....	40
3.10.8	Película fija sobre soporte libre	41
3.10.9	Lechos fluidizados o expandidos.....	41
3.11	Comparación de los reactores de primera, segunda y tercera generación	42
3.12	Pretratamientos	45
3.12.1	Trituración. Pretratamiento mecánico	47
3.12.2	Pasteurización. Pretratamiento térmico	48
3.12.3	Esterilización. Pretratamiento térmico	48
3.12.4	Ensilado. Pretratamiento biológico	49
3.13	Purificación del Biogás	50
3.13.1	Eliminación de H ₂ S	50
3.13.2	Eliminación del CO ₂	55
4.	Análisis normativo	57
4.1	Legislación Medioambiental.....	57
4.2	Uso del Biogás	59
4.3	Uso del Digestato.....	60
5.	Análisis de ofertas de servicios de ingeniería para la Biodigestión	61
6.	Análisis de las capacidades y limitaciones de las tecnologías a desarrollar	64

7. Selección y descripción del sistema de biodigestión	66
8. Conclusiones	68
9. Bibliografía	73
10. Anexo I.....	82

1. Introducción

La Comunidad Autónoma de Canarias es la cuarta en generación de residuos urbanos por habitante del país, cuya gestión se ve condicionada por el tamaño y fragmentación de la región. Asimismo, se trata de la tercera comunidad que recibe mayor número de turistas, más de 9,6 millones anualmente; lo que contribuye en gran medida a la generación de residuos.

Por otro lado, existe un interés creciente por parte del sector turístico por la adopción de medidas enfocadas hacia la autosuficiencia y sostenibilidad motivado por el ahorro de costes de explotación y la mejora de imagen que supone.

Debido a esto, se ha planteado la valorización de los residuos orgánicos producidos por el sector hotelero en las islas. Para ello se propone como la mejor alternativa la producción de energía a partir del biogás obtenido mediante la biodigestión anaerobia de dichos residuos. Esta implementación supondría una mejora en el modelo de gestión de residuos, proporcionando una mayor eficiencia energética y competencia a las empresas de hostelería. En base a esta idea nace el proyecto “Biodighos” de Cluster Construcción Sostenible, dentro del cual se incluye este trabajo como parte del mismo.

Cluster Construcción Sostenible (CCS) es una organización profesional y empresarial sin ánimo de lucro que persigue contribuir a la creación de un modelo económico sostenible para el sector de la construcción. Está conformado por actores empresariales y profesionales que abarcan la cadena de valor de la construcción (arquitectura, energía, agua, materiales, ingeniería, domótica, I+D, planeamiento) todos comprometidos con la sostenibilidad y cada uno especializado en desarrollar este compromiso en su ámbito de conocimiento.

Por ello, como contribución al proyecto “Biodighos”, este trabajo pretende procurar un análisis de las tecnologías y modelos de explotación existentes así como seleccionar y describir el sistema de biodigestión para hoteles rurales más adecuado, a fin de valorizar los residuos orgánicos que estos produzcan: fracción orgánica de residuos orgánicos, aguas negras, aguas grises y residuos de poda de los jardines.

2. Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es realizar un análisis sobre la tecnología de biodigestión para la producción de biogás y su aprovechamiento energético, así como, su aplicabilidad a hoteles rurales.

Para ello se analiza el estado del arte, a fin de conocer sus características y las tecnologías más interesantes. También, se analiza la normativa vigente a nivel europeo, nacional y autonómico, con la finalidad de contextualizar las capacidades y limitaciones de las tecnologías a desarrollar. Por último, se estudian las ofertas de ingeniería para la biodigestión, es decir, se recopilan datos sobre las características empresariales, destinos de sus actividades, tipos de tecnologías empleadas, etc.

Finalmente, se llega a una conclusión sobre la adaptabilidad de la tecnología de biodigestión a hoteles rurales y se selecciona y describe el sistema más adecuado.

3. Revisión bibliográfica

3.1 Biodigestión anaerobia

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa, lodo o "digerido" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. En definitiva:



Este proceso de descomposición biológica anaerobia ocurre en ausencia total de oxígeno y nitratos. Es un proceso complejo en el que intervienen varios tipos de microorganismos de múltiples interdependencias.

La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales; pero en ningún caso residuos duros (con cáscara dura) o de larga duración de

descomposición (como vísceras). El residual que mayor cantidad de biogás produce es el de cerdo y el humano, de lo que se deduce que su poder calorífico será mayor. [1] [5]

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, compuesto de metano, dióxido de carbono y otros gases como sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno, cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 L/kg de sólidos degradables¹, con un contenido en metano del 70 %. Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede utilizarse como: fuente de calor (cocina, alumbrado), combustión en calderas de vapor para calefacción y combustible de motores acoplados a generadores eléctricos.

Por otro lado, la masa restante biodegradada por las bacterias puede utilizarse como abono para la fertilización de suelos.

Los tratamientos aerobios y anaerobios constituyen las dos grandes alternativas de depuración biológica de aguas residuales y residuos orgánicos fermentables. Sin embargo, el hecho de no necesitar aireación y la generación de biogás, que se puede utilizar en la misma planta con finalidades energéticas, hacen que la digestión anaerobia resulte mucho más favorable económicamente, permitiendo en muchos casos la autonomía o autosuficiencia de las plantas de tratamiento. [1]

Las vías microbiológicas de producción de energía a partir de sustratos biológicamente degradables representan una excelente alternativa para la sustitución de combustibles fósiles no renovables que se utilizan en la actualidad.

En la digestión anaerobia más del 90 % de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10 % de la energía en el crecimiento bacteriano frente a un 50 % consumido en el proceso aerobio.

Otro aspecto muy ventajoso es que la generación de lodos en exceso es mucho menor en el proceso anaerobio que en el aerobio, por lo que también se reducen los costos de tratamiento de los lodos. Por todo esto, la digestión anaerobia se presenta como el método más ventajoso en el tratamiento de aguas residuales de mediana y alta carga orgánica. [4]

¹ En la bibliografía no se especifican condiciones de presión y temperatura.

En la actualidad el tratamiento anaerobio está muy difundido dada sus ventajas técnico-económicas, no obstante hay que controlar diferentes factores que influyen en el proceso y que son imprescindibles para su buen funcionamiento como son: composición de la biomasa residual alimentada al biodigestor, temperatura y pH, entre otros. Este tipo de sistema asimila altas y bajas cargas orgánicas. Ocurre que en algunos casos, el residual obtenido de este tratamiento no se degrada totalmente hasta los niveles permisibles para ser vertido en un curso receptor; siendo entonces necesario un postratamiento. [5]

Como ya se ha señalado, el biogás es un gas combustible que puede aprovecharse energéticamente en motores de cogeneración, calderas, turbinas, pudiendo por tanto generar electricidad, calor o ser utilizados como biocarburantes.

Esta tecnología utiliza reactores (digestores) cerrados donde se controlan los parámetros para favorecer el proceso de fermentación anaeróbica, un proceso muy conocido ya que también se produce de un modo natural y espontáneo en diversos ámbitos, como por ejemplo en pantanos, en yacimientos subterráneos o incluso en el estómago de los animales.

Sin embargo, la producción de metano que se obtiene en el proceso no es muy elevada: 11,8 m³ CH₄/Tn de residuo (347 m³ CH₄/Tn de Sólidos Volátiles, SV) con purín porcino, 17,7 m³ CH₄/Tn de residuo (196 m³ CH₄/Tn SV) con estiércol vacuno y 54,4 m³ CH₄/Tn residuo (272 m³ CH₄/Tn SV) con gallinaza.²

Para aumentar la producción de biogás es factible mezclar diferentes tipos de residuos biodegradables, tales como residuos orgánicos agroindustriales y ganaderos. Esto se conoce como co-digestión y la principal ventaja de la misma radica en el aprovechamiento de la sinergia de las mezclas, compensando las carencias de cada uno de los sustratos por separado. Además de incrementar el potencial de producción de biogás, la adición de co-sustratos fácilmente biodegradables confiere una estabilidad adicional al sistema. Este efecto puede deberse a un aumento en la biomasa activa resultando en una mayor resistencia a fenómenos de inhibición. También unifica la gestión de estos residuos al compartir instalaciones de tratamiento, reduciendo los costes de inversión y explotación. Finalmente, las partes inorgánicas de algunos de estos co-sustratos, como es el caso de las

² En la bibliografía no se especifican condiciones de presión y temperatura.

arcillas y compuestos de hierro, han mostrado un efecto positivo frente a los procesos de inhibición por amonio o sulfhídrico. [22]

3.2 Biogás

Se trata de una mezcla gaseosa formada principalmente por: metano y dióxido de carbono y pequeñas proporciones de otros gases, como H₂S, H₂, NH₃, N₂ y O₂. Su composición o riqueza depende del material digerido y del funcionamiento del proceso; así como, el potencial calórico que se encuentra entre los 20.900-23.000 kJ/m³. [3]

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN (% en volumen)
Metano (CH ₄)	50 – 70
Dióxido de Carbono (CO ₂)	30 – 50
Hidrógeno (H ₂)	1 – 10
Nitrógeno (N ₂)	< 3
Oxígeno (O ₂)	< 0,1
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	0 – 8000 ppm

Tabla 1: Composición del biogás crudo [1]

En cuanto al aprovechamiento energético del biogás generado en los digestores, el modo actualmente implantado de forma mayoritaria es su uso en motores de combustión interna para producción, principalmente, de electricidad. [5]

Sin embargo, el moderado rendimiento eléctrico de estos motores (35%-40%) unido a la dificultad de aprovechar el calor generado provoca que gran parte del contenido energético del biogás se desaproveche. Por ello, es cada vez más habitual el empleo de motores de cogeneración, mediante los que se obtienen unos rendimientos en energía eléctrica de entre el 35 y el 40% y en energía térmica de entre el 30 y el 40%.

El biogás debe ser refinado previamente a cualquiera de sus aplicaciones energéticas. Esto incluye la eliminación de CO₂, H₂S, NH₃, agua y partículas sólidas. Por lo tanto, se deberán tener en cuenta los correspondientes costes de pretratamiento a la hora de efectuar los estudios económicos de rentabilidad de las instalaciones.

Sin embargo, el uso de biogás en microturbinas y pilas de combustible está poco extendido. Aunque existen vehículos utilitarios de biogás derivados de proyectos experimentales que se están llevando a cabo en Suecia. [4]

Parámetro	Biogás crudo	Biogás sin H ₂ S	Biogás sin H ₂ S CO ₂ y H ₂ O
CH ₄ (%)	60	61,4	98
CO ₂ (%)	37	37,7	<2
H ₂ O (ppm)	>13,5	6,36	0,05
H ₂ S (ppb)	500	<5	<5
Poder calorífico (kWh/m ³)	6,62	6,78	10,8
Densidad (kg/m ³)	1,17	1,19	0,72
Índice de Wobbe (kWh/m ³)	6,92	7,03	14,4
Temperatura (°C)	36	4	4

Tabla 2: Propiedades del biogás [16]

Como puede apreciarse en la tabla, una vez purificado el biogás puede alcanzarse un porcentaje de metano del 98% y es posible llegar hasta el 99,5%.

3.3 Digerido

El biogás es el principal producto obtenido en el proceso, pero como ya se ha comentado también se genera el denominado digerido, que se puede decir que es la mezcla del residuo orgánico ya digerido y la biomasa microbiana producida. [1]

El digerido aún contiene materia orgánica y nutrientes, en definitiva, no se trata de un líquido libre de contaminantes; por ello, aunque el biodigestor es un sistema que sirve para tratar las aguas, este no se puede verter simplemente.

A partir del digerido se puede fabricar fertilizantes, siendo la cantidad a aplicar por hectárea de cultivo dependiente de la composición final del efluente, del cultivo a fertilizar y del tipo de suelo. Es importante que la cantidad de digerido que se aplique al suelo no sea más del que éste pueda absorber, para evitar que se lave y vaya a caer en alguna fuente de agua, así como, que la cantidad de nutrientes no sea más de lo que el cultivo pueda absorber. [17]

Las características físico-químicas de los digeridos están muy condicionadas por los materiales de origen empleados en la digestión anaerobia. Generalmente muestran un contenido de materia seca inferior al 13%, por lo que pueden ser clasificados como productos líquidos. Asimismo, suelen presentar un pH ligeramente alcalino, a excepción de los procedentes de purines de cerdo. Un valor ácido de pH puede ser indicativo de una alta inestabilidad del digerido asociado a la presencia de ácidos orgánicos volátiles.

Los valores de conductividad eléctrica son relativamente altos, especialmente en los digeridos procedentes de purín de cerdo. Un alto contenido en sales solubles en los digeridos puede incidir negativamente en el desarrollo de los cultivos.

Respecto al contenido de nutrientes, un importante valor fertilizante se asocia a la presencia de nitrógeno en forma amoniacal, el cual se encuentra especialmente en aquellos digeridos procedentes de purín de cerdo. Sin embargo, esta forma de nitrógeno puede perderse fácilmente por volatilización como amoniaco durante el almacenamiento y la aplicación agrícola, debido al pH alcalino de los digeridos.

Los materiales digeridos también poseen contenidos apreciables de fósforo, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes, lo que constituye una fuente importante de nutrientes para los sistemas de producción agrícola.

La gran cantidad de factores que influyen y determinan la composición del digerido causa una alta variabilidad en los parámetros del digerido.

Comparando la composición de los digeridos con los requerimientos exigidos para fertilizantes órgano-minerales líquidos nitrogenados (N), binarios (NP, NK, PK) y ternarios (NPK) por la normativa vigente se ha de señalar que los materiales digeridos poseen un contenido en nutrientes (N, P₂O₅, K₂O) inferior a los exigidos, por lo tanto se deben mezclar o combinar con abonos minerales hasta alcanzar los niveles mínimos de nutrientes exigidos. Sin embargo, el principal inconveniente radica en que solamente algunos digeridos tienen un contenido en Carbono Orgánico Total (COT) igual o superior al 4%. Además, los digeridos con COT > 4% coinciden con los materiales de mayor inestabilidad biológica, lo que lleva a una elevada producción de CO₂ en el suelo tras su aplicación y a fenómenos de inmovilización de nitrógeno, lo que requiere un periodo de estabilización antes de su aplicación agrícola. En definitiva, en la situación actual, la aplicación agrícola del digerido debe considerarse como una opción de valorización de dichos materiales, no como una nueva tipología de material fertilizante.

La digestión anaerobia no asegura la estabilidad del digerido, siendo necesario en los casos más desfavorables (mayor biodegradabilidad) un tratamiento posterior para evitar una elevada producción de CO₂, inmovilización de nitrógeno y desnitrificación en el suelo. Por ello, no se debe aplicar el digerido de forma directa sobre semillas o plántulas jóvenes, sino diluido con agua de riego para el aprovechamiento de sus nutrientes. La aplicación sin diluir requiere que se produzca la estabilización del material en el suelo.

El proceso de digestión supone una disminución muy importante en la carga de microorganismos coliformes, con un contenido de *E. Coli* inferior a 1.000 NMP/g, con independencia del sustrato de digestión utilizado. Sin embargo, la principal limitación en cuanto a la posible utilización del digerido como fertilizante viene impuesta por la presencia de *Salmonella sp.* Este hecho es frecuente en los procesos de codigestión que se desarrollan en intervalos de temperatura mesófilos y sin tratamiento posterior de higienización.

Dentro de los tratamientos del digerido se puede realizar una pasteurización posterior a la digestión anaerobia, realizar una fase del proceso anaerobio en fase termófila o un tratamiento aerobio posterior mediante compostaje de la fracción sólida.

Respecto a la presencia de impurezas y elementos tóxicos, en los digeridos procedentes de residuos agroalimentarios y ganaderos, se observa bajo nivel de metales pesados. Los valores no superan en ningún caso los límites establecidos o los estándares de calidad para la producción y uso de materiales fertilizantes.

Sin embargo, los valores más elevados los presentan el cobre y el cinc, especialmente en muestras procedentes de los digeridos de purín porcino, debido a que se utilizan compuestos de dichos elementos en la alimentación del ganado. No obstante, los valores no superan los límites exigidos por la legislación. Se aconseja, de todas formas, un control estricto de dichos elementos, junto a cloruro y sodio, también detectados en altas concentraciones en algunos digeridos.

Existen diferentes estrategias de gestión del digerido y la idoneidad de una u otra dependerá de las condiciones del entorno, los objetivos planteados y la escala del tratamiento. La valorización agrícola se centra principalmente en dos aspectos: la utilización directa del digerido como fertilizante y la separación sólido-líquido, con utilización de la fracción sólida para la preparación de abonos de alto valor añadido mediante compostaje y el uso de la fracción líquida como fertilizante líquido. [19]

3.4 Parámetros físicos y químicos

Como todo proceso, la digestión anaerobia será satisfactoria o no, dependiendo de diferentes parámetros físicos y químicos. Para favorecer el adecuado desarrollo de los microorganismos que actúan sobre la materia orgánica presente en los residuos, es de gran importancia conocer en qué medida contribuyen dichas condiciones a la biodegradación.

Se puede diferenciar entre parámetros ambientales y parámetros de desarrollo del proceso. Se consideran parámetros ambientales aquellos sobre los que usualmente no se actúa directamente y que dependen de las características de los residuos que se tratan:

- Composición del residual: se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10 % de sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad. Del mismo modo, la mezcla de residuos aumenta la producción de metano.
- Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6, que se logra a través de parámetros de proceso o de la adición de nutrientes.
- Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales. Existencia de cantidades de N y P en el residuo, compatibles con la cantidad de carbono.
- Tóxicos: cantidades elevadas de compuestos como N y S pueden transformarse en tóxicos durante el proceso como NH_4^+ , NH_3 y S^{2-} . Aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas, además de metales pesados, metales alcalinos y alcalinotérreos.

Asimismo, los parámetros de desarrollo del proceso serán:

- Temperatura: se deben evitar las variaciones bruscas de temperatura. Se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 35 °C.
- Agitación: de este modo se ayuda a mantener la estabilidad del proceso en el digester.
- Adición de sólidos: la adición de sólidos incrementa la eficiencia del proceso.
- Tiempo de retención: dependerá de la temperatura, la composición del residual y del tipo de digester empleado.
- Carga Orgánica Volumétrica: la cantidad de desechos disponible define el tamaño del biodigester, así como, la cantidad del producto esperado.

Para mantener un proceso estable, es necesario asegurar que estos parámetros se mantengan en unos valores adecuados.

3.4.1 Composición del residual

Dependiendo de las sustancias orgánicas e inorgánicas que conformen el residual, el proceso de biodegradación anaerobia se desarrollará de un modo u otro. Se ha demostrado que en general, mientras más complejo es el residual, más Ácidos Grasos Volátiles (AGV) se producen y al final, el rendimiento de CH₄ es mayor. [2]

Es decir, se observan beneficios como el aprovechamiento de la complementariedad de las composiciones de cada uno de los sustratos y la amortiguación de las variaciones temporales en composición y producción de cada residuo por separado, obteniéndose procesos más estables y un incremento de la producción de biogás. [1]

En concreto, con el aprovechamiento de FORSU (Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos) y aguas residuales urbanas se produce un cantidad de gas de 350L/kg de sólidos degradables³, con un contenido en metano del 70 %, aproximadamente. [6]

Sin embargo, se ha de tener en consideración la dificultad de mantener la estabilidad del proceso, la sensibilidad del mismo a tóxicos e inhibidores y el requerimiento de grandes capacidades de tratamiento para un mejor control del proceso y su buen funcionamiento.

3.4.2 Efecto del pH

Para la producción de metano, las bacterias viven mejor bajo condiciones próximas a la neutralidad, pudiendo tener fluctuaciones entre 6,5 y 7,5. En cada fase del proceso los microorganismos presentan máxima actividad en un rango de pH diferenciado: hidrolíticos (7,2-7,4), acetogénicos (7-7,2) y metanogénicos (6,5-7,5). [3] [1]

Los efectos del pH se reflejan en la actividad enzimática de los microorganismos; por ello, su valor en el digestor no solo determina la producción de biogás sino también su composición.

El pH influye en la actividad microbiana propiciando un cambio de los grupos hidrolizables de las enzimas (grupos carboxilos y aminos) y alterando los compuestos no enzimáticos del sistema (ionización del sustrato, desnaturalización de la estructura proteica

³ En la bibliografía no se expresan condiciones de presión y temperatura.

Rodríguez Suárez, Sandra

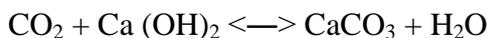
de la enzima). Además, a estos efectos del pH se les suma la concentración de H^+ , la cual influye sobre las diferentes reacciones químicas, bioquímicas y biológicas que ocurren en este sistema. [3]

En la práctica se ha visto que al alejarse del rango óptimo de pH, la eficiencia del proceso disminuye, aunque se ha comprobado que para valores fuera del rango el proceso no se inhibe hasta cierto valor particular.

Por ejemplo, en estudios realizados en Cuba con lodos albañales domésticos presolubilizados con cal, se comprobó que trabajando con pH entre 8,2 y 8,4 la anaerobiosis se llevaba a cabo satisfactoriamente. [2]

Sin embargo, si el pH baja de 6,2 el medio tendrá un efecto tóxico en las bacterias metanogénicas. [3]

Asimismo, la alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del medio. Puede ser proporcionada por un amplio rango de sustancias, siendo por tanto una medida inespecífica. En el rango de pH de 6,5 a 7,5, el principal sistema químico que regula el pH de la digestión anaerobia es el sistema dióxido de carbono – bicarbonato, a través de la ecuación de equilibrio:



$$(H^+) = K_1 \cdot (H_2CO_3) / (CO_3H^-)$$

La relación de alcalinidad se define como la relación entre la alcalinidad debida a los ácidos grasos volátiles y la debida al bicarbonato (AGV/Alc). Esta relación es un parámetro muy importante a comprobar en la anaerobiosis de aguas residuales, ya que esto brinda información acerca del balance ácido-base presente en el medio. Se plantea, en general, que este parámetro debe estar entre 0,5 y 1 para un buen funcionamiento de los digestores. [2]

Aunque en otras fuentes bibliográficas se recomienda no sobrepasar un valor de 0,3-0,4 para evitar la acidificación del reactor. [3]

La presencia de AGV es de gran importancia en el proceso que se estudia, ya que constituye el precursor principal de la metanogénesis. Existen evidencias de que la concentración de inhibidores de la digestión depende en gran medida del tipo de ácido presente en ella. En general, se ha demostrado que cuanto más pequeña es la cadena estructural del ácido, más pequeña es la concentración de éste que puede inhibir el proceso.

Se considera que la concentración de AGV en un digestor no debe sobrepasar los 2 kg/m^3 y que una concentración de $0,3 \text{ kg/m}^3$ en el digestor puede considerarse óptima. Una cantidad excesiva de AGV en el sistema puede ser provocada por la presencia de una carga orgánica muy elevada, por una caída en la temperatura o por la acumulación de mucha espuma, fundamentalmente. Un digestor que contiene una alta concentración de ácidos volátiles requiere un pH de valor un poco superior. [2] [3]

La concentración de ácido carbónico está relacionada con el porcentaje de CO_2 en el digestor. La concentración del anión bicarbonato es aproximadamente equivalente a la alcalinidad total para muchas aguas residuales que tengan baja la concentración de AGV.

La alcalinidad ha de ser suficiente para mantener la regulación del pH. En las deyecciones es suficientemente alta para que éste no sea un problema para el proceso, además puede ayudar cuando se hacen mezclas con residuos de baja alcalinidad, como los residuos del procesado de frutas y verduras.

Para regular el pH en un proceso anaerobio se pueden emplear diferentes métodos:

- Adición de álcali (fundamentalmente cal o sosa).
- Adición de ácido (orgánico o inorgánico).
- Adición de agua al residual o al reactor.
- Disminución de la carga orgánica aplicada al proceso. [2]

Lo más habitual suele ser la necesidad de añadir álcali a los digestores para elevar el pH de éstos. La cal es el compuesto más utilizado con este fin, a pesar de no ser el agente más recomendable para ello. Si se añade cal en exceso y no está totalmente mezclada puede caer al fondo del reactor y solidificarse, esto causa problemas en la salida del sólido o lodo, o puede crear una zona de intensa alcalinidad y destruir la actividad microbiana. Además, puede dar lugar a la obtención de un gas de bajo contenido de CO_2 que reacciona con el H_2 en el proceso redox que da origen a la formación de CH_4 por lo que al ser pequeña su concentración se obtendrá una menor cantidad de este compuesto. [3]

Por último, el potencial redox ha de ser suficientemente bajo para poder asegurar el desarrollo de poblaciones metanogénicas estrictas, las cuales necesitan que este potencial de oxidación-reducción esté entre -330mV y -300mV . Por esta razón, el medio de digestión no debe tener oxidantes, como el oxígeno, nitratos o sulfatos. [3] [1]

3.4.3 Nutrientes

Una de las ventajas inherentes al proceso de digestión anaerobia es su baja necesidad de nutrientes como consecuencia de la baja velocidad de crecimiento de las bacterias. Sin embargo, en el medio a digerir debe haber una relación adecuada entre nutrientes para el desarrollo de la flora bacteriana siendo el carbono y el nitrógeno las fuentes principales de alimento de las bacterias formadoras de metano.

No obstante, las bacterias para crecer necesitan más que un simple suministro de sustancias orgánicas como fuente de carbono y energía. También requieren algunos nutrientes minerales como nitrógeno, sulfuro, fósforo, potasio, calcio, magnesio, y una serie de oligoelementos como el hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel, etc.

Los residuos agrícolas o municipales normalmente contienen cantidades adecuadas de los elementos mencionados.

La relación óptima carbono/nitrógeno (C/N) del material a digerir se encuentra entre 20 y 30 que es la relación que las bacterias necesitan para crecer. Valores muy inferiores disminuyen la velocidad de reacción y valores muy superiores crean problemas de inhibición. Es importante que la cantidad de nitrógeno sea adecuada para evitar limitación de nutrientes (poco nitrógeno) o toxicidad por amoníaco (demasiado nitrógeno). Una forma de equilibrar esta relación es mediante mezclas de residuos con relaciones C/N diferentes (codigestión). [3] [1]

Sin embargo, existe una amplia diversidad de criterios acerca de cuál es la relación óptima que debe existir entre la materia orgánica a degradar (carbono) y la cantidad de los principales macronutrientes en un proceso anaerobio, dependiendo ésta en gran medida del tipo de sustancias de que esté compuesta esta agua residual. En base a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se plantea que un buen balance C:N:P debe ser cercano a 100:1.75: 0.25. [2]

3.4.4 Tóxicos e inhibidores

Las sustancias inhibitoras son compuestos que bien están presentes en el residuo antes de su digestión o bien se forman durante el proceso fermentativo anaerobio. Estas sustancias reducen el rendimiento de la digestión e incluso pueden llegar a causar la desestabilización

completa del proceso. A determinados niveles los AGV generan serios problemas de inhibición sobre todo en combinación con niveles bajos de pH. [1]

Otros problemas de inhibición son los causados por el amonio, el ácido sulfhídrico, los ácidos grasos de cadena larga, los metales pesados, fenoles, tiosulfatos, tiocianatos, cianuros, agentes oxidantes fuertes como cromatos y cloro, tensoactivos aniónicos (detergentes), antibióticos, pesticidas y sales. La toxicidad de cualquiera de éstos dependerá fundamentalmente de la concentración en la que se encuentran en el residual. [2]

La presencia de pesticidas, desinfectantes o antibióticos en las deyecciones puede provocar problemas en el desarrollo de los microorganismos. Sin embargo, el inhibidor más importante en las deyecciones es el amoniaco el cual aumenta a una concentración determinada de nitrógeno amoniacal a medida que sube el pH y la temperatura. No acostumbran a producirse problemas importantes en concentraciones de nitrógeno amoniacal de menos de 3g/dm^3 . [3]

Igualmente, es necesario tener en cuenta la concentración de metales pesados ya que pueden ser tóxicos a altas concentraciones.

SUSTANCIA	[ppm]
Nitrógeno	3000
Cobre	10-250
Calcio	8000
Sodio	8000
Magnesio	3000
Níquel	100-1000
Zinc	350-1000
Cromo	200-2000
Sulfuro	200
Cianuro	2

Tabla 3: Concentraciones límites para varios inhibidores del biometano [3]

Sin embargo, algunos de estos compuestos tales como níquel, cobalto, molibdeno y selenio, resultan estimulantes para los microorganismos metanógenos, aumentando significativamente la producción de éstos. En estudios realizados en Cuba con residuales de destilería se obtuvieron eficiencias mayores, entre un 25 y 50 % cuando se adicionó al reactor anaerobio un desecho industrial que contenía níquel y cobalto en cantidades trazas.

En conclusión, es más correcto hablar de concentraciones tóxicas para algún compuesto o sustancia específica que de compuestos y sustancias inhibidoras o tóxicas. [2]

En cuanto a los detergentes, cuando no es posible separar las aguas negras de las jabonosas, es necesario hacer un tratamiento químico con polímeros orgánicos a esta agua a fin de solucionar el problema antes de iniciar la fermentación anaeróbica. [9]

Otra solución es emplear detergentes biodegradables. Aunque no todos los componentes de los detergentes biodegradables pueden ser digeridos anaerobiamente y no se consigue una digestión completa de otros tantos, los daños que puedan ocasionar en el digestor son mucho menos que los de los detergentes convencionales.

Por otro lado, la presencia de plásticos ha demostrado influir negativamente en la producción de biogás. A medida que aumenta la concentración de plásticos en el reactor disminuye la producción de biogás y el porcentaje de metano. Esto es lógico, ya que son compuestos no biodegradables, por lo que la fermentación se complica y ralentiza. [14]

3.4.5 Temperatura

Este parámetro influye de manera decisiva en el proceso anaerobio, ya que de él depende mucho las velocidades de reacción con las que se lleva a cabo cualquier proceso biológico y la composición del biogás debido a la dependencia de la solubilidad de los diferentes gases con la temperatura.

La digestión anaerobia es teóricamente posible entre los 3°C y los 70 °C, aproximadamente. Una temperatura demasiado alta causa la degradación de las enzimas necesarias para el metabolismo. Se puede diferenciar entre tres rangos de temperatura:

- Psicrófilo: $T < 20^{\circ}\text{C}$
- Mesófilo: $20^{\circ}\text{C} < T < 40^{\circ}\text{C}$
- Termófilo: $T > 40^{\circ}\text{C}$ [3]

La temperatura óptima en cada uno de estos rangos es difícil de predecir, ya que depende del tipo de residual, de las condiciones ambientales, etc. No obstante, se reconocen en general como temperaturas óptimas las de 35 y 55 °C para los tratamientos mesófilos y termófilos, respectivamente.

A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión dando lugar a mayores producciones de biogás. La temperatura de operación en el digester, está considerada uno de los principales parámetros de diseño, ya que variaciones bruscas de temperatura en el mismo, pueden provocar desestabilización en el proceso. [1]

En general, las plantas de biogás trabajan satisfactoriamente cuando la temperatura media anual está alrededor de los 20°C o superior o cuando la temperatura media diaria es como mínimo de 18°C. En el rango de temperatura entre los 20-28°C de temperatura media la producción de gas aumenta considerablemente. Si la temperatura de la biomasa está por debajo de los 15°C, la producción de gas es tan baja que la planta no es económicamente factible.

El proceso es muy sensible a los cambios de temperatura. El grado de sensibilidad depende del rango de temperatura. Las siguientes variaciones no son inhibidores del proceso de fermentación:

- Psicrófilo : $\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{h}$
- Mesófilo: $\pm 1^{\circ}\text{C}/\text{h}$
- Termófilo: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ [3]

Por ello, cuando se trabaja a temperatura ambiente pueden producirse serias afectaciones en la producción de biogás, ya que en estas condiciones de operación en ocasiones tiene lugar fluctuaciones en la temperatura de operación, lo que daña el estado fisiológico de los microorganismos presentes en el proceso.

En definitiva, el rango mesófilo es el más utilizado ya que, a pesar de que en el rango termófilo se consigue una mayor velocidad del proceso y una mejor eliminación de organismos patógenos, presenta algunos inconvenientes. Al aplicarse mayor temperatura hay un gasto mayor de energía en el propio proceso; los equipos, tuberías, válvulas y accesorios en general, son más costosos cuando se trabaja con temperaturas termófilas, así

como su mantenimiento correspondiente; y presenta mayores problemas de inhibición del proceso por la sensibilidad a algunos compuestos, como el amoníaco. [2]

3.4.6 Agitación

En reactores donde las bacterias se encuentran en suspensión es necesario mantener un grado de agitación moderado, suficiente para mantener la estabilidad del proceso en el digestor, pero no violento como para romper los agregados de bacterias.

Los objetivos más importantes de la agitación son:

- Eliminación de los metabolitos producidos por los metanógenos (gas).
- Mezclado del sustrato fresco con la población bacteriológica.
- Exclusión de la escoria formada y de la sedimentación.
- Disminución de los gradientes de temperatura en el digestor.
- Obtención de una densidad de la población bacteriana uniforme.
- Prevención de la formación de espacios muertos que reducirían el volumen útil del digestor.

La energía de agitación, tiene que estar entre 30 y 100 Wh/m³·día. [3] [1]

3.4.7 Adición de sólidos inertes

Recientemente se ha estudiado el efecto de la adición de sólidos suspendidos al proceso anaerobio, obteniéndose que a medida que la concentración de estos aumenta, se incrementa la eficiencia del proceso. Esto ha ocurrido en residuales muy solubles incrementándose la eficiencia entre el 10 y el 20 % con adición de asbesto o carbón activado.

En estudios realizados, al aplicar dosis de 100 a 150 mg/l de carbón activo al inicio de un proceso anaerobio de residuales de destilería de alcohol se observó que:

- El tiempo de arrancada se reducía en 5 días.
- Se incrementó la eliminación de materia orgánica y la producción de biogás entre 10 y 20 %.
- La conversión de sulfato a sulfuro disminuyó obteniéndose concentraciones de H₂S disuelto de 149 mg/l y 199 mg/l, en los reactores con carbón activo y sin éste, respectivamente y de sulfuro de hidrógeno gaseoso de 0,8 y 1,3 % en los reactores con carbón activo y sin éste, respectivamente. [2]

3.4.8 Tiempo de retención

El Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) es el cociente entre el volumen del digestor y el caudal de alimentación, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos, para alcanzar los niveles de energía y/o reducción de la carga contaminante que se hayan prefijado. [1]

Por otro lado, el Tiempo de Retención Celular (TRC) es el tiempo medio que los microorganismos están en el reactor. En un reactor totalmente mezclado los dos tiempos coinciden. Si el reactor tiene un sistema de retención de sólidos, el TRC es más alto que el TRH y el TRH puede bajar por debajo del valor del reactor completamente mezclado para una misma eficiencia. [3]

Estos parámetros son importantes para los digestores avanzados de alto nivel, los cuales han alcanzado un control independiente del TRC y del TRH a través de la retención de la biomasa. La medición del TRH es más fácil y más práctica que el TRC.

El tiempo de retención hidráulico está relacionado con dos factores, el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. Un aumento de la temperatura conlleva un aumento de la actividad de las bacterias que digieren el residual y, por lo tanto, una disminución del tiempo de retención. [5] [9]

A medida que aumenta el tiempo de retención, aumenta la tasa de eliminación de materia orgánica biodegradable. En cambio, la producción volumétrica de biogás (m^3 biogás/ m^3 reactor·día) disminuye una vez superado el óptimo.

Los sustratos que contengan mayor proporción de carbono retenido en moléculas como la celulosa, requerirán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos.

Como se comentó en el apartado referente a la temperatura como parámetro ambiental que afecta al proceso de la digestión anaerobia, existen diferentes rangos de temperatura en los que se puede desarrollar el proceso microbiológico, aumentando el tiempo de retención al disminuir la temperatura. [13]

Fermentación	Tiempo de retención (días)
Psicrófila	>100
Mesófila	15-60
Termófila	10-15

Tabla 4: Tiempos de retención en la fermentación anaerobia. [9]

En el rango mesófilo se tienen los siguientes valores de tiempo de retención para diferentes tipos de residuos orgánicos:

- Estiércol de vaca: 20-40 días
- Estiércol de cerdo: 15-25 días
- Estiércol de gallina: 20-40 días
- Mezcla de estiércol de animal y material vegetal: 50-80 días

Comportándose las heces humanas de forma similar al estiércol de cerdo. [3]

3.4.9 Carga Orgánica Volumétrica

La Carga Orgánica Volumétrica (COV) es la cantidad de materia orgánica introducida diariamente en el digestor, expresada normalmente en sólidos volátiles, por unidad de volumen y tiempo. [1]

Conocer la cantidad de desechos disponible es uno de los pasos más importantes para decidir la implementación de un sistema de biodigestión. La cantidad de desecho orgánico define el tamaño del biodigestor, así como, la cantidad del producto esperado.

Los sólidos volátiles (SV) hacen referencia a la parte de sólidos totales, que se volatilizan durante la incineración a temperaturas superiores a 500 °C. Los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano. Según los requerimientos operacionales para un reactor anaerobio, el contenido de sólidos no debe exceder el 10 % en la mayoría de los casos. Por eso, los residuales de granjas se deben diluir antes de ser tratados.

La eficiencia de la producción de biogás se determina generalmente expresando el volumen de biogás producido por unidad de peso de SV. La fermentación de biogás requiere un cierto rango de concentración de sólidos volátiles que es muy amplio, usualmente desde 1% al 30%. La concentración óptima depende de la temperatura.

Existen varias formas de cuantificar los desechos. Una de ellas es midiéndolo, aunque, no siempre es fácil hacerlo. Otra forma es la estimación basada en índices de producción de desechos según la industria, que es la forma más utilizada. Y para fincas con animales, es factible el uso de índices de producción de excreta o estiércol basada en el peso del animal y su permanencia en las instalaciones, una forma cuya aplicación ha resultado fácil y precisa para calcular la cantidad de desechos. Para un humano adulto se estiman 0,4 kg/día y para un niño 0,2 kg/día.

Este índice no considera la cantidad de agua que se utiliza para lavar los desechos, por lo que esta se debe medir y sumar al resultado final. [5]

Otras fuentes bibliográficas estiman la producción diaria de excretas para humanos en 0,2 kg/día, con un contenido de sólidos totales de entre el 15 y 20%, un contenido de sólidos volátiles del 90% y una producción de biogás de entre 11 y 14 L/día. [13]

3.5 Bases microbiológicas del proceso anaerobio

Existen varias fases diferenciadas en el proceso de descomposición de la materia orgánica, la naturaleza y composición química del sustrato condiciona la composición cualitativa de la población bacteriana de cada etapa de forma que se establece un equilibrio frágil o estable según la composición y operación del sistema.

En las reacciones se liberan compuestos y energía que utilizan los microorganismos para crecer. Los propios microorganismos hacen posible estas reacciones que utilizan para su beneficio (alimentación y crecimiento).

A diferencia de los microorganismos aerobios, los anaerobios utilizan poca energía de toda la que tienen a su alcance, tienen una velocidad de crecimiento lenta y utilizan poco material orgánico para construir su masa celular. Esto tiene la ventaja de dejar mucha energía disponible (en forma de metano) y que los microorganismos representan un porcentaje muy pequeño de la materia orgánica residual que queda finalmente después del proceso.

Las reacciones anaerobias tienen la desventaja de ser muy lentas en comparación con las aerobias, y por tanto requieren un tiempo de proceso elevado. A mayor tiempo de retención mayor será el volumen del digester. Una forma de compensarlo es tratar de obtener una concentración alta de microorganismos para poder conseguir el mismo objetivo de descomposición con menos tiempo y volumen.

Se trata de un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar, como por la cantidad de grupos de bacterias involucradas en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. [3]

El proceso de degradación anaerobia se lleva a cabo en ausencia de oxígeno. Un gran número de microorganismos que trabajan en serie o en serie-paralelo, degradan la materia orgánica en sucesivas etapas. El enfoque más actual considera cuatro etapas o niveles tróficos: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. [2]

- Hidrólisis o licuefacción: consiste en una transformación controlada por enzimas extracelulares, durante la cual, las cadenas largas de las macromoléculas (hidratos de carbono, proteínas y lípidos) se descomponen dando lugar a moléculas más sencillas. La hidrólisis es, por tanto, la conversión de los polímeros en sus respectivos monómeros que son susceptibles de emplearse como fuente de materia y energía para las células de los microorganismos.
- Acidogénesis: controlada por bacterias, consiste en la transformación de los compuestos orgánicos solubles producidos en la hidrólisis en otros compuestos de peso molecular intermedio. Principalmente, ácido acético (CH_3COOH), hidrógeno (H_2) y dióxido de carbono (CO_2). Aunque también se producen ácido propiónico, ácido butírico, alcoholes alifáticos, metilamina, amoníaco y sulfhídrico.
- Acetogénesis: mientras que algunos productos pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos; otros, como los ácidos y alcoholes, necesitan ser transformados en productos más sencillos. A través de las bacterias acetogénicas los productos correspondientes son convertidos en ácido acético, hidrógeno y CO_2 .
- Metanogénesis: se trata de la última etapa y consiste en la transformación bacteriana de substratos monocarburados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente en dióxido de carbono y metano. Así como, la formación de metano y agua a partir de dióxido de carbono e hidrógeno. [1] [2] [3]

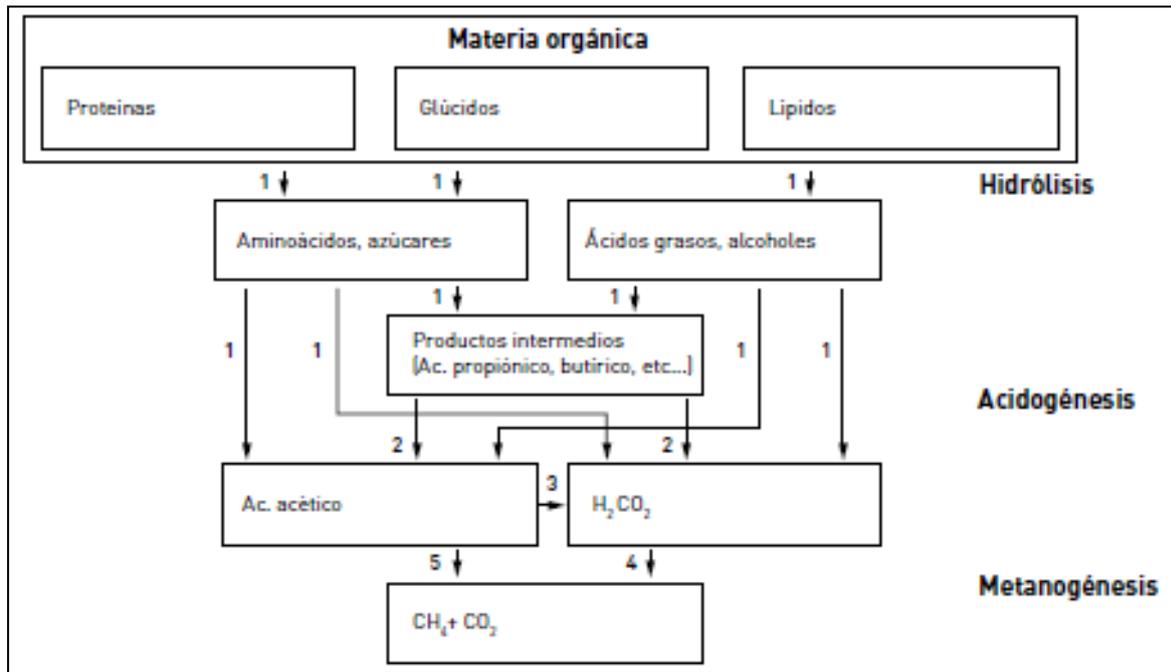


Figura 1: Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones d microorganismos: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas. [12]

En contra de las bacterias acidogénicas y acetogénicas, las metanogénicas pertenecen a un grupo de bacterias con morfología muy heterogénea y con unas propiedades específicas que las distinguen del resto de bacterias (arqueobacterias). Además, son anaeróbicas estrictas, es decir que la presencia de oxígeno molecular las elimina. Existen diferentes tipos de bacterias metanogénicas y las más importantes son las que transforman los ácidos propanoico y acético, denominadas bacterias metanogénicas acetoclásticas. El otro grupo de metanogénicas, las hidrogenófilas, consumen el hidrógeno generado en la primera parte de la reacción y lo convierten en biogás.

Las bacterias hidrogenófilas, son fundamentales para el equilibrio de las condiciones ambientales de la reacción, puesto que una acumulación de hidrógeno alteraría la biodigestión de la materia orgánica. [3]

El grupo de bacterias se encuentran de forma simbiótica. Las productoras de ácido o acidogénicas crean la atmósfera ideal para el desarrollo de las bacterias metanogénicas (condiciones anaerobias y cadenas orgánicas cortas). Las metanogénicas a su vez usan los

productos intermedios de las acidogénicas, que si no fueran consumidos crearían condiciones tóxicas para las acidogénicas.

En general, se puede considerar que las bacterias metanogénicas constituyen el grupo biológico que determina el mayor o menor éxito del proceso dada su baja velocidad de crecimiento, cinco veces menores que las de las fases anteriores, y los estrictos requerimientos de bajo potencial redox (-300 mV) y de pH, así como su alta sensibilidad a la inhibición por presencia de oxígeno molecular. Las tasas de crecimiento de las bacterias metanogénicas serán las que limitarán el proceso de degradación anaerobia. Así como las que condicionarán el tiempo de retención del reactor durante la fase de diseño y la temperatura de trabajo. [3] [2]

Respecto a la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), la hidrólisis ocurre sin variación detectable y durante la acidificación la disminución de la DBO es mínima. Por tanto, es en la metanogénesis donde ocurren las mayores disminuciones de la DBO.

Cuando en el medio anaerobio (dentro del reactor o digestor) existe una cantidad apreciable de sulfatos se desarrollan con intensidad las bacterias formadoras de ácido sulfhídrico (H₂S), comúnmente llamadas sulfobacterias, como es el caso del *Desulfovibrio desulfuricans*. Éstas juegan un papel importantísimo en el proceso ya que si la concentración de sulfuros solubles en el digestor excede los 160 mg/l, las bacterias metanogénicas se inhiben. De igual forma, aunque el proceso no llegue a inhibirse una concentración de H₂S en el biogás por encima de 0,2 % limita el uso de éste y además trae aparejados graves problemas de corrosión en las tuberías de conducción del biogás y en los recipientes destinados al almacenamiento de éste (campanas y gasómetros). [2]

3.6 Cinética del Tratamiento Anaeróbico

Para un reactor biológico, se expresa:

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} - bX \quad (1)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{kXS}{K_s + S} \quad (2)$$

Siendo:

dX/dt: velocidad de crecimiento.

X: concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor.

dS/dt : consumo de sustrato.

Y: rendimiento del proceso.

k: velocidad específica de remoción de sustrato.

K_s : constante de afinidad o saturación.

S: DBO o DQO en el efluente.

Sustrato	Y (mg/mg)	B(d-1)	K (mg/mg.d)	K_s (mg/L)	T (°C)
Acetato	0,04	0,015	36	2130	20
	0,054	0,011	4,7	370	25
	0,058	0,037	4,3	333	30
Propionato	0,04	0,015		3860	20
	0,04	0,04	9,8	613	25
Estearato Palmitato	0,04	0,015	385	4620	20

Tabla 5: Valores cinéticos típicos del tratamiento anaeróbico [2]

	i_m (d ⁻¹)	Y_{XS} (gSV/gDQO)	K_S (g DQO/L)	r_s (gDQO/gSSV.d)
Acidogénicos (APOH)	2,0	0,15	0,2	13
Metanogénicos (Acetoclastos)				
Methanotrix sp.	0,16	0,05	0,037	2
Methanosarcina sp	0,45	0,05	0,35	9
Sulfato-reductoras (BSR)	4 – 6	0,10	0,007	50
Biomasa digestor anaerobio*	0,1 – 0,45	0,18	0,1 – 1,4	0,5-2,5

*Tabla 6: Parámetros cinéticos y estequiométricos [2] *Valores típicos para la biomasa de un biodigestor anaerobio que trate efluentes complejos.*

Se define $\mu_{\text{máx}}$ como la velocidad específica máxima de crecimiento que indica la velocidad de crecimiento en condiciones favorables donde no hay limitación por sustrato; Y_{XS} da la fracción de sustrato destinada al crecimiento celular; K_S es la constante de afinidad o saturación, que es la avidez de un grupo por un determinado sustrato y r_S es la actividad específica máxima que indica la cantidad máxima de sustrato utilizada, por unidad de biomasa, en la unidad de tiempo.

Debido a la gran cantidad de microorganismos que intervienen en el proceso anaerobio, hay que delimitar las condiciones ambientales óptimas de cada uno de ellos, para optimizar el proceso globalmente.

Se observa, que para el proceso anaerobio las velocidades de crecimiento son pequeñas y que, dado el bajo rendimiento celular, la conversión de sustrato en masa celular es también pequeña, por lo que la velocidad de generación microbiana es lenta. Esto representa una de las ventajas del proceso porque de esta manera la producción de lodo es baja, pero por otra parte supone tiempos de puesta en marcha más largos para conseguir la suficiente cantidad de biomasa, cuando no se inocula el reactor. Además, es necesario mantener una elevada concentración de biomasa debido a la relativamente baja actividad específica máxima que presenta una población anaerobia, 0,5-2,5 g DQO/g SSV.d, sobre todo si se quiere operar a elevadas velocidades de carga orgánica. [2]

3.7 Ventajas y desventajas de la digestión anaerobia

Como cualquier proceso, la digestión anaerobia presenta una serie de ventajas y desventajas que deben ser tenidas en cuenta a la hora de plantearse la implantación de dicho proceso.

3.7.1 Ventajas

- La mayoría del material orgánico en el agua residual se convierte en biogás, que puede ser quemado con el fin de obtener energía o vapor. La energía se puede utilizar en la planta de producción de biogás o se puede proveer a la red de la energía, con el consiguiente beneficio económico.
- Además, el consumo de energía es muy bajo con el tratamiento anaerobio ya que no es necesario un mezclado intenso.

- La producción de lodo en el tratamiento anaerobio es muy baja (ya estabilizados y espesados), porque la mayoría del material orgánico se convierte en biogás, no en lodo. Además, el lodo anaerobio se estabiliza y se puede desecar fácilmente por gravedad.
- Dicho lodo puede ser empleado para la arrancada de nuevos reactores anaerobios o como bioabono.
- Son sistemas que asimilan altas y bajas cargas orgánicas.
- La eliminación de materia orgánica se encuentra entre el 60 y 80 % según el tipo de material residual.
- El lodo anaerobio puede ser almacenado y conservado fácilmente, lo que simplifica los arranques sucesivos después de paradas o los períodos con cargas orgánicas reducidas.
- Existe la posibilidad de trabajar a tiempos de retención hidráulicos muy bajos, o lo que es igual, se necesitan menores volúmenes de instalación, abaratando las inversiones.
- El diseño y la construcción de un reactor anaerobio son simples. [2]
- El biogás es un biocombustible; es decir, una energía renovable; lo que conlleva el cumplimiento de los objetivos del protocolo de Kyoto, los objetivos europeos de producción de energía renovable, la posibilidad de subvenciones a innovación y demostración en aplicaciones concretas y la posibilidad de subvenciones e incentivos para la inversión en instalaciones de biometanización.
- Los digestores trabajan dentro de un rango de humedad que se acerca al de la mayoría de materiales orgánicos aptos para su biodegradación.
- Se puede trabajar conjuntamente con varios subproductos.
- Se reduce la cantidad de subproductos a gestionar.
- Se reduce los problemas de olores.
- Existen múltiples sistemas conocidos, simples y fáciles de gestionar.
- Se reduce el consumo de combustibles fósiles.
- Y, se reduce la emisión de metano evitando el deterioro de la capa de ozono.

Asimismo, los beneficios de la codigestión de residuos son:

- El aprovechamiento de la complementariedad de las composiciones de cada uno de los sustratos para mejorar el proceso y la relación C/N, generándose una mayor cantidad de biogás.
- Se comparten instalaciones de tratamiento y se unifican metodologías de gestión, lo que conlleva una reducción de costes de inversión y de explotación.

- Al mismo tiempo, se amortiguan las variaciones temporales en composición y producción de cada residuo por separado.
- Permite integrar la valorización de los subproductos orgánicos de una zona geográfica determinada. [1]

3.7.2 Desventajas

- Es difícil mantener la estabilidad del proceso, el cual es muy sensible a tóxicos inhibidores.
- La puesta a punto del sistema requiere largos periodos, en torno a los seis meses, en caso de no contar con lodos inoculados. Para un arranque rápido se requiere lodo granular.
- En muchos casos, se requiere grandes capacidades de tratamiento para un mejor control del proceso y su buen funcionamiento. El volumen del digestor puede ser grande.
- Requiere de una inversión inicial elevada en obra civil e implantación de los equipos. [1]
- En ocasiones, hay presencia de malos olores, para lo cual se requiere de un sistema simple de control.
- Los efluentes en el tratamiento anaerobio todavía contienen un poco de material orgánico, a pesar de la altas eficacias de tratamiento por lo que el post-tratamiento es necesario en muchos casos. [2]

3.8 Biodigestor

Un biodigestor está formado por un tanque hermético donde ocurre la fermentación y un depósito que sirve para el almacenaje de gas. Las dos partes pueden estar juntas o separadas y el tanque de gas puede ser de campana fija o flotante. En el caso del biodigestor tubular, el tanque de digestión y de recolección de gas, conforman uno sólo. El proceso de digestión ocurre en la parte inferior del recipiente, y en la parte superior se colecta el gas.

El biodigestor, posee una tubería de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica mezclada con agua, y una tubería de salida por la cual el material ya digerido por la acción bacteriana sale del biodigestor. Si bien el gas se extrae por la parte superior del digestor.

Se han desarrollado diversas tecnologías para el proceso de digestión anaerobia con el fin de incrementar la carga microbiana en el digestor y conseguir reducir los tiempos de retención hidráulica e incrementar la carga de materia orgánica en la entrada al digestor.

Los digestores de mezcla completa son los más conocidos en el tratamiento de subproductos semisólidos, pero tienen el inconveniente de que no permiten una alta concentración de bacterias en su interior y, por tanto, la producción de biogás por unidad de volumen del digestor es reducida. También existe una nueva generación de digestores, digestores de tercera generación, que pretende incrementar el rendimiento de producción de biogás por volumen de digestor y que evitan problemas de colmatación o arrastre de biomasa o la formación de caminos preferenciales y, entre ellos se encuentran los de: filtro anaerobio, película fija, lecho fluidizado, etc. Este tipo de digestores, por su configuración, se utiliza principalmente para líquidos. [3]

3.9 Clasificación de biodigestores según la frecuencia de carga

Se encuentran disponibles en el mercado reactores continuos, discontinuos y en dos etapas, siendo los más empleados los continuos, existiendo diferentes sistemas.

3.9.1 Sistemas discontinuos

Este sistema se aplica cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. El tiempo de retención es mayor dentro de la cámara de biodigestión, se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. [12]

Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Este tipo de biodigestores es eficaz para la digestión de materiales celulósicos, que no pueden ser tratados en los digestores de tipo continuo debido al posible taponamiento de los conductos de alimentación y salida. Su utilización no está muy difundida. [17]

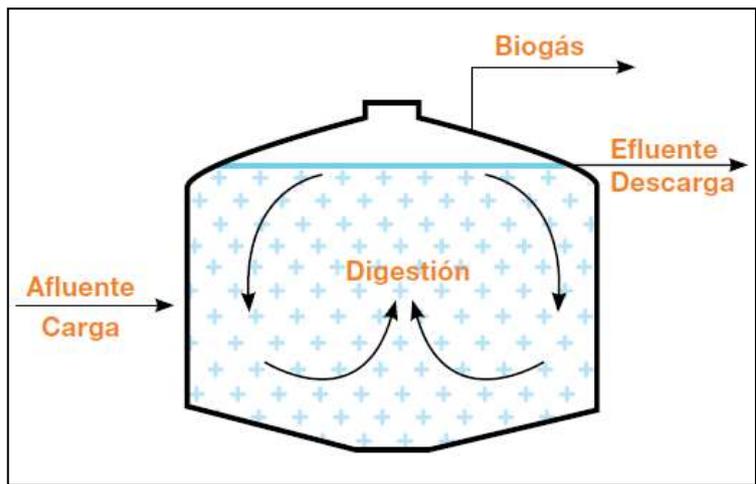


Figura 2: Digestor discontinuo [17]

3.9.2 Sistemas continuos

En un sistema continuo el ingreso es constante, así como la obtención de biogás. Por lo tanto, la disposición de biomasa para alimentar estos sistemas debe ser diaria y los tiempos de retención varían según el diseño del biodigestor.

En esta clasificación caben diferentes sistemas de biodigestión, como biodigestores de mezcla completa, filtro anaerobio, plantas de lecho fluidizado, lecho de lodos, biodigestores tubulares, biodigestores de cúpula fija y móvil, entre otros. [12]

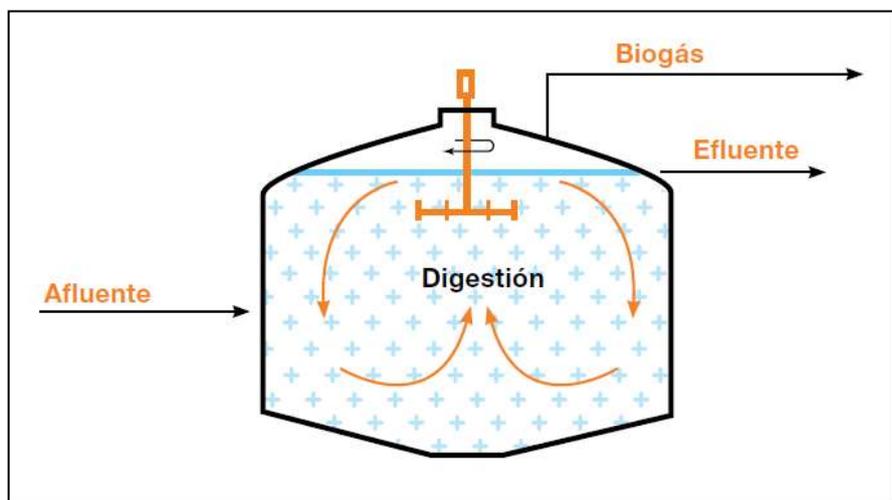


Figura 3: Digestor continuo [17]

3.9.3 Sistemas de dos etapas

Este sistema consta de dos biodigestores en serie. En el primero se desarrolla la hidrólisis y la acidogénesis, por lo que se requieren elevados tiempos de retención. El efluente se

deposita en un segundo reactor donde finaliza el proceso, produciéndose el biogás. En éste el tiempo de retención es más bajo. [17]

Se ha aplicado para tratar residuos sólidos cuya etapa limitante es la hidrólisis: frutas, verduras, residuos sólidos urbanos, de ganado vacuno, etc. [12]

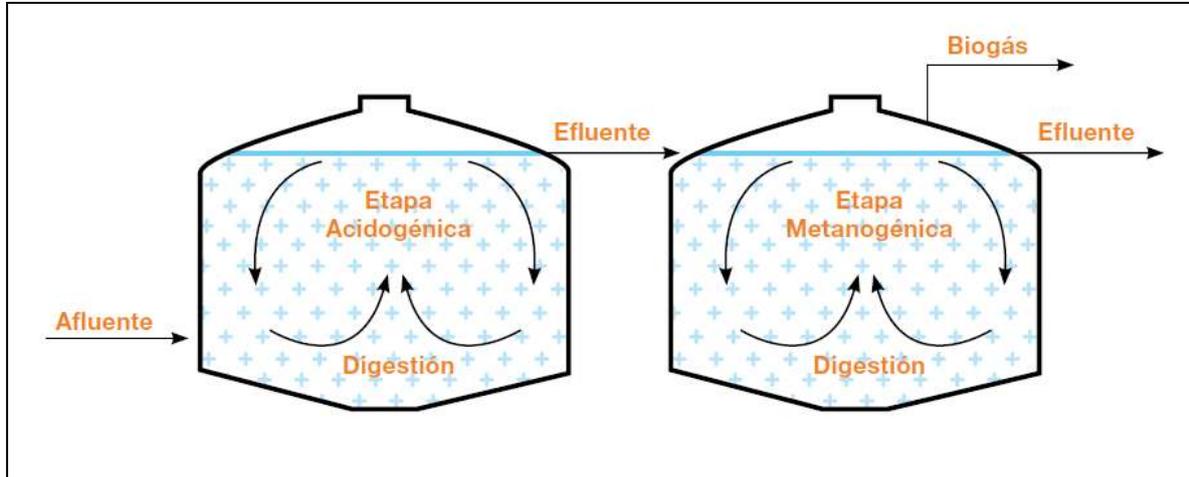


Figura 4: Digestor de dos etapas [17]

3.10 Clasificación de biodigestores según su funcionamiento

Hay muchos tipos de plantas de biogás pero las más comunes son el dosel flotante (hindú) y el domo fijo (chino). La pobre aceptabilidad de muchos de estos biodigestores ha sido principalmente debida a los costos altos, la dificultad de instalación y problemas en la consecución de las partes y repuestos.

3.10.1 Pozos sépticos

Depósito de aguas negras que se construye junto a las casas cuando no hay alcantarillado. Es el más antiguo y sencillo digestor anaeróbico que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas. Se cree que de allí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico. Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable aislar las aguas servidas que caen en él, de las que contienen jabón o detergentes. El efecto de los jabones y en especial los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias, razón por la que los pozos se colmatan con rapidez y dejan de operar, haciendo necesario destaparlos frecuentemente para recomenzar la operación. [10]

3.10.2 Biodigestor tipo chino o de cúpula fija

Este biodigestor se caracteriza por tener una forma cilíndrica y estar enterrado, lo que favorece el proceso de digestión evitando los cambios de temperatura. Está compuesto por un registro de carga, el digestor y un tanque de compensación. En la caja registro se realiza la mezcla de la materia orgánica, que es transportada a través de tuberías hacia una cámara de digestión. Una vez que la materia orgánica entra en el sistema, se retiene por un tiempo determinado para que los microorganismos realicen todo el proceso de fermentación generando el biogás, que se almacena en la cúpula fija del sistema y se capta y transporta por medio de tuberías; y el biofertilizante, que es un fluido semisólido que sale del sistema por medio de tubería hacia una caja de descarga donde se recolecta. Una desventaja de este sistema es que la presión del biogás generado es muy variable, ya que la presión depende del volumen de materia (agua residual, excretas) que se encuentra dentro de la cámara de digestión. [17][12]

Este sistema ha sido bastante aplicado para tratar excretas humanas, bovinas y porcinas, a pequeña y mediana escala. Tiene bajo costo y larga vida útil. Además, el diseño es básico, no requiere de mucho espacio y se encuentra bien aislado. No obstante, la cúpula de gas requiere de impermeabilizante especial y conocimiento técnico para la construcción impermeable del biodigestor. Se dan fugas de gas frecuentemente, siendo la presión de éste variable lo que complica su uso, además de que la cantidad de biogás generado no es inmediatamente visible. [5]

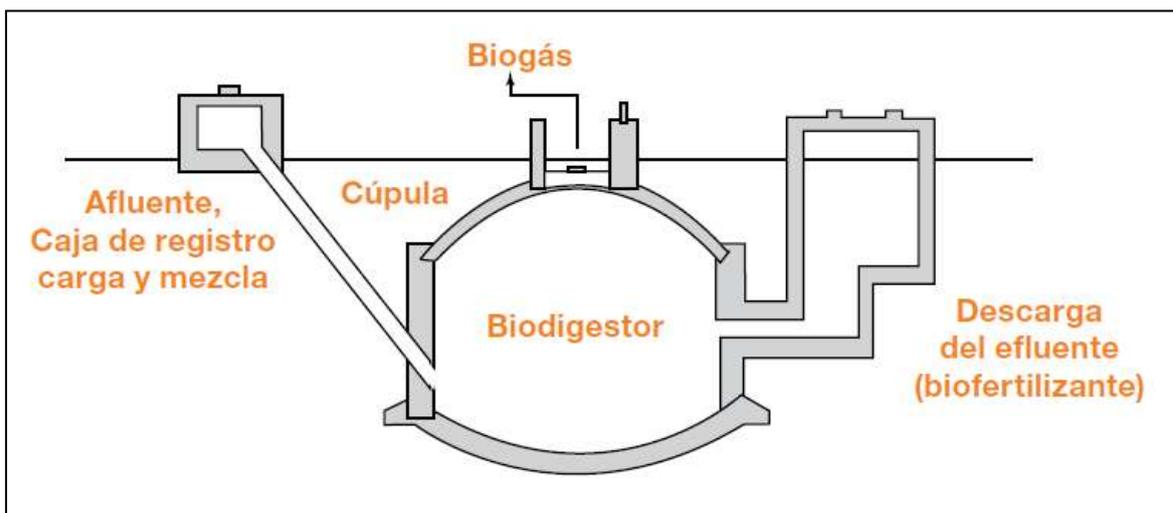


Figura 5: Digestor de cúpula fija [17]

3.10.3 Biodigestor de campana flotante o tipo hindú

El componente principal de este sistema es una campana de acero que tiene la característica de flotar en el biodigestor; a medida que el biogás que se genera ejerce presión sobre esta cúpula, esta sube almacenando el biogás que se produce dentro del biodigestor. Los componentes que conforman este sistema son: una caja de registro donde se disponen todos los desechos, un sistema de tuberías que transporta el influente directamente a la cámara de digestión, lugar donde ocurre la fermentación de la materia orgánica y se produce el biogás y, por último, tiene otra sección de tuberías que dirige el influente tratado fuera del sistema para ser recolectado y utilizado como biofertilizante. A diferencia de la campana flotante que se construye de acero, el resto de los componentes del sistema son construidos con materiales convencionales (ladrillos, bloques, entre otros).

La cúpula de acero del sistema garantiza una presión constante y la cantidad es rápidamente visible por la posición de la cúpula de gas. Este biodigestor ha sido utilizado para tratar excretas de ganado bovino y porcino y es fácil de operar.

Por otro lado, la cúpula es relativamente costosa, requiere mucho mantenimiento y su uso es limitado a ciertos sustratos ya que tiende a quedar atascada en sustratos fibrosos. [17][12]

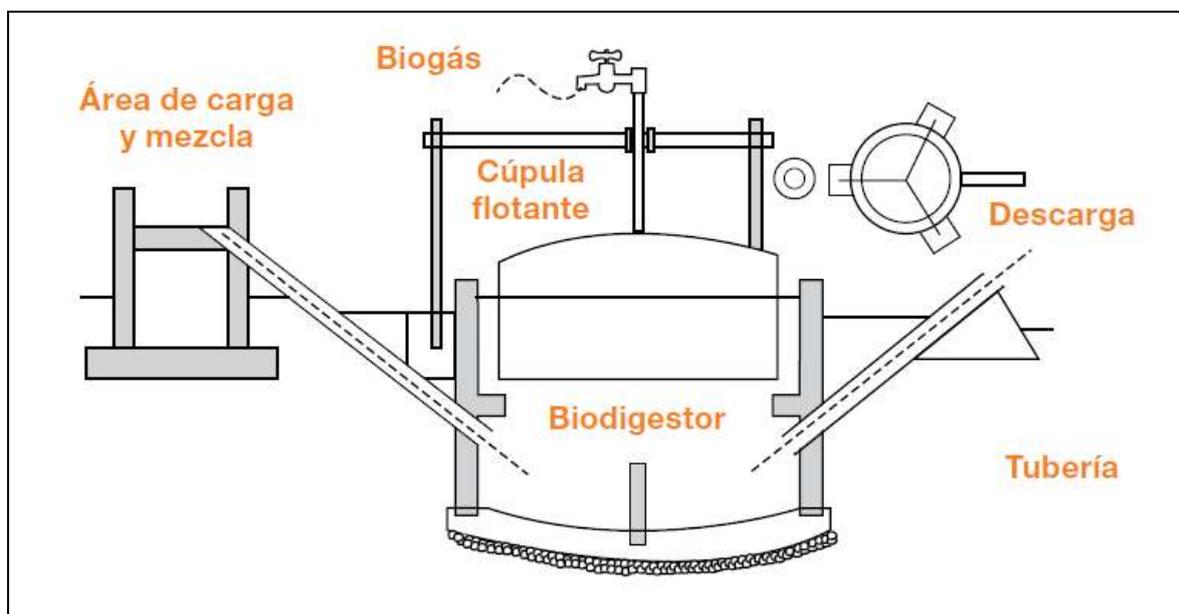


Figura 6: Digestor de cúpula flotante [17]

3.10.4 Biodigestor tubular

Se trata de un sistema continuo, con las características de flujo pistón. Debido a las características del flujo, la producción de biogás es distinta en cada sección del sistema. Es un sistema estacionario, con formas alargadas, fabricado en polietileno donde el flujo de líquido es continuo. Se emplea principalmente en afluentes donde la concentración de microorganismos es elevada. [17]

Este biodigestor es sencillo y económico, a lo que se debe su extendido uso a escala familiar en zonas rurales de países en vías de desarrollo. Es apropiado para las granjas pequeñas y posee tuberías de entrada y salida de las aguas residuales y como elemento fundamental una bolsa de polietileno que sirve de biodigestor. Debido a la distribución horizontal del fluido no se posee un lodo homogeneizado en el interior del reactor. Esta condición se puede mejorar empleando un sistema de agitación transversal, reintroduciendo parte del biogás en la base del digestor si es horizontal o bien alimentando el agua residual en diferentes puntos del biodigestor. La vida útil de estos sistemas es de 10 a 15 años dependiendo de la calidad de los materiales utilizados, el diseño, las medidas de protección al sistema y la forma de operarlo.

Es un sistema en el que se obtienen altas temperaturas de digestión en áreas cálidas y es fácil de limpiar, mantener y vaciar. Sin embargo, se requieren bombas debido a la baja presión del gas y no se puede eliminar la parte sólida en la superficie del sustrato a digerir durante la operación.

Por otro lado, han sido diseñados digestores con grandes superficies internas sobre las cuales se depositan las bacterias formando una película, u otros sistemas que logran retener a las metanogénicas pudiéndose lograr de este modo TRH menores. [9]

Los siguientes tipos de reactores están basados en la tendencia de las bacterias a fijarse sobre superficies sólidas. El incremento de la carga en un reactor de flujo continuo sin retención de microorganismos y/o materia orgánica ocasiona un lavado y por tanto una disminución del proceso ya iniciado. De ahí que se hayan desarrollado algunos mecanismos en los cuales se busca separar los sólidos del efluente y recargarlos al cuerpo del reactor o retornar parte del efluente con sólidos en suspensión al mismo. [11]

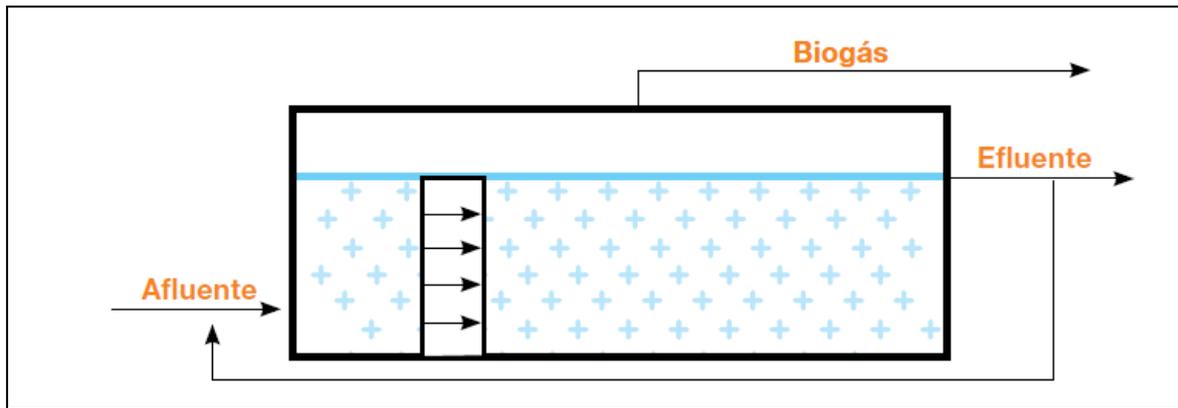


Figura 7: Digestor tubular [17]

3.10.5 Filtro anaerobio

El filtro anaerobio tiene la característica de aumentar el tiempo de residencia de los microorganismos en su interior, por estar formado por una matriz que posee una mayor superficie de contacto, donde se fijan las bacterias metanogénicas. De este modo se logra una disminución del arrastre. Los soportes más utilizados actualmente son de tipo plástico (poliuretano y PVC) o silicatos (vermiculita, bentonita y sepiolita). [11]

Su distribución es irregular, con flujo ascendente y las bacterias se encuentran principalmente atrapadas en los intersticios. [12]

Los filtros anaerobios permiten altas sobrecargas sin disminución apreciable en su eficacia. El inconveniente es que no toleran apenas sólidos en suspensión que colmatan la matriz, siendo sólo adecuados para residuos solubles y bastante diluidos. [8]

Con estos procesos de biomasa retenida, se consiguen tiempos de retención de sólidos entre 10 y 100 veces mayores que en los digestores convencionales de mezcla completa. Con lo cual se obtienen tiempos de retención hidráulicos de retención notablemente inferiores y permiten un incremento en el volumen de carga. Estos reactores son operados de forma continua con cargas diarias o interdiarias, en las cuales el material a fermentar se encuentra suspendido en la solución. [11]

Este sistema ha sido extensamente aplicado para el tratamiento de aguas residuales de industria agroalimentaria, y existen experiencias piloto para la fracción líquida de residuos ganaderos. Sin embargo, el coste de inversión es un limitante importante para su implantación. [12]

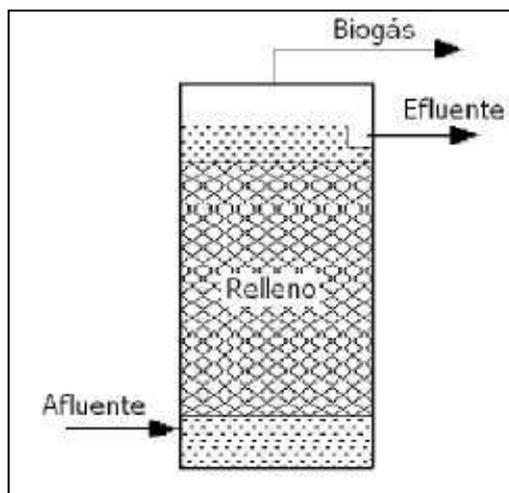


Figura 8: Filtro Anaerobio [12]

3.10.6 Lecho de lodos (sistema UASB)

En este sistema el incremento de la población bacteriana dentro del digestor se basa en proporcionar a los lodos las características físico-químicas más adecuadas para favorecer la floculación y coagulación de los mismos sin necesidad de intervención de ningún tipo de soporte.

El digestor tiene un lecho de lodo floculado o granulado en el fondo, previsto para que permita el movimiento ascendente del influente a su través y actúe como filtro de la biomasa. La agitación se produce, durante la ascensión del biogás a través de toda la masa del digestor al liberarse el gas de los flóculos. [8]

El diseño más común es el Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), el cual está siendo extensamente aplicado al tratamiento de aguas residuales de la industria agroalimentaria. Es el diseño más simple de entre los sistemas con retención de biomasa y el único limitante para su aplicación es que la biomasa activa granule, esto es, que forme agregados de alta densidad. Para ello es determinante la composición del agua a tratar y mantener una operación adecuada. [12]

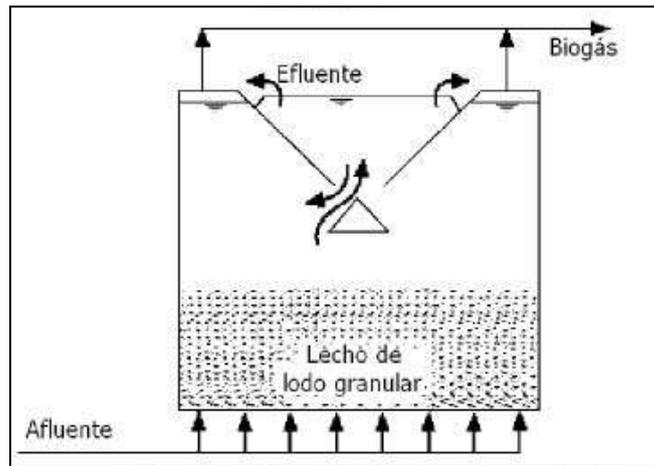


Figura 9: Lecho de lodos [12]

3.10.7 Lecho fijo

Sistema parecido al filtro anaerobio, pero en este caso el material inerte está constituido por placas paralelas fijas y en el que el flujo es descendente. De esta forma se previenen los peligros de colmatación y de formación de vías preferenciales que se presentan en los filtros ascendentes. Puede trabajar con altas cargas, tanto hidráulicas como de concentración de sólidos y residuos diluidos. [8]

En caso de utilizar un soporte orientado verticalmente con flujo ascendente y un sustrato lentamente degradable, con elevado tiempo de retención, la retención por sedimentación de los fragmentos de película desprendidos adquiere un efecto de importancia en la actividad del reactor. [12]

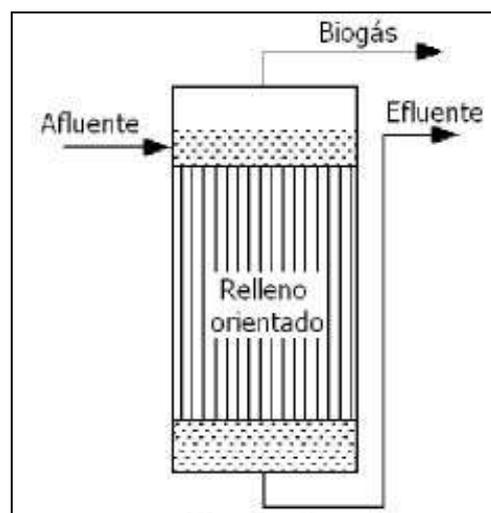


Figura 10: Lecho Fijo [12]

3.10.8 Película fija sobre soporte libre

Esta tecnología tiene una mecánica de funcionamiento similar a la del "Reactor de película fija", y la única diferencia es que el soporte de PVC, al cual se fijan las bacterias, está totalmente libre en el interior del digestor y por tanto permite su movimiento, evitando de esta forma los riesgos de obturación y/o la formación de vías preferenciales. [8]

3.10.9 Lechos fluidizados o expandidos

El procedimiento que se utiliza en este sistema está enfocado a maximizar la población microbiana en el digestor, maximizando para ello la superficie de adherencia de la biomasa al soporte. Para lograrlo, se introduce un material en partículas muy pequeñas, inerte y móvil (arena o alúmina) que se mantiene en lecho fluidizado y con una expansión relativamente pequeña con objeto de lograr una buena uniformidad en la distribución del efluente, que se mezcla con la alimentación. Se habla de lechos expandidos cuando la expansión del lecho es de 10-35%, mientras que cuando se recupera el 35% se habla de lecho fluidizado.

La eficacia demostrada por este tipo de reactor, es bastante superior a cualquier otro tipo hasta ahora desarrollado, con la particularidad de presentar una gran estabilidad frente a cambios, incluso bruscos, de sus parámetros de operación. No obstante, la aplicación de esta tecnología a nivel industrial es actualmente más problemática que en el resto de los sistemas. [8]

En este reactor el flujo es ascendente. Para mantener el caudal adecuado, que permita la expansión y fluidización del lecho, se recurre a la recirculación. Igual que el filtro, puede ser aplicado a aguas residuales, especialmente de la industria agroalimentaria, y a fracciones líquidas o sobrenadante de residuos ganaderos, aunque las experiencias en este ámbito son muy limitadas. [12]

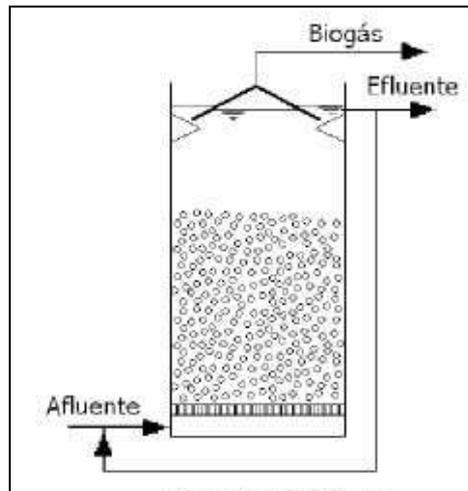


Figura 11: Lecho Fluidizado [12]

3.11 Comparación de los reactores de primera, segunda y tercera generación

Los sistemas de primera generación se caracterizan por ser procesos de carga discontinua, la cual se efectúa una vez y se inocula con biomasa microbiana de la digestión precedente para favorecer el arranque de la fermentación. Estos digestores se han diseñado preferentemente para tratar residuos orgánicos con alto contenido en sólidos y, por tanto, los periodos de retención hidráulica son bastante prolongados. Dentro de esta categoría se incluyen el digestor tipo chino y el hindú. [24]

El digestor de tipo chino, con cúpula fija tiene una vida útil de 20 años o superior, la presión del biogás en el interior es variable y las fugas son comunes. Se dimensiona generalmente para 5 m³, construido con cemento, ladrillo o bloque y varillas de hierro y admite cualquier residuo. El mantenimiento necesario es bajo y se ubica bajo tierra por lo que el requerimiento de espacio en superficie es muy bajo, generalmente solo la línea de extracción de biogás.

Por otro lado, el digestor de cúpula flotante, tipo hindú tiene una vida útil de 15 años o superior. En su interior la presión del biogás es constante y no hay fugas si se mantiene la cúpula correctamente. Generalmente se diseña con una capacidad de 5-15 m³, construido en cemento, ladrillo o bloque y la cúpula de acero inoxidable, la cual requiere de altos niveles de mantenimiento para la eliminación del óxido y recubrimiento con anticorrosivos periódicamente. Se ubica bajo tierra y requiere de poco espacio en la superficie para la

cúpula flotante. Admite todo tipo de residuos excepto aquellos con mucha fibra pues suelen causar problemas a la cúpula. [3]

Uno de los problemas que presenta esta tecnología de primera generación es la producción discontinua de biogás. Con el objetivo de eliminar en lo posible este inconveniente se desarrollaron los sistemas de segunda generación.

Estas instalaciones se han proyectado dividiendo la capacidad total de digestión en dos o más fermentadores, los cuales funcionan de una manera escalonada, para solapar las curvas de producción de biogás y obtener una curva integral de producción uniforme de combustible.

Este nuevo modelo de digestor retiene la materia de origen vegetal, que normalmente tiende a flotar, dentro de las zonas de máxima actividad bacteriana como son la inferior y la de sobrenadante intermedia, para que las bacterias tengan tiempo de atacar, hidrolizar y procesar efectivamente el material en descomposición; al mismo tiempo permite que los gases y el material parcialmente degradado sigan el recorrido del proceso normal dentro del digestor. [24]

Utiliza compartimentos en ferro cemento o mampostería, espaciados adecuadamente para retener los materiales y las partículas sólidas grandes, pero permite el paso del gas y los líquidos. A este modelo se puede adicionar hasta un 25% de carga de origen vegetal sin que se atasque o paralice la operación. Estos digestores presentan un flujo continuo de biomasa en su interior y se emplean, generalmente, en el tratamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos.

Un ejemplo de digestor de segunda generación es el tubular, ya que al caracterizarse por un flujo pistón puede considerarse dividido en infinitas etapas. Su vida útil es de 10-15 años, la presión del biogás en su interior es variable y baja, las fugas son poco comunes y se diseña generalmente con un tamaño de 4-100 m³ en plástico PVC. Requiere de bajos niveles de mantenimiento siempre y cuando se hayan tomado medidas de protección a la bolsa de PVC. Se ubica semienterrado en una zanja de unos 2,5 m de profundidad y 50 cm de largo por cada m³ de biodigestor y admite aguas residuales de cualquier sector (café, porcino, bovino y aguas con sangre) evitando el uso de desechos sólidos. [3]

Otro método para conseguir un proceso continuo es la adición de un mecanismo de agitación, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en

contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días. Esto ha logrado una eficiencia de trabajo en forma continua que permite cargarlo con toda clase de materiales, hasta un 50 o 60% de materia de origen vegetal mezclada con excrementos, empleando una sola unidad que trabaja en forma de digestor continuo.

Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semiindustriales. Se les conoce de ordinario como CSTD (Conventional Stirred Digestor).

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad. Generalmente los desechos de origen animal, excrementos de cualquier clase, son procesados en digestores convencionales de tipo continuo, que periódicamente reciben carga y entregan por desalojo efluente ya digerido. El tiempo de operación continua de estos equipos es bastante largo y requiere un mínimo de atención al momento de cargarlos, como es el evitar introducir elementos extraños tales como arena, piedra, metal, plásticos o cualquier otro tipo de material lento o imposible de digerir. Simplemente, cada cuatro o cinco años se debe detener su funcionamiento para hacer una limpieza general y retirar sedimentos no digeridos.

Sus principales ventajas son: un menor tiempo de operación; se evita la formación de una costra de material dentro del digestor; se logra la dispersión de materiales inhibitorios de la acción metabólica de las bacterias, impidiendo concentraciones localizadas de material potencialmente tóxico para el sistema; se ayuda a la desintegración de partículas grandes en otras más pequeñas, que aumentan el área de contacto y por lo tanto la velocidad de digestión; se mantiene una temperatura más uniforme de la biomasa dentro del digestor para una reacción y degradación más uniformes; se inhibe el asentamiento de partículas biodegradables de mayor tamaño; se permite una más rápida separación y el ascenso del gas a medida que se va formando dentro del digestor y se mejora las condiciones de control y estabilidad de la biomasa dentro del digestor.

Sin embargo, se ha de tener en cuenta que cuando al digestor convencional de tipo continuo se introducen indiscriminadamente materiales orgánicos de origen vegetal como pasto u hojas de árbol, sobrantes de cosechas o basuras biodegradables, que tienden a flotar en el agua por su alto contenido celulósico, terminan por atascarlo y parar su operación

efectiva en poco tiempo, incluso días, dependiendo de la cantidad de material suministrado. Para evitar taponamientos, la materia de origen vegetal se procesa en digestores convencionales en tandas o carga única (Batch Digestors) en ciclos de 60 a 80 días, lo que supone que para el suministro de gas y efluente durante un año, se debe disponer mínimo de cuatro unidades con una producción alternada. Estas soluciones representan un alto costo y un gran esfuerzo.

Por otro lado, los digestores de tercera generación (filtro anaerobio, película fija, lecho fluidizado, etc.) han sido desarrollados con el objetivo común de aumentar la concentración de biomasa activa para aumentar el rendimiento energético por unidad de volumen del digestor. Sin embargo, este tipo de digestores, por su configuración, se utilizan principalmente para líquidos. Mucho de ellos no serían aplicables para residuos ganaderos.

Entre estos se incluyen: el lecho fluidizado o expandido, el de película fija sobre soporte libre, el lecho fijo, el lecho de lodos (sistema UASB) y el filtro anaerobio. Su principal ventaja es la reducción del tiempo de retención a pocos días, hasta 2 días en algunos casos, lo que conlleva una disminución del volumen del digestor.

3.12 Pretratamientos

El objetivo más habitual de los pretratamientos es aumentar la biodegradabilidad de los sustratos a digerir anaeróbicamente y de esta forma aumentar la producción de biogás y disminuir el tiempo de residencia. Estos dos efectos influyen de forma directa sobre el balance económico de la planta de biogás. Algunos pretratamientos permiten obtener una mayor calidad higiénica en el digerido, reduciendo riesgos para la salud humana o animal.

Las tecnologías de pretratamiento se pueden clasificar en mecánicas, térmicas, químicas y biológicas:

- Pretratamientos mecánicos: con esta tecnología se trata principalmente de reducir el tamaño de partícula, aumentando así la superficie específica del material, de manera que se consiga eventualmente una mayor solubilización de la materia orgánica y una mayor biodisponibilidad de la misma. Las tecnologías disponibles incluyen la maceración, trituración, homogeneización a alta presión, etc.
- Pretratamientos térmicos: el objetivo de los pretratamientos térmicos es doble. Por una parte, facilitar la degradación de algunas macromoléculas y solubilizar la materia

orgánica (aumento de la biodisponibilidad) y por otra parte, y dependiendo de la temperatura y el tiempo, higienizar la materia orgánica para reducir o eliminar microorganismos indeseables. Existen diversas tecnologías que se diferencian en la forma de aplicar el calor; los pasteurizadores suelen aplicar el calor por conducción (recipientes encamisados), y otros métodos incluyen el uso de corrientes de vapor y/o de altas presiones.

- Pretratamientos químicos: al igual que en el caso de los tratamientos térmicos, el objetivo de los tratamientos químicos es romper las macromoléculas poco biodegradables mediante la adición de compuestos químicos tales como ácidos o bases fuertes, o mediante otros métodos como la ozonización. Los pretratamientos químicos también pueden tener otros objetivos, como el ajuste de pH en el caso de sustratos ácidos, o el aumento de la capacidad tampón.
- Pretratamientos biológicos: en este tipo de pretratamientos se consigue la degradación de determinados compuestos mediante la inoculación con bacterias específicas o la adición de enzimas. El ensilado se considera también un pretratamiento biológico, ya que se trata de una fermentación ácido-láctica, aunque de tipo inespecífico. El objetivo principal del ensilado es la conservación del material, ya que normalmente se aplica a sustratos vegetales que se cosechan una o dos veces al año, aunque en algunos casos se consigue también un aumento de la productividad de biogás, puesto que en el proceso de ensilado se produce una hidrólisis de las macromoléculas.

En la actualidad se están estudiando nuevos pretratamientos como la aplicación de microondas o ultrasonidos, sobre todo para el tratamiento de residuos líquidos como lodos de depuradora, purines, etc. El beneficio se obtiene a través de procesos de calentamiento y/o de cavitación a pequeña escala por la acción de las ondas.

Generalmente, la aplicación de un pretratamiento lleva asociado un coste energético (electricidad para mover elementos mecánicos, calor para los pretratamientos térmicos, etc.) y un coste económico, tanto de inversión como de operación. El incremento en la producción de biogás y/o ahorro de coste de inversión debe ser suficiente como para compensar el balance energético y económico.

A continuación se desarrollan los pretratamientos más utilizados en la actualidad en plantas de biogás:

3.12.1 Trituración. Pretratamiento mecánico

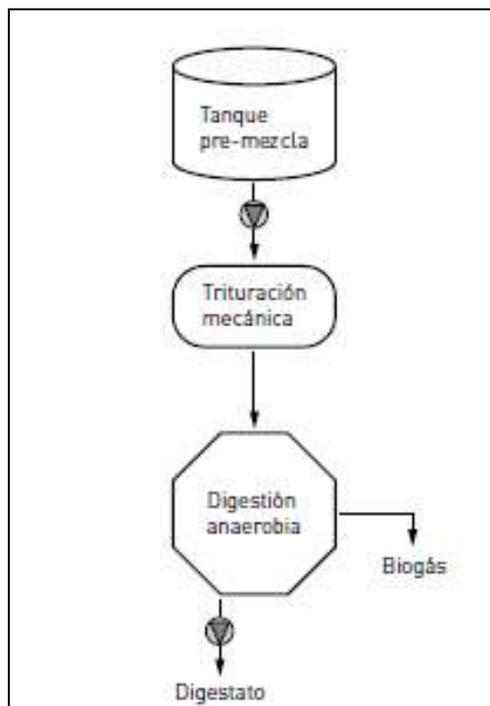


Figura 12: Esquema del proceso de trituración [18]

Existen multitud de equipos comerciales en el mercado para la aplicación del pretratamiento de trituración mecánica. La mayoría se basan en un mecanismo de corte con cuchillas rotatorias, aunque también existen otros dispositivos.

Permite un incremento de la superficie específica disponible para las bacterias (aunque la relación no es lineal, conforme aumenta la superficie específica aumenta la producción de biogás) y una pérdida de la estructura de las fibras de los sustratos aprovechados.

En general, cualquier residuo con un tamaño de partícula superior a 5 cm es susceptible de ser pretratado mecánicamente, ya que una reducción de tamaño influirá positivamente en la producción de biogás. Como norma general, se recomienda alcanzar un tamaño de partícula entre 10-15 cm, y entre 2-4 cm para materiales lignocelulósicos. Este tratamiento es especialmente recomendable en el caso de residuos con alto contenido en fibra (celulosa y lignina) tales como plantas enteras, paja, etc.

El rendimiento es variable en función del tipo de sustrato, la intensidad de la trituración, y los co-sustratos utilizados. La mejora de la producción de biogás puede por tanto oscilar entre un 5 y un 30%.

3.12.2 Pasteurización. Pretratamiento térmico

Suele aplicarse tras un pretratamiento de trituración del material. La temperatura mínima de todo el material en la unidad de higienización debe ser 70 °C y la permanencia mínima sin interrupción debe ser de 60 minutos. Normalmente se trata de recipientes cilíndricos verticales, calefactados con una corriente de agua caliente que puede proceder de la cogeneración.

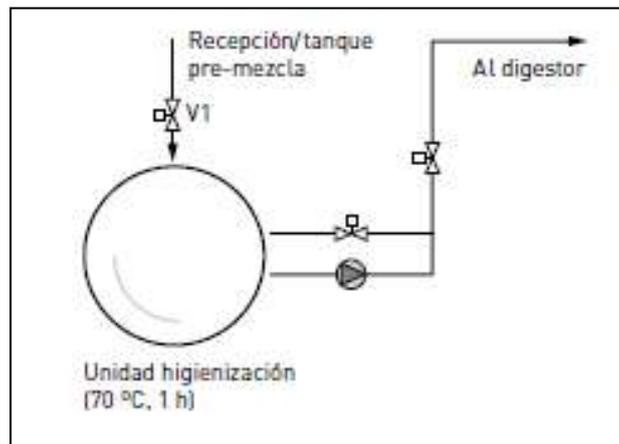


Figura 13: Esquema del proceso de pasteurización [18]

Los residuos más apropiados son los subproductos de origen animal no destinados al consumo humano.

Asimismo, dependiendo de la naturaleza del material, la higienización puede incrementar la producción de biogás. En el caso de algunos subproductos animales, se pueden dar producciones de biogás hasta cuatro veces superiores gracias al tratamiento de higienización. No obstante, si se aplica este pretratamiento a otro tipo de productos, como los vegetales, se puede producir el efecto contrario, ya que la aplicación de temperatura puede degradar parcialmente la materia orgánica ya biodisponible y reducir el potencial de producción de biogás.

3.12.3 Esterilización. Pretratamiento térmico

Consiste en un tratamiento térmico a alta temperatura y presión (130 °C y 3 bar) durante 20 minutos tras haber reducido a partículas no superiores a 50 mm el residuo a digerir. En una de las posibles configuraciones para aplicar este tratamiento, el sustrato se precalienta, se lleva hasta la temperatura de 130 °C, se mantiene durante 20 minutos a esta temperatura y a una presión de 3 bar y se enfría con el intercambiador de calor del precalentamiento, esto permite que la materia prima esté sólo ligeramente por encima de la temperatura del

digestor anaerobio. La recuperación de calor se consigue mediante la recirculación de agua entre el primer y el tercer intercambiador. La temperatura final se logra en el segundo intercambiador.

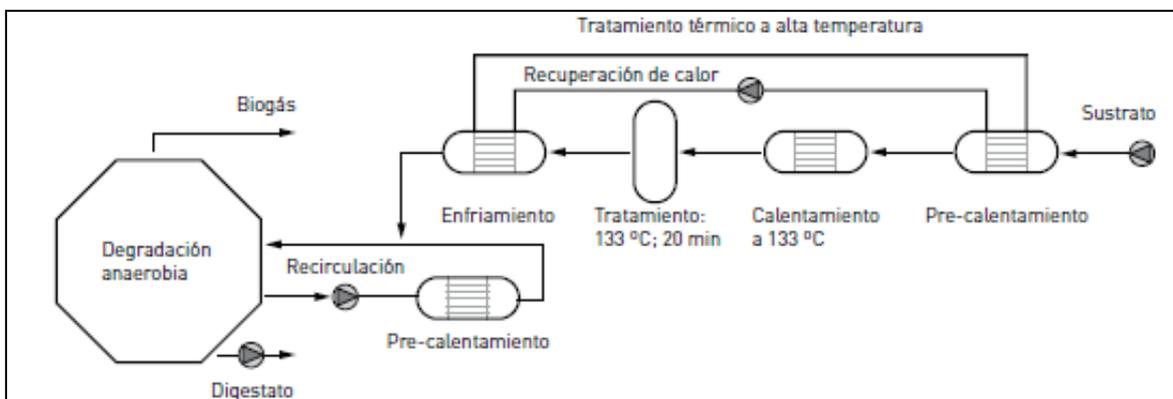


Figura 14: Esquema del proceso de esterilización [18]

A modo de referencia, para un volumen anual de 5.000-10.000 Tn, el coste de equipo esterilización y pasteurización se encuentra en torno a 45.000 €.

Los residuos más apropiados para este tipo de pretratamiento son los subproductos de origen animal no destinados al consumo humano.

Al igual que en el caso de la pasteurización, es posible aumentar el rendimiento en el caso de algunos residuos, aunque el objetivo del tratamiento es el de esterilizar el material.

3.12.4 Ensilado. Pretratamiento biológico

El ensilado es una técnica que se refiere al almacenamiento de material vegetal comprimido en condiciones de anaerobiosis, y que permite conservar este material a lo largo de todo el año. Para la conservación del material se aprovecha un proceso biológico durante el cual bacterias ácido lácticas rompen los azúcares y bajan el pH a un nivel que es inhibitorio para otras bacterias. Para un desarrollo óptimo del proceso es deseable que el contenido en sólidos totales del material sea inferior al 45% y una cantidad mínima en carbohidratos hidrosolubles del 8%. Tanto una buena compactación del material como el mantenimiento de las condiciones de anaerobiosis son fundamentales para un ensilado adecuado del material.

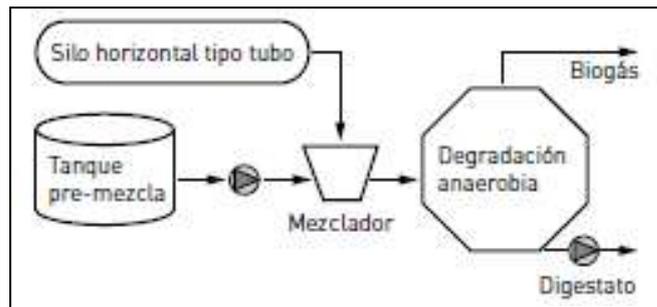


Figura 15: Esquema del proceso de ensilado [18]

Los silos pueden tener configuración horizontal o vertical, ambos son utilizados en las plantas de biogás agroindustriales. Los silos horizontales, donde los que el material se almacena y se compacta sobre suelo hormigonado y entre dos paredes, y se recubren con materiales plásticos para promover condiciones de anaerobiosis en el interior.

El proceso de ensilado se aplica como tratamiento de conservación para cultivos energéticos y sustratos similares (maíz, centeno, pratenses), ya que la cosecha se realiza una o dos veces al año y el material debe ser utilizado diariamente en la planta de biogás. Los sustratos deben cumplir una serie de requisitos para poder ser ensilados: 25-35% de ST, alto contenido en azúcares disponibles para las bacterias ácido-lácticas, y material sin gérmenes.

En función del material, es posible conseguir aumentos del rendimiento (producción de biogás) entre un 5 y un 25% (según bibliografía consultada), aunque esto no se da en todos los casos. [18]

3.13 Purificación del Biogás

En la práctica la purificación del biogás no es más que la eliminación del dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno o ambos. El dióxido de carbono es eliminado para aumentar el valor del biogás como combustible y el sulfuro de hidrógeno para disminuir el efecto de corrosión sobre los metales que están en contacto con el biogás.

3.13.1 Eliminación de H₂S

El ácido sulfhídrico es un compuesto del biogás relevante, ya que es inflamable, incoloro, altamente tóxico y corrosivo, lo que constituye una gran desventaja, pues dificulta el traslado del gas por tuberías, su almacenamiento en tanques y otras estructuras metálicas, como aquellas que participan en la generación y distribución de electricidad.

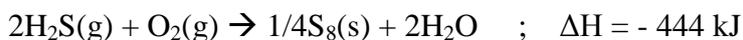
Actualmente, existen tecnologías de purificación de biogás de tipo físico-químico, eficientes pero presentan altos costos de adquisición y de operación, y sólo en los últimos años se ha dado importancia a posibles métodos biológicos de purificación.

Los métodos biológicos se basan en el empleo de distintos tipos de microorganismos como agentes de transformación, conformando biofiltros con potencialidad de separar mezclas gaseosas, y de esta manera se disminuyen los altos costos presentados por los sistemas de purificación que emplean métodos físicos y químicos. Para eliminar el sulfuro de hidrógeno existen diferentes métodos basados en técnicas físico-químicas que se basan fundamentalmente en mecanismos de adsorción, absorción y filtración por membrana.

3.13.1.1 Métodos de purificación por adsorción

Los métodos de purificación por adsorción también llamados de lecho seco, se llevan a cabo sobre un material sólido fijo, sobre el cual el sulfuro de hidrógeno es adsorbido por adherencia. Por lo general, los materiales sólidos utilizados como adsorbentes son carbón activado, sílicagel y tamices moleculares de zeolitas o tamices moleculares de carbón. Como el proceso de adsorción ocurre sobre la superficie del adsorbente, donde las moléculas son retenidas por fuerzas electrostáticas débiles, la reacción puede verse afectada por la humedad, selectividad, temperatura, presión y presencia de partículas.

El proceso de adsorción que requiere menos energía es aquel en que se utiliza carbón activado, porque opera con temperatura y presión menores, donde la reacción se realiza en los poros y el sulfuro de hidrógeno reacciona con el oxígeno produciendo azufre y agua. El azufre donde el sulfuro de hidrógeno queda ocluido en los poros del carbón.



La adsorción empleando sílicagel como indicador, también ha permitido la eliminación de sulfuro de hidrógeno y anhídrido carbónico. El cambio de coloración del compuesto indica la saturación del adsorbente que puede ser regenerado calentándolo a 117 °C.

La utilización de tamices moleculares, permite que el sistema opere a temperaturas cercanas a la ambiental. Estos pueden usarse para eliminar H₂S, mercaptanos, agua y un buen número de otras impurezas. Los tamices moleculares compuestos de zeolita con alta afinidad por las moléculas polares, presentan un área superficial de hasta 590 cm²/g teniendo tamaños de poros bien definidos lo que permite una remoción selectiva de diferentes compuestos.

En la actualidad, a nivel mundial la tecnología de purificación ampliamente usada se denomina "Pressure Swing Adsorption" (PSA) y puede utilizar tanto carbono activado como zeolitas o ambos. En este proceso de PSA, el anhídrido carbónico se separa del biogás utilizando procesos de adsorción/desorción a diferentes presiones. El sistema consta de cuatro recipientes llenos de material adsorbente. Durante el proceso, cada recipiente sigue un ciclo de presurización-adsorción-despresurización-desorción. Entonces el biogás entra por la parte inferior del recipiente y a medida que asciende, el material adsorbente capta tanto el anhídrido carbónico como el oxígeno y el nitrógeno, hasta obtenerse un gas con un 95 % de CH₄ y con una eficiencia de recuperación de metano presente en el biogás entre un 85% a 90% dependiendo del soporte o material adsorbente en el PSA. En el caso de utilizar titanio activado, se logra obtener las eficiencias más altas de recuperación de metano. Cuando el material adsorbente de un recipiente está completamente saturado de los gases anhídrido carbónico, oxígeno y nitrógeno, la adsorción en ese recipiente deja de funcionar, entonces, el biogás pasa al siguiente recipiente, el cual previamente ha sido regenerado mediante despresurización a presión atmosférica. Por otra parte, los sistemas de PSA dejan una pérdida gaseosa, llamada "gas de cola", que podría contener sulfuro de hidrógeno, anhídrido carbónico y gas metano, que debiera ser quemada, utilizando parte del metano que tiene el biogás. Esto representa un 12% del metano proveniente del biogás, en función del porcentaje de nitrógeno presente en el biogás a purificar y el material adsorbente. Además, los sistemas de PSA no remueven completamente el oxígeno, el cual representa un riesgo explosivo en presencia del metano y pérdidas en la recuperación del metano por oxidación a anhídrido carbónico. Los métodos de purificación por adsorción presentan la ventaja de ser muy efectivos en la reducción y remoción de contaminantes, sin embargo presentan costos de operación altos, debido al consumo eléctrico de los compresores que alcanza presiones de 100 psig.

3.13.1.2 Métodos de purificación por absorción

Los métodos de purificación por absorción se utilizan ampliamente, debido a la eficiencia y reactividad del sulfuro con la mayoría de los metales. En otros casos, presentan costos relativamente bajos. Los sistemas más empleados son:

Absorción con compuestos de hierro: Se utilizan limallas de hierro colocadas en columnas de purificación que se encuentran humedecidas de forma discontinua con agua y rellenas con otro material por ejemplo, el aserrín; para ayudar a la hidrodinámica del sistema. El

proceso opera a distintas presiones, logrando eliminar eficientemente el H_2S a temperatura ambiente o superiores, con un contenido de humedad de las limallas entre 30 y 60 %, debiendo realizarse la operación a pH entre 7,5 y 8,5. Es posible emplear óxido de hierro (III) hidratado para la purificación del biogás, cloruro de hierro (III), pelets de hierro, residuos de la extracción de níquel, lavado con solución de hidróxido de sodio, así como también, otros sustratos "secos" tales como óxido de zinc o sólidos alcalinos. También se ha utilizado hierro quelatado en fase líquida para la absorción del H_2S presente en el biogás.

Absorción con compuestos orgánicos: Diferentes compuestos orgánicos han sido utilizados para la purificación del biogás. Las soluciones de aminas (mono, di, tri etanol aminas o glicol aminas) se combinan por el grupo amino $[(NH_2)]$ con CO_2 y H_2S para dar hidrógeno carbonato de amonio $[(RNH_3)HCO_3]$ o sulfuros de amonio $[(RNH_3)_2S]$ Las aminas se operan en procesos calientes debido a que el calor favorece la reacción química. Sin embargo, el calor excesivo puede causar vaporización y pérdida de la solución química. Por lo tanto, estos procesos operan usualmente a temperatura hasta $48^\circ C$. La hidroxil-amino etilester es aún menos corrosiva y no forma espuma, de ahí que se prefiera para la purificación de gases.

Otros productos orgánicos utilizados para la reducción del contenido de CO_2 y de H_2S en el biogás son el Towsend, en el que se emplea etilenglicol con dióxido de azufre y el Purox donde se aplica una solución de amonio de hidroquinona. La regeneración del absorbente se lleva a cabo, usualmente, mediante calentamiento de la solución con disminución de la solubilidad y desprendimiento de un gas concentrado en sulfuro. El azufre puede recuperarse a partir de ese gas, quemando parte del sulfuro para obtener azufre elemental y dióxido de azufre, el sulfuro remanente se convierte, catalíticamente, en azufre elemental en presencia de óxido de aluminio. Debido a los costos de la mayoría de estas soluciones, este método de purificación se utiliza, fundamentalmente, en grandes instalaciones de producción de biogás, $> 15\ 000\ m^3/d$, en países productores de dichas sustancias.

Absorción con agua: Este método se denomina también fregado o limpieza húmeda. El absorbente utilizado es el agua, el cual se pone en contacto con el biogás a purificar en torres o columnas (reellenas o no) donde se efectúa la transferencia de masa del CO_2 y H_2S al agua que fluye a contracorriente. Las temperaturas de operación suelen ser de 5 a $10^\circ C$, aunque también se operan a temperatura ambiente, siendo las presiones de trabajo mayores

de 1726 kPa. En este sistema se necesita regenerar el agua cargada de CO₂ y H₂S, lo que se realiza utilizando una torre donde, de forma instantánea, el CO₂ y el H₂S pasan al aire circundante, reincorporando el agua al proceso de absorción; siendo necesario reponer entre 10 y 20% de ésta. Esta es una metodología poco eficiente por las temperaturas y altas presiones de trabajo, encareciendo los costos de operación.

3.13.1.3 Método de filtración por membrana

Este método tiene por objetivo "filtrar" el biogás. Así, la corriente gaseosa a purificar se desplaza a través de una membrana selectiva, debido a la fuerza motriz generada por diferencias de presión. El factor determinante es la permeabilidad que poseen las moléculas que componen la corriente de gas a purificar.

Los materiales de las membranas son formulados especialmente para separar selectivamente determinados gases, principalmente CO₂ del CH₄ presente en el biogás, siendo la permeabilidad de la membrana una función directa de la solubilidad química del gas específico en la membrana. Las membranas usadas hasta el presente son muy frágiles y tienen poros excesivamente pequeños, por lo que se requiere que el gas de entrada a las membranas esté limpio de material particulado. Estos sistemas son caros y generalmente se consideran no adecuados para aplicaciones a pequeña escala, aunque se han obtenido buenos resultados en estudios a nivel piloto.

3.13.1.4 Métodos biológicos

Además de las técnicas fisicoquímicas para la purificación de biogás, existen métodos biológicos o de biofiltración, que han sido probados a escala de laboratorio y piloto. Estos métodos, utilizan la capacidad metabólica de algunos microorganismos que degradan sustancias contaminantes. El uso de microorganismos en la remoción de sulfuro de hidrógeno presente en el biogás, se basa en la oxidación microbiana de H₂S a compuestos de azufre de fácil eliminación, como azufre elemental (S) o sulfatos (SO₄⁻²), fijando CO₂ simultáneamente como función estequiométrica de la oxidación del sulfuro. De esta forma, se puede lograr un enriquecimiento en metano, al remover CO₂ y eliminar el elemento más corrosivo y limitante respecto a usos posteriores del gas purificado.

La gran ventaja que presentan estas técnicas, respecto de los sistemas fisicoquímicos es la carencia de contaminantes secundarios, menores costos de inversión y operación por el bajo consumo de reactivos, menor consumo energético al poder trabajar a temperatura

ambiente, altas eficiencias de degradación y biomasa inmovilizada en el sistema. Sin embargo, el procedimiento es lento, siendo necesario buscar nuevos microorganismos que reduzcan los tiempos de residencia y hagan más competitivo el proceso a nivel industrial.

Estos sistemas biológicos, utilizan bioreactores o biofiltros de amplio uso para degradar contaminantes orgánicos e inorgánicos de una corriente gaseosa. En estos biofiltros se ubican los cultivos puros o mixtos de microorganismos. Dependiendo de la cepa responsable, se podría convertir sulfuros a azufre o sulfato, según las siguientes ecuaciones:



Se encuentran bacterias aerobias azufre oxidantes tanto en condiciones alcalinas, neutras como ácidas, con rangos de temperatura de crecimiento mesófilo y termófilo; que pertenecen a diversos géneros.

Dentro de las distintas y posibles alternativas, los métodos biológicos destacan pues no generan un remanente contaminante del tipo "gas de cola" o "tail gas". Además, como las presiones de trabajo no superan los 7 bar, presentan menores costos de operación, si se considera que la relación de presión es directamente proporcional al consumo eléctrico del compresor. Esto significa una mayor eficiencia energética.

3.13.2 Eliminación del CO₂

3.13.2.1 Absorción física

Los métodos de absorción fisicoquímicos se utilizan normalmente en la purificación del biogás ya que son efectivos incluso a bajos caudales. Además este método es menos complicado, requiere poca infraestructura y es de bajo costo. Un método fácil y económico que utiliza agua presurizada como absorbente. El biogás crudo es comprimido y alimentado desde el fondo a una columna de lecho empacada y el agua presurizada es rociada desde la cima de la columna. Se trata de un proceso contracorriente mediante el que se disuelven el CO₂ y el H₂S en agua y salen por el fondo de la torre. El agua puede ser recirculada a una torre de purificación.

3.13.2.2 Absorción química

Implica la formación de enlaces químicos reversibles entre el soluto y el solvente. La regeneración del solvente, por tanto, comprende la ruptura de esos enlaces y el correspondiente aporte de energía. Los solventes químicos generalmente emplean soluciones acuosas de aminas o soluciones acuosas de sales alcalinas.

3.13.2.3 Adsorción en una superficie sólida

Los adsorbentes comerciales son generalmente sólidos granulares con grandes áreas superficiales por unidad de volumen. Principalmente la purificación del biogás se lleva a cabo usando alguna forma de silicio, alúmina, carbón activado o silicatos, también conocidos como tamices moleculares. Tienen una buena capacidad para eliminar la humedad, diseño simple y es fácil de operar. Sin embargo, se lleva a cabo a alta presión y temperatura, por lo que es un proceso costoso, con altas caídas de presión y altos requerimientos de calor.

3.13.2.4 Separación por membrana

El principio de esta técnica es que algunos componentes del gas crudo pueden ser transportados a través de una membrana delgada (menor a 1 mm) mientras que otros son retenidos. El transporte de cada componente se debe a la diferencia de presión parcial sobre la membrana y depende ampliamente de la permeabilidad del componente en el material de la membrana. Para alta purificación del metano, la permeabilidad debe ser alta. Una sola unidad de separación de fases no puede proporcionar una completa separación de metano y dióxido de carbono y generalmente el gas de salida puede contener hasta un 12% en volumen de metano. El gas producto contiene alrededor de un 88% en volumen de metano. Sin embargo, los procesos de separación multietapas pueden lograr un 98% en volumen aunque la presión necesaria para eso puede ser tan alta como 4 Mpa. La membrana sólida construida a partir de polímeros de celulosa-acetato tiene una permeabilidad para el CO₂ y el H₂S de 20 y 60 veces, respectivamente, superiores al CH₄. Sin embargo, se requiere para este proceso una presión de 25-40 bar.

3.13.2.5 Separación criogénica

El método criogénico de separación implica la separación de la mezcla de gas por condensaciones fraccionadas y destilaciones a bajas temperaturas. El biogás crudo es comprimido a aproximadamente 80 bar, en múltiples etapas. A continuación, se seca para

Rodríguez Suárez, Sandra

evitar que se congele durante el proceso de enfriamiento, el cual se lleva a cabo en intercambiadores. Finalmente, el CO₂ condensado es eliminado en un separador y procesado para recuperar el metano disuelto, que es reciclado a la entrada de gas. A partir de este proceso se obtiene más de un 97% de metano puro.

3.13.2.6 Método de conversión química

Se utiliza cuando se quiere obtener una alta purificación en el gas producido. Se lleva a cabo una metanización por la cual el CO₂ y el H₂ son convertidos catalíticamente en metano y agua. En un proceso muy caro. [15][16][23]

4. Análisis normativo

4.1 Legislación Medioambiental

La Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE, establece medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos, la reducción de los impactos globales del uso de los recursos y la mejora de la eficacia de dicho uso.

Uno de los principales requisitos de la Normativa de Residuos y que afecta a las plantas de biogás es la obligación de obtener una autorización como gestor de residuos para desarrollar la actividad de valorización de subproductos SANDACH. En este sentido, la Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE (en adelante DMR) clarifica el vínculo que existe con el Reglamento SANDACH 1774/2002, y establece que los subproductos que son valorizados en plantas de biogás no están excluidos de cumplir la Normativa de Residuos.

Por tanto, los promotores de plantas deben obtener la correspondiente autorización ambiental como gestores de residuos, que determinará la cantidad y el tipo de residuos tratados, el método utilizado, así como las operaciones de seguimiento y control.

Otra novedad de la DMR es la clarificación de la jerarquía de residuos que marcará las prioridades de la legislación nacional sobre prevención y gestión de residuos. Se ha definido del siguiente modo:

1. Prevención
2. Reutilización

3. Reciclaje

4. Valorización (Energética)

5. Eliminación.

De acuerdo con el Anexo II sobre Operaciones de Valorización, al tratamiento realizado en una planta de biogás le correspondería el código R3, Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes (incluidos el compostaje y otros procesos de transformación biológica), y en menor medida el R1, Utilización principal como combustible u otro modo de producir energía.

En definitiva, por su condición de operación de reciclado, la nueva normativa europea y la que se derive a nivel nacional tenderá a priorizar esta alternativa frente a valorizaciones únicamente energéticas, y por supuesto, por delante de opciones de eliminación de residuos en vertedero.

Por otro lado, la Directiva IPPC 2008/1/CE somete a autorización las actividades industriales y agrícolas que presentan un elevado potencial de contaminación y se definen en el Anexo I de la Directiva (industrias de actividades energéticas, producción y transformación de los metales, industria mineral, industria química, gestión de residuos, industria alimentaria, cría intensiva de animales, etc.).

La Ley 16/2002, define la necesidad de obtener la Autorización Ambiental Integrada (AAI) para poder iniciar la actividad, así como el concepto de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) como medida de protección del medio ambiente.

Sin embargo, las plantas con una capacidad inferior a 50 Tn/d, que son las que atañen a este trabajo, no requieren AAI y el tipo de licencia ambiental requerido depende de la legislación de cada comunidad autónoma en el caso de España.

Por lo tanto, el Decreto 112/2004 regula el procedimiento y requisitos para el otorgamiento de las autorizaciones de gestión de residuos y crea el Registro de Gestores de Residuos de Canarias, cuya inscripción será obligatoria para todo producto de lodos procedentes de depuradora. Sin embargo, están exentos de la obligación de obtener autorización administrativa los productores o poseedores de residuos no peligrosos que reutilicen o recuperen los residuos que generen o posean en las instalaciones de origen siempre que así se les declare, a petición del interesado y se encuentren debidamente inscritos en el Registro de Gestores de Residuos en Canarias.

4.2 Uso del Biogás

Directiva de Energías Renovables 2009/28/CE tiene en cuenta el importante potencial de ahorro en materia de emisiones de gases de efecto invernadero, así como otras ventajas medioambientales (producción de calor y de electricidad, utilización como biocarburantes), asociadas al aprovechamiento de materias agrarias como el estiércol y los purines u otros residuos de origen animal, para la producción de biogás. Además, señala que como consecuencia de su carácter descentralizado y de la estructura de las inversiones regionales, las instalaciones de biogás pueden aportar una contribución decisiva al desarrollo sostenible en las zonas rurales y ofrecer a los agricultores nuevas posibilidades de ingresos.

En cuanto al trámite de autorización, el artículo 13 señala que los Estados miembros (EEMM) velarán porque las normas nacionales relativas a los procedimientos de autorización, certificación y concesión de licencias que se aplican a las instalaciones e infraestructuras conexas de transporte y distribución para la producción de electricidad, calor o frío a partir de fuentes renovables, y al proceso de transformación de biomasa en biocarburantes u otros productos energéticos, sean proporcionadas y necesarias. En particular los EEMM adoptarán las medidas apropiadas para garantizar que:

- Sin perjuicio de las diferencias entre las estructuras administrativas y la organización de los EEMM, las responsabilidades respectivas de los organismos administrativos nacionales, regionales y locales en materia de procedimientos de autorización, certificación y concesión de licencias se coordinen y definan claramente, lo que comprende la planificación espacial, con calendarios transparentes para la determinación de las solicitudes de planificación y construcción.
- Se proporcione a los solicitantes, al nivel apropiado, información exhaustiva sobre la tramitación de las solicitudes de autorización, certificación y licencia para instalaciones de energía renovable y sobre las ayudas disponibles para los solicitantes.
- Los procedimientos administrativos se racionalicen y se aceleren en el nivel administrativo adecuado.
- Las tasas administrativas pagadas por los consumidores, los planificadores, los arquitectos, los constructores y los instaladores y proveedores de equipos y sistemas sean proporcionales a los costes, y

- Se instauren procedimientos de autorización simplificados y menos onerosos, incluida la simple notificación si está permitido en el marco regulador aplicable, para los proyectos de menor envergadura y para los equipos descentralizados para la producción de energía eléctrica procedente de fuentes renovables.

La Directiva 2009/28/CE también dispone en materia de acceso a las redes y funcionamiento de las mismas, aspectos de vital importancia para el desarrollo del biogás, como proporcionar facilidades para la conexión a red eléctrica y la inyección en redes de gas natural, incluyendo:

- Posibilidad de modificar las infraestructuras existentes de redes de gas para facilitar la integración del gas procedente de fuentes renovables.
- Posibilidad de que los EEMM exijan a los operadores de sistemas de transporte y distribución que publiquen normas técnicas en particular por lo que respecta a las normas de conexión a la red.

El Real Decreto-ley 9/2013 establece la creación del Registro de Administración de autoconsumo de energía eléctrica, que contendrá la información relativa a los consumidores y sus instalaciones asociadas.

4.3 Uso del Digerido

La Directiva 91/676/CE relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura, tiene por objeto proteger las aguas comunitarias contra los nitratos de origen agrario, que son la causa principal de la contaminación de las aguas desde fuentes difusas. Establece las cantidades máximas de nitrógeno aplicables por hectárea y año en el caso de zonas clasificadas como vulnerables, y se regula la aplicación tanto de fertilizantes orgánicos como inorgánicos.

Además, la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos pide a la Comisión Europea que examine la pertinencia de establecer requisitos mínimos para la gestión de biorresiduos y criterios de calidad para el compost y el digestato procedentes de biorresiduos.

El RD 261/1996 sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agraria, trasposición de la Directiva 91/676/CE, que impone a los Estados miembros la obligación de identificar las aguas que se hallen afectadas por la contaminación por nitratos. Establece además criterios para designar como

Rodríguez Suárez, Sandra

zonas vulnerables, aquellas superficies territoriales cuyo drenaje da lugar a la contaminación por nitratos. Señala las cantidades máximas de estiércol aplicadas al terreno: en zonas vulnerables se fija en 170 kg de nitrógeno/ha y año, aunque durante los primeros programas de actuación cuatrienal se podrá permitir llegar hasta los 210 kg N/ha y año.

Las masas de aguas afectadas por la contaminación de nitratos de origen agrario en la Comunidad Autónoma de Canarias y las vulnerables por dicha contaminación, se designan en el Decreto 49/2000.

5. Análisis de ofertas de servicios de ingeniería para la

Biodigestión

A la hora de comenzar éste análisis, se partió de la Asociación Europea del Biogás (European Biogas Association) para llegar a las asociaciones correspondientes de España, Reino Unido, Alemania e Italia. A través de éstas se obtuvo el nombre y la información de contacto de múltiples empresas centradas en el biogás o en las energías renovables, siendo la biodigestión anaerobia una de ellas.

Tras visitar las webs de la lista de empresas inicial se descartaron las dedicadas a análisis de laboratorio de biogás y a aspectos secundarios de la construcción o de la explotación de las plantas de biogás, como por ejemplo: aquellas cuya oferta de servicios se trataba de trabajos de soldadura o de implantación de sistemas de calefacción para establos.

De esta criba inicial permanecieron 113 empresas que podemos clasificar en cinco categorías atendiendo a la línea temporal que seguiría la implementación de un sistema de biodigestión: Asesoría, Oficinas de Ingeniería, Constructora, Proveedor de Tecnología y Servicios de Optimización. En el Anexo I se encuentra esta clasificación junto con una breve descripción de cada empresa y sus datos de contacto.

Las asesorías proporcionan asistencia y apoyo en el desarrollo de proyectos, buscando la mejor solución para cada caso en particular, en base a los factores biológicos, técnicos y empresariales. Asimismo, incluyen servicios de gestión de permisos, análisis de viabilidad, solicitud y gestión de ayudas públicas y planificación. Generalmente sus actividades se extienden hasta dirección de obra, puesta en servicio, supervisión biológica, supervisión de la seguridad, mantenimiento y reparación.

Por otro lado, las Oficinas de Ingeniería se caracterizan por la redacción de proyectos, si bien complementan su oferta de servicios con la dirección de obra, estudios de seguridad y salud, proyectos de detalle, puesta en marcha de las plantas, entrega llave en mano, mantenimiento y pruebas de seguimiento.

Respecto a las Constructoras, si bien su propósito principal resulta evidente, suelen proporcionar “know how” propio, puesta en marcha, supervisión y mantenimiento.

Entre los Proveedores de Tecnología los hay que se centran en un solo producto y los hay que proveen de todo tipo de tecnología para plantas de biogás. Cabe destacar los motores de cogeneración, los recipientes para el almacenamiento del gas, los sistemas de bombeo especializados, los sistemas de medición, el material constructivo especializado, los sistemas de purificación del biogás, mezcladores, sistemas de calefacción y software. Incluso existen fabricantes de digestores modulares de pequeña escala.

Finalmente, la última categoría engloba a las empresas que ofertan Servicios de Optimización de plantas de biogás. Su cometido se basa en la revalorización de plantas de biogás mediante la detección de fugas, venta de aditivos y reconfiguración de las plantas. Si bien no existe ninguna planta que optimizar actualmente, sí que se pretende optimizar el proceso de biodigestión para aplicarlo a hoteles rurales y por esto se las ha incluido en el estudio.

Cabe destacar que generalmente las empresas podría ser incluidas en más de una categoría, sin embargo, a la hora de clasificarlas, han sido incluidas en la última categoría en la que encajen según la línea temporal. Es decir, si una empresa proporciona servicios de asesoramiento, diseño de plantas y construcción de las mismas, habría sido incluida en la categoría de Constructora.

Tras el análisis inicial realizado a fin de conocer el destino de las actividades de las empresas, se contactó con ellas a través de correo electrónico o llamada telefónica a fin de obtener información general sobre las mismas y sobre las tecnologías con las que trabaja: tipo de digestor, método de purificación del biogás, etc. Así como, su estructura de precios y las dimensiones mínimas de biodigestores con las que trabajan.

Categoría	Empresas contactadas	Empresas que respondieron	Porcentaje
Asesoría	10	1	10%
Oficina de Ingeniería	23	6	26,1%
Constructora	47	8	17,0%
Proveedor de Tecnología	26	6	23,1%
Servicio de Optimización	6	0	0%
Total	113	21	18,6%

Tabla 7: Oferta de Servicios de Ingeniería

No todas las empresas entendieron realmente el destino del proyecto o no les pareció viable. En ambos casos el motivo fue la preconcepción de una planta de biodigestión como un método de valorización de enormes cantidades de residuos. Sin embargo, algunas empresas sí respondieron realmente interesadas, habiendo realizado algunas de ellas proyectos similares en hoteles de Europa.

En base a la información obtenida de esta interacción se deduce que los tipos de digestor más extendidos son el tubular y una variación del tipo hindú. El digestor tubular se construye con tiras de polietileno y se semi entierra para ayudar a mantener la temperatura. Por otro lado, la variación del tipo hindú sustituye la cúpula rígida de acero inoxidable por una cúpula de lona elástica resistente a la corrosión y más económica que la cúpula de acero inoxidable, la cual se expande a medida que se genera el biogás en el digestor, proporcionando una idea de la cantidad presente en el interior. Para conseguir una alimentación continua se acompaña el digestor de un depósito amortiguador a la entrada. En menor medida se emplean digestores de dos etapas.

Si bien algunas empresas diseñan biodigestores que trabajan en el rango termófilo, la gran mayoría se ciñen al rango mesófilo de operación. Esto se debe a que requiere menor energía mantener de la temperatura y permite perturbaciones algo mayores en la misma, aunque supone un mayor tiempo de retención. Por norma general, parte del biogás producido se destina a mantener la temperatura en el interior del biodigestor.

El método de depuración del biogás que se emplea de forma generalizada es el método biológico. Esto es debido a la carencia de contaminantes secundarios, menores costos de inversión y operación por el bajo consumo de reactivos, menor consumo energético al

poder trabajar a temperatura ambiente, altas eficiencias de degradación y al ser la instrumentación de este método menos voluminosa. Sin embargo, la depuración del biogás no es siempre necesaria, depende del fin que se le dé.

Según las empresas que respondieron en esta fase del trabajo y la revisión de la información presente sobre las instalaciones realizadas en las diferentes páginas webs consultadas, el valor óptimo de alimentación es de 220-200 Tn/día y el mínimo sería de 30-20 Tn/día. Si bien, algunas empresas ofrecen plantas de baja alimentación, siendo ésta de 10 Tn/día, aproximadamente. No obstante, los hoteles rurales operativos en las islas no generan una cantidad tan alta de residuos, por lo que quedan excluidos como posibles beneficiarios de la biodigestión anaerobia como sistema de tratamiento de residuos. Sin embargo, si podría ser viable su implantación en hoteles mayores.

Por último, como parte de la información extraída de la interacción con las diferentes empresas, se deduce la complejidad del cálculo de costes y beneficios de una instalación como ésta. Generalmente las empresas los realizan mediante la comparación con proyectos desarrollados previamente, para lo que es necesario el conocimiento de la cantidad de residuos orgánicos disponibles para la biodigestión y su composición. Con estos datos pueden aproximar la producción de biogás y su composición y, por consiguiente, los beneficios de la instalación. Para el cálculo de costes son igualmente necesarios dichos parámetros para el dimensionamiento de la infraestructura y determinar qué accesorios son necesarios (agitador, triturador, tipo y potencia de bombas, etc.)

6. Análisis de las capacidades y limitaciones de las tecnologías a desarrollar

Tras haber estudiado el estado del arte, la normativa vigente y los servicios de ingeniería disponibles, se han denotado diversos factores limitantes en lo que respecta a las características de la alimentación del sistema y el empleo de los efluentes.

Inicialmente se pretendía emplear los residuos orgánicos de las cocinas, las aguas negras, aguas grises y los residuos de poda de los jardines de los hoteles, sin embargo, las aguas negras, las grises y los residuos de poda presentan algunos inconvenientes.

Para empezar, las aguas negras y las aguas grises presentan una baja DQO, así como presencia de detergentes. Por lo tanto, su empleo requeriría volúmenes mayores de los

digestores sin repercutir en un aumento verdaderamente significativo de la producción de biogás. Además, sería necesario emplear únicamente detergentes biodegradables cuyos componentes son digeridos en su mayoría por las bacterias aerobias pero en menor medida por las anaerobias. Es decir, si bien puede atenuarse el efecto de los detergentes, éste sigue siendo un factor contribuyente a la disminución del rendimiento del proceso.

Por otro lado, respecto a los residuos de poda de los jardines se debe especificar que los residuos leñosos no son aprovechables. No solo pueden producir fallos en los sistemas de bombeo o dañar los agitadores que puedan incorporarse al digestor, sino que, además, las bacterias anaerobias son prácticamente incapaces de digerirlos. Por lo tanto, solo se deberán emplear hojas, flores, césped, la corteza de los troncos, etc.

Siguiendo con el análisis de la alimentación, se debe resaltar que no solo influye la composición de la misma sino su magnitud. Como se observó durante el análisis de los servicios de ingeniería, la alimentación mínima con la que se suele trabajar es de 20 Tn/día, nivel al que no se acerca la producción de residuos de un hotel rural. Si bien existen modelos para magnitudes inferiores en el mercado.

Cabe añadir que como parte del proyecto “Biodighos” se realizó un análisis del sector hotelero rural en las Islas Canarias, a fin de averiguar su política de gestión de residuos, su interés en el proyecto, la media anual de huéspedes y la cantidad estimada de residuos generados por día. Si bien el interés en el proyecto era general y en su mayoría realizaban separación de residuos, se observó que la media anual de huéspedes de este sector es bastante baja y muchos no cuentan con cocina propia, por lo que la implantación de un biodigestor sería inviable en la mayoría de los dichos hoteles.

Sin embargo, sí existen algunos hoteles mayores para los que sería viable la instalación de un biodigestor, como demuestra la pasada existencia y funcionamiento de uno en el Hotel Risco del Gato en Fuerteventura, de 100 plazas hoteleras. Éste solía contar con un digestor que se alimentaba con los restos de la cocina del hotel y los restos de la poda de los jardines. El biogás obtenido se empleaba para obtener energía eléctrica y así alumbrar el exterior del hotel.

En ciertos casos es necesario depurar el biogás, lo que implica un aumento significativo en la inversión inicial, si bien su operación supone un bajo coste en lo que al método de desulfuración biológico se refiere. Esto depende fundamentalmente de las características del motor o caldera en la que se lleva a cabo la combustión del biogás.

Además, se debe gestionar el digerido. Generalmente, la fase sólida continúa albergando contaminantes a la salida del digestor, por lo que se debe compostar antes de ser empleado como abono; y la fase líquida es rica en nitrato, por lo que si es empleada como fertilizante debe ser en un cultivo capaz de absorberlo.

Por último, cabe destacar la propuesta de ley existente que introduce un canon a aquellos que empleen energías renovables para autoconsumo de electricidad y se beneficien del apoyo de la red eléctrica. Esto limita bastante la aplicabilidad ya que para evitar el pago de dicho canon se verían excluidos los motores para el aprovechamiento del biogás, tanto los simples como los de cogeneración. Seguiría siendo viable, sin embargo, su aprovechamiento en calderas para generación de energía térmica.

7. Selección y descripción del sistema de biodigestión

En este apartado se pretende describir el sistema seleccionado como óptimo para su instalación en hoteles con servicio de cocina, una media de huéspedes anual en torno a 70 o superior, jardines o huertos cuyos restos de poda sean aprovechables y terreno disponible para la instalación del digestor.

Para empezar, se fija como rango de temperatura para la biodigestión el mesófilo, ya que será más fácil de alcanzar y menos costoso de mantener, para el cual la temperatura óptima es de 35°C.

Como alimentación al digestor se puede suponer una generación de residuos orgánicos de 150 kg al día con un contenido en agua en torno al 60%. En consecuencia se añadirá agua al digestor para amentar la proporción de la misma hasta un 90%. Suponiendo la densidad de los alimentos la unidad, una alimentación de 150 kg diarios conlleva añadir 450 L/día de agua.

$150 \text{ kg} * 0,4 = 60 \text{ kg de sólidos (10\% del total en el biodigestor)}$

$150 \text{ kg de residuos} * 0,6 = 90 \text{ L de agua}$

$\frac{60 \text{ kg de sólidos} * 0,9}{0,1} = 540 \text{ L de agua (90\% del total en el biodigestor)}$

$540 \text{ L de agua total} - 90 \text{ L} = 450 \text{ L de agua a añadir}$

Rodríguez Suárez, Sandra

En cuanto al tiempo de retención, para el rango mesófilo, se encuentra entre 15 y 60 días. En este caso particular se toma como tiempo de retención 60 días, ya que el contenido vegetal será elevado.

El dimensionamiento del digestor se llevará a cabo en función de la cantidad de residuos disponible, concretamente para un 50% de los mencionados previamente para amortiguar los picos producidos a lo largo del año en lo referido a huéspedes alojados en el hotel. En consecuencia se obtienen 18m^3 de volumen de digestor.

En cuanto al tipo de digestor, se empleará el tipo hindú, sustituyendo la cúpula móvil de acero inoxidable por lona elástica con PVC, especial para este fin. La lona de goma aumenta de tamaño estirándose para mantener una presión más o menos constante a medida que se genera el biogás. Cuando la cantidad de metano fuera adecuada se abriría la válvula de paso de gas hacia el motor o caldera que se haya elegido para su aprovechamiento.

La cámara de fermentación puede construirse con placas de acero inoxidable u hormigón. Debido a las características del proyecto se emplearán bloques y barra de hierro cada 50 cm a fin de ahorrar en costes de construcción.

En cuanto a las dimensiones del digestor, fijando un diámetro de 4 m y una altura de 1,5 m se tendría un depósito ligeramente sobredimensionado de $18,85\text{ m}^3$. Además, convendría añadirle un ojo de buey para poder controlar fácilmente el nivel de carga del sistema y el desarrollo de la digestión.

Adicionalmente, se requerirá una trituradora para moler los residuos orgánicos que se alimenten al digestor, un agitador en el interior que ayude a repartir la masa bacteriana (no es necesario que funcione continuamente) y una bomba de extracción de sólidos en la base del digestor para extraer el digerido.

Como ya se ha mencionado, la necesidad de depurar el biogás dependerá de las características del motor o caldera en el que se consuma el biogás. En caso de que fuera necesario, se empleará un filtro biológico.

Además, serán necesarios sensores de presión y temperatura en el interior del digestor a fin de conocer la cantidad de biogás disponible y poder regular el caudal de agua en los serpentines. Asimismo, se debería instalar una válvula de seguridad en el conducto de salida del biogás.

Para mantener la temperatura en torno a los 35°C en el interior del digestor se instalará un serpentín. Éste estará conectado a un depósito de agua caliente. La procedencia de este agua dependerá de cómo se aproveche el biogás. Por ejemplo, en caso de instalarse un motor de cogeneración el agua se calentaría gracias a éste mientras estuviera activo en los periodos de combustión del biogás y el resto del tiempo mediante el sistema habitual de calentamiento de agua del hotel.

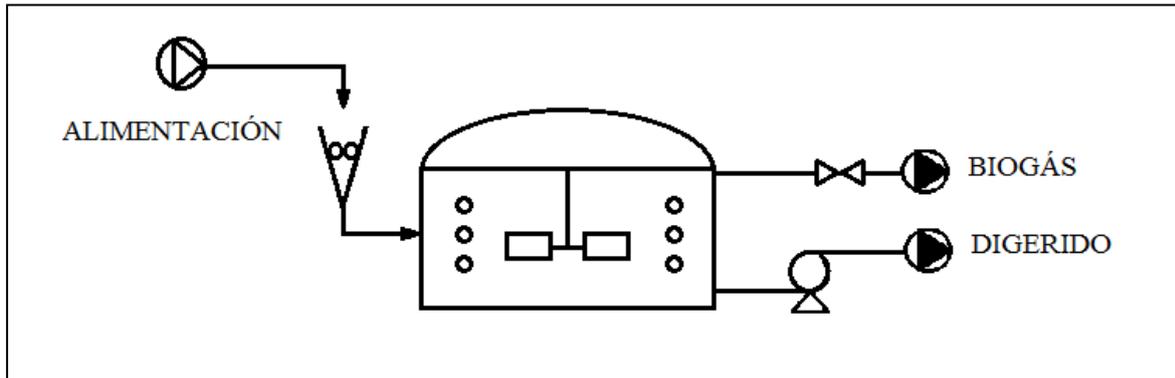


Figura 16: Esquema del proceso seleccionado

8. Conclusiones

Tras el análisis de todos los aspectos expuestos en este trabajo sobre la aplicabilidad de las tecnologías de biodigestión a la industria hotelera en la islas se han obtenido múltiples conclusiones. Estas se presentan a continuación segmentadas en función de su origen.

Revisión bibliográfica

- La biodigestión es un método ampliamente empleado y recomendado para la valorización de residuos orgánicos.
- Es ampliamente empleada en el sector industrial alimentario y en el sector agrario, debido a la gran cantidad de residuos orgánicos que generan.
- Como productos de la biodigestión se obtiene biogás y un digerido.
- El biogás está compuesto principalmente de metano (70%) por lo que se emplea para la generación de energía eléctrica y/o energía térmica.
- El digerido puede emplearse como abono aunque generalmente es necesario someterlo a un proceso de compostaje previo a su uso.
- La presencia de detergentes en el biodigestor elimina las bacterias encargadas de la producción de metano, por lo tanto ésta disminuye.

- El diseño y la construcción de un biodigestor son bastante simples.
- La codigestión favorece la formación de una mayor cantidad de biogás debido a la complementariedad de las composiciones de cada uno de los sustratos. Además, se amortiguan las variaciones temporales en composición y producción de cada residuo por separado.

Análisis normativo

- La Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE establece la jerarquía para el tratamiento de residuos, siendo ésta la siguiente: prevención, reutilización, reciclaje, valorización (energética) y eliminación.
- Las plantas con una capacidad inferior a 50 Tn/d no requieren Autorización Ambiental Integrada.
- El Real Decreto-ley 9/2013 establece la creación del Registro de Administración de autoconsumo de energía eléctrica, que contendrá la información relativa a los consumidores y sus instalaciones asociadas.
- Las masas de aguas afectadas por la contaminación de nitratos de origen agrario en la Comunidad Autónoma de Canarias y las vulnerables por dicha contaminación, se designan en el Decreto 49/2000.
- Las cantidades máximas de estiércol (digerido) aplicadas al terreno: en zonas vulnerables se fija en 170 kg de nitrógeno/ha y año.

Análisis de ofertas de servicios de ingeniería para la biodigestión

- La cantidad óptima de residuos orgánicos disponibles para alimentar el digestor es de 200 Tn/día.
- La cantidad considerada mínimamente rentable de residuos orgánicos para alimentar el digestor es de 10 Tn/día.
- Los tipos de digestores más empleados en la actualidad son el tubular y una variación del hindú en el que se sustituye la campana flotante de acero inoxidable por una lona elástica especial y debidamente sujeta para evitar las fugas de biogás.
- El rango de temperatura más empleado es el mesófilo ya que se necesita menos consumo energético para mantenerlo y permite variaciones en la temperatura más amplias sin que afecte al proceso.
- La depuración del biogás no es necesaria en todos los casos, depende de las características del motor o caldera en el que se consuma.

- Se han desarrollado proyectos en hoteles con menor instrumentación y menor cantidad de residuos disponibles de los empleados en el sector industrial alimentario y en el sector agrario.
- Los hoteles en los que sería viable instalar un biodigestor deben contar con cocina y con una capacidad de alojamiento en torno a 70 huéspedes o superior. Además, deben de contar con terreno disponible para albergar el digestor.
- En las Islas Canarias la mayoría de los hoteles rurales no cumplen estas condiciones.
- En hoteles menores a los descritos previamente no es viable la instalación de un biodigestor a menos que se contara con una fuente externa de residuos orgánicos.

Análisis de capacidades y limitaciones de las tecnologías a desarrollar

- El empleo de las aguas negras y las aguas grises no supondría un aumento verdaderamente significativo de la producción de biogás debido a la baja DQO que presentan.
- El uso de detergentes biodegradables en la limpieza de los hoteles atenuaría la toxicidad de las aguas negras y grises en el biodigestor aunque no desaparecería por completo.
- Las bacterias anaerobias son prácticamente incapaces de digerir los residuos leñosos.
- El empleo de residuos de poda leñosos puede producir fallos en los sistemas de bombeo o dañar los agitadores.
- El uso de los residuos de poda de los jardines se debe limitar a los no leñosos: hojas, flores, césped, la corteza de los troncos, etc.
- Existe una propuesta de ley que pretende introducir un canon a aquellos que empleen energías renovables para autoconsumo de electricidad y se beneficien del apoyo de la red eléctrica.
- Para evitar el pago del canon habría que limitar el uso del biogás a producción de energía térmica.

Conclusions

After analyzing all the aspects presented in this paperwork about the applicability of the technologies of biodigestion to the hotel industry in the islands came up multiple conclusions. These are presented below segmented according to their origin.

Literature review

- Biodigestion is a widely used and recommended as a method for valorization of organic wastes.
- It is widely used in the food industry and in agriculture, due to the large amount of organic wastes generated.
- The principal products of anaerobic digestion are the biogas and the digestate.
- Biogas consists mainly of methane (70%) and is used for the generation of electricity and / or thermal energy.
- The digestate can be used as fertilizer but usually is needed a process of composting prior to use it.
- The presence of detergents in the digester kills the bacteria responsible for methane production, therefore it decreases.
- The design and construction of a digester are fairly simple.
- Codigestion favors the formation of a greater amount of biogas due to the complementarily of the compositions of each substrates. In addition, temporal variations in composition and production of each residue separately are cushioned.

Laws review

- The Waste Framework Directive 2008/98 / EC establishes the hierarchy for waste treatment, which is the following: prevention, reuse, recycling, recovery (energy) and disposal.
- The Integrated Environmental Authorization it is not required for plants with a capacity below 50 tons/d.
- The Royal Decree-Law 9/2013 provides for the creation of Administration Record of consumption of electricity, which will contain information on consumers and their associated facilities.
- The bodies of waters affected by pollution from nitrates from agricultural sources in the Canary Islands and vulnerable by such pollution are designated by Decree 49/2000.
- The maximum amounts of manure (digested) applied to the ground in vulnerable is set at 170 kg of nitrogen / ha and year.

Analysis offers engineering services for biodigestion

- The optimum amount of organic waste available to power the digester is 200 tons / day.

- The amount considered minimally profitable organic waste to feed the digester is 10 tons / day.
- The types of digesters more employees today are the tubular and an Hindu's variation where the floating stainless steel hood was replaced by a special elastic canvas and properly secured to prevent leakage of biogas.
- The temperature range most commonly used is the mesophilic because it is needed less energy to maintain it and allows wider variations in temperature without affecting the process.
- The purification of biogas is not necessary in all cases; it depends on the characteristics of the engine or boiler where it is consumed.
- Some projects have been developed in hotels with less instrumentation and less waste available than the amount use in the food industry and in agriculture.
- The hotels that would be feasible to install a digester and kitchen must have an accommodation capacity of around 70 guests or more. In addition, they must have available land to house the digester.
- In the Canary Islands most of the rural hotels do not gather these conditions.
- In smaller hotels to those described previously it is not feasible to install a digester unless it counts with an external source of organic waste.

Analysis capabilities and limitations of the technologies to be developed

- The use of sewage and gray water would not mean a truly significant increase in biogas production due to the low COD presented.
- The use of biodegradable detergents in cleaning of hotels attenuate the toxicity of black and gray water in the biodigester but it does not disappear completely.
- Anaerobic bacteria are unable to digest the woody waste.
- The use of pruning woody waste can cause system failures or damage pumping agitators.
- The use of pruning waste should be limited to non-woody: leaves, flowers, grass, bark trunks, etc.
- There is a bill that aims to introduce a fee to those that use renewable energies for electricity consumption and benefit from support from the mains.
- To avoid paying the fee the use of biogas must be limited to produce thermal energy.

9. Bibliografía

- [1] *Digestión Anaerobia*. España: Agro Waste.
- [2] LORENZO ACOSTA, Yaniris y OBAYA ABREU, María Cristina. *La Digestión Anaerobia. Aspectos Teóricos. Parte 1*. Cuba: 2005.
- [3] *Estudio de Alternativas y Dimensionamiento de Biodigestores para Aplicaciones Domésticas en la zona rural de Nwadjahane en Mozambique*. España, Mozambique; Universidad de Eduardo Mondlane de Mozambique y la Universitat Politècnica de Catalunya.
- [4] MESA DEL BIOGAS. *El Sector del Biogás Agroindustrial en España*. España: Dirección general de recursos agrícolas y ganaderos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010.
- [5] MARTÍ HERERO, Jaime. *Guía de Diseño y Manual de Instalación de Biodigestores Familiares*. Bolivia: 2008.
- [6] SOSA ROSARIO, Aday Andrés. *Aprovechamiento Energético de Residuos. Producción de Biogás en Canarias*. España: Fundación DISA. Instituto Tecnológico de Canarias, Departamento de Energías Renovables.
- [7] LORENZO ACOSTA, Yaniris y OBAYA ABREU, María Cristina. *La Digestión Anaerobia. Aspectos Teóricos Parte 2*. Cuba: 2005.
- [8] AGUILAR ÁLVAREZ, Gustavo. *Control de temperatura y pH aplicado en biodigestores modulares de estructura flexible con recirculados de lodos a pequeña escala*. Méjico: Universidad de Querétaro, 2013.
- [9] BAUTISTA BUHIGAS, Alejandro. *Sistema digestor para el tratamiento de desechos orgánicos*. Universidad Carlos III de Madrid, 2010.
- [10] LÓPEZ MENDOZA, Claudia y LÓPEZ SOLIS, Omar Anthelmo. *Diseño, construcción y puesta en operación de un biodigestor anaerobio continuo para el Laboratorio de Ingeniería Química*. Méjico: Facultad De Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, 2009.
- [11] GUEVARA VERA, Antonio. *Fundamentos Básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales*. Bolivia: 2012.

- [12] *Biomasa. Digestores anaerobios*. España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007.
- [13] DE LA TORRE CARITAS, Nadia. *Digestión Anaerobia en Comunidades Rurales*. España: Universidad Carlos III de Madrid, 2008.
- [14] ÁLVAREZ-ARREGUI, Álvaro, HERRERA-PRATS, Lidón, COLOMER, Francisco J., GALLARDO, Antonio, CARLOS-ALBEROLA, Mar y GOMEZ-PARRA, Ana M^a. *Codigestión de biorresiduos para su biometanización*. España: XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Universidad Jaume I, Valencia, 11-13 de julio de 2012.
- [15] VARNERO, María T., CARÚ, Margarita, GALLEGUILLO, Karina y ACHONDO, Patricio. *Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica*. España: 2011.
- [16] GUTIÉRREZ, Ángel. *Estudio de viabilidad de sistemas de purificación y aprovechamiento de biogás*. España: Probiogas, 2010.
- [17] SAMAYOA, Svetlana, BUESO, Carlos, VÍQUEZ, Joaquín. *Guía de Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas*. Honduras: 2012.
- [18] PASCUAL, Andrés, RUIZ, Begoña, GÓMEZ, Paz, FLOTATS, Xavier y FERNÁNDEZ, Belén. *Situación y Potencial de generación de biogás*. España: IDEA, Estudio Técnico PER, 2011-2020.
- [19] BERNAL, M^a Pilar, ALBURQUERQUE, José Antonio, BUSTAMANTE, M^a Ángeles, CLEMENTE, Rafael y cols. *Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización*. España: Probiogas, 2011.
- [20] OJO, Olusola y OSO, Benjamin. *Biodegradation of synthetic detergents in wastewater*. Nigeria: Department of Microbiology, Lagos State University and Department of Botany/Microbiology, University of Ibadan, January, 2009.
- [21] MERRETTIG-BRUNS, Ute y JELEN, Erich. "Anaerobic Biodegradation of Detergent Surfactants". *Materials*. 2009, 2, 181-206.
- [22] MARAÑÓN MAISON, Elena, FERNÁNDEZ NAVA, Yolanda, CASTRILLÓN PELÁEZ, Leonar. *Manual de Estado del Arte de la Co-digestión Anaerobia de Residuos Ganaderos y Agroindustriales*. España: Probiogas, Universidad de Oviedo, 2009.

Rodríguez Suárez, Sandra

[23] MORERO, Betzabet, GROPELLI, Eduardo y CAMPANELLA, Enrique A. *Revisión de las principales tecnologías de purificación de biogás*. Argentina: Universidad Nacional del Litoral, 2010.

Referencias Web

[24] Comparación Digestores [En línea] <http://biodigestoresmjhr.blogspot.com.es/> [Fecha de consulta: 13/03/2015]

European Biogas Association [En línea] www.european-biogas.eu [Fecha de consulta: 15/03/2015]

Asociación Española de Biogás [En línea] www.aebig.org [Fecha de consulta: 15/03/2015]

Asociación Británica de Biogás [En línea] www.biogas.org.uk [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Consorcio Italiano del Biogás [En línea] www.consorziobiogas.it [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Asociación alemana de Biogás [En línea] www.biogas.org [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Sam-power [En línea] www.sam-power.de [Fecha de consulta: 12/05/2015]

Radius Energy [En línea] www.radius-energy.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Syswe [En línea] www.syswe.de [Fecha de consulta: 28/03/2015]

VPP Energy [En línea] www.vppenergy.de [Fecha de consulta: 20/04/2015]

EVIT [En línea] www.evitgmbh.de [Fecha de consulta: 28/03/2015]

E3 [En línea] www.energieraum-e3.de [Fecha de consulta: 20/04/2015]

MWM [En línea] www.mwm.net [Fecha de consulta: 21/04/2015]

Vogelsang [En línea] www.vogelsang.info [Fecha de consulta: 15/06/2015]

BTA [En línea] www.bta-technologie.de [Fecha de consulta: 04/04/2015]

BioConstruct [En línea] www.bioconstruct.de [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Binowa [En línea] www.binowa.de [Fecha de consulta: 05/04/2015]

Biogas Weser Ems [En línea] www.biogas-weser-ems.de [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Ecobiogas [En línea] www.ecobiogas.es [Fecha de consulta: 15/03/2015]

EREP [En línea] www.erep.ch [Fecha de consulta: 05/04/2015]

Zorg [En línea] www.zorg.biogas.com [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Rueckert Naturgas [En línea] www.rueckert-naturgas.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Rossow [En línea] www.rossow.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Biogastechnik [En línea] www.biogastechnik.de [Fecha de consulta: 28/03/2015]

AMDA [En línea] www.amda.es [Fecha de consulta: 15/03/2015]

ABO Wind [En línea] www.abo-wind.com/es [Fecha de consulta: 14/06/2015]

Agraferm [En línea] www.agraferm.com [Fecha de consulta: 04/04/2015]

BEBRA Biogas [En línea] www.bebra-biogas.com [Fecha de consulta: 13/05/2015]

Beck Naturgas [En línea] www.beck-naturgas.de [Fecha de consulta: 13/05/2015]

Green Energy [En línea] www.green-energy-zintl.de [Fecha de consulta: 05/04/2015]

BMIngeniería [En línea] www.bmingenieria.com [Fecha de consulta: 15/03/2015]

INPPER [En línea] www.inpper.es [Fecha de consulta: 15/03/2015]

Okotec [En línea] www.okotec2008.com [Fecha de consulta: 15/06/2015]

UTS [En línea] www.uts-biogas.com [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Carbocycle [En línea] www.carbocycle.de [Fecha de consulta: 12/05/2015]

Enspar [En línea] www.enspar.de [Fecha de consulta: 12/05/2015]

EO [En línea] www.eo-gmbh.eu [Fecha de consulta: 12/05/2015]

Oficina Dyckhoff [En línea] www.biogas.dyckhoff.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

ELBE Bioenergie [En línea] www.elbe-bioenergie.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Greenline [En línea] www.greenline-energy.de [Fecha de consulta: 16/06/2015]

Axpo [En línea] www.axpo.com [Fecha de consulta: 28/03/2015]

Biogas Market [En línea] www.biogas-market.de [Fecha de consulta: 28/03/2015]

Inreetec [En línea] www.inreetec.com [Fecha de consulta: 04/04/2015]

EVIVA [En línea] www.eviva-energy.com [Fecha de consulta: 04/04/2015]

LIPP [En línea] www.lipp-system.de [Fecha de consulta: 14/05/2015]

Rodríguez Suárez, Sandra

Planet Biogas [En línea] www.planet-biogas.com [Fecha de consulta: 12/05/2015]

NaturalGas [En línea] www.ng-anlagentechnik.de [Fecha de consulta: 13/05/2015]

PBEG [En línea] www.pbeg.at [Fecha de consulta: 05/04/2015]

Schamann [En línea] www.schamann-biotic.com [Fecha de consulta: 05/04/2015]

Schwarting [En línea] www.schwarting-biosystem.de [Fecha de consulta: 05/04/2015]

Lattermann [En línea] www.lattermann-bau.de [Fecha de consulta: 05/04/2015]

Malaby Biogas [En línea] www.malabybiogas.com [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Marches Biogas [En línea] www.marchesbiogas.co.uk [Fecha de consulta: 15/06/2015]

OWS [En línea] www.ows.be [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Rehau [En línea] www.rehau-energy-solutions.com [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Rotaria [En línea] www.rotaria.com [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Rytec [En línea] www.rytec.com [Fecha de consulta: 16/04/2015]

SBBiogas [En línea] www.sbbiogas.de [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Seiler [En línea] www.seiler-gmbh.com [Fecha de consulta: 20/05/2015]

Ahidra [En línea] www.ahidra.com [Fecha de consulta: 15/03/2015]

AAT [En línea] www.aat-biogas.at [Fecha de consulta: 15/06/2015]

CUBE [En línea] www.cube-engineering.com [Fecha de consulta: 15/06/2015]

GICON [En línea] www.gicon.de [Fecha de consulta: 13/05/2015]

LEE [En línea] www.lee.lu [Fecha de consulta: 13/05/2015]

Oficina Eisenhardt [En línea] www.dr-eisenhardt.de [Fecha de consulta: 06/04/2015]

ATD [En línea] www.atdgmbh.de [Fecha de consulta: 06/04/2015]

AEV [En línea] www.aev-biogas.de [Fecha de consulta: 29/03/2015]

Bigatec [En línea] www.bigatec.de [Fecha de consulta: 29/03/2015]

Biogas Online [En línea] www.biogas-online.de [Fecha de consulta: 30/03/2015]

Satel [En línea] www.satel-sa.com [Fecha de consulta: 15/03/2015]

Tucme [En línea] www.tucme.com [Fecha de consulta: 15/03/2015]

C4 [En línea] www.c4energie.de [Fecha de consulta: 30/03/2015]

Geva [En línea] www.gevagmbh.de [Fecha de consulta: 14/05/2015]

Constante [En línea] www.constante.es [Fecha de consulta: 14/05/2015]

Eutec [En línea] www.eutec.biz [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Fitec [En línea] www.fitec.com [Fecha de consulta: 13/05/2015]

Landwaerme [En línea] www.landwaerme.de [Fecha de consulta: 13/05/2015]

Let [En línea] www.let-biogastechnik.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Oecontech [En línea] www.oecontech.com [Fecha de consulta: 16/06/2015]

Projekthaus [En línea] www.projekthaus.com [Fecha de consulta: 16/06/2015]

SM energy [En línea] www.sm-energy.de [Fecha de consulta: 16/06/2015]

Ökotec [En línea] www.oekotec-anlagenbau.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Ludan [En línea] www.ludan-lre.com/en/ [Fecha de consulta: 15/03/2015]

SPDbiogas [En línea] www.spdbiogas.com [Fecha de consulta: 15/03/2015]

UTB [En línea] www.u-t-b.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Corntec [En línea] www.corntec.de [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Roering [En línea] www.energieanlagen-roering.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

GG Biogas [En línea] www.gg-biogas.de [Fecha de consulta: 12/05/2015]

Oficina Berg [En línea] www.bueroberg.de [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Keese [En línea] www.keese-hahne.de [Fecha de consulta: 12/05/2015]

Biogas Planung [En línea] www.biogas-planung.de [Fecha de consulta: 28/03/2015]

Rohrplan [En línea] www.rohrplan.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Dreyer [En línea] www.dreyer-bosse.de [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Farmatic [En línea] www.farmatic.com [Fecha de consulta: 12/05/2015]

EISENMANN [En línea] www.eisenmann.de [Fecha de consulta: 12/05/2015]

Ecogas [En línea] www.ecogas-gmbh.de [Fecha de consulta: 12/05/2015]

BSPlus [En línea] www.bsplus-service.de [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Rodríguez Suárez, Sandra

C-Deg [En línea] www.c-deg.eu [Fecha de consulta: 04/04/2015]

BDI [En línea] www.bdi-bioenergy.com [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Aerzen [En línea] www.aerzen.es [Fecha de consulta: 15/03/2015]

2g-cenergy [En línea] www.2g-cenergy.com [Fecha de consulta: 28/03/2015]

WHG [En línea] www.whg-biogas.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Novatech [En línea] www.novatechgmbh.com [Fecha de consulta: 12/05/2015]

TEWE [En línea] www.tewe.com [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Schachbau [En línea] www.schachtbau.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Protech [En línea] www.protech.de [Fecha de consulta: 12/05/2015]

Schmack [En línea] www.schmack-biogas.com [Fecha de consulta: 15/06/2015]

North-tec [En línea] www.north-tec.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

UTEC [En línea] www.utec-bremen.de [Fecha de consulta: 15/06/2015]

Ökobit [En línea] www.oekobit-biogas.com [Fecha de consulta: 12/05/2015]

LIPP [En línea] www.lipp-system.de [Fecha de consulta: 12/05/2015]

ETW [En línea] www.etw-energie.de [Fecha de consulta: 04/04/2015]

Biogas DK [En línea] www.biogasdk.de [Fecha de consulta: 28/03/2015]

Biogas Plant [En línea] www.biogas-plant.com [Fecha de consulta: 28/03/2015]

Legislación Europea

Unión Europea. Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 22 de noviembre de 2008, núm. 312/3.

Unión Europea. Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2008, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 29 de enero de 2008, núm. 24/8.

Unión Europea. Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la

contaminación). *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 17 de diciembre de 2010, núm. 334/17.

Unión Europea. Directiva del Consejo 86/278/CEE, de 12 de junio de 1986, relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de lodos de depuradora en agricultura. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 4 de julio de 1986, núm. 181/6.

Unión Europea. Directiva de Consejo 91/676/CEE, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación por nitratos utilizados en la agricultura. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 31 de diciembre de 1991, núm. 375/1.

Unión Europea. Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 5 de junio de 2009, núm. 140/16.

Legislación Nacional

España. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 181, p. 13043.

España. Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 157, p. 23910.

España. Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 15, p. 1833.

España. Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en el vertedero. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 25, p. 1697.

España. Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 142, p. 44966.

España. Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 61, p. 9734.

Rodríguez Suárez, Sandra

España. Real Decreto-Ley 9/2013, se 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 167, p. 52106.

España. Orden IET/1491/2013, de 1 de agosto, por la que se revisan los peajes de acceso de energía eléctrica para su aplicación a partir de agosto de 2013 y por la que se revisan determinadas tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial para el segundo trimestre de 2013. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 185/1, p. 56729.

España. Ley 1/1999, de 29 de enero, de residuos de Canarias. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 46, p. 7471.

Legislación Autonómica

España. Decreto 112/2001, de 29 de julio, por el que se regula el procedimiento y requisitos para el otorgamiento de las autorizaciones de gestión de residuos, y se crea el Registro de Gestores de Residuos de Canarias. *Boletín Oficial de Canarias*, 17 de agosto de 2004, núm. 158.

España. Decreto 147/2007, de 24 de mayo, por el que se regula el régimen jurídico de los suelos contaminados en la Comunidad Autónoma de Canarias y se crea el Inventario de Suelos Contaminados de Canarias. *Boletín Oficial de Canarias*, 14 de junio de 2007, núm. 118, p. 14288.

España. Decreto 65/2001, de 5 de marzo, por el que se regula el contenido y funcionamiento del Registro de Productores de Lodos de Depuradores y del Libro Personal de Registro. *Boletín Oficial de Canarias*, 21 de marzo de 2001, núm. 36, p. 3668.

España. Orden de 11 de febrero de 2000, de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, por la que se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias de la Comunidad Autónoma de Canarias. *Boletín Oficial de Canarias*, 23 de febrero de 2000, núm. 23.

España. Decreto 49/2000, de 10 de abril, por el que se determinan las masas de agua afectadas por la contaminación de nitratos de origen agrario y se designan las zonas vulnerables por dicha contaminación. *Boletín Oficial de Canarias*, 19 de abril de 2000, núm. 48, p.4712.

10. Anexo I

Asesorías	Contacto	Descripción/Servicios
<p>Ludan</p> 	<p>C/Munich 72, 33B-Pta1 46900 - Torrent (Valencia) Tel: 34 96 156 55 34 (Luis Puchades) Fax: +34 96 158 19 83 Internet: www.ludan-lre.com/en/ Email: l.puchades@ludan-lre.com</p>	<p>Asistencia en el desarrollo de proyectos buscando la mejor solución para cada caso combinando los factores técnicos, empresariales, búsqueda de financiamiento y gestión de permisos.</p>
<p>SPDBIOGÁS</p> 	<p>Ed. Heliosolar, Cr. Pamplona-Salinas, 11 31191, Esquiroz, Navarra Tel: Navarra 0034 948 852 348 Fax: 948 852 347 Internet: www.spdbiogas.com/ Email:</p>	<p>Apoyo integral para el desarrollo de proyectos de biogás, aportando soluciones orientadas a las distintas áreas de trabajo, desde el desarrollo de la idea y su análisis de viabilidad, así como la búsqueda de socios financieros, solicitud y gestión de ayudas públicas.</p>
<p>Umwelttechnik Bojahr</p>  <p>Umwelttechnik Bojahr</p>	<p>D 88276 Berg Staudenstr. 6 Tel: 0751-561900 Fax: Internet: http://www.u-t-b.de Email: info@u-t-b.de</p>	<p>Planificador general y consultor para plantas de biogás, tecnologías, tratamiento, licuefacción y explotación del biogás. Estudios de factibilidad.</p>
<p>CornTec GmbH</p> 	<p>D 49716 Meppen Lohberg 10 a Tel: 05931-883870 Fax: 05931-8838730 Internet: http://www.corntec.de Email: info@corntec.de</p>	<p>Funcionamiento de las plantas de biogás, supervisión biológica, supervisión de la seguridad, mantenimiento y reparación.</p>
<p>Energie-Anlagen Röring GmbH</p> 	<p>D 48691 Vreden Rudolf-Diesel-Str. 3 b Tel: 02564-3949390 Fax: 02564-39493949 Internet: http://www.energieanlagen-roering.de Email: info@energieanlagen-roering.de</p>	<p>Consultoría, ideas basadas en la situación individual, determinación de presupuesto y precio objetivo, cálculo de rentabilidad, apoyo en la aprobación y financiación.</p>
<p>Gutachtergemeinschaft Biogas GmbH</p> 	<p>D 85356 Freising Lantbertstr. 50 Tel: 08161-8849-546 Fax: 08161-8849-547 Internet: http://www.gg-biogas.de Email: info@gg-biogas.de</p>	<p>Asesoramiento sobre: biología, la tecnología, la cogeneración, construcción, rentabilidad, ingresos, tiempo y valor de mercado, sustratos, gas, electricidad y calor produce, sustrato, gas y suministro de calefacción.</p>

Asesorías	Contacto	Descripción/Servicios
<p>Ingenieurbüro H. Berg & Partner GmbH</p> 	<p>D 52066 Aachen Malmedyer Str.30 Tel: 0241-94623-0 Fax: 0241-94623-30 Internet: http://www.bueroberg.de Email: info@bueroberg.de</p>	<p>Estudios, planificación, licitación y dirección de obra.</p>
<p>Keese-Hahne GmbH</p> 	<p>D 59494 Soest Melanchthonweg 12 Tel: 02921-2528 Fax: 02921-2480 Internet: www.keese-hahne.de Email: info@keese-hahne.de</p>	<p>Permisos y gestión de proyectos desde el concepto hasta la puesta en servicio: Expertos en los procedimientos de aprobación en el campo del medio ambiente, dirección de obra, gestión de proyectos.</p>
<p>Planungsbüro für Biogastechnik</p> 	<p>D 29487 Luckau Beesem 8 Tel: 05844-976213 Fax: 05844-976214 Internet: http://www.biogas-planung.de Email: info@biogas-planung.de</p>	<p>Consultoría y planificación de plantas de biogás.</p>
<p>ROHRPLAN Ing.-Büro</p> 	<p>D 16303 Schwedt / Oder Wartiner Str. 8 Tel: 03332-43630 Fax: 03332-436330 Internet: http://www.rohrplan.de/ Email: rohrplan@t-online.de</p>	<p>Análisis, estudios, asesoría y planificación.</p>

Tabla 8: Asesorías

Oficina de Ing.	Contacto	Descripción/Servicios
<p>Ahida, agua y energía</p> 	<p>Carretera de Polinyà a Sentmenat 159 08213 Polinyà, Barcelona (Spain) Tel: 34 938 639 011 Fax: Internet: www.ahidra.com/ Email: info@ahidra.com</p>	<p>Diseño y dimensionamiento de plantas, proyecto de detalle, dirección de obra, puesta en marcha, instalaciones llave en mano, formación de personal y automatización SCADA.</p>
<p>AAT Abwasser- und Abfalltechnik GmbH</p> 	<p>Österreich 6960 Wolfurt Konrad-Doppelmayr-Str. 17 Tel: 0043-5574-65190-0 Fax: 0043-5574-65190-6 Internet: http://www.aat-biogas.at Email: office@aat-biogas.at</p>	<p>Diseño de la planta, tecnología de procesos y equipos para el tratamiento de residuos orgánicos y la purificación de las aguas residuales altamente contaminadas con obtención de energía simultánea.</p>
<p>CUBE Engineering GmbH</p> 	<p>D 34119 Kassel Breitscheidstraße 6 Tel: 0561-288573-55 Fax: 0561-288573-19 Internet: http://www.cube-engineering.com Email: u.welteke-fabricius@cube-engineering.com</p>	<p>Análisis económico, la configuración de Flex-CHP, almacenamiento de gas y de amortiguación térmica para el biogás y el biometano</p>
<p>GICON Bioenergie GmbH</p> 	<p>D 01219 Dresden Tiergartenstr. 48 Tel: 0351-47878-0 Fax: 0351-47878-78 Internet: http://www.gicon.de Email: bioenergie@gicon.de</p>	<p>Empresa dedicada a las energías renovables. Ingeniería y consultoría.</p>
<p>L.E.E.</p> 	<p>Luxemburg 6131 Junglinster B.P. 69 Tel: 0035-2267-8341 Fax: 0035-22267-8344 Internet: www.lee.lu Email: info@lee.lu</p>	<p>Estudios, Planificación, diseño y dirección de obra.</p>
<p>ibes Ingenieurbüro Dr. Eisenhardt GmbH & Co. KG</p> 	<p>D 96515 Sonneberg Ortsstr. 25 Tel: 03675-745141 Fax: 03675-809314 Internet: http://www.dr-eisenhardt.de Email: eisenhardt.sonneberg@t-online.de</p>	<p>Asesoramiento, diseño y construcción. Gestión.</p>

Oficina de Ingeniería	Contacto	Descripción/Servicios
<p>atd GmbH</p> 	<p>D 52070 Aachen Krefelder Straße 147 Tel: 0241-169890 Fax: 0241-16989-29 Internet: http://www.atdgmbh.de Email: heetkamp@atdgmbh.de</p>	<p>Servicios de ingeniería en el campo de la tecnología de gestión de aguas residuales y biogás. Se caracteriza por una alta flexibilidad.</p>
<p>AEV Energy GmbH</p> 	<p>D 01187 Dresden Hohendölzschener Str. 1a Tel: 0351-467-1301 Fax: 0351-467-1337 Internet: http://www.aev-biogas.de Email: info@aev-energy.de</p>	<p>Sistemas desde 15 kW hasta 3200 kW, capaces de procesar una mezcla de diferentes materiales de entrada. Diseño y planificación de los sistemas de biogás de cualquier tamaño y cualquier alimentación. Dirección de obra o supervisión de la construcción, puesta en marcha y estudio de viabilidad técnica y económica.</p>
<p>BIGATEC Ingenieurbüro für Bioenergie</p> 	<p>D 47495 Rheinberg Keltenstraße 7 Tel: 02843-901050 Fax: 02843-901051 Internet: http://www.bigatec.de Email: ralf.block@bigatec.de</p>	<p>Oficina de ingeniería</p>
<p>Björn Fritz GmbH</p> 	<p>D 87439 Kempten Heiligkreuzer Straße 102 Tel: 0831-960792-0 Fax: 0831-960792-29 Internet: http://www.biogas-online.de Email: info@biogas-online.de</p>	<p>Diseño, cálculo de la rentabilidad, planificación, gestión de la construcción y puesta en marcha de la planta.</p>
<p>SATEL</p> 	<p>Avda. Pablo Gargallo, 100, 5ª Pl. 50003 Zaragoza Tel: 976 46 96 90 Fax: 976 46 96 91 Internet: www.satel-sa.com/ Email: comercial@satel-sa.com</p>	<p>Redacción de proyectos y estudios técnicos, consultoría medioambiental, dirección de obra, consultoría de seguridad y salud, inspección de instalaciones y tramitaciones.</p>
<p>TUCME</p> 	<p>Passeig de l'estació 12, Entresuelo A 25600 Balaguer Tel: +34 973445175 Fax: +34 973 445 268 Internet: www.tucme.com/ Email: tucme@tucme.com</p>	<p>Redacción de proyectos, consultoría, estudios de viabilidad, dirección de obra y estudios de viabilidad financiera.</p>

Oficina de Ingeniería	Contacto	Descripción/Servicios
<p>C4 Energie AG</p> 	<p>D 24114 Kiel Sophienblatt 60-62 Tel: 0431-88813-0 Fax: 0431-88813-449 Internet: http://www.c4energie.de Email: vorstand@c4energie.de</p>	<p>Elaboración de proyectos en base a la interpretación económica y al cálculo del tamaño óptimo de la planta. Se centra en la organización, costo, calidad y programación.</p>
<p>GEVA Gas- und Energieverteilungsanlagen GmbH</p> 	<p>D 76275 Ettlingen Otto Hahn Strasse 12 Tel: 07243-5248-21 Fax: 07243-5248-52 Internet: http://www.gevagmbh.de Email: anfrage@gevagmbh.de</p>	<p>Conceptos y estudios de diseño. Diseño, fabricación, instalación y puesta en marcha. Planificación y ejecución de instalación. Servicios de mantenimiento preventivo y revisiones del equipo.</p>
<p>CONSTANTE</p> 	<p>Vía se Servicio Portuaria, 22 Ed. Sofitesa, Dársena Pesquera 38180 - Santa Cruz de Tenerife Tel : 922 591 927 Fax: Internet: www.constante.es Email: info@constante.es</p>	<p>Desarrolla biodigestores completando el ciclo natural de descomposición mediante tecnología propia, contrastada por las instalaciones ya ejecutadas y en funcionamiento, produciendo biogás y abono orgánico.</p>
<p>eutec ingenieure GmbH</p> 	<p>D 01279 Dresden Wehlener Straße 46 Tel: 0351-2509630 Fax: 0351-25096329 Internet: http://www.eutec.biz Email: info@eutec.biz</p>	<p>Plantas rurales de biogas, plantas rurales de cofermentación, plantas de fermentación industrial y plantas de clarificación.</p>
<p>Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co.KG</p> 	<p>D 83233 Bernau a. Chiemsee Mailing Weg 5 Tel: 08051-965910-0 Fax: 08051-965910-20 Internet: http://www.fitec.com Email: info@fitec.com</p>	<p>Proveedores de instrumentación y servicios de ingeniería.</p>
<p>Landwärme GmbH</p> 	<p>D 80802 München Ungererstr. 40 Tel: 089-33088-635 Fax: 089-33088-596 Internet: http://www.landwaerme.de Email: info@landwaerme.de</p>	<p>Diseño de plantas de biogás, principalmente utilización del biogás.</p>

Oficina de Ingeniería	Contacto	Descripción/Servicios
<p>LET Biogastechnik GbR</p> 	<p>D 27374 Visselhövede Große Strasse 6 Tel: 04262-3059346 Fax: 04262-3059345 Internet: http://let-biogastechnik.de/ Email: info@let-biogastechnik.de</p>	<p>Servicios de ingeniería. Asesoramiento, planificación, soporte y optimización de plantas de biogás.</p>
<p>ÖconTech Prüf- und Sachverständigen-gesellschaft mbH</p> 	<p>D 37124 Rosdorf Olenhuser Landstr. 20 B Tel: 0551-3073991 Fax: 0551-3073992 Internet: http://www.oeconotech.com/ Email: info@oeconotech.de</p>	<p>Diseño de plantas de biogás.</p>
<p>Projekthaus GmbH</p> 	<p>D 28195 Bremen Tiefer 4 Tel: 0421-330278-0 Fax: Internet: http://www.projekthaus.com Email: mail@projekthaus.com</p>	<p>Planificación, implementación, pruebas y seguimiento de las plantas, transporte de gas y formación del personal empleado.</p>
<p>SM-ENERGY GmbH</p> 	<p>D 95666 Mitterteich Carl-Zeiss-Straße 4 Tel: 09633-400767-0 Fax: 09633-400767-29 Internet: http://www.sm-energy.de Email: info@sm-energy.de</p>	<p>Consultoría, planificación y ejecución de plantas de biogás.</p>
<p>Ökotec Anlagenbau GmbH</p> 	<p>D 04808 Thallwitz Bahnhofstr. 13 Tel: 03425-856580 Fax: Internet: http://www.oekotec-anlagenbau.de/ Email: info@oekotec-anlagenbau.de</p>	<p>Consultoría, planificación, diseño, ejecución de proyectos y puesta en marcha.</p>

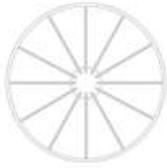
Tabla 9: Oficinas de Ingeniería

Constructora	Contacto	Descripción/Servicios
<p>BioConstruct GmbH</p> 	<p>D 49328 Melle Wellingstr. 66 Tel: 05226-5932-0 Fax: 05226-5932-11 Internet: http://www.bioconstruct.de Email: info@bioconstruct.de</p>	<p>Diseño y construcción de plantas de biogás, asistencia 24h, mantenimiento.</p>
<p>BINOWA GmbH</p> 	<p>D 06632 Freyburg Weinstrasse 22 Tel: 034462-7030 Fax: 034462-21620 Internet: http://www.binowa.de/ Email: info@binowa.de</p>	<p>Plantas de biogás llave en mano por el RIGAS CENT proceso patentado (R).</p>
<p>BWE Biogas-Weser-Ems GmbH & Co. KG</p> 	<p>D 26169 Friesoythe Zeppelinring 12-16 Tel: 04491-93800-0 Fax: 04491-93800-44 Internet: http://www.biogas-weser-ems.de Email: info@biogas-weser-ems.de</p>	<p>Construcción de plantas de biogás, apoyo durante la fase de planificación y construcción, mantenimiento y formación en los procedimientos de gestión de la planta in situ.</p>
<p>Ecobiogas</p> 	<p>C/ Plaça Major, 12 Bajos 25245 Vila-sana , Lleida (Spain) Tel: 34 973 070 608 Fax: +34 973 606 001 Internet: www.ecobiogas.es/ Email: info@ecobiogas.es</p>	<p>Asesoramiento, tramitación de ayudas y subvenciones. Planificación, diseño y cálculos de rentabilidad y estudios técnico-económicos proyectos de plantas de biogás. Construcción , puesta en marcha, supervisión del proceso biológico y mantenimiento.</p>
<p>EREP SA</p> 	<p>Schweiz 1123 Aclens Chemin du Coteau 28 Tel: 0041-21-8699887 Fax: 0041-21-8690170 Internet: http://www.erep.ch Email: info@erep.ch</p>	<p>Diseño, construcción y asesoramiento.</p>
<p>Zorg Biogas AG</p> 	<p>Schweiz 8045 Zurich Uetlibergstr. 132 Tel: 0041-44-5080081 Fax: Internet: http://www.zorg-biogas.com Email: biogas@zorg-biogas.com</p>	<p>Empresa de construcción de plantas de biogás. Diseño y construcción de plantas de biogás. Funciona en todo el mundo.</p>

Constructora	Contacto	Descripción/Servicios
<p>Rückert NatUrgas GmbH</p> 	<p>D 91207 Lauf / Pegn. Marktplatz 17 Tel: 09123-7899-0 Fax: 09123-7899-29 Internet: http://www.rueckert-naturgas.de Email: mail@rueckert-naturgas.de</p>	<p>Planificación y construcción de plantas de biogás.</p>
<p>Rossow Planungsbüro</p> 	<p>D 17033 Neubrandenburg Lindenhof 2c Tel: 0395-7074709 Fax: 0395-7782138 Internet: http://www.rossow.de Email: nr@rossow.de</p>	<p>Planificación y construcción de plantas de biogás.</p>
<p>4Biogas GmbH & Co. KG</p> 	<p>D 44229 Dortmund Crispinstraße 24 Tel: 0231-47732730 Fax: 02307-2600330 Internet: http://www.4biogas.com Email: info@4biogas.com</p>	<p>Know-how propio y experiencia de más de 10 años en la construcción de plantas de biogás a pequeñas granjas. Novaplus fermentador que produce 75 kW en un área de sólo 25 metros cuadrados con un 80% de cuota mínima de estiércol.</p>
<p>agriKomp GmbH</p> 	<p>D 91732 Merkendorf Energiepark 2 Tel: 09826-65959-0 Fax: 09826-65959-10 Internet: http://www.biogastechnik.de Email: info@agrikomp.de</p>	<p>Know how propio, concepción y planificación de la construcción de las plantas y soporte biológico. Más de 800 plantas de biogás en el Reino Unido y Europa.</p>
<p>Amda</p> 	<p>Av. Gómez Laguna, 25, 5º planta, oficina 4 A 50009 – Zaragoza, España Tel: (+34) 976 531 020 Fax: Internet: www.amda.es/ Email: info@amda.es</p>	<p>Estudio de potencial, viabilidad técnico económica, construcción, planificación del programa medioambiental y del plan de seguridad y salud, puesta en marcha y mantenimiento.</p>
<p>ABO Wind AG</p> 	<p>D 65195 Wiesbaden Unter den Eichen 7 Tel: 0611-26765-536 Fax: 0611-26765-599 Internet: http://www.abo-wind.com/es Email: bioenergie@abo-wind.de</p>	<p>Desarrollo y construcción de instalaciones de biogás. Hasta la fecha, ABO Wind ha construido siete instalaciones de biogás en Alemania.</p>

Constructora	Contacto	Descripción/Servicios
<p>Agraferm Technologies AG</p> 	<p>D 85276 Pfaffenhofen/Ilm Färberstr. 7 Tel: 08441-8086-102 Fax: 08441-8086-119 Internet: http://www.agraferm.com Email: info@agraferm.com</p>	<p>Redacción del proyecto y construcción de la planta, así como servicios técnicos y biológicos.</p>
<p>Bebra Biogas GmbH</p> 	<p>D 44147 Dortmund Kanalstr. 25 Tel: 0231-9982-700 Fax: 0231-9982-799 Internet: http://www.bebra-biogas.com Email: marketing@bebra-biogas.com</p>	<p>Construcción de sistemas compactos de dos etapas para granjas, mejora de biogás a la calidad del gas natural mediante tecnología de membranas y tratamiento del digestato con ultrafiltración y ósmosis inversa.</p>
<p>Beck Naturgas GmbH</p> 	<p>D 89185 Hüttisheim Lindenstr. 19 Tel: +49 7305/927678 Fax: +49 7305/928006 Internet: http://www.beck-naturgas.de Email: beck-naturgas@gmx.de</p>	<p>Diseño, construcción y optimización de plantas de biogás.</p>
<p>Biogas Fachberatung Max Zintl GmbH</p> 	<p>D 95666 Mitterteich Markredwitzer Str. 65a Tel: 09633-92344-0 Fax: +49 (0) 92344 - 19 Internet: http://www.green-energy-zintl.de Email: info@green-energy-zintl.de</p>	<p>Consultoría, diseño, construcción, proveedor de maquinaria y mantenimiento.</p>
<p>BMINGENIERIA</p> 	<p>Avda. Jardín Botánico, 1345 Ed. Intra I, Of. 5 33203 Gijón. Asturias España Tel: 985 175 331 Fax: 985 175 332 Internet: www.bmingeneria.com/ Email: info@bmingeneria.com</p>	<p>Diseño, producción y ejecución llave en mano (EPC'S) de plantas productoras de biogás y aprovechamiento energético.</p>
<p>INPER</p> 	<p>C/Rafael Calvo, 30 28010 Madrid Tel: +34 91 700 16 24 (Irene Alburquerque) Fax: +34 91 319 76 28 Internet: www.inpper.es/ Email: ialburquerque@inpper.es</p>	<p>Concepción, planificación, construcción y entrega "llave en mano" de plantas de biogás, así como la puesta en servicio técnica y bioquímica.</p>

Constructora	Contacto	Descripción/Servicios
<p>OKOTEC</p> 	<p>C/ Buenos Aires, 33 08140 Caldes de Montbui, Barcelona Tel: +34 938 622 183 Fax: Internet: www.okotec2008.com/ Email:</p>	<p>Desde la ingeniería previa en la fase de estudio, hasta el suministro 'llave de mano' de la planta, la asistencia en la operación y el mantenimiento de la misma.</p>
<p>UTS Biogastechnik GmbH</p> 	<p>D 85399 Halberghaus Zeppelinstr. 8 Tel: 0811-998840 Fax: 0811-99884450 Internet: http://www.uts-biogas.com Email: info@uts-biogas.com</p>	<p>Consultoría y estudios de viabilidad in situ, planificación, diseño, construcción y optimización de plantas de biogás. Puesta en marcha, asistencia del proceso y servicio técnico 24 horas, incluyendo suministro de piezas de repuesto.</p>
<p>CarboCycle Ingenieurbüro</p> 	<p>D 13127 Berlin Pankstr. 8-10 Aufgang C Tel: 030-47596699-0 Fax: Internet: http://www.carbocycle.de Email: mail@carbocycle.de</p>	<p>Consulta, desarrollo del proyecto, cálculo de costes, planificación, construcción de la planta, supervisión de la construcción, puesta en marcha y asistencia durante el funcionamiento. Know how propio.</p>
<p>Consentis Anlagenbau GmbH</p> 	<p>D 49835 Wietmarschen Am langen Graben 13 Tel: 05925-99860 Fax: 05925-998611 Internet: http://www.consentis.de Email: info@consentis.de</p>	<p>Consultoría, planificación, construcción, puesta en servicio, servicio técnico durante el funcionamiento, mantenimiento y soporte biológico del proceso.</p>
<p>ENSPAR Biogas GmbH</p> 	<p>D 33181 Bad Wünnenberg Haaren Paderborner Str. 44 Tel: 02957-9842770 Fax: 02957-984888 Internet: http://www.enspar.de Email: enspar@enspar.de</p>	<p>Construcción de plantas de biogás, tratamiento efluentes, revalorización de plantas.</p>
<p>EO. Schweissen & Montagen GmbH</p> 	<p>D 84137 Vilsbiburg Köglecker Str. 7 Tel: 08741-9670372 Fax: Internet: http://www.eo-gmbh.eu Email: info@eo-gmbh.eu</p>	<p>Especialista en la instalación de plantas de biogás. Materiales de alta calidad y componentes técnicos fiables, a través de la cooperación con fabricantes bien conocidos. También organizan contactos directos. Certificados TUV como soldador de tubería de acero inoxidable y soldadores PE.</p>

Constructora	Contacto	Descripción/Servicios
<p>Dyckhoff - Biogasanlagen</p> 	<p>D 81667 München Metzstr. 11 Tel: 089-44760535 Fax: 089-44760536 Internet: http://www.biogas-dyckhoff.de Email: biogas.dyckhoff@googlemail.com</p>	<p>Construcción y diseño de plantas de biogás, cálculos de rentabilidad, supervisión durante la construcción, asesoramiento en la puesta en marcha de la planta.</p>
<p>elbe bioenergie GmbH</p> 	<p>D 39576 Stendal Rathenower Str. 29 Tel: 03931-258200 Fax: 03931-258209 Internet: http://www.elbe-bioenergie.de/ Email: info@elbe-bioenergie.de</p>	<p>Turbinas de cogeneración. Desarrollo de proyectos, planificación, construcción y operación de los sistemas de energía y la utilización de calor residual.</p>
<p>Greenline GmbH & Co. KG</p> 	<p>D 24941 Flensburg Lise-Meitner-Str. 2 Tel: 0461-49350-10 Fax: 0461-49350-90 Internet: http://www.greenline-energy.de Email: info@greenline-energy.de</p>	<p>Diseño, construcción y asesoramiento.</p>
<p>Axpo</p> 	<p>SCHWEIZ 8037 Zürich Hardturmstrasse 127 Tel: 0041-44-8097-777 Fax: 0041-44-8097700 Internet: http://www.axpo.com/kompogas Email: info@axpo.ch</p>	<p>Diseño y construcción de plantas. Gestión y mantenimiento.</p>
<p>Ingenieurbüro Dr. Markert</p> 	<p>D 36452 Kaltennordheim Eisenacher Str. 10 Tel: 036966-800-01 Fax: 036966-800-22 Internet: http://www.biogas-markert.de Email: Ingbuero-Dr.Markert@t-online.de</p>	<p>Diseño, construcción. Puesta en servicio y atención posterior.</p>
<p>INREETEC GmbH</p> 	<p>D 92421 Schwandorf Marktplatz 2 Tel: 09431-7998-0 Fax: 09431-7998-15 Internet: http://www.inreetec.com Email: info@inreetec.com</p>	<p>Diseño, construcción, supervisión, mantenimiento, reparación y puesta en marcha.</p>

Constructora	Contacto	Descripción/Servicios
<p>KWA Eviva GmbH</p> 	<p>D 50825 Köln Vogelsanger Str. 250 Tel: 0221-78946915 Fax: 0221-78946949 Internet: http://www.eviva-energy.com Email: info@eviva-energy.com</p>	<p>Consultoría, diseño, construcción, proveedor de maquinaria y mantenimiento.</p>
<p>Landgesellschaft Mecklenburg-Vorpommern mbH</p> 	<p>D 19067 Leezen Lindenallee 2a Tel: 03866-404-257 Fax: Internet: Email: landgesellschaft@lqmv.de</p>	<p>Asesoramiento, diseño y construcción. Las plantas de biogás es un aspecto secundario de compañía, se centra en la ingeniería agrícola.</p>
<p>LIPP GmbH</p> 	<p>D 73497 Tannhausen Industriestr. 36 Tel: 07964-9003-0 Fax: 07964-900327 Internet: http://www.lipp-system.de Email: info@lipp-system.de</p>	<p>Fabricación de contenedores y silos.</p>
<p>PlanET Biogastechnik GmbH</p> 	<p>D 48691 Vreden Up de Hacke 26 Tel: 02564-3950-0 Fax: 02564-3950-50 Internet: http://www.planet-biogas.com Email: mzst@planet-biogas.com</p>	<p>Servicios técnicos y biológicos. Planificación y construcción.</p>
<p>NQ-Anlagentechnik GmbH</p> 	<p>D 86733 Alerheim-Rudelstetten Pflweg 13 Tel: 09085-96003-0 Fax: 09085-96003-901 Internet: http://www.nq-anlagentechnik.de Email: info@nq-anlagentechnik.de</p>	<p>Planificación, construcción y gestión de plantas de biogás.</p>
<p>Projektplanungs-, Beratungs- und Entwicklungs GmbH</p> 	<p>Österreich 2813 Lichtenegg Ransdorf 20 Tel: 0043-2643-7010-50 Fax: 0043-2643-20068 Internet: http://www.pbeg.at Email: office@pbeg.at</p>	<p>Estudios, asesoría, planificación, diseño, construcción, dirección de obra, supervisión, puesta en marcha y atención biológica.</p>

Constructora	Contacto	Descripción/Servicios
<p>Schaumann Biotic Systems GmbH & Co. KG</p> 	<p>D 25899 Niebüll Peter-Schmidts-Weg 50 Tel: 04661-607090 Fax: 04661-6070929 Internet: /www.schaumann-biotic.com/ Email: info@schaumann-systems.de</p>	<p>Diseño y construcción de plantas de Biogás.</p>
<p>Schwarting Biosystem GmbH</p> 	<p>D 24941 Flensburg Lise-Meitner-Str. 2 Tel: 0461-707169-0 Fax: 0461-707169-101 Internet: http://www.schwarting-biosystem.de Email: info@schwarting-biosystem.de</p>	<p>Plantas de biogás preparadas para tratamiento biológico de residuos y tratamiento de lodos de depuradora (digestión de alto rendimiento), plantas llaves en mano, construcción internacional de instalaciones, planificación y optimización del proceso.</p>
<p>LKL Bioenergie GmbH</p> 	<p>D 01156 Dresden Ockerwitz Allee 110 Tel: 0351-4313139 Fax: 0351-4313141 Internet: /www.lattermann-bau.de/ Email: info@lkl-bioenergie.com</p>	<p>Construcción llave en mano de sistemas completos de alta calidad (sistemas mesófilo y termófilos), tamaños de planta variables. Planificación e implementación de sistemas de recuperación de calor.</p>
<p>Malaby Biogas</p> 	<p>Deverill Road, Warminster Wiltshire BA12 8BF Tel: 01985 216976 Fax: Internet: www.malabybiogas.com Email: (web)</p>	<p>Diseño, planificación, construcción y asesoramiento técnico.</p>
<p>Marches Biogas</p> 	<p>Ludlow Business Park, Coder Road Ludlow SY8 1XE Tel: 03332 079991 Fax: Internet: www.marchesbiogas.co.uk Email: info@marchesbiogas.co.uk</p>	<p>Consultoría, diseño, planificación, construcción de componentes, rediseño, optimización, operación y mantenimiento.</p>
<p>OWS Organic Waste Systems</p> 	<p>Belgien 9000 Gent Dok Noord 5 Tel: +32-92330204 Fax: +32-92332825 Internet: http://www.ows.be Email: mail@ows.be</p>	<p>Constructora de plantas de biogás.</p>

Constructora	Contacto	Descripción/Servicios
<p>Rehau Energy Solutions GmbH</p> 	<p>D 08527 Plauen Dürerstr. 17 Tel: 03741-5505-10 Fax: 03741-5505-20 Internet: http://www.rehau-energy-solutions.com Email: kontakt@rehau-es.com</p>	<p>Oficina técnica: planificación, diseño, construcción y supervisión de plantas de biogás.</p>
<p>Rotaria Energie - und Umweltechnik GmbH</p> 	<p>D 18230 Rerik Kirchweg 21 Tel: 038296-7480 Fax: 038296-748-23 Internet: http://www.rotaria.com Email: kotzbauer@Rotaria.com</p>	<p>Construcción y equipamiento de plantas de biogás.</p>
<p>Rytec GmbH</p> 	<p>D 76532 Baden-Baden Pariser Ring 37 Tel: 07221-377600 Fax: Internet: http://rytec.com/ Email: juergen.machnow@rytec.com</p>	<p>Desarrollo, optimización, construcción, renovación y control de procesos de ingeniería en los ámbitos de energía y residuos.</p>
<p>SBBiogas GmbH</p> 	<p>D 97340 Marktbreit Mainleite 35 Tel: 09332-50550 Fax: 09332-505555 Internet: http://www.sbbiogas.de Email: h.w.christ@sbbiogas.de</p>	<p>Análisis de viabilidad, consultoría, planificación, construcción, puesta en marcha, asesoramiento, servicio biológico.</p>
<p>Seiler GmbH</p> 	<p>D 88696 Owingen Henkerberg 11 Tel: 07551-9197-0 Fax: 07551-919777 Internet: http://www.seiler-gmbh.com Email: info@seiler-gmbh.com</p>	<p>Planificación y construcción de plantas de biogás.</p>

Tabla 10: Constructoras

Tecnología	Contacto	Descripción/Servicios
<p>MWM</p> 	<p>Carl-Benz-Strasse 1 68167 Mannheim, Germany Tel: +49 6 21/3 84-0 Fax: Internet: www.mwm.net/ Email: info@mwm.net</p>	<p>Proveedores de tecnología para plantas de biogás. Motores de cogeneración.</p>
<p>VOGELSANG</p> 	<p>C/ Roger de Llúria 50, 5° 08009 Barcelona Tel: 977 60 67 33 Fax: 977 60 67 33 Internet: www.vogelsang.info/ Email: info@vogelsang.es</p>	<p>Tecnología de bombas, trituración, capa de fermentación y desintegración.</p>
<p>BTA International GmbH</p> 	<p>D 85276 Pfaffenhofen Färberstraße 7 Tel: 08441-8086-600 Fax: 08441-8086-690 Internet: http://www.bta-technologie.de Email: info@bta-international.de</p>	<p>El Proceso BTA (BTA® Process) es una combinación del pre-tratamiento mecánico en vía húmeda y la digestión anaerobia de la fracción orgánica obtenida en este, representando esta fracción la mayor parte de los residuos urbanos, comerciales así como agrícolas.</p>
<p>Dreyer & Bosse Kraftwerke GmbH</p> 	<p>D 29475 Gorleben Streßfeld 1 Tel: 05882-98720 Fax: 05882-987220 Internet: http://www.dreyer-bosse.de Email: info@dreyer-bosse.de</p>	<p>Tecnología para la producción combinada de calor y electricidad (CHP). Niveles de eficiencia globales altos se alcanzan. Reducción significativa de las emisiones de CO2.</p>
<p>FARMATIC Anlagenbau GmbH</p> 	<p>D 24589 Nortorf Kolberger Straße 13 Tel: 04392-9177-109 Fax: 04392-9177-199 Internet: http://www.farmatic.com Email: info@farmatic.com</p>	<p>Desde la planificación detallada del proyecto hasta el montaje final. Además proporciona componentes individuales tales como recipientes especiales, fermentadores, almacenamiento en frío, mezcladores, intercambiadores de calor y otros componentes.</p>
<p>Eisenmann Anlagenbau GmbH & Co. KG</p> 	<p>D 71088 Holzgerlingen Daimlerstraße 5 Tel: 07031-78-0 Fax: 07031-78-2000 Internet: http://www.eisenmann.de Email: tilman.hauff@eisenmann.de</p>	<p>Estandarizado de plantas, corto tiempo de entrega, construcción con elementos prefabricados, fermentador principal de 270 m³ y 325 m³, fermentador principal con camisa calefactora, aislamiento y revestimiento. Tamaño reducido, bajo consumo de energía propia.</p>

Tecnología	Contacto	Descripción/Servicios
<p>Ecogas GmbH</p> 	<p>D 88317 Aichstetten Edelweißstraße 10 Tel: 07565-94028-20 Fax: 07565-94028-29 Internet: http://www.ecogas-gmbh.de Email: info@ecogas-gmbh.de</p>	<p>El sistema básico (ECOGAS) consta de dos tanques, un fermentador y un digestato. La planta es muy compacta y clara. Permite una producción eficiente en una instalación estructural y técnicamente muy simple, pero sofisticado. Alto grado de seguridad y la eficiencia.</p>
<p>BSplus MotorenService GmbH & Co. KG</p> 	<p>D 49696 Molbergen / Ermke Roggenkamp 3 Tel: 04475-918480 Fax: Internet: http://www.bsplus-service.de Email: info@bsplus-service.de</p>	<p>Servicio de CHP, mantenimiento y reparación de motores de gas. Tecnología de cogeneración.</p>
<p>C-deg environmental engineering GmbH</p> 	<p>D 24118 Kiel Grasweg 35 Tel: 0431-220170 Fax: 0431-220177 Internet: http://www.c-deg.eu Email: info@c-deg.eu</p>	<p>Tratamiento del biogás</p>
<p>2G CENERGY</p> 	<p>205 Commercial Drive St. Augustine, FL 32092 - USA Tel: (904) 579-3217 Fax: (904) 406-8727 Internet: www.2g-cenergy.com/ Email:</p>	<p>Fabricantes de tecnologías para la generación de electricidad y energía térmica</p>
<p>AERZEN</p> 	<p>Calle Adaptación 15-17 Pol. Ind. Los Olivos 28906 Getafe (Madrid) España Tel: +34 / 91-642 4450 Fax: +34 / 91-642 2903 Internet: www.aerzen.es/ Email: info@aerzen.es</p>	<p>Fabricante de Soplantes, compresores de tornillo, compresores de émbolo rotativos, turbo soplantes, contadores de gas de émbolo rotativo y accesorios. Alquiler de máquinas.</p>
<p>BDI - BioEnergy International AG</p> 	<p>Österreich 8074 Grambach/Graz Parkring 18 Tel: 0043-316-4009-100 Fax: 0043-316-4009-140 Internet: http://www.bdi-bioenergy.com/ Email: sales@bdi-bioenergy.com</p>	<p>Fabricantes de maquinaria para la producción de energía eléctrica, vapor y agua caliente por medio de una unidad combinada de calor y electricidad y la purificación del biometano.</p>

Tecnología	Contacto	Descripción/Servicios
<p>Bilgeri Environtec GmbH</p> 	<p>Österreich 6972 Fußsach Schilfweg 1 Tel: 0043-5578-77005 Fax: 0043-5578-77005-300 Internet: http://biogas-plant.com/ Email: info@environtec.at</p>	<p>Desarrollo, producción y comercialización de componentes de tecnología: reactores, componentes de la limpieza de los gases y su almacenamiento.</p>
<p>Biogasprojekte D&K GmbH</p>  <p>Biogasprojekte D&K</p>	<p>D 81667 München Orleansstr. 34 Tel: 089-62286756 Fax: Internet: http://www.biogasdk.de Email: info@biogasdk.de</p>	<p>Fabricante de componentes de biogás como tubos, mirillas, aislamiento térmico, agitadores, bombas de dosificación, techos inflables, apoyo y asesoramiento durante la construcción.</p>
<p>ETW Energietechnik GmbH</p> 	<p>D 47445 Moers Ferdinand-Zeppelin-Str. 19 Tel: 02841-99900 Fax: 02841-9990199 Internet: http://www.etw-energie.de Email: info@etw-energie.de</p>	<p>Proveedores de motores de cogeneración y demás instrumentación necesaria en una planta de biogás.</p>
<p>Keitlinghaus Umweltservice</p> 	<p>D 59329 Diestedde Kettelerstr. 47 Tel: 02520-93118-0 Fax: 02520-93118-20 Internet: Email: hk@keitlinghaus-umweltservice.de</p>	<p>Soluciones de software para plantas individuales y asociaciones vegetales: el diario de operaciones, bridas, facturación, mantenimiento, planificación de mantenimiento, visualización, alertas y control automático de procesos.</p>
<p>LIPP GmbH</p> 	<p>D 73497 Tannhausen Industriestr. 36 Tel: 07964-9003-0 Fax: 07964-900327 Internet: http://www.lipp-system.de Email: info@lipp-system.de</p>	<p>Fabricación de contenedores y silos.</p>
<p>ÖKOBIT GmbH</p> 	<p>D 54343 Föhren Jean-Monnet-Str. 12 Tel: 06502-93859-0 Fax: 06502-93859-29 Internet: http://www.oekobit-biogas.com Email: info@oekobit-biogas.com</p>	<p>Proveedor completo de plantas de biogás.</p>

Tecnología	Contacto	Descripción/Servicios
<p>UTECH GmbH</p> 	<p>D 28217 Bremen Cuxhavener Straße 10 Tel: 0421-38678-30 Fax: Internet: http://www.utech-bremen.de Email: utech@utech-bremen.de</p>	<p>Planta de purificación de biogás (sistema PSA), inyección en el red, sistemas de medición y plantas de cogeneración.</p>
<p>North-Tec Maschinenbau GmbH</p> 	<p>D 25821 Bredstedt Oldenhörn 1 Tel: 04671-927980 Fax: 04671-9279811 Internet: www.north-tec.de Email: info@north-tec.de</p>	<p>Tecnología para plantas de biogás</p>
<p>Novatech Gesellschaft für umweltschonende Technologien mbH</p> 	<p>D 74549 Wolpertshausen Frankenstraße 6-8 Tel: 07904-943-0 Fax: 07904-943-1705 Internet: http://www.novatechgmbh.com Email: biogasfachverband@novatechgmbh.com</p>	<p>Tecnología para plantas de biogás</p>
<p>Schmack Biogas GmbH</p> 	<p>D 92421 Schwandorf Bayernwerk 8 Tel: 09431-751-110 Fax: 09431-751-5210 Internet: http://www.schmack-biogas.com Email: info@schmack-biogas.com</p>	<p>Tecnología: la gama de productos incluye desde sistemas para plantas en el rango de potencia de 50 kW en sistemas compactos, hasta sistemas de alimentación de gas de 20 MW.</p>
<p>PROTECH</p> 	<p>Hauptverwaltung Stuttgart Ölgrabenstr 13D -71292 Frieolzheim Tel: +49-(0)7044-9422-0 Fax: Internet: www.protech.de/ Email: info@protech.de</p>	<p>Proveedor de tecnología: sistemas de bombeo, tanques de almacenamiento de gas.</p>
<p>SCHACHTBAU NORDHAUSEN GmbH</p> 	<p>D 99734 Nordhausen Industrieweg 2a Tel: 03631-632-463 Fax: 03631-632-578 Internet: http://www.schachtbau.de/ Email: biogas@schachtbau.de</p>	<p>Proveedores de material constructivo especializado.</p>

Tecnología	Contacto	Descripción/Servicios
<p>TEWE Electronic GmbH & Co KG</p> 	<p>D 48686 Vreden Postfach 14 61 Tel: 02564-93550 Fax: 02564-33715 Internet: http://www.tewe.com Email: info@tewe.com</p>	<p>Proveedores de tecnología para plantas de biogás.</p>
<p>WHG Anlagenbau GmbH & Co. KG</p> 	<p>D 95488 Hummeltal Otto-Hahn-Str. 2 Tel: 0921-348999-50 Fax: 0921-348999-59 Internet: http://www.whg-biogas.de Email: info@whg-anlagenbau.de</p>	<p>Proveedor de tecnología: sistemas de calefacción, motores de cogeneración, sistemas de control.</p>

Tabla 11: Proveedores de Tecnología

Serv. Optimización	Contacto	Descripción/Servicios
<p>Energieraum GmbH</p> 	<p>D 26127 Oldenburg, Eßkamp 109 Tel: 0441-390111-0 Fax: 0441-390111-40 Internet: http://www.energieraum-e3.de Email: info@energieraum-e3.de</p>	<p>Servicio de biológico a todas las plantas de biogás y tipos. Atención integral, análisis regulares y uso de aditivos, cuando sea necesario.</p>
<p>EVIT GmbH</p> 	<p>D 80797 München Schleißheimer Str. 180 Tel: 089-3000600 Fax: 089-30006060 Internet: http://www.evitgmbh.de Email: info@evitgmbh.de</p>	<p>Compra y venta de electricidad, conceptos de energía para los municipios y suministro de calefacción, contratos de concesión por municipios, Potencia / Cálculo de Ingresos, auditorías del rendimiento.</p>
<p>VPP Energy GmbH</p> 	<p>D 80992 München, Riesstraße 20 Tel: 089-158887-90 Fax: 089-158887-91 Internet: http://www.vppenergy.de Email: johannes.jungwirth@vppenergy.de</p>	<p>Marketing directo. Optimización de plantas de biogás. Diseño, planificación y construcción de extensiones para aumentar la flexibilidad y el ingreso de plantas existentes.</p>
<p>SaM-Power GmbH</p> 	<p>D 27419 Sittensen Schmiedestr. 9 Tel: 04282-6349912 Fax: 04282-6349919 Internet: http://www.sam-power.de Email: info@sam-power.de</p>	<p>Optimización de plantas de biogás, venta de aditivos.</p>
<p>SYSWE Systemtechnik Weser-Ems GmbH</p> 	<p>D 27777 Ganderkesee Industriepark 7 Tel: 04222-70999 Fax: 04222-70444 Internet: http://www.syswe.de Email: info@syswe.de</p>	<p>Optimización de plantas de biogás, detección de fugas mediante termografía.</p>
<p>Radius Energy Partners GmbH</p> 	<p>D 20354 Hamburg Alsterarkaden 9 Fax: 040-789 175 30 Internet: http://www.radius-energy.de/ Email: c.anker@radius-energy.de</p>	<p>Optimización y reconfiguración de plantas de biogás.</p>

Tabla 12: Servicios de Optimización