

Proyecto Final de Ingeniería

“Construcción de un biodigestor
para la obtención de biogás y
abono”

Alumno: Federico Shedden L.U.:128291

Tutor: Ing. Daniel Zambrano



UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS

ABSTRACT

This project comes from three major motivating factors, mainly environmental care, secondly the lack of utilization of alternative energy sources in our country in contrast to the looming energy situation that it is being part of, and finally to be able to offer help and a stimulus to small and medium farmers when started using the bio-digestion as a renewable energy.

Technical, economic and environmental studies will be shown about the incorporation of a digester to produce biogas and fertilizer in a field dedicated to milking, located in the district of Lujan, Buenos Aires. Whereas this Property as an example of the vast majority of small and medium agricultural producers in the country.

Biogas is the product of the biodegradation of organic matter from the action of certain bacteria and microorganisms in wet and anaerobic environments (in the absence of oxygen). In addition, above this decomposition process some organic compounds and mineral status can be used as a fertilizer (biofertilizer).

Using manure as organic matter that is provided to us from cows of the establishment involved, it will be analyzed the amounts of biogas and bio-fertilizer that could be produced by reducing the environmental impact before generated, and which would be the appropriate method for biodigestion resources.

It will also be analyzed the use that will carry our final products and which savings will then produce the same (gas, electricity and fertilizer). Finally, an economic study of the recovery of investment for this project will be made.

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto surge a partir de la motivación de tres importantes factores, el cuidado del medio ambiente principalmente, la falta de aprovechamiento de las energías alternativas en nuestro país en contraste con la preocupante situación energética que el mismo atraviesa y por ultimo poder brindarle una ayuda y un estímulo a los pequeños y medianos productores agropecuarios a la hora de iniciarse en el uso de la biodigestión como energía renovable.

Se plasmara el estudio técnico, económico y ambiental de la incorporación de un biodigestor para la obtención de biogás y fertilizante en un campo dedicado al ordeño, ubicado en el partido de Lujan, Provincia de Buenos Aires. Considerando a este establecimiento como ejemplo de la gran mayoría de pequeños y medianos productores agropecuarios que existen en el país.

El biogás es el producto de la biodegradación de la materia orgánica a partir de la acción de ciertas bacterias y microorganismos en ambientes húmedos y anaeróbicos (en ausencia de oxígeno). Por otro lado, en este proceso de descomposición algunos compuestos orgánicos pasan al estado mineral y pueden ser utilizados como fertilizante (biofertilizante).

Utilizando como materia orgánica el estiércol que nos proveen las vacas del establecimiento mencionado, analizaremos las cantidades de biogás y biofertilizante que podríamos producir reduciendo el impacto ambiental que antes generaban y cuál sería el método de biodigestión adecuado para los recursos con que contamos.

Se analizará también el uso que se le dará a nuestros productos finales y que ahorro nos producirían los mismos (gas, electricidad y fertilizante). Por otra parte estudiaremos económicamente el recupero de la inversión para este proyecto.

ABSTRACT	2
RESUMEN EJECUTIVO	3
1. INTRODUCCION	7
1.1 Presentación del establecimiento	7
1.2 Justificación del proyecto	9
1.3 Objetivos del proyecto	11
1.4 Alcance del proyecto	12
2. APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA	13
2.1 Biomasa	13
2.2 Historia de la aplicación del biogás	14
2.3 Actualidad internacional	15
2.4 Contexto nacional	16
3. BIOGAS	18
3.1 Introducción	18
3.2 Características del biogás	19
3.2.1 Calidad del biogás	21
3.2.2 El biogás en comparación con otros combustibles	22
3.3 Obtención del biogás	22
3.3.1 Digestión anaeróbica	23
3.3.2 Fases del proceso	24

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

3.3.2	Fases del proceso	24
3.3.3	Principales factores que afectan a la producción de biogás	26
3.3.4	Factores que inhiben a la producción de biogás	39
3.4	Elección del tipo de biodigestor ara el proyecto	40
4. ANALISIS DE OFERTA Y DEMANDA DEL PROYECTO		42
4.1	Materia prima	42
4.2	Producto y subproducto	45
4.3	Ventajas de los nuevos productos	46
4.4	Oferta	48
4.5	Demanda del establecimiento	50
4.6	Demanda satisfecha y excedente	52
5. ANALISIS TECNICO		53
5.1	Aspectos a tener en cuenta	53
5.2	Biodigestor de Hormigón	53
5.2.1	Instalaciones principales y dimensionamiento	55
5.2.2	Lógica de automatización	63
5.2.3	Demanda energética anual de la planta de biogás	67
5.3	Localización	68
5.4	Puesta en marcha y mantenimiento	71
6. ESTUDIO ECONOMICO FINANCIERO		73
6.1	Costos	74

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

6.2 Venta de biofertilizante	75
6.3 Venta de energía eléctrica	75
6.4 Ahorro de energía eléctrica	76
6.5 Financiación	76
6.6 Cash Flow	77
7. MARCO LEGAL	79
8. CONCLUSION	80
9. FUENTES Y BIBLIOGRAFIA	82
9.1 Fuentes	82
ANEXOS	83

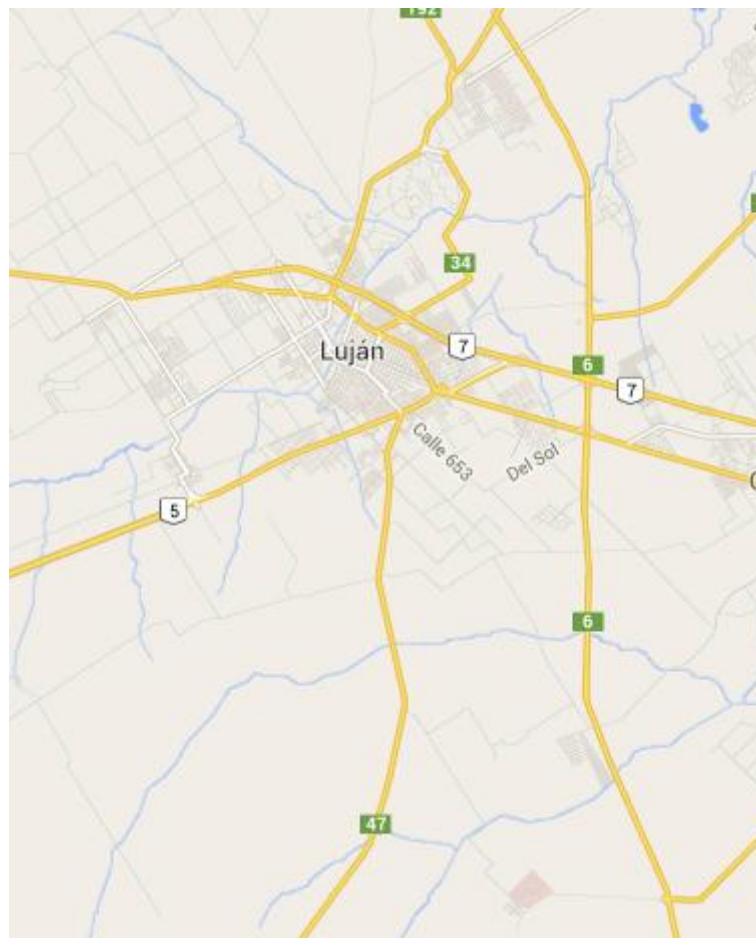
1. INTRODUCCION

1.1 Presentación del establecimiento

La empresa donde se basara nuestro proyecto es un establecimiento ganadero dedicado a la industria lechera. Su principal negocio es la venta de leche y como negocio secundario se fabrica masa de mozzarella para su posterior cocción. Para los mismos cuenta con 665 vacas en ordeño.

El campo está ubicado en las afueras del partido de Lujan, provincia de Buenos Aires (Mapa I y II) y cuenta con unas 70 ha (Mapa III) las cuales se alquilan para la siembra donde generalmente se realiza una rotación normal de cultivos de maíz, trigo y soja de segunda.

Mapa I: Mapa de la localidad de Lujan



Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Fuente: Google Maps

Mapa II: Vista aérea del establecimiento



Fuente: Google Maps

Mapa III: Espacio alquilado del campo



Fuente: Google Maps

1.2 Justificación del proyecto

Como dijimos anteriormente, la principal actividad del establecimiento es la ganadera. Esta actividad le genera al establecimiento cantidades enormes de desechos orgánicos (deyecciones vacunas) las cuales son eliminadas de una manera que no protege el medio ambiente y desperdicia las cualidades energéticas de los mismos.

Si bien la mayoría de las vacas están ubicadas en establos de hormigón, todavía queda un último establo en construcción el cual se prevé estará terminado a fines del año 2014. Contando con los la totalidad de los animales en este tipo de establos se asegura la recolección de la totalidad de los desperdicios del 100% de los animales. En la actualidad el tambo cuenta con una serie de canaletas que con la ayuda de una bomba estercolera juntan el material orgánico en cada limpieza (generalmente durante los dos

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

ordeños diarios) de manera que la biomasa ya cuenta con un sistema de acumulación (necesario para el proyecto) lo cual facilitaría su aprovechamiento.

Con la incorporación de una planta de biogás en el establecimiento no solo se estaría protegiendo el medio ambiente (motivo principal de este proyecto) reduciendo la contaminación al agua y el calentamiento global, sino que también se estaría generando energía eléctrica y térmica que provocaría ahorros en nuestro consumo de la red pública y en caso de generarse excedentes podrían comercializarse y generar un ingreso donde antes no existía. Lo mismo sucede con los nuevos desechos que genera la planta de biogás (estiércol biodegradado) los cuales adquieren un valor agregado convirtiéndose en un fertilizante de alta calidad. De esta manera, además de potenciar la actividad principal de la empresa (mejorando las condiciones de higiene), se desprenderían de la misma dos nuevas unidades de negocio. Por un lado la venta de energía eléctrica (posibilidad de venta a la cooperativa local o directamente a CAMMESA) y por otro la venta de biofertilizante a campos vecinos. También es importante destacar que con este proyecto también reduciríamos los olores molestos que estos desechos generaban.

Como parte de la justificación presentaremos un análisis FODA del proyecto en el establecimiento.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

FODA

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa recolectada por un sistema ya existente • Maquinaria propia para brindar servicio de fertilización • Tendido eléctrico en el establecimiento apropiado para la venta de energía eléctrica a la red • Flexibilidad operativa frente a cambios de sustratos 	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo y promoción institucional a proyectos de energía renovable • Gran mercado para replicar el proyecto • Creciente interés empresarial hacia la bioenergía y la certificaciones de buenas practicas • Posible quita de subsidios en precio de energía
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Alto monto de inversión • Necesidad de financiamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Legislación insuficiente • Ausencia de tarifa prefijada para la venta de energía eléctrica • Subsidios al precio de la energía • Problemas en la importación de equipamiento

1.3 Objetivos del proyecto

Los objetivos específicos de este proyecto son:

- Diseñar una instalación tipo para un productor ganadero/lechero de un tamaño sustentable.
- Efectuar el cálculo y diseño básico de los componentes principales de la instalación.
- Evaluar la factibilidad económica en términos del período de recuperación de la inversión.

1.4 Alcance del proyecto

En este proyecto final de ingeniería se realizara el análisis teórico, técnico, económico financiero, impacto ambiental y marco legal de la incorporación de una planta de biogás en un mediano establecimiento vacuno.

Si bien realizaremos el dimensionamiento de la planta acorde a las necesidades del campo en cuestión, no nos meteremos con las instalaciones de tuberías ni con la instalación eléctrica para inyección de energía eléctrica a la red pública ya que consideramos que esos campos serán analizados en su momento por profesionales en esos ámbitos. Por otro lado tampoco se aportaran avances tecnológicos, se trabajara con las tecnologías existentes y las maquinarias disponibles.

Finalmente se analizara la viabilidad del proyecto realizando el estudio económico financiero donde se verá el monto del préstamo necesario y la amortización del mismo así como la TIR, el VAN entre otros indicadores.

2. APROBECHAMIENTO DE LA BIOMASA

2.1 Biomasa

Partiendo de la definición que la RAE le da a la biomasa como toda materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía, podemos agregar que en general cualquier substrato que contenga grasas, carbohidratos, proteínas, celulosa y hemicelulosa puede ser utilizado como biomasa.

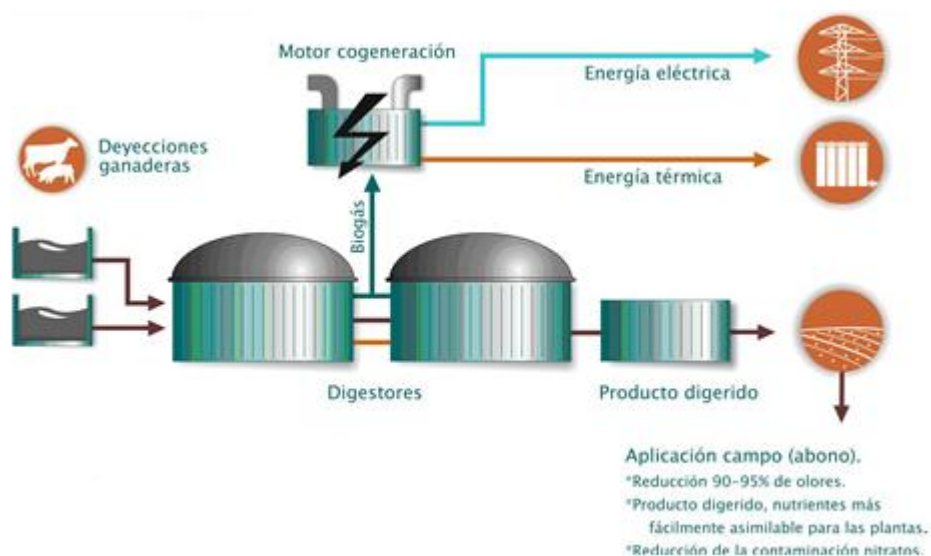
La biomasa podría proporcionar energías sustitutivas a los combustibles fósiles como el petróleo (principal fuente de energía utilizada en el mundo, caracterizada por sus altos costos de obtención y su preocupante impacto ambiental), gracias a agrocombustibles líquidos (biodiesel o bioetanol), gaseosos (biogás) o sólidos (leña), siempre considerando que no se emplee más biomasa que la producción neta del ecosistema explotado, de que no se incurra en otros consumos de combustibles en los procesos de transformación y de que la utilidad energética sea la más oportuna frente a otros usos posibles (como abono y alimento).

Existen una serie de factores que condicionan el consumo de biomasa y que hacen que este varíe de unos a otros, tanto cuantitativamente como en el aprovechamiento de la energía. Estos factores se pueden dividir en tres grupos:

- Factores geográficos: inciden directamente sobre las características climáticas del país, condicionando por tanto, las necesidades térmicas que se pueden cubrir con energías renovables.
- Factores energéticos: Los precios y características del mercado de la energía determinan si es rentable la construcción del sistema de aprovechamiento de la biomasa para la generación de gas y/o electricidad.
- Disponibilidad de recursos: Incide directamente en la cantidad de productos de energías renovables.

Haciendo foco en nuestro país y en este proyecto en particular, consideramos que siendo Argentina un país con una alta participación del agro y con un muy bajo desarrollo en el ámbito de las energías alternativas, se cuenta cantidades monumentales de estiércol (biomasa) producidos en instalaciones agropecuarias, el cual sin darle un tratamiento adecuado produce biogás emanado a la atmosfera contribuyendo al calentamiento global. Por otro lado se desaprovecha las cualidades energéticas que producen estos desechos.

Diagrama I: Ciclo de la biomasa.



Fuente: [1]

2.2 Historia de la aplicación del biogás

Las primeras noticias de la existencia del biogás datan de varios siglos atrás en Europa y Asia cuando Volta (año 1776) descubrió la formación de un gas sobre pantanos y aguas residuales y relaciono la formación de este gas con la cantidad de materia orgánica depositada en su fondo.

En cuanto a la primer planta de digestión anaeróbica podemos decir que fue construida en Bombay, India (1859) en una colonia de leproso. A partir de allí en India se han construido cientos de biodigestores así como también miles en China, Taiwán, Corea, Tailandia, Kenia y Sudáfrica. Se estima que en estos países se han construido más de 6 millones de digestores.

En 1884 el químico Pasteur realizó estudios del biogás producido por residuos animales. Uno de sus alumnos fermentó 1 m³ de estiércol de ganado a 35°C y obtuvo 100 litros de biogás. Este ensayo llevó a Pasteur a asegurar que se podría utilizar dicho gas como combustible para calefacciones y alumbrado público.

Los digestores anaeróbicos se extendieron en Inglaterra en el año 1890. En ese entonces el biogás se recuperaba y se utilizaba como combustible para las lámparas que iluminaban las calles de Londres. En ese mismo año, una gran fosa séptica, construida por Donald Cameron, producía el gas que alimentaba la red de alumbrado público de la ciudad de Exeter, en Gran Bretaña.

Durante la segunda guerra mundial se construyeron miles de digestores en países como Inglaterra, Francia e incluso Alemania, aprovechando el gas de los mismos para el uso de sus tractores y para la producción de electricidad. Estas instalaciones cayeron en desuso en 1950 con el boom del petróleo.

Hoy en día, con una mayor conciencia en el cuidado de la ecología y el medioambiente, es general la preocupación en el mundo por encontrar energías que reemplacen al petróleo y cada vez más países se desarrollan en el ámbito de la biodigestión.

2.3 Actualidad internacional

Debido a los altos costos de generación de energía eléctrica utilizando combustibles convencionales derivados del petróleo, la contaminación ambiental por su uso, sumado al costo que involucra su obtención y su carácter finito cuya extinción está prevista para este siglo, en el mundo se genera la necesidad de desarrollar proyectos que utilicen energías renovables, tanto para la generación de electricidad y calor como para el cuidado del medio ambiente. Es así como cada vez más países se involucran en la generación de biogás como energía alternativa solucionando así también el problema que causan toneladas de desperdicios orgánicos que por este medio se convierten en algo realmente valioso.

En los últimos 20 años se construyeron más de 10.000 biodigestores en Europa, donde más de 7.000 pertenecen Alemania, el principal productor de biogás del mundo. Por otra parte Europa, Norteamérica y Asia son los tres escenarios donde se producirá un mayor incremento de potencia y de plantas de biogás hasta 2016, pasando de 4.700 a 7.400 MW [2].

Latino América también se está desarrollando en materia del biogás como energía alternativa. En los últimos años países como Chile, Brasil, República Dominicana, Ecuador, Bolivia, Venezuela, México, Costa Rica, etc., han hecho importantes inversiones e incluso leyes promoviendo el uso de dichas tecnologías.

Un reciente estudio realizado por la ONU indica que para el año 2025 se habrán construido más de 100.000 plantas de biogás en el mundo. Actualmente la bioenergía representa un 10% de la matriz energética mundial.

2.4 Contexto nacional

La realidad que atraviesa Argentina en materia energética es realmente preocupante. El país consume más petróleo y gas del que produce y está importando estos insumos a precios cada vez más altos. En 2012 el país desembolsó US\$ 4.700 millones (según datos de la Secretaria de Energía Argentina) en gas natural importado de Bolivia y gas licuado. Hoy en día, la energía eléctrica no puede ser satisfecha en su totalidad, generándose cortes de luz que ya no solo afectan a las empresas nacionales (provocando cortes en la producción y pérdidas incalculables), sino también a todos los ciudadanos perjudicando sus necesidades básicas de vida. En contraposición con esto es de destacar que la Argentina se caracteriza por un sólido sector agropecuario y agroindustrial, la producción de granos, carnes, productos alimenticios, etc. Estas actividades generan una gran cantidad y diversidad de residuos y subproductos agropecuarios, como por ejemplo residuos de procesos agroindustriales y estiércol (materia fecal y orín), materiales que son la materia prima para la generación de biogás y bioenergía. Es decir, el país tiene importantes problemas energéticos pero a la vez cuenta con cantidades colosales de biomasa para producir energía.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Si bien lo hace a paso lento y con cierto atraso respecto a otros países del mundo, Argentina comienza interesarse en el biogás como energía alternativa. Proyectos como “Energías Renovables en Mercados Rurales” (PERMER/1999) y el “programa Nacional de Bioenergía” intentaron e intentaran posicionar el biogás dentro de los hogares argentinos. A estos se le suma el programa GENREN en el que se invirtieron 30 millones de dólares en una central térmica que genera energía eléctrica en base a biogás de 1,8 MW (provincia de Buenos Aires) y el PROSAP (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales) plan para que más de 3.000 tambos generen su propia energía, con el fin de mitigar la contaminación y obtener un fertilizante propio para sus cultivos (provincia de Córdoba). Con estos programas sumados a algunas resoluciones y leyes dictadas por el estado que apoyan y fomentan el uso de estas energías, nuestro país comienza poco a poco a desarrollarse en la obtención de biogás y a aprovechar el favorable escenario que se le presenta a la hora de darle un uso a las grandes cantidades de residuos orgánicos que el mismo produce, solucionando problemas como el déficit energético y aun más importante la contaminación ambiental.

3. BIOGAS

3.1 Introducción

El biogás es un gas combustible cuyos principales componentes son metano (CH₄, entre 50 y 70%), dióxido de carbono (CO₂ entre 25 y 45%) y otros componentes en menores proporciones tales como hidrogeno, nitrógeno y sulfuro de hidrogeno entre otras impurezas que dependen del origen primario del biogás (Tabla I). El metano, principal componente en este gas, es el que confiere su característica combustible brindando un poder calorífico que oscila entre 5500 y 6000 Kcal.

Tabla I: Composición porcentual del Biogás.

Componentes	Concentración
Metano (CH ₄)	50-70%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25-45%
Agua (H ₂ O)	2-7%
Acido Sulfhídrico (H ₂ S)	20-20000 ppm
Nitrógeno (N ₂)	<2% Vol.
Oxigeno (O ₂)	<2% Vol.
Hidrogeno (H ₂)	<1% Vol.

Fuente: [3]

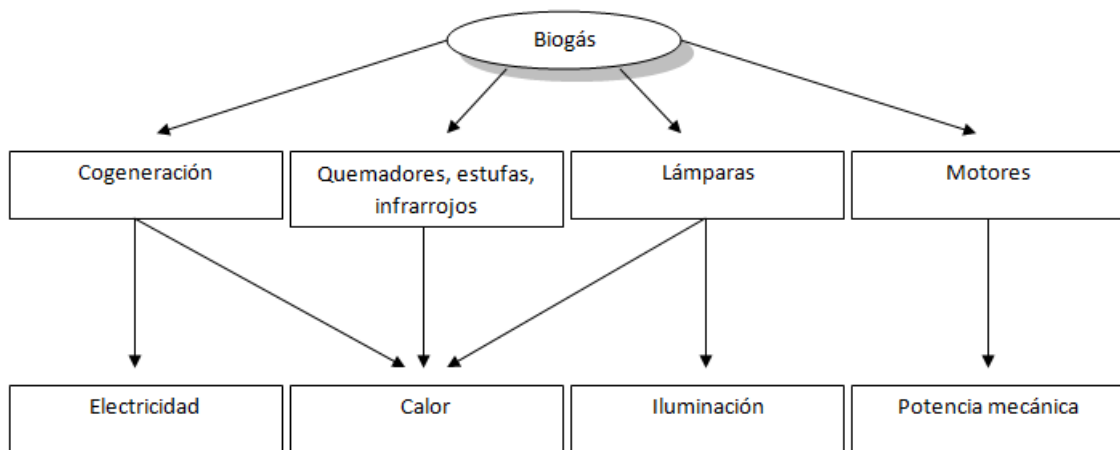
El biogás se genera mediante la descomposición microbológica de materia orgánica biodegradable en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno). Uno de los procesos para la obtención de este gas es la biodigestión (por medio de biodigestores), de la cual no solo se obtiene biogás como producto final sino también biofertilizante, convirtiendo a este proceso en una forma atractiva de generar energía y abono a partir de desechos orgánicos (estiércol vacuno puntualmente en este proyecto).

Es importante destacar que tanto el gas metano como el dióxido de carbono, son los principales contribuyentes al calentamiento global de manera que dándole un correcto tratamiento a los desperdicios orgánicos no solo estaríamos ahorrando dinero

en energía y abono sino también reduciendo el impacto ambiental que estos desechos provocan.

Como se muestra en el diagrama I a partir del biogás se puede llegar a la obtención de energía en distintas formas, electricidad, calor, iluminación o potencia mecánica. En el caso particular de la electricidad, se requiere motores de combustión interna instalados en la planta de biogás. Estos motores funcionan con el gas generado por la digestión anaeróbica y se alimentan del biogás directamente del digestor o de un gasómetro externo.

Diagrama II: Principales usos del biogás.



Fuente: Elaboración propia.

3.2 Características del biogás

El biogás posee un poder calorífico entre 4.700 y 5.500 Kcal/m³ dependiendo del contenido de gas metano CH₄ y puede generar una gran cantidad de calor de aproximadamente 2.200 BTU/m³ o 21.5 MJ/m³ valor que puede variar entre 19.7 y 23 MJ/m³. Con respecto a la temperatura de auto-ignición podemos decir que es similar a la del metano y varía entre 650 y 750 °C. Un m³ de biogás aprovechado en un generador de energía eléctrica es suficiente para generar un estimado de 6,0 kWh de electricidad, generar 20 horas de luz equivalente a una bombilla de 100 W o hacer funcionar un motor de 3 HP durante una hora (estos valores dependen considerablemente de la eficiencia de los equipos que se utilicen para el aprovechamiento del biogás).

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

En la tabla II se muestran algunas de las propiedades de una composición estándar de biogás.

Tabla II: Propiedades de una composición estándar de biogás.

Energía contenida	6,0 – 6,5 Kwh/m ³
Equivalente en combustible	0,6 – 0,65 L _{petróleo} / m ³ biogás
Limite de explosión	6 – 12 % biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750 °C (según metano contenido)
Presión crítica	75 89 bares
Temperatura crítica	-82,5 °C
Densidad normal	1,2 Kg/m ³
Olor	Huevos en mal estado
Masa molar	16,043 Kg/Kmol

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los efectos de que provocan los componentes del biogás se muestran resumidos en la Tabla III.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Tabla III: Componentes del biogás y sus propiedades.

CO₂	25 - 50 % vol.	Baja el poder calorífico
		Incrementa el número de metano
		Causa corrosión
		Daña celdas alcalinas de combustible
H₂S	0 - 0,5 % vol.	Corrosión en equipos de piping
		Emisiones de SO ₂ después de los quemadores
		Emisión de H ₂ S en combustión imperfecta
		Inhibición de la catálisis
NH₃	0 - 0,05 % vol.	Emisión de Nox
		Daño en las celdas de combustibles
Vapor de agua	1 - 5 % vol.	Corrosión en equipos de piping
		Daños de instrumentación por condensado
		Riesgo de congelar y bloquear tuberías y válvulas
Polvo	> 5µm	Bloque las boquillas y celdas de combustibles
N₂	0 - 5 % vol.	Baja el poder calorífico
Siloxenos	0 - 50 [mg/m ³]	Actúan como abrasivos, daño en motores

Fuente: [4]

3.2.1 Calidad del biogás

Lo que hace a que el biogás se de mayor o menor calidad es el porcentaje de metano que contenga el mismo, ya que es este gas el que le da su poder calorífico. Lamentablemente hay poco que se pueda hacer para influenciar la calidad del biogás que se puede obtener de determinada biomasa. Los factores que varían el contenido de metano son el contenido de humedad, temperatura y tiempo de retención. Depende mayormente del contenido de grasas, proteínas e hidratos de carbono.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

3.2.2 El biogás en comparación con otros combustibles

Si bien la capacidad energética del biogás suele ser más baja que la de los combustibles convencionales, los beneficios ecológicos y económicos hacen que valga pena considerar a este gas como nuestra fuente de energía. En la tabla IV se muestran las equivalencias de 1m³ de biogás con los combustibles convencionales más utilizados.

Tabla IV: Equivalencias del biogás con combustibles convencionales.

Equivalencia energética de 1m³ de biogás		
Cantidades equivalentes	Tipo de biomasa o substrato	Capacidad energética
0,6 Kg	Diesel	12 Kwh/Kg
0,7 Kg	Carbón	8,5 Kwh/Kg
0,6 Kg	Gas Natural	5,3 Kwh/m ³
0,24 m ³	Gas Propano	25 Kwh/m ³
1 m ³ de biogás	Generar Electricidad	2,2 Kwh
1 m ³ de biogás	Generar 20 hs de luz equivalente a una bombilla	100 W
1,43 Kg	Madera	4,5 Kwh

Fuente: [5]

Estos valores pueden cambiar dependiendo de la eficiencia de los equipos utilizados para el aprovechamiento del biogás.

3.3 Obtención del biogás

Como ya mencionamos anteriormente el correcto manejo de los residuos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. La población microbiana juega un importante papel en estas transformaciones, especialmente si se considera que

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

dispone de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de oxígeno, componente universal de las células. Esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar adecuadamente diversos residuos orgánicos. El nombre que se les da a estos procesos son “digestión aeróbica” (presencia de oxígeno) y “digestión anaeróbica” (ausencia de oxígeno).

Si bien es un proceso factible, la digestión aeróbica tiene ciertas desventajas como los altos costos de operación causados por los altos consumos de energía, la falta de parámetros y criterios claros para el diseño y la dificultad que presentan los lodos digeridos aeróbicamente para ser separados mediante centrifugación y filtración al vacío, por estas razones y por estar más familiarizados con las tecnologías de la digestión anaeróbica, es la alternativa en la que haremos foco y basaremos la investigación de este proyecto.

3.3.1 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso natural microbiano que ocurre espontáneamente en la biomasa en ausencia de oxígeno. Mediante este proceso es posible convertir grandes cantidades y variedades de desechos, residuos vegetales, estiércol, efluentes de la industria alimenticia, etc., en dos productos con valor agregados que son el biogás y el bioabono.

En este proceso, más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose solo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en el proceso aeróbico.

Cuando se acumula materia orgánica (compuesta por polímeros como carbohidratos, proteínas, celulosa, lípidos, etc.) en un ambiente acuoso, los microorganismos aeróbicos actúan primero tratando de alimentarse de este sustrato. Este proceso consume el oxígeno disuelto que puede existir. Luego de esta etapa inicial, cuando el oxígeno se agota, aparecen las condiciones necesarias para que la flora anaeróbica se pueda desarrollar consumiendo también, la materia orgánica disponible. Como consecuencia del proceso respiratorio de las bacterias se genera una importante

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

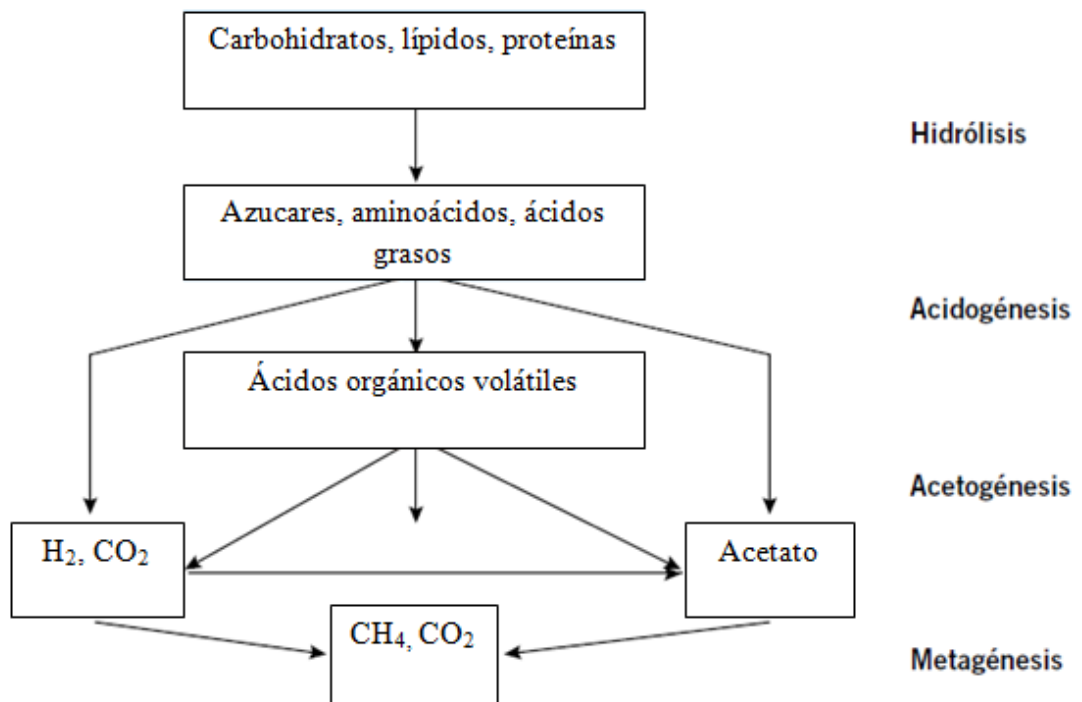
Federico Shedden LU: 128291

cantidad de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y trazas de nitrógeno (N_2), hidrogeno (H_2) y ácido sulfhídrico (H_2S) (el ya mencionado biogás).

3.3.2 Fases del proceso

Se puede asegurar en líneas generales que la digestión anaeróbica se desarrolla en cuatro etapas fundamentales en las cuales, por la acción de diferentes tipos de bacterias, la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para la obtención de biogás y bioabono como producto final. Estas cuatro etapas son, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metagénesis (diagrama II).

Diagrama III: Proceso químico de producción de biogás.



Fuente: [3]

Hidrólisis: En esta fase del proceso la materia orgánica es metabolizada por los microorganismos, descomponiendo cadenas largas de la misma en otras más cortas y obteniéndose así los productos intermedios. Esto se debe a la acción de un grupo de bacterias hidrolíticas que hidrolizan las moléculas solubles en agua, tales como grasas, proteínas y carbohidratos transformándolas en polímeros más simples. Los compuestos orgánicos son solubilizados por encimas excretadas por bacterias

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

hidrolíticas que actúan en el exterior celular por lo que se consideran exoenzimas. La hidrólisis es por tanto, la conversión de polímeros en sus respectivos monómeros. Durante esta etapa ya podemos decir que hay producción de CO_2 .

Acidogénesis: En esta etapa del proceso, los productos intermedios formados en la fase anterior se convierten en ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono. Estas dos primeras fases son realizadas por bacterias hidrolíticas-acidogénicas y las bacterias acetogénicas que son las que se encargan de hidrolizar y fermentar las cadenas complejas de materia orgánica en ácidos orgánicos simples (acético mayormente). El consumo del oxígeno molecular del aire produce el ambiente anaeróbico ideal para el desarrollo de las bacterias estrictas (no crecen en presencia de oxígeno molecular, el oxígeno resulta tóxico en mínimas cantidades). El crecimiento bacteriano en esta etapa es rápido.

Acetogénesis: En esta etapa las bacterias acetogénicas llevan a cabo la degradación de los ácidos orgánicos donde los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos se degradan produciendo ácido acético, llevándolos al grupo acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$ y liberando como productos finales hidrogeno y dióxido de carbono que son los sustratos de las bacterias metanogénicas. Esta reacción es endoenergética (demanda energía para ser realizada) y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que sustraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Debido a la baja concentración de productos finales, se activa la reacción y la actividad de estas bacterias, de esta manera se produce la degradación manteniendo el equilibrio energético.

Metanogénesis: En esta etapa del proceso bacterias metanogénicas estrictamente anaeróbicas (la presencia de oxígeno molecular las elimina) convierten los ácidos orgánicos en dióxido de carbono y metano. Las bacterias más importantes son las que transforman los ácidos propanico y acético, denominadas bacterias acetoclásticas. Otro grupo de bacterias metanogénicas, las hidrogenófilas, consumen el hidrogeno generado en la primer parte de la reacción y lo convierten en biogás. Estas últimas bacterias son fundamentales para el equilibrio de las condiciones ambientales de

la reacción, ya que una acumulación de hidrogeno alteraría la biodigestión de la materia orgánica.

Las tasas de crecimiento de las bacterias metanogénicas son cinco veces menores que las fases de acetogénesis, por lo que son las que limitaran el proceso de degradación anaerobia. Son también las que condicionaran el tiempo de retención de biomasa en el digestor así como la temperatura del proceso.

3.3.3 Principales factores que afectan a la producción de biogás

En la producción de biogás la actividad metabólica involucrada puede ser afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias que intervienen en las distintas etapas del proceso responden de manera diferente a la influencia de estos factores, no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de biogás en forma precisa. Hablaremos un poco más en detalle de los principales factores que afectan al proceso.

Ausencia de oxígeno: Como ya hablamos previamente las bacterias metanogénicas solo pueden existir en ambientes anóxicos, en ausencia de oxígeno. De todas formas, las bacterias metanogénicas no se mueren o se inhiben de inmediato en presencia del oxígeno y esto se debe a que viven en conjunto con otras bacterias que se forman en procesos previos. Estos microorganismos son del tipo facultativo (pueden consumir oxígeno molecular para su metabolismo, se adaptan a la presencia de oxígeno) e irán consumiendo el oxígeno que pueda tener el medio acuoso, de manera que el efecto inhibitorio del oxígeno no es permanente. Es por esta razón que para que ocurra un proceso anaeróbico óptimo, deben crearse las condiciones para la formación de un medio totalmente libre de oxígeno al interior del digestor. Mientras el contenido de oxígeno en el digestor sea menor que el 3-5 % puede desarrollarse el proceso anaeróbico sin consecuencias negativas.

Tipo y calidad de biomasa: La cantidad de biogás depende de la cantidad de grasas, proteínas, hidratos de carbono y nutrientes que contenga el biogás. El proceso anaeróbico no solo necesita de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

La selección del tipo de biomasa influye en la producción de biogás. Por lo general la biomasa con alto contenido de grasas, proteínas e hidratos de carbono es la que más biogás produce pero los digestores necesitan un amplio espectro de nutrientes, es por eso que hay que buscar un punto de equilibrio entre la selección de biomasa para la producción de una mayor cantidad de biogás y una biomasa de alto contenido de nutrientes esenciales para el crecimiento de bacterias. Normalmente las sustancias orgánicas como el estiércol contienen elementos en proporciones adecuadas. Por lo general, en lo que refiere a estiércoles de animales, la degradación biológica de cada tipo de biomasa dependerá básicamente del tipo de animal y la alimentación que haya recibido. En este proyecto el estiércol vacuno será nuestra materia prima. Hablaremos más en profundidad del mismo más adelante.

También el pH de la biomasa tiene influencia en la producción de biogás. Hay que considerar que durante el proceso anaeróbico hay fluctuaciones del pH que pueden ser soportados y equilibrados por el digestor, siempre y cuando el pH se maneje dentro de ciertos rangos. Si se alimenta al digestor con biomasa con un pH demasiado bajo, por ejemplo aguas de proceso o forrajes, puede ocurrir una inhibición del proceso. En este caso hay que regular el pH de la biomasa antes del ingreso al digestor. También pueden formarse muchas espumas en el interior del digestor si el pH de la biomasa que se carga es diferente del pH del interior del digestor.

Mezclado y homogenizado: Para lograr el grado de dilución requerido, es necesario la mezcla y homogenización de la biomasa con agua. El grado de dilución debe ser entre 10-15% de contenido de masa seca, es decir que un porcentaje de dilución del 10% significa que la mezcla tendrá un 10% de masa seca y un 90% de agua. Esto es importante ya que los contenidos de masa seca mayores al 15% inhiben el proceso de degradación en el digestor.

Para homogenizar la biomasa se puede utilizar agua, biol (reciclado del efluente del digestor) o aguas de proceso. Recircular el biol desde el tanque de descarga

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

al tanque de homogenización favorece al proceso de digestión ya que la biomasa se inocula con bacterias digeridas o fermentadas. Si se utiliza agua de algún proceso para la homogenización hay que tener en cuenta que no contenga desinfectantes o elementos químicos que inhiban la producción de biogás.

Si bien idealmente el digestor debe ser alimentado de manera continua, sabemos que en la práctica pocas veces puede darse esta situación y decimos que se alimenta de forma casi continua. No es recomendable que se mezcle u homogenice la biomasa en los tanques de alimentación si esta no se alimenta inmediatamente al digestor. Preferentemente solo se debe homogenizar la biomasa con la que se va a alimentar en ese momento al digestor.

Masa seca (MS): Definimos masa seca como la cantidad de solido que contiene la biomasa o también como la materia seca total con la que se alimenta diariamente el digestor. El contenido de MS determina la consistencia de un residuo. En un digestor operando con estiércol de ganado los valores óptimos de operación oscilan entre 10 y 12 % de materia seca. Esta dilución es importante para establecer un mejor contacto de las bacterias con el sustrato. Mezclas de biomasa con porcentajes de masa seca mayores al 15% son difíciles de bombear por las tuberías de alimentación al digestor y son muy difíciles de agitar en el digestor o se requiere de grandes cantidades de energía para la agitación. En la tabla V se indica el contenido de agua de algunos sustratos.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Tabla V: Contenido de agua de diferentes sustratos.

Contenido de agua de diferentes sustratos	
	Contenido de agua (%)
Vinazas	90 – 94
Cereales	12 – 15
Estiércol de cerdo	85 – 95
Gallinaza	65 – 85
Forraje de maíz	65 – 80
Estiércol de ganado	85 – 95
Frutas – verduras	82 – 95

Fuente: [6]

Masa volátil (MV): La masa volátil o sólidos volátiles es el volumen de masa orgánica que contiene la biomasa, es el componente que se volatiliza después de incinerar la masa seca durante 6 horas en un horno a 550 grados. Las cenizas que quedan después de este secado corresponden al componente inorgánico de la masa seca, es decir el componente que no produce biogás. Es importante el conocimiento de este valor ya que solo este porcentaje es el contenido real de masa orgánica en la biomasa por lo tanto, el que produce biogás durante la digestión anaeróbica en el biodigestor. El contenido de agua no produce biogás pero facilita el proceso de digestión.

Carga orgánica volumétrica (COV): La carga orgánica volumétrica es la cantidad de materia orgánica volátil (MV) con la que se alimenta diariamente al digestor por m³ de volumen de digestor (Kg de MV/m³ de digestor). Este valor depende básicamente de la temperatura del proceso al interior del digestor y del tiempo de retención hidráulica (TRH) y es considerado como un parámetro para controlar la carga del digestor, por esta razón es un factor determinante para el dimensionamiento del biodigestor. Si el sustrato está muy diluido, las bacterias no tienen suficiente alimento para vivir, mientras que si el sustrato está poco diluido, es decir tiene un exceso de sólidos, se disminuye la movilidad de los microorganismos y por consiguiente la efectividad del proceso, ya que les impide acceder al alimento.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

A menor temperatura y mayor TRH, mayor puede ser la COV por lo tanto más masa orgánica puede ser alimentada al digestor. De todas maneras la COV puede aumentarse hasta un valor máximo determinado. A mayor COV, mayor es el riesgo de inhibir el proceso ya que se carga demasiada biomasa a las bacterias. En este caso el proceso se torna muy inestable y tiene que ser observado y analizado con más frecuencia. Generalmente la COV debe alcanzar valores entre 2 – 3 KgMV/m³ de digestor por día.

Otro caso que puede darse es que se mantenga constante el volumen del digestor (m³) y aumente la COV, en ese caso disminuye el TRH por lo tanto las bacterias tienen menor tiempo para degradar materia orgánica y para producir biogás. Para cargas de COV mayores a 3 Kg/m³ se puede dar el caso que la materia orgánica se descargue del digestor a través del efluente sin ser degradada. COV alrededor de 1 – 2 KgMV/m³ no dan absolutamente ningún problema.

Temperatura del proceso: Al igual que muchos procesos biológicos, los procesos anaeróbicos dependen fuertemente del factor temperatura. Esto se debe a que la reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados, que a su vez dependen de la temperatura. A mayor temperatura, mayor será la velocidad de crecimiento de microorganismos y mayor será la producción de biogás, aunque un aumento de la temperatura significa un aumento del requerimiento energético. Las variaciones bruscas en el digestor pueden provocar la desestabilización del proceso, es por ello que para garantizar una temperatura homogénea, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura

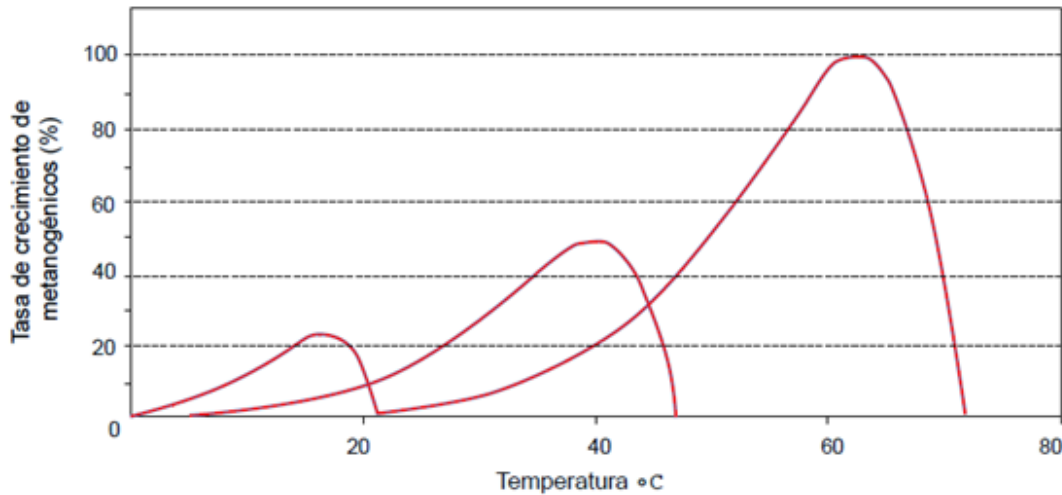
Existen tres rangos de temperatura para la digestión anaeróbica, el rango psicrófilico (por debajo de los 25 °C), el rango mesófilico (entre 25 y 45 °C) y el rango termófilico (entre 45 y 60 °C). Dentro de cada rango, existe un intervalo para el cual el parámetro de crecimiento se hace máximo, la temperatura de trabajo óptima para cada uno de los rangos posibles (diagrama III).

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

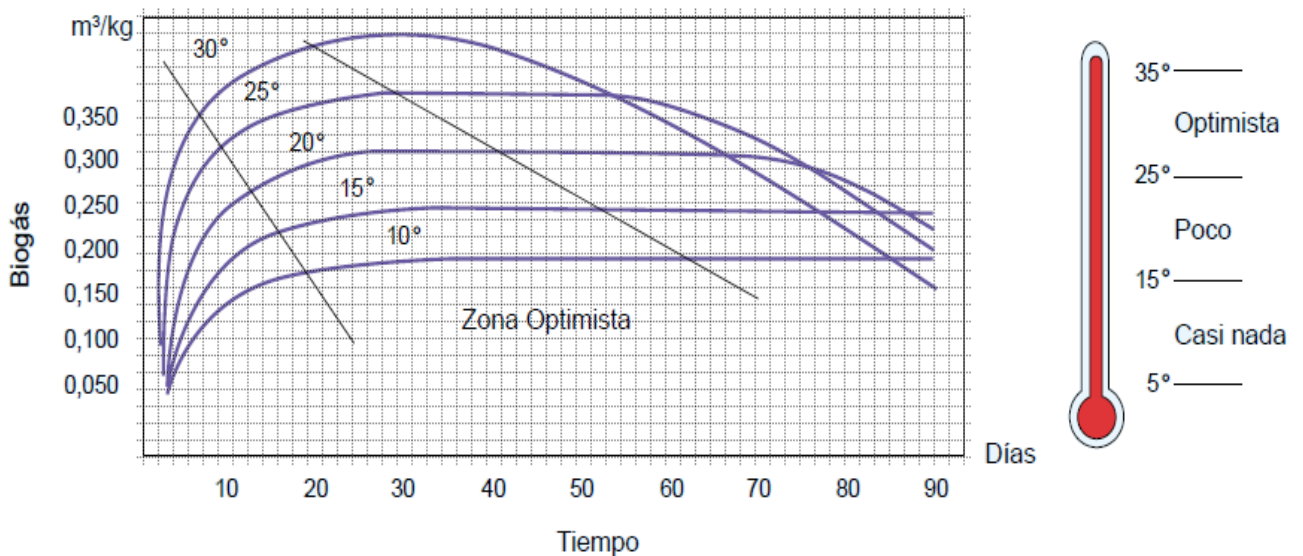
Diagrama IV: Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilicos, mesófilico y termófilico.



Fuente: [7]

Generalmente como regla la actividad biológica se aumenta al doble por cada 10 °C que se aumente, dentro del rango de temperatura optima como se puede ver en el diagrama IV. De todas maneras, para un optimo funcionamiento del digestor, se recomienda que el tratamiento anaeróbico se diseñe para que opere con variaciones de temperatura que no excedan los 0,6 – 1,2 °C/día.

Diagrama V: Producción de biogás en función de la temperatura.



Fuente [8]

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

La temperatura del proceso es también un factor importante en los aspectos físico-químicos del mismo. Al aumentar la temperatura, disminuye la solubilidad de los gases generados, favoreciéndose así la transferencia líquido-gas. Esto significa un efecto positivo para gases como NH_3 , H_2 y H_2S , dada su toxicidad sobre el crecimiento de los microorganismos anaeróbicos. La desventaja que podría acarrear este fenómeno es que al descender la solubilidad de CO_2 , se provocaría un aumento del pH lo que generaría, en lodos de elevada concentración de amonio, posibles situaciones de inhibición por NH_3 .

Por otra parte, al aumentar la temperatura, aumenta la solubilidad de la mayoría de las sales, de manera que la materia orgánica es más accesible para los microorganismos aumentando así la velocidad del proceso.

Además, la temperatura influye directamente en determinados equilibrios químicos, con gran influencia sobre el proceso anaeróbico, como los del amonio-amoniaco libre o ácidos grasos volátiles (AGV) ionizados-no ionizados. En general, con la temperatura se favorecen las formas no ionizadas, que resultan más tóxicas para los microorganismos (NH_3 y AGV-no ionizados).

La temperatura también está relacionada íntimamente con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (tiempo de retención hidráulica, TRH). A medida que aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesita un menor volumen de digestor para digerir una misma cantidad de biomasa. Por último, la viscosidad de sólidos y semisólidos disminuye al aumentar la temperatura, lo que implica menores necesidades de agitación.

Tiempo de retención hidráulica (TRH): El TRH es el tiempo de permanencia de la biomasa en el digestor. Este valor depende de la temperatura ambiental y de la carga orgánica volumétrica (COV) del digestor. El TRH junto con la COV son los principales parámetros de diseño definiendo el volumen del digestor. Este tiempo depende de la degradabilidad de la materia orgánica. Materia de fácil degradación requerirá un menor TRH.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

En un sistema de carga diaria (régimen semicontinuo), el tiempo de retención va a determinar el volumen diario de la carga que será necesario para alimentar al digestor, ya que se tiene la siguiente relación:

$$\frac{\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)}}{\text{Tiempo de retención (días)}} = \text{Volumen de carga diaria } \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Es decir que para un tiempo de retención de 30 días, cada día el digestor será cargado con 1/30 del volumen total del mismo y en promedio los residuos orgánicos y la masa microbiana permanecen 30 días dentro del sistema.

Entonces el TRH está íntimamente ligado a tres factores: la COV, el tipo de sustrato y la temperatura del mismo. Como ya sabemos, la selección de una mayor temperatura de proceso implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de biomasa. En lo que respecta al tipo de sustrato, generalmente las biomazas con mayor porcentaje de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa, demandaran mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos.

En el diagrama V se muestra la influencia del TRH en la producción de biogás donde se deduce que con el aumento de la carga de biomasa al digestor y reducción de TRH, aumenta la productividad de las bacterias, pero por el aumento de la carga volumétrica, disminuye la producción de biogás. La tasa de producción de biogás aumenta de manera proporcional a mayor carga del digestor hasta alcanzar un punto máximo (A). En consecuencia de la creciente carga de biomasa por unidad de tiempo, no se puede degradar la materia orgánica y decae la producción de biogás. Si se sigue acortando el TRH se disminuye rápidamente la producción de biogás, ya que debido al corto TRH se descarga materia orgánica sin que ella se haya degradado en el interior del digestor.

Por lo mencionado anteriormente hay que tener en cuenta que la alimentación con biomasa vaya aumentando paulatinamente y que no se excedan los volúmenes máximos con que se puede alimentar el digestor. En la práctica nunca se alcanza un punto máximo de producción de biogás, el proceso se mueve cerca de la

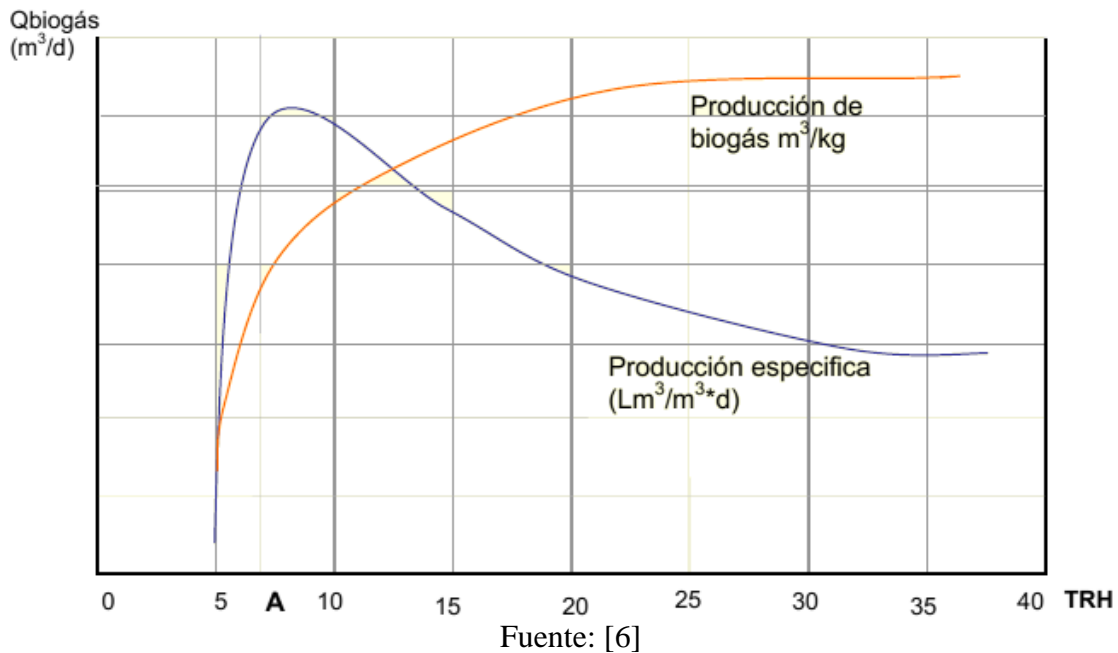
Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

derecha del punto A (diagrama V). Es conveniente encontrar un punto de equilibrio entre la estabilidad del proceso y la producción de biogás.

Diagrama VI: Producción de biogás - TRH



Si el TRH se elige demasiado bajo entonces las bacterias no tendrán demasiado tiempo para formarse y crecer, necesitan aunque sea los días necesarios para duplicarse. Por otro lado, el límite superior del TRH está limitado solo por aspectos económicos. En algún momento sucede que el TRH es muy alto y que la producción de biogás es muy baja y por lo tanto, baja la rentabilidad de la instalación por sus altos costos de construcción. Por todas estas razones económicas será necesario que el TRH se elija considerando el monto de la inversión.

Para calcular el TRH podemos seguir las siguientes consideraciones:

- La COV debe ser menor o igual a 3 Kg/m³ por día.
- El volumen de biodigestor que se obtenga permita aumentos de ± 10% en la cantidad de biomasa que se alimenta al digestor.
- Cuando se dimensione al digestor se debe considerar un volumen de seguridad del 20%.

Acidez: En el proceso anaeróbico, la acidez es uno de los parámetros de control más importantes, debido a que los microorganismos metanogénicos presentan una gran sensibilidad a las variaciones del mismo. Si el valor del pH se mantiene entre 6,5 y 7,5 se consigue un buen rendimiento de degradación de biomasa y una elevada concentración de metano, de otra manera, con valores por debajo de 6,5 la digestión comienza a inhibirse.

Los ácidos grasos volátiles (AGV), entre ellos el acetato, tienden a disminuir el pH del sustrato, entonces si las bacterias metanogénicas no alcanzan a convertir rápidamente los AVG como lo hacen las acetogénicas, estos se acumulan y disminuyen el pH en el digestor. Sin embargo el equilibrio CO_2 - bicarbonato opone resistencia al cambio de la acidez. Por lo general, la concentración de ácidos grasos no supera los 2 a 3 g/l, expresados como ácido acético, de sobrepasar esta concentración la digestión cesará en dos o tres días debido a que los metanógenos no pueden utilizar los ácidos a la misma velocidad con que se producen. Una de las primeras opciones para resolver el problema de la caída del pH, causada por la acumulación de AGV y/o por la excesiva acumulación de CO_2 , es reducir la tasa de carga orgánica volumétrica hasta el punto en el cual los AGV se consuman más rápido de lo que se generan. Una vez que el exceso de AGV se ha agotado, el pH del sistema retorna a los rangos de operación normales y la metanogénesis comienza a repuntar.

Por otra parte, el pH afecta a los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un determinado componente que tenga influencia en el proceso. Este es el caso de los equilibrios ácido-base del amoníaco y del ácido acético: Al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco que, en elevadas concentraciones, es inhibidor del crecimiento microbiano y a valores de pH bajos, se generan mayoritariamente la forma no ionizada del ácido acético, que inhibe el mecanismo de degradación del propionato. La COV puede incrementar gradualmente a medida que el proceso se recupera, hasta completar la capacidad de la carga. En circunstancias extremas también se puede suplementar algún químico para ajustar el pH. Varios productos químicos pueden ser utilizados para el control del pH, dentro de ellos se encuentra la cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), cal virgen

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

(CaO), carbonato de sodio (Na_2CO_3), bicarbonato de sodio (NaHCO_3), hidróxido de sodio (NaOH) y bicarbonato de amonio (NH_4HCO_3). Estos productos se pueden diferenciar en dos grupos:

- Los que ofrecen alcalinidad bicarbonática directamente como NaOH, NaHCO_3 y NH_4HCO_3 .
- Los que reaccionan con gas carbónico para formar alcalinidad bicarbonática como CaO, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y NH_3 .

La cal es aplicada usualmente para reducir el pH, por ser más barata y común, pero por ser un compuesto bastante insoluble puede ocasionar serios problemas operacionales al digestor. El gas carbónico presente en el digestor reacciona con la cal para formar bicarbonato de calcio pudiendo provocar un vacío en el digestor. Si la disponibilidad de gas carbónico no es suficiente para reaccionar con la cal, el pH final puede ser aun más elevado, lo que puede ser más perjudicial que un pH bajo.

El bicarbonato de sodio es más fácil de manipular y es bastante soluble a diferencia de la cal, no requiere gas carbónico pero su costo operativo es más elevado. Para bajar el pH se puede utilizar ácido clorhídrico o sulfato ácido de sodio (bisulfato sódico).

En función de la alcalinidad del medio, el descenso del pH será más o menos rápido. En residuos ganaderos, que presentan altas alcalinidades, la bajada del pH será poco importante incluso aunque se produzcan altas acumulaciones de ácidos.

Alcalinidad [6]: la alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del medio. Esta capacidad puede ser proporcionada por un amplio rango de sustancias, siendo por tanto una medida inespecífica. En el rango de pH de 6 a 8, el principal equilibrio químico que controla la alcalinidad es dióxido de carbono-bicarbonato. La relación de alcalinidad se define como la relación ocasionada por los AGV y la debida al bicarbonato (AT), recomendándose no sobrepasar un valor de 0,3 – 0,6 para evitar la acidificación del digestor. La alcalinidad al bicarbonato debe mantenerse por encima de 2.500 mg/l para asegurar la estabilidad del digestor.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Porcentaje de degradación: El grado de degradación indica el porcentaje de materia orgánica que se degrada durante el tiempo de retención y se transforma en biogás. La degradación total de la biomasa solo sería posible si esta no tuviera lignina. En la práctica se necesitarían tiempos de retención muy altos para lograrlo.

La degradación de biomasa en un digestor no es constante, empieza en forma acelerada y después es bastante lenta. Los últimos porcentajes de biogás (si se intenta lograr la degradación total de la biomasa) se podrían lograr teóricamente con grandes volúmenes de digestor y como ya sabemos eso se transformaría en elevadas inversiones para el proyecto.

El porcentaje de degradación también depende del tipo de biomasa, del tipo de animal y de su alimentación. Si se codigestionan varios tipos de biomasa, depende de las características físico químicas de los componentes de la mezcla en el digestor.

Nutrientes: En el proceso de digestión anaeróbica para la síntesis de nueva biomasa, se necesitan tanto macronutrientes (nitrógeno y fosforo) como micronutrientes (minerales traza). Por otro lado una ventaja de estos procesos, frente a los que funcionan con la presencia de oxígeno, es una baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaeróbicos.

Los niveles de nutrientes deben estar por encima de la concentración óptima para las bacterias que producen metano, ya que estas se inhiben severamente por la falta de nutrientes. La cantidad de nitrógeno y fosforo requerida para la síntesis de biomasa puede calcularse asumiendo la fórmula empírica de una célula bacteriana anaeróbica como $C_5H_7O_2N$. La masa celular consiste de aproximadamente 12% de nitrógeno, lo cual significa que unos 12 g de nitrógeno se requieren por cada 100 g de biomasa producida [8].

La demanda de fósforo corresponde a $1/7 - 1/5$ de la demanda de nitrógeno. Como regla general, se asume que un 10% de la materia orgánica removida

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

(DOQ) durante el proceso anaeróbico se utiliza para la síntesis de biomasa. Esto puede utilizarse para calcular los requerimientos de nitrógeno y fósforo [8].

Tabla VI: Rangos de concentración de nutrientes.

Rangos de concentración de nutrientes necesarios para el correcto crecimiento de las bacterias anaerobias		
	g/kg SSV	g/kg DQO (B)
Nitrógeno	80 – 120	55 – 85
Fósforo	10 – 25	7 – 18
Azufre	10 – 25	7 – 18
Hierro	5 – 15	4 – 11

Fuente: [6]

Agitación y mezclado: Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de las burbujas de biogás producidas por las bacterias metanogénicas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica que reducirían el volumen efectivo del reactor y prevenir la formación de espumas y la sedimentación en el reactor.

La agitación aumenta la producción de gas y disminuye el THR, esto es básicamente por cuatro razones:

- Distribución uniforme de la temperatura y sustrato en el interior del biodigestor.
- Distribución uniforme de los productos, tanto intermedios como finales.
- Mayor contacto entre el sustrato y las bacterias, evitando la formación de cúmulos alrededor de las bacterias.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

- Evitar la acumulación de lodo en la parte superior del digestor, también llamada “nata” o “espuma” que dificulta la salida del biogás.

Se distinguen 3 tipos de agitación, estas son:

- *Mecánica*: a través de agitadores manuales o con motores eléctricos.
- *Hidráulica*: a través de bombas de flujo lento se hace recircular la biomasa.
- *Burbujeo de biogás*: se recircula el biogás producido al fondo del biodigestor por medio de cañerías, para producir burbujeo y de esta manera movimiento de la biomasa.

Para la elección de un determinado sistema de agitación se tendrán siempre presente los objetivos buscados. Hay que tener en cuenta el perjuicio que puede causar una agitación excesiva debiéndose buscar un punto medio óptimo.

3.3.4 Factores que inhiben a la producción de biogás

La producción de biogás puede inhibirse tanto por razones operativas o de mantenimiento como a causa de elementos inhibidores. Estos son elementos que en muy bajas concentraciones actúan negativamente en la producción de biogás o en la estabilidad del proceso anaeróbico. Estos elementos pueden formar parte de las materias primas que entran al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos.

Hay que tener en cuenta durante la alimentación de los biodigestores, que concentraciones muy elevadas de biomasa pueden ocasionar un deterioro del proceso por las altas concentraciones de elementos inhibidores presentes en la biomasa. Por otro lado, elementos esenciales para el crecimiento de las bacterias metanogénicas pueden causar la inhibición del proceso si ingresan al digestor en muy altas concentraciones.

El elemento que particularmente causa inhibición si se encuentra en bajas concentraciones en el proceso es el amoníaco (NH_3). Este elemento debe estar en equilibrio con el contenido de amonio (NH_4) el cual reacciona con el agua y se transforma en amoníaco, lo cual significa que si la biomasa se vuelve alcalina, se rompe

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

el equilibrio de estos elementos y empieza a subir la concentración de NH_3 . La suma de las concentraciones de NH_3 y NH_4 que son mayores a 3000 mg/l actúan como inhibidores del proceso anaeróbico (Tabla VII).

Tabla VII: Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso de digestión anaeróbica.

Amoníaco-N (mg/l)	Efectos
50 – 100	Benéficos
200 – 1000	Sin efectos adversos
1500 – 3000	Efectos inhibitorios a niveles de pH altos
Mayor a 3000	Toxico

Fuente: [8]

Otro elemento que se forma en el proceso anaeróbico y en concentraciones mayores a 500 mg/l, actúa como inhibidor es el H_2S .

La magnitud de toxicidad depende de diversos factores, incluyendo concentración de contaminantes y su aclimatación. En general la velocidad de crecimiento bacteriano aumenta según la concentración de sustrato, llegando a un punto en el que se estabiliza y dependiendo de cada caso concreto, puede llegar a descender (inhibición por sustrato). Así, en términos absolutos, una sustancia es un tóxico o un sustrato dependiendo de su concentración. La magnitud del efecto tóxico de una sustancia puede ser reducida significativamente por aclimatación de la población de microorganismos al tóxico. La temperatura también juega un papel importante en el efecto tóxico de determinados compuestos tales como el amonio, sulfuro, ácidos grasos volátiles, etc.

3.4 Elección del tipo de biodigestor para el proyecto (conclusión)

Como ya mencionamos anteriormente, en este proyecto escogeremos la de digestión anaeróbica para el diseño de nuestro digestor. El mismo puede clasificarse en

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

función de su capacidad para mantener altas concentraciones de microorganismos en el reactor, siguiendo diferentes métodos y utilizando diferentes tecnologías. En nuestro caso nos inclinaremos por el digestor más utilizado en el ambiente agropecuario que es el de tecnología de mezcla completa. El mismo es cargado diariamente en función del tiempo que permanecerá el sustrato dentro del reactor.

Estos sistemas son más eficientes funcionando con una temperatura interna de 35°C en promedio y con una buena agitación del sustrato para evitar una sedimentación y la formación de costra superficial. Dentro de la tecnología de mezcla completa podemos encontrar dos tipos, con o sin recirculación:

- ***Reactor de mezcla completa sin recirculación***

En este reactor se mantiene una distribución uniforme de concentraciones tanto de sustrato como de microorganismos. Esto se consigue mediante un sistema de agitación mecánica o neumática que nunca debe ser violenta. El tiempo de retención necesario es alto en comparación con otros reactores y esto se debe a que la concentración de cualquier especie, que se mantiene en el reactor en régimen estacionario, es la misma que la que se pretende en el efluente.

- ***Reactor de mezcla completa con recirculación***

También llamado reactor anaeróbico de contacto. Esta metodología, al regular la recirculación del material permite tiempos de retención más bajos que en el caso anterior. Esto es a costa de aumentar el tiempo de retención de los microorganismos encargados de realizar la biodegradación, gracias a su confinamiento en el sistema. De esta manera el material ya biodegradado es recirculado a etapas anteriores del proceso en remplazo parcial del agua destinada a disminuir el porcentaje de materia seca.

Considerando el tipo de residuos a tratar y las ventajas que nos brinda el proceso, esta última será la tecnología apropiada para realizar un eficiente tratamiento de los subproductos y un consecuente aprovechamiento energético. Este sistema, además de disminuir el TRH, permite disminuir la utilización de agua en el proceso, debido a que gran parte de la misma se reemplaza por el digestado ya tratado. De esta manera consideramos que le sacaremos el mayor rédito a nuestro proceso.

4. ANALISIS DE OFERTA Y DEMANDA DEL PROYECTO

4.1 Materia prima

Como ya mencionamos anteriormente, la materia prima en una planta de digestión son los desechos orgánicos y particularmente en nuestro proyecto, basándose este en un establecimiento lechero, la materia prima para nuestra planta será el estiércol de vaca lechera. Los establecimientos lecheros son sitios donde el manejo del estiércol es clave para lograr modelos productivos de creciente sostenibilidad. El mal manejo de estiércol se traduce en contaminación y eutrofización del curso del agua, contaminación de aguas subterráneas, mala sanidad en el ordeño y pérdidas de nutrientes que no son reciclados adecuadamente a los cultivos. En la actualidad del establecimiento, estos residuos se han venido utilizando como fertilizante agrícola debido a su alto contenido en materia orgánica y nutrientes minerales. Sin embargo, con el aumento y tecnificación de las explotaciones ganaderas las cantidades de residuos generadas, ya dejan de ser prácticas para este proceso de eliminación. El riesgo de una aplicación inadecuada sumado a los efectos medioambientales y sanitarios consiguientes es muy grande.

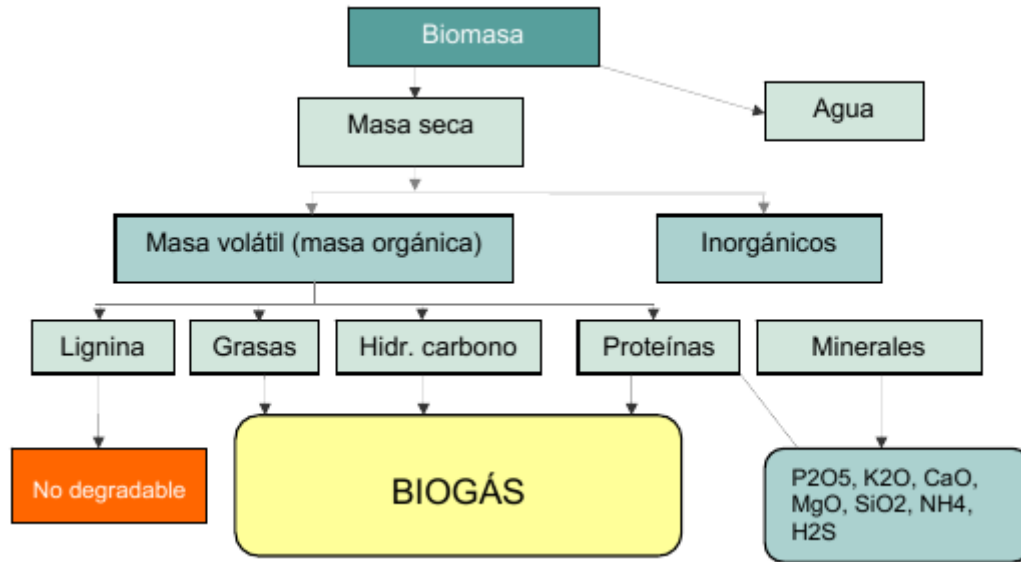
La producción de biogás a partir del estiércol tiene como principal propósito ayudar a la reducción de gases que provocan el efecto invernadero, pero también es una alternativa que permite obtener energía para cubrir las necesidades del establecimiento y resolver problemas como la disposición final de desechos, malos olores, proliferación de roedores y transmisión de enfermedades entre otros. En el caso de la energía que podría producirse podemos decir que 1 kg de biomasa permite obtener 3500 kcal de energía, mientras que 1 litro de gasolina tiene aproximadamente 10000 kcal, de manera que por cada 3 kg de biomasa que se desperdicia, se desaprovecha el equivalente a 1 litro de gasolina aproximadamente. Al utilizar el estiércol del tambo como materia prima para nuestro digestor estaremos aprovechando al 100% nuestro hasta entonces desperdicio. En el diagrama VII se presenta la constitución de la biomasa y su aprovechamiento en el biodigestor.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Diagrama VII: Constitución de biomasa



Fuente [6]

Dentro de las siguientes tablas basadas en las características físico químicas y de producción de biogás (valores promedio) de los desechos agropecuarios haremos hincapié en los dato del estiércol de vaca lechera que es el que nos compete.

Tabla VI: Características físico químicas del estiércol de animales

Sustrato	N	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
	%	%	%	%	%
Estiércol de ganado	2,6 – 6,7	1 – 4	0,5 – 3,3	5,5 – 10	0,3 – 0,7
Purín de cerdo	6 – 18	3 – 17	2 – 10	3 – 7,5	0,6 – 1,5
Majada de ganado	1,1 – 3,4	0,22 – 2	1 – 1,5	2 – 5	1,3
Estiércol de cerdo	2,6 – 5,2	0,9 – 1,8	2,3 – 2,8	2,5 – 3	–
Gallinaza	5,4	0,39	–	–	–

Fuente: [6]

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Tabla VII: Producción de estiércol – base peso del animal

Tipo de animal									
	Pollo engorde	Gallina ponedora	Cerdos	Caballos	Ovejas	Toros	Vacas	terneras	Unid.
Peso vivo	2	2	70	400	60	500	500	40	Kg
Producción de estiércol									
Total	0,19	0,13	5,88	20,4	2,4	29	43	2,48	Kg/d
MS	0,05	0,03	0,77	6	0,66	4,25	6	0,21	Kg/d
MV	0,04	0,02	0,6	4	0,55	3,6	5	0,09	Kg/d
Total estiércol kg/d	0,085	0,064	0,084	0,051	0,04	0,058	0,086	0,062	Kg/kg peso vivo por día

Fuente: [6]

Tabla VIII: Producción de biogás – estiércol (vaca lechera)

	MS	MV	Volumen de biogás	Capacidad energética biogás
Vaca Lechera - estiércol	13%	83% (MS)	0,25-0,40 m ³ /kg MV	6,0-6,5 kw/m ³

Fuente: [6]

De los datos brindados por la tabla VII y VIII nos basaremos para calcular la cantidad de materia prima con la que contamos (tabla IX).

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Tabla IX: Cantidad de materia prima en el establecimiento por día

	Unidad	Cantidad
Vacas de ordeño		665
Peso Promedio	Kg	500
Estiércol total	Kg	28595
Masa seca	Kg	3717
Masa volátil	Kg	3085

Fuente: Elaboración propia

4.2 Producto y subproducto
Producto principal

Nuestro producto principal será el biogás el cual utilizaremos en su 100% para la generación de energía eléctrica. Para obtener electricidad a partir del gas metano es necesario un motor co-generador que funciona a partir de biogás (previamente acondicionado) generando también energía térmica la cual aprovecharemos para climatizar nuestro biodigestor y otras instalaciones. Con la energía eléctrica y térmica conseguida buscaremos remplazar la energía que compramos a la red eléctrica y de gas (GLP propano) pública, realizando así un importante ahorro. En el caso de tener sobrantes de energía eléctrica analizaremos la posibilidad de venderla a la cooperativa eléctrica del partido de Lujan de manera de sacar el mayor rédito posible de este proyecto.

Subproducto

Como subproducto de este proyecto obtendremos biofertilizante de lo que antes solo teníamos estiércol vacuno. Como ya mencionamos anteriormente, las deyecciones de los animales no deberían ser utilizadas directamente como abono. Su carga de microorganismos patógenos, el alto contenido de materia orgánica, la presencia

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

de semillas de malezas y nutrientes sin estabilizar suelen traer problemas en las explotaciones, tanto en el ganado como en el cultivo, teniendo graves implicancias sobre el medio ambiente. Por el contrario el biofertilizante obtenido de la biodigestión controlada puede ser aplicado directamente sobre cultivos y praderas sin ocasionar los inconvenientes antes mencionados.

4.3 Ventajas de los nuevos productos

Ventajas del biofertilizante

Máxima conservación de nutrientes y mejora en su disponibilidad.

Dentro del proceso tradicional de almacenamiento de estiércol el 50% del nitrógeno se pierde por volatilización, desnitrificación y lixiviación. Gracias a la digestión anaeróbica, el N mineral aumenta de 25% a 50% del N total mientras que el N orgánico es conservado casi en su totalidad en el biofertilizante producido, dentro de macromoléculas húmicas estabilizadas. De la misma manera otros macro y micro nutrientes pasan a formar complejos más fácilmente aprovechables por los cultivos.

Ausencia de la microflora patógena.

El estiércol animal puede contener enfermedades peligrosas para la salud humana y animal: la salmonelosis, la ascariasis, las enfermedades intestinales, etc. Gracias a la combinación de las condiciones dentro del biodigestor y pileta de descarga, el biofertilizante obtenido queda muy reducido de microflora patógena.

Actividad de la microflora del suelo.

El biofertilizante promueve la activación de los microorganismos del suelo. Estos microorganismos incorporan los nutrientes aplicados al pool permanente de materia orgánica.

Presencia de reguladores de crecimiento.

Entre la variedad de compuestos que están presentes en el biofertilizante, se encuentran reguladores hormonales del crecimiento vegetal, que promueven el crecimiento y desarrollo de cultivos, como lo son auxinas, giberelinas y citoquininas.

Impacto ecológico.

Gracias al tratamiento que recibe el efluente dentro del biodigestor, la DQO (demanda química de oxígeno) se reduce aproximadamente

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

entre un 60% y 70%. Luego, en el post digestor, este parámetro termina de estabilizarse en un 80% a 90% de reducción.

Ventajas económicas

- Se generan dos nuevas unidades de negocio:
 - Ahorro y venta de energía
 - Servicio de biofertilizante: El biofertilizante generado es de alta calidad y comercializable externamente de forma líquida (para distancias cortas) o sólido (para mayores distancias o requerimientos de almacenaje).
- Evita multas y riesgos de clausura por contaminación.

Ventajas ambientales

- Resuelve el problema sanitario de moscas, gorgojos y roedores que son vectores de enfermedades en animales y humanos.
- No emite olores indeseables debido a que los efluentes del proceso se encuentran degradados biológicamente, conservando de esta manera todos sus nutrientes (biofertilizante).
- El proceso cumple con la LEY N° 11459 de Radicación Industrial de la Provincia de Buenos Aires y con la Resolución N° 18/96 de tratamiento de residuos orgánicos por biodegradación, necesarios para obtener la habilitación emitida por el OPDS (Organismo Provincial de Desarrollo Sostenible).
- El proceso cumple con las normas internacionales ambientales de los combustibles alternativos:
 - Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables;
 - Directiva 2009/73/CE sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural;

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

- Reglamento (CE) N° 185/2007 de la Comisión, de 7 de febrero de 2006, por el que se modifican los anexos VI y VIII del Reglamento 17774/2002 del Parlamento Europeo y de Consejo, en lo que se refiere a las normas de transformación para las plantas de biogás y compostaje y las condiciones aplicables al estiércol.
- Reduce la utilización de combustibles fósiles, disminuyendo la emanación de CO₂ a la atmosfera.

4.4 Oferta

Habiendo establecido nuestros productos finales como energía eléctrica y térmica y biofertilizante, calculamos la oferta de los mismos que proporcionara este proyecto. Los primeros dos dependen del biogás que produzca nuestra planta, el cual a su vez depende de la MS y MV de la materia prima. De los datos promedio proporcionados anteriormente consideraremos:

- MS = 13%
- MV = 83% de la MS
- Volumen del biogás = 0,25 m³/Kg de MV
- Capacidad energética del biogás = 6,25 Kw/m³

De las especificaciones técnicas del co-generador que adquiriremos obtenemos las siguientes especificaciones:

- Rendimiento $\eta = 87\%$
- Rendimiento eléctrico = 34%
- Rendimiento térmico = 66%

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

En lo que respecta al biofertilizante se tendrían en cuenta las siguientes consideraciones:

- Porción de materia prima que se convierte en biofertilizante = 15%
- Biofertilizante liquido = 94%
- Biofertilizante solido = 6%

A partir de estos datos confeccionamos las tablas IX y X.

Tabla IX: Oferta de energía del proyecto.

	Unidad	Cantidad/día	Cantidad/año
Estiércol total	Kg	28595	10.437.175
Masa Seca	Kg	3717	1.356.705
Masa Volátil	Kg	3085	1.126.025
Volumen de biogás	M ³ /Kg MV	771	281.415
Capacidad energética	KW/m ³	4194	1.530.810
Energía eléctrica	KWh	1426	520.490
Energía térmica	KWh	2768	1.010.320

Fuente: Elaboración propia

Tabla X: Oferta de biofertilizante del proyecto

	Unidad	Cantidad/Día	Cantidad/Año
Biofertilizante total	Kg	4289	1.565.485
Biofertilizante solido	Kg	257	93.805
Biofertilizante liquido	Kg	4032	1.471.680

Fuente: Elaboración propia

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Es importante aclarar que si bien se estiman dos paradas mensuales (como máximo) de la planta de biogás por mantenimiento, para los anteriores cálculos se tuvo en cuenta el año como 365 días, ya que la planta contara con una caldera auxiliar que proveerá de calor al reactor cuando el equipo co – generador este parado y el gas se seguirá acumulando en la campana por esos dos días (utilizando el volumen de seguridad de ser necesario).

Concluimos entonces, que la incorporación de la planta de biodigestión nos dejara una producción anual 520,49MW de energía eléctrica y 1010,32MW de energía térmica. Por otro lado también obtendremos 93,805 Tn de biofertilizante solido y 1471,680 Tn de biofertilizante líquido.

4.5 Demanda del establecimiento

Para el cálculo de la demanda del establecimiento solo tendremos la demanda eléctrica y térmica del mismo ya que no cuenta con cosechas que requieran de biofertilizantes (espacio alquilado). De todas maneras realizaremos el cálculo de la demanda de fertilizante que requiere el espacio de campo alquilado para la cosecha para poder analizar luego su comercialización. De existir sobrantes de energía eléctrica también se analizara la posibilidad de comercializarlo de manera de sacarle el mayor rédito a este proyecto.

En lo que respecta al consumo de las dos casas (casa principal y casa del peón) nos apoyaremos para el cálculo de consumo en los datos proporcionados por la secretaria de energía (sobre la provincia de Buenos Aires) de la tabla X y en lo que respecta al consumo de las instalaciones del tambo realizaremos el cálculo teniendo en cuenta la maquinaria con la que cuenta el establecimiento (tabla XI).

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Tabla X: Demanda de energía eléctrica y térmica por hogar

Energía eléctrica	Kw/mes	Kw/año
Consumo casa de familia tipo	550	6600
Energía eléctrica por las dos casas	1100	13200
Energía térmica (dos casas)	Kw/mes	Kw/año
Energía térmica por las dos casas		40000

Fuente: Elaboración propia

Tabla XI: Demanda de energía eléctrica del tambo en el establecimiento

Equipos	Kw (hp)	Cantidad	Total	% Utilización	Total
TAMBO					
<i>Tanque de leche (20000lts)</i>					
Equipo	8,95 (12)	2	17,9	1	17,9
<i>Maquina de ordeño</i>					
25 bajadas (por lado)	11,19 (15)	1	11,19	1	11,19
Bomba de vacio	1,5 (2)	2	3	1	3
<i>Limpieza (carga al digestor)</i>					
Bomba sumergible	2,24 (3)	1	2,24	1	2,24
Estercolera	4,5 (6)	1	4,6	1	4,6
Total					38,93

Fuente: Elaboración propia, datos de las maquinas del tambo

Teniendo en cuenta que se realizan dos ordeños diarios y que la duración de cada uno de ellos es de aproximadamente 4 horas llegamos a la conclusión de que el consumo anual del tambo responde a la siguiente cuenta:

Consumo anual del tambo: $(38,93 \text{ Kwh} \times 4 \text{ hs}) \text{ día} \times 365 \text{ días} = \mathbf{113675,6}$
Kwh/año

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

4.6 Demanda satisfecha y excedente

En el análisis de la demanda satisfecha y los excedentes nos centraremos en los datos de la energía eléctrica ya que su excedente es comercializable. Por otro lado, la demanda de energía térmica será 100% satisfecha por la energía generada y su excedente no es importante para nosotros, se analizara más adelante el ahorro que nos produce el autoabastecimiento de la misma.

En la tabla XII se incluye la energía eléctrica que demanda la planta de biogás (ver punto 5.2.3) para calcular si con el proyecto en marcha podremos reemplazar la energía que comprada por nuestra energía limpia. Tanto el excedente de energía eléctrica como la producción de biofertilizante será material comercializado.

Tabla XII: Demanda satisfecha y sobrantes de energía eléctrica

	Unidad	al año
Energía eléctrica consumida		
Casas	Mwh	53,2
Tambo		113,676
Planta de biogás		224,978
Total	Mwh	351,854
Energía eléctrica generada		
	Mwh	520,49
Sobrante de energía eléctrica	Mwh	128,636

Fuente: Elaboración propia

Concluimos que tenemos un excedente de 128,636 Mw los cuales podremos inyectar a la red pública sacando rédito de esto.

5. ANALISIS TECNICO

5.1 Aspectos a tener en cuenta

Por el lado de los insumos, ya hemos aclarado anterior mente que nuestra materia prima en este proyecto son los estiércoles vacunos que el mismo establecimiento produce, de manera que este proyecto está cubierto en ese sentido.

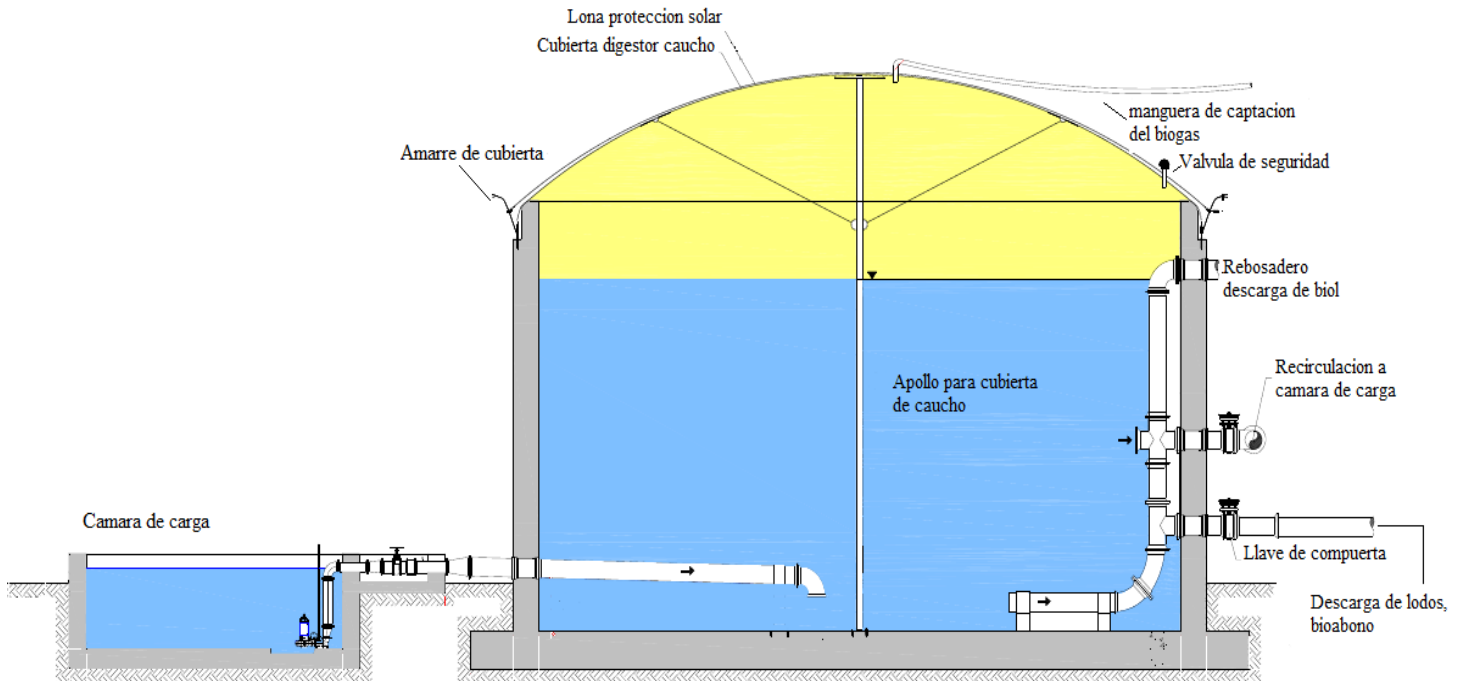
En el punto 3.5 se aclaro el tipo de sistema que se utilizara en el proyecto que es la digestión anaeróbica de mezcla completa con recirculación, de manera que se construirá un biodigestor de hormigón con las características necesarias para las cantidades de insumos que poseemos y las cantidades de productos finales esperados. Para esto el factor tecnológico es de gran importancia ya que se necesitan tecnologías específicas que nos permitan llegar al producto final de la forma más eficiente. Analizaremos las ofertas que nos brinda el mercado en tecnologías especiales para este tipo de plantas de biogás y no entraremos en el detalle del diseño de estos equipos.

5.2 Biodigestor de hormigón [6]

De los corrales de hormigón y del tambo mismo se recolectara el estiércol por gravedad y con la ayuda de la bomba de lavado. En el diseño de este tipo de biodigestor ubicaremos a la cámara de carga levemente por encima de la altura de la entrada de la materia al biodigestor de manera que la carga al mismo se vea simplificada por la acción de la gravedad.

El biodigestor es la parte más sensible e importante en la planta de biogás. Requiere de una especial atención en la construcción para que la losa, las paredes de hormigón y los pasos de las tuberías por las paredes sean ejecutados de tal forma que no ocurran filtraciones o fugas de biogás. En la ilustración I se muestra un plano de un biodigestor de hormigón como ejemplificación.

Ilustración I: Plano de cámara de carga y biodigestor de hormigón



Fuente: [6]

Como se puede observar en la imagen la parte superior del biodigestor está cubierta por una membrana de caucho a la cual se le realiza un amarre en un canal de sello hidráulico. Esta es una forma sencilla pero efectiva para sujetar la membrana y es la tecnología más apropiada, segura y económica para la construcción de estos digestores.

Las estructuras de hormigón armado deberán utilizar un hormigón con una resistencia mínima de 250 kg/cm^2 . Se deberá mantener una protección de 50 mm de los hierros (armaduras) de la construcción en el lado húmedo para evitar la corrosión del material. El enlucido de las paredes se realizara uniformemente de manera que no se produzcan aéreas con espesores menores a 10 mm. El fondo del digester tendrá una pendiente del 0,5% hacia el fondo del pozo de bombeo o de la extracción de lodos. El hormigón utilizado será de una plasticidad moderada (no mayor a 12 cm). En la zona superior de las paredes del tanque, deberá dejarse una franja de 1 m de ancho sobre el nivel de máximo llenado de biomasa y en la parte interior de la losa de cubierta, se debe aplicar un compuesto epoxi/bituminoso con resistencia química, para la protección del

acero contra la oxidación y del hormigón. Se deberán respetar estos valores para realizar de manera óptima este tipo de plantas.

5.2.1 Instalaciones principales y dimensionamiento [6]

Tanque de alimentación

Los tanques de alimentación se dimensionan para el volumen diario de alimentación al digestor, en nuestro caso será 28595 kg de estiércol diario. La mezcla se realizara dos veces al día (dos lavados) y se programara para que la misma alimente al digestor de forma automática durante las 24 hs (horizontalmente). En el cálculo del volumen del tanque se calculara también el volumen del agua que se utilizara para la dilución.

Las paredes de este tanque tendrán un espesor de 20 cm y la losa de cimentación será de hormigón armado de 30 cm de espesor. El piso del tanque tendrá una pendiente de 0,5% hacia la tubería de descarga de material inorgánico. La tubería de descarga hacia el digestor será de polietileno expandido de alta densidad.

Es importante aclarar que el porcentaje de agua a agregar generalmente será el líquido de recirculación o una mezcla de ello con el agua.

Dimensionamiento:

- Densidad del estiércol vacuno: 750 kg/m³
- Volumen de biomasa diaria: $\frac{28595 \text{ kg}}{750 \text{ kg/m}^3} = 38,13 \text{ m}^3/\text{día}$
- Volumen de masa seca (13%): $38,13 \text{ m}^3 \times 0,13 = 4,96 \text{ m}^3/\text{día}$
- Dilución (%) D: 10 %
- Efluente requerido: $= \frac{MS}{D} = \frac{4,96 \text{ m}^3}{0,10} = 49,6 \text{ m}^3$
- Volumen de H₂O en la mezcla (Vm): $49,6 - 38,13 = 11,5 \text{ m}^3$

$$\text{Cilindro: } \pi \times r^2 \times h = 50 \text{ m}^3$$

$$\text{Radio (r) = 2,5 m}$$

$$\text{Altura (h) = 2,6 + 0,3 (borde libre) = 2,9 m}$$

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Biodigestor

Los detalles del biodigestor de hormigón ya fueron descriptos anteriormente. Es importante aclarar que para el cálculo de su dimensionamiento, el volumen total de biodigestor comprende un volumen útil mas el volumen para almacenamiento de biogás y un porcentaje de seguridad (borde libre). Generalmente se debe asignar un borde libre de 1 m o el equivalente al 20% del volumen calculado. Esta segunda opción será la que utilizaremos en el cálculo. Se asigna este porcentaje para cubrir eventuales variaciones en la producción de biomasa.

Dimensionamiento:

De acuerdo con la bibliografía utilizada y a los estudios realizados para este tipo de biomasa y temperaturas en nuestra región se considerara un TRH de 30 días en nuestro proceso.

- Q efluente: 49,6 m³
- Volumen útil de digestor VD: 49,6 m³ x 30 días = 1488 m³
- Carga orgánica volumétrica COV:

$$\frac{MV}{D} = \frac{49,6 \times 0,13 \times 0,83}{1448} = \frac{5,35 \text{ m}^3 \times 750 \text{ Kg/m}^3}{1488} = \frac{4014}{1448} = 2,7 \text{ Kg/m}^3 \text{ día}$$

- Volumen de seguridad: 1488 m³ x 0,20 = 297,6 m³
- Volumen total del biodigestor: 1488 m³ + 297,6 m³ \cong 1786 m³

$$\text{Cilindro: } \pi \times r^2 \times h = 1786 \text{ m}^3$$

$$\text{Radio (r) = 12 m}$$

$$\text{Altura (h) = 4 m}$$

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Imagen I: Biodigestor en construcción



Fuente: [9]

Imagen II: Biodigestor terminado



Fuente: [10]

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Post digestor

El post digestor se dimensiona para la descarga y el almacenamiento de los efluentes (biofertilizantes) del biodigestor. Gran parte de la masa volátil se degrada en el digestor de manera que se obtiene una reducción de los volúmenes diarios de carga. De todas maneras, es recomendable que para el cálculo de volúmenes del post digestor, no se tenga en cuenta esta reducción de descarga por razones de seguridad.

El post digestor será ubicado en una zona baja del terreno, aguas abajo del digestor. En lo posible la descarga del digestor a este se deberá realizar por gravedad aunque en nuestro proyecto se ayudara a este proceso mediante una pequeña bomba.

Construiremos este tanque de descarga de hormigón armado y en forma circular y será acondicionado para recircular parte de su líquido al tanque de alimentación para la dilución del material de carga. De esta manera construiremos esta estructura con una capacidad de 917 m³ de manera que su capacidad de almacenaje será de 20 días ya que el TRH de nuestra materia prima es de 30 días.

Dimensionamiento:

$$\text{Cono trunco: } \frac{1}{3} \times \pi \times h \times (R^2 + r^2 + R \times r)$$

Radio superior (R): 10 m

Radio inferior (r): 5 m

Profundidad (h): 5 m

Es importa aclarar que la totalidad del post digestor no estará bajo la tierra sino que aproximadamente poco mas de 1 m estará sobre ella.

Generación de energía

Como ya mencionamos anteriormente, la generación de energía eléctrica y térmica la obtendremos mediante un motor co – generador que no es más que un grupo electrógeno convencional adaptado para funcionar a base de biogás. A partir de la

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

energía eléctrica generada pretendemos remplazar la energía convencional que contrata el establecimiento de la red pública, alimentando así con la nueva energía limpia el tambo, las dos casas y la planta de biogás misma.

Para el cálculo de la potencia que necesitaremos en el co – generador realizaremos el relevamiento de los equipos que funcionaran en el establecimiento más un 20% de coeficiente de seguridad (Tabla XIII).

Tabla XIII: Potencia requerida por el establecimiento

Equipos	Kw (hp)	Cantidad	Total	% Utilización	Total
CASAS (Ppal y tambero)	20	1	20	0,5	10
TAMBO					
<i>Tanque de leche (20000lts)</i>					
Equipo	8,95 (12)	2	17,9	1	17,9
<i>Maquina de ordeñe</i>					
25 bajadas (por lado)	11,19 (15)	1	11,19	1	11,19
Bomba de vacio	1,5 (2)	2	3	1	3
<i>Limpieza (carga al digestor)</i>					
Bomba sumergible	2,24 (3)	1	2,24	1	2,24
Estercolera	4,5 (6)	1	4,6	1	4,6
DIGESTOR					
Agitador (digestor)	5,6 (7,5)	1	5,6	0,33	1,85
Agitador (post digestor)	11,19 (15)	1	11,19	0,33	3,7
Bomba de tornillo	11,19 (15)	1	11,19	1	11,19
Bomba	5,22 (7)	2	10,44	0,5	5,22
Compresor de gas	7,46 (10)	1	7,46	0,5	3,73
Varios (medidores, etc)	5,97 (8)	1	5,97	0,3	1,8
Total					76,42

Fuente: Elaboración propia

Siendo la potencia requerida 91,7 Kw (76,42 x 1,20 porcentaje de seguridad) concluimos que adquiriremos un motor co – generador de 116 Kw (Imagen VII).

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Imagen VII: Especificación motor Co – generador

Generador		AQL83	AQL99	AQL116
Especificaciones	Standby power [kVA/kW]	83/66	99/80	116/92
	Prime power [kVA/kW]	75/60	90/72	105/84
	Corriente nominal [A]	90,2	108,3	126,3
Motor	Marca	Cummins	Cummins	Cummins
	Modelo	6BTAA	6BTAA	6CTAA
	Cilindrada [L]	5,9	5,9	8,3
	Velocidad de giro [RPM]	1800	1800	1800
	Relación de compresión	10:1	10:1	10:1
	Diámetro*carrera [mm*mm]	102*120	102*120	114*135
	Capacidad de aceite [L]	14,2	14,2	18,9
Alternador	Marca	Leroy Somer	Leroy Somer	Leroy Somer
	Modelo	LSA 43.2 L65	LSA 43.2 L8	LSA 44.2 VS3
Generador	Presión de entrada del gas [kPa]	1-5.5	1-5.5	1-5.5
	Dimensiones (sin gabinete) [mm*mm*mm]	2280*1050*1500	2280*1050*1500	2250*1050*1560
	Peso (sin gabinete) [kg]	1000	1000	1350
	Consumo de biogás [m ³ /h]	0,58	0,55	0,58
Rendimiento	Eficiencia (+/- 2) [%]	85	87	87
	Eficiencia Electrica (+/- 2) [%]	34	34	34
	Eficiencia Termica (+/- 2) [%]	66	66	66

Fuente: Aqualimpia.com

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Tanque de almacenamiento de gas

El volumen de almacenamiento de biogás se calcula en base a la producción de biogás y los consumos horarios del generador de energía eléctrica. En nuestro caso parte del gas se almacenara en el biodigestor y otra parte (para guardar el biogás que no se consume durante el día) se utilizaran tanques de gas a presión y se utilizara un compresor para mantener la presión de la red y del almacenamiento. El agregado de otros tanques de almacenamiento es una opción de ser necesario. Por lo pronto de haber un excedente en la producción de biogás este se liberara por la válvula de seguridad del biodigestor (de ser muy abrupto el exceso en cuanto al tiempo) o se liberara a traves de la antorcha (siempre en caso de ser necesario, de otra manera el biogás es un activo para nosotros y lo que menos queremos es liberarlo).

Antorchas para excedentes

Estas antorchas para quemado de biogás se dimensionan para un volumen de exceso de biogás en caso de emergencia. Como ya aclaramos anteriormente, se debe evitar a lo máximo la combustión de biogás en antorchas. Estas antorchas son necesarias también para cuando el generador de energía eléctrica este en mantenimiento o cuando la generación de biogás supera el requerimiento del generador y no quede espacio disponible en el tanque de almacenamiento.

Las antorchas para el quemado de biogás se construyen generalmente de acero inoxidable e incorporan en la misma unidad un medidor de caudal y un sistema corta llamas.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Imagen III: Antorchas para quemado de biogás



Fuente: [6]

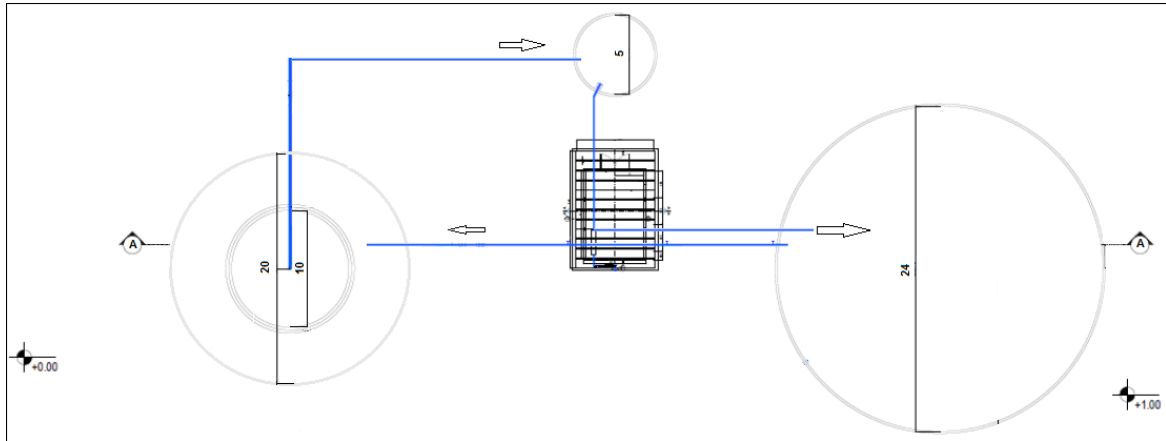
A partir del anterior dimensionamiento podemos presentar los planos I y II donde podemos ver el plano general con la disposición de la planta de biogás y un corte para darle una vista más completa a la disposición.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

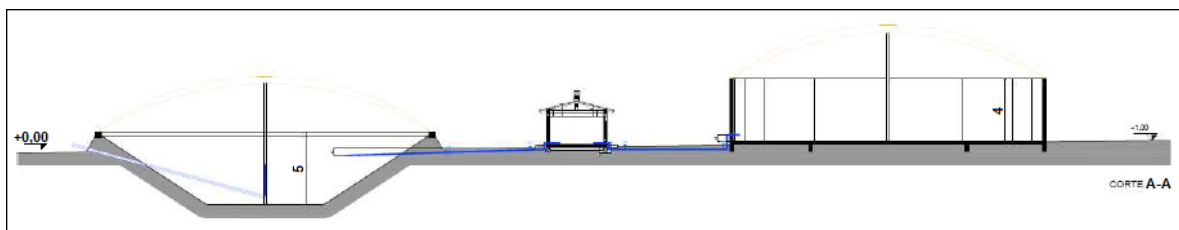
Federico Shedden LU: 128291

Plano I: Plano general de la planta de biogás



Fuente: Elaboración propia

Plano II: Corte A – A



Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Lógica de automatización

El reactor estará equipado con un agitador al igual que el post digestor, cada uno con su variador de velocidad. Estarán automatizados para funcionar 20 minutos por hora, distribuidos a lo largo del día con la posibilidad de aumentar y/o disminuir los intervalos según los requerimientos particulares.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Imagen IV: Digestor, Agitador de 15 hp – diseño para garantizar la mezcla de sustratos



Imagen V: Post digestor, agitador de 15 hp – homogenizado de biofertilizante



El sistema de termalización del digestor se realizara mediante intercambio de calor interno (tipo losa radiante) a partir de un circuito automatizado de electroválvulas y bombeo, distribuyendo el agua termalizada al reactor cuando requiera calefacción. (Imagen VI). La fuente de calor será la disipación térmica del motor co-generador (imagen VII). Para la puesta en marcha de la planta y en paradas técnicas del equipo de co – generación, la fuente alternativa será una caldera autoabastecida a biogás. El circuito se activara según la temperatura interna censada por los dispositivos ubicados en el interior del tanque.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Imagen VI: Sistema de termalización interna



Imagen VII: Motor co-generador (adaptado al funcionamiento con biogás)



El sistema de carga y la recirculación del digestor se realizarán con única bomba de tornillo de 15 hp de potencia (imagen VIII). La secuencia de carga estará conformada por una serie de procedimientos destinados a acondicionar el sustrato (agregado de líquido) para ser ingresado de manera homogénea. Se determinará la configuración del circuito de carga, fijando la cantidad de fluido a recircular, tiempo de funcionamiento del homogenizador y cantidad de agua necesaria para la mezcla.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Imagen VIII: Bomba de tornillo excéntrico



El domo superior del reactor será de membrana de caucho lo que permitirá un almacenamiento dinámico regulando la presión del biogás producido.

Para el control de presiones, caudales y la calidad del biogás se instalará un tren de calibración (Imagen IX) ya que el biogás que ingresara al co-generador tiene que cumplir ciertas condiciones técnicas relativas al volumen, contenido y calidad del CH₄, presión de servicio, seguridad y control.

Imagen IX: Tren de calibración



Fuente: [6]

El operario diariamente tomara muestras de los reactores a los cuales se les medirá el pH, potencial red-ox, conductividad eléctrica y densidad. Estos parámetros como los censados por los dispositivos automatizados tendrán la posibilidad de ser

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

subidos a la web para que una compañía de biogás los supervise en caso de querer contratar el servicio. El instrumental de medición que utilizara el operario, las electroválvulas, los tableros de controles, la bomba de tornillo, motor co-generador, tren de calibración del biogás (caracterización del biogás producido) y caldera se encontraran en la sala de maquinas.

5.2.3 Demanda energética anual de la planta de biogás

La puesta en marcha de la planta de biogás en el establecimiento significara también un consumo extra de energía tanto eléctrica como térmica. Esta demanda estará satisfecha por la energía que la misma producirá.

El consumo de la planta se ve calculado en la Tabla XIV y para la misma se tuvieron en cuenta que la planta funcionara las 24 hs del día y 341 días al año (dos paradas mensuales por mantenimiento).

Tabla XIV: Demanda eléctrica de la planta de biogás

Equipos	Kw (hp)	Cantidad	Total	% Utilización	Total kwh
DIGESTOR					
Agitador (digestor)	5,6 (7,5)	1	5,6	0,33	1,85
Agitador (post digestor)	11,19 (15)	1	11,19	0,33	3,7
Bomba de tornillo	11,19 (15)	1	11,19	1	11,19
Bomba	5,22 (7)	2	10,44	0,5	5,22
Compresor de gas	7,46 (10)	1	7,46	0,5	3,73
Varios (medidores, etc)	5,97 (8)	1	5,97	0,3	1,8
Total					27,49
Total diario (24 hs)					659,76
Total anual (341 días)					224978,16

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al consumo de energía térmica será suplantado por completo por la energía que produce la misma planta (refrigeración del co – generador) y su cálculo no es necesario puesto que esta energía se produce en exceso y su excedente no puede ser comercializado.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

5.3 Localización

Por cuestiones de comodidad, facilidad de carga al digestor y para no necesitar de maquinaria para la misma ubicaremos nuestra planta de biogás junto a los tambos. La cámara de carga estará ubicada por debajo de la línea de los tambos de manera que por gravedad (y con la ayuda de una bomba) se realice el ingreso a la cámara de carga. También el tanque de descarga se lo ubicaremos en un punto más bajo para permitir la descarga por gravedad. Se intentaran aprovechar al máximo las pendientes naturales del terreno y en caso de no ser suficiente se acondicionarán los suelos a las necesidades.

En las siguientes imágenes se muestra como quedaría el establecimiento con la incorporación de la planta de biogás (imagen modificada).

Imagen X: Plano aéreo con planta de biogás



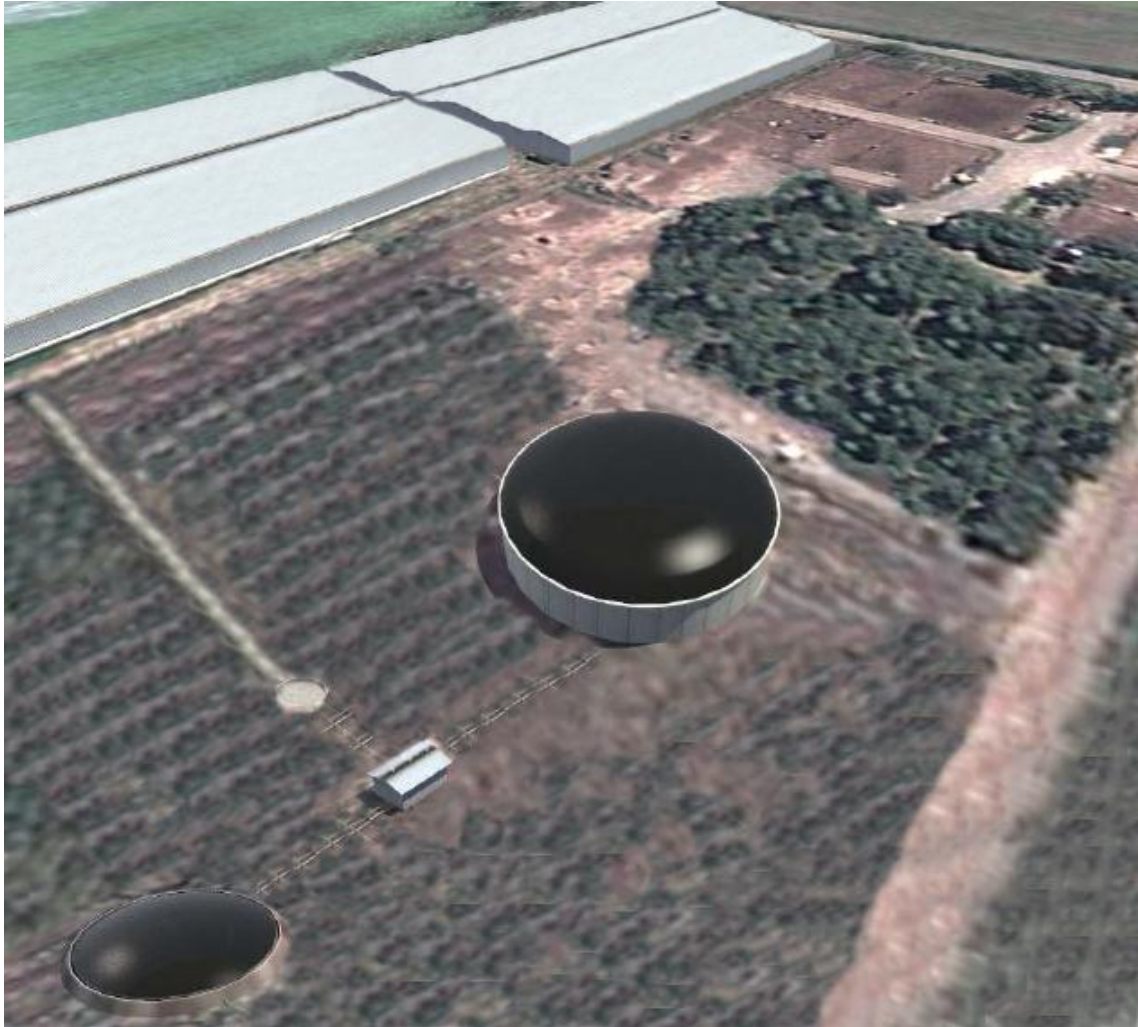
Fuente: Elaboración propia

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Imagen XI: Vista I de la planta de biogás en el establecimiento



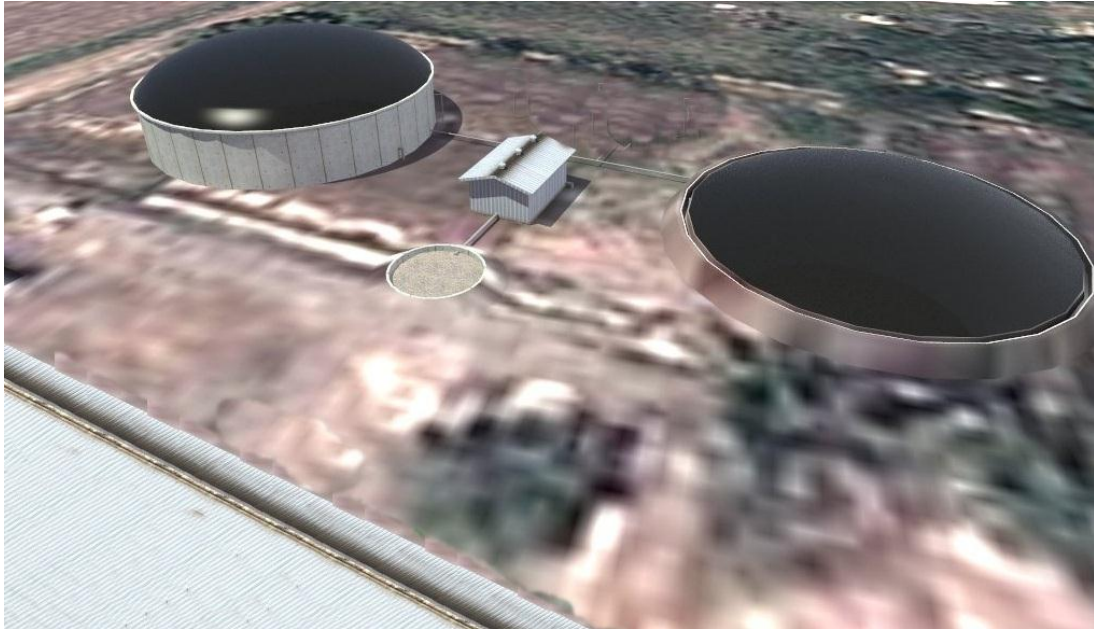
Fuente: Elaboración propia

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

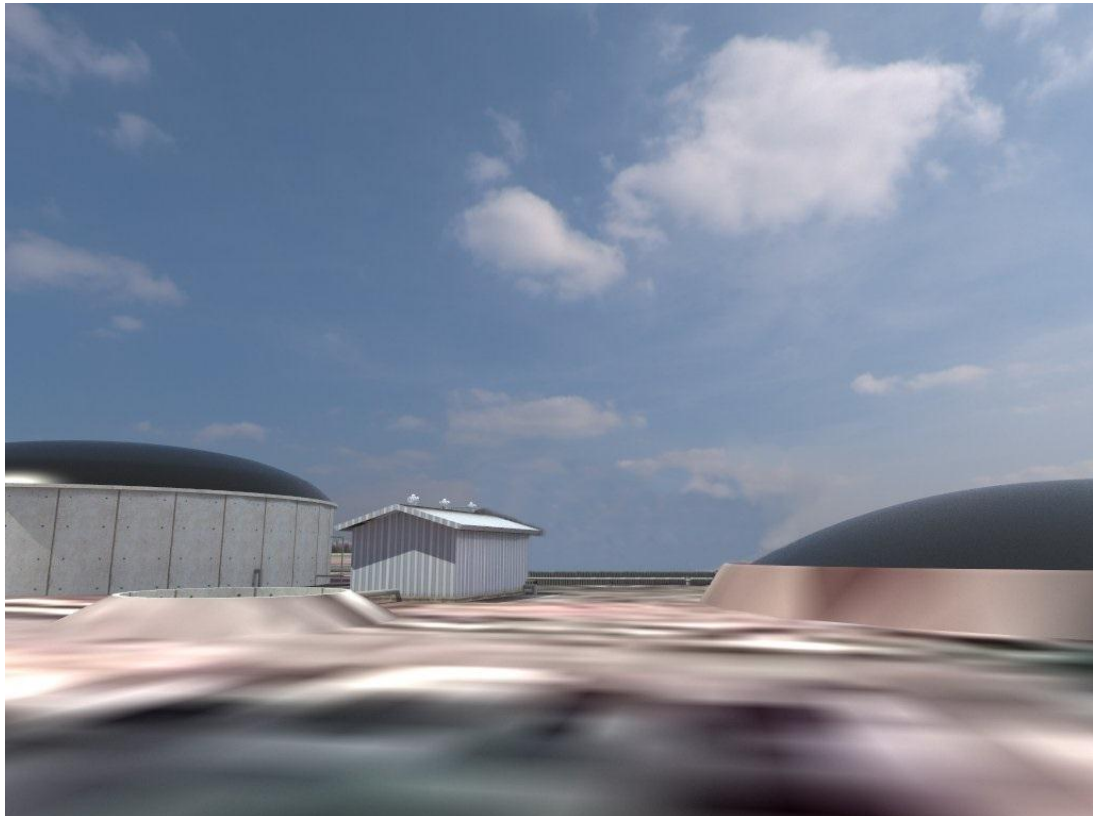
Federico Shedden LU: 128291

Imagen XII: Vista II de la planta de biogás en el establecimiento



Fuente: Elaboración propia

Imágenes XIII: Vista III de la planta de biogás en el establecimiento



Fuente: Elaboración propia

5.4 Puesta en marcha y mantenimiento

Para la puesta en marcha de la planta de biogás, se deberá cumplir con una serie de pasos para asegurar las condiciones óptimas de la misma y que el arranque sea de la mejor manera. Así es como el primer paso consiste en el llenado del reactor con agua sin carga orgánica y dejarlo durante 10 días. Esta primer etapa lleva el nombre de curado y en ella se verifica que no haya ningún tipo de filtraciones en el biodigestor, luego de la misma se deja salir el agua dejando solo el porcentaje necesario para la carga orgánica que ingresará.

Una vez lleno el digestor con la primer carga orgánica, esta permanecerá dentro por aproximadamente 15 días donde comenzaran a aparecer las bacterias metanogénicas (después de la etapa de hidrólisis y acidificación). Durante estos días se dejara abierta la válvula de escape para que se elimine por completo el oxígeno y una vez realizado esto comenzara a producirse biogás. Esta primera producción de biogás se eliminara ya que puede ser peligroso o explosivo o por el contrario podrá ser no combustible por exceso de CO₂. Luego de este proceso se probara el biogás producido utilizando un mechero a la salida del biogás y probando su combustibilidad y el color de su llama.

Una vez que el sistema se encuentra en equilibrio estable consumiendo la carga de diseño, el proceso continuará por determinados períodos de tiempo y necesitará para su mantenimiento una serie de controles adecuados, teniendo en cuenta los dispositivos (medidores de ph, conductividad, temperatura, otros.) necesarios en la instalación que permitan verificar diariamente los parámetros más relevantes y que pueden afectar negativamente el proceso de digestión.

Cabe recordar que el sistema trabaja con microorganismos vivos, una población bacteriana compleja, donde ante cualquier cambio, como una sobrecarga de alimentación, redundará en consecuencias negativas en el funcionamiento del biodigestor, y los aumentos de carga no siempre provocan un aumento en la producción de biogás, sino que ocurre lo contrario, provocando la disminución del rendimiento del digestor hasta su completa ineficiencia y el riesgo de inhibir totalmente la actividad de las bacterias productoras de metano, y esto sucede a causa del aumento desmedido de

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

ácidos grasos volátiles (AGV) inhibidores de la metanogénesis. Es por ello que, deberá establecerse un plan de vigilancia y monitoreo de tal forma que todos los factores y parámetros que intervienen en la producción de biogás funcionen correctamente y con seguridad.

El mantenimiento preventivo constara entonces de el monitoreo diario de los parámetros de biodigestión, revisión del nivel del agua del gasómetro, estado de las mangueras del mismo y verificación de formación de lodos. Dos veces por semana se realizara el chequeo de fugas y estado de las tuberías (uniones y válvulas de alivio). Una vez a la semana se observara la obra física para verificar que todo esté en condiciones y se revisara y evacuara la purga de agua. De manera quincenal se revisaran los filtros de purificación de gas, se revisara de forma general el biodigestor y se realizara una limpieza de los contornos y accesos de la planta y por último se realizaran dos paradas al mes donde se revisaran las maquinarias involucradas por ejemplo el co – generador y el gasómetro (al cual se le cambiara el agua de manera mensual).

Es importante destacar que los operarios que se ocuparan del mantenimiento y operación de la planta, realizaran una capacitación previa a comenzar con su nuevo trabajo. En nuestro caso lo realizaran los dos tamberos que ya trabajan en el establecimiento y los datos recolectados se enviaron a una empresa que se ocupara de realizar el análisis más técnico dándonos una devolución mensual y un mantenimiento especial de ser necesario (mantenimiento correctivo). A razón de cuatro años se realizara un “mantenimiento extraordinario” en el cual una empresa especializada realizara la parada total de la planta y realizara una inspección completa a la misma. Reemplazara piezas o maquinarias averiadas o en mal estado y cambiara tecnologías en caso de ser necesario (avances en maquinaria o materiales).

6. ESTUDIO ECONOMICO FINANCIERO

Es importante aclarar que en este estudio se abordaran solo las variables a las cuales la realización del proyecto les signifique algún cambio. Será el caso entonces de:

- Inversión en construcción de la planta de biogás
- Ahorro de energía eléctrica ahora proporcionada por el biogás
- Venta de la energía eléctrica sobrante
- Venta de biofertilizante

El análisis se realizara para un periodo de 10 años en dólares y para el caso necesario hemos fijado un valor actualizado del mismo de \$8 pesos argentinos ARS. En lo que respecta a la línea de crédito, hemos elegido para este estudio la línea de crédito del sector agropecuario del Banco de la Nación Argentina (en pesos) [11]. El mismo tiene un plazo de 10 años a una TNA del 17,5% amortizada por el sistema alemán. De todas formas consideramos que habrá una inversión propia del establecimiento el cual financiara el 20% del proyecto y espera como mínimo una rentabilidad del 20% por su inversión.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

6.1 Costos

En el siguiente cuadro se muestran los costos totales de la construcción del biodigestor divididos en cada sección de la inversión.

Tabla XIII: Costos Biodigestor

Inversión	Cantidad	U\$s	Total sin IVA	IVA	Total con IVA	Amort (Años)
Activo Fijo						
Equipamiento electromecánico						40
Bomba a tornillo excéntrico (15 HP)	1	6200	6200	1,21	7502	
Agitador externo Digestor (7,5 HP)	1	12000	12000	1,21	14520	
Agitador interno Post Digestor (15 HP)	1	18000	18000	1,21	21780	
Inflador de domo con electro-válvula	2	1700	3400	1,21	4114	
Antorcha	1	14000	14000	1,21	16940	
Ojo de buey	3	1000	3000	1,21	3630	
					68486	
Termalización						30
Interna digestor	1	16000	16000	1,21	19360	
Calderas de apoyo	2	10000	20000	1,21	24200	
Recirculación por bombeo	1	28000	28000	1,21	33880	
					77440	
Conducción de fluidos						34
Materiales	1	12000	12000	1,21	14520	
Mano de obra	1	3800	3800	1,21	4598	
Instalación eléctrica y automatización	1	18000	18000	1,21	21780	14
Domos						20
Digestor	2	12000	24000	1,21	29040	
Post Digestor	1	14000	14000	1,21	16940	
Grúa	3	1000	3000	1,21	3630	
					49610	
Acondicionamiento de Biogás						20
Filtrado	1	20000	20000	1,21	24200	
Tren de calibración	1	18000	18000	1,21	21780	
					45980	
Obra civil	1	200000	200000	1,105	221000	50
Ingeniería en detalle y dirección de obra	1	30000	30000	1,21	36300	
					539714	

Fuente: Elaboración propia (amortizaciones [13])

Con respecto a los costos de mantenimiento se estima que se incorporara un nuevo empleado el cual se acoplara al actual tambero para realizar las tareas de mantenimiento rutinario. Por otro lado se estima un mantenimiento extraordinario cada 4 años. En el siguiente cuadro se muestran los costos de estos últimos.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Tabla XIV: Costos de mantenimiento

	Monto
Empleado	800
Mantenimiento extraordinario	10000 (cada cuatro años)

Fuente: Elaboración propia

6.2 Venta de biofertilizante

Para estimar el precio del biofertilizante lo hemos comparado con los fertilizantes que se utilizan para una rotación normal de la tierra y aportan los mismos nutrientes N y P.

Tabla XV: Equivalencia en nutrientes de los fertilizantes comerciales

Fertilizante	% de P	% de N	Kg/Ha
UREA	0	46	100
PDA	46	18	80
Total Kg por Ha	36,8	60,4	180

Fuente: Elaboración propia

Tabla XVI: Equivalencia en nutrientes del Biofertilizante

Fertilizante	% de P	% de N	Kg/Ha para alcanzar a fertilizantes
Biofertilizante	1,9	4,6	1940

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el precio por Tn de la Urea y el PDA (Anexo Fertilizantes) se calculo el precio de fertilizante por hectárea (sin IVA) el cual dio como resultado 98 U\$. Este será el precio que tendrá nuestro equivalente en nutrientes de biofertilizante es decir 98U\$/1,94Tn. Por nuestras 1471,68 Tn de biofertilizante obtendremos entonces una ganancia de 144224 U\$.

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

6.3 Venta de energía eléctrica

Para el precio que le daremos a la energía eléctrica que proporcionaremos a red pública, nos apoyaremos en el trabajo realizado por el INTA (Anexo INTA) donde se valúa a 189U\$/MW. De esta manera por nuestros 128,636 MW obtendremos una ganancia de 24312,204 U\$.

6.4 Ahorro de energía eléctrica

En el siguiente cuadro podemos observar los costos fijos y variables de la energía eléctrica por Edenor [12], proveedor del establecimiento, cruzado con el consumo del mismo.

Tabla XVII: Consumo eléctrico

Costo fijo (\$/Bim)	Costo variable (\$/Kw)	Consumo del establecimiento	Total anual (U\$)
275,89	0,125	166876 Kw/año	2814,355

Fuentes: Elaboración propia

6.5 Financiación

Como ya mencionamos anterior mente, el productor se hará cargo del 20% de la financiación del proyecto esperando un 20% de rentabilidad para dicha inversión. El 80% restante se tomara de un crédito del BNA con una TNA del 17,5%. Calcularemos el WACC con estos datos.

$$WACC = \frac{E}{(D+E)} * Ke + \frac{D}{(D+E)} * Kd (1 - Tx)$$

Tabla XVIII: Tasas y montos en pesos ARS

Financiación	%	Monto	Tasa (K)
Propia (E)	20%	863542,4	20
Bco Nación (D)	80%	3454169,6	17,5
	100%	4317712	

Fuente: Elaboración propia

WACC = 13,10%

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

6.6 Cash Flow

Formulación	Descripción	Monto		Años de análisis		
		0		1	2	3
Ventas	venta de energía eléctrica	24260,6		24261,6	24261,6	24261,6
	venta de biofertilizante	144224		144224	144224	144224
Costos						
Efecto colateral	ahorro de energía eléctrica	2814,355		2814,355	2814,355	2814,355
		Años	Monto			
Depreciación	Equipamiento Electromecánico	40	68486	1712,15	1712,15	1712,15
	Termalización	30	77440	2581,33	2581,33	2581,33
	Conducción de fluidos	34	14520	427,06	427,06	427,06
	Instalación eléctrica y automatización	14	24200	1728,57	1728,57	1728,57
	Domos	20	49610	2480,50	2480,50	2480,50
	Acondicionamiento del biogás	20	45980	2299,00	2299,00	2299,00
	Obra civil	50	221000	4420,00	4420,00	4420,00
	Total		501236	-15648,61	-15648,61	-15648,61
Gastos	Empleado (sueldo mensual)		800	9600	9600	9600
	Mantenimiento extraordinario		10000 (cada 4 años)			
	Total			-9600	-9600	-9600
RAI				146051,34	146051,34	146051,34
Impuestos a la ganancia		-35%		-51117,97	-51117,97	-51117,9695
RN				94933,37	94933,37	94933,37
Depreciación				15648,61359	15648,61359	15648,61359
FEO				110581,99	110581,99	110581,99
Inv Biodigestor			-539714			
FLUJO DE FONDOS			-539714	110581,99	110581,99	110581,99

4	5	6	7	8	9	10
24261,6	24261,6	24261,6	24261,6	24261,6	24261,6	24261,6
144224	144224	144224	144224	144224	144224	144224
2814,355	2814,355	2814,355	2814,355	2814,355	2814,355	2814,355
1712,15	1712,15	1712,15	1712,15	1712,15	1712,15	1712,15
2581,33	2581,33	2581,33	2581,33	2581,33	2581,33	2581,33
427,06	427,06	427,06	427,06	427,06	427,06	427,06
1728,57	1728,57	1728,57	1728,57	1728,57	1728,57	1728,57
2480,50	2480,50	2480,50	2480,50	2480,50	2480,50	2480,50
2299,00	2299,00	2299,00	2299,00	2299,00	2299,00	2299,00
4420,00	4420,00	4420,00	4420,00	4420,00	4420,00	4420,00
-15648,61	-15648,61	-15648,61	-15648,61	-15648,61	-15648,61	-15648,61
9600	9600	9600	9600	9600	9600	9600
10000				10000		
-19600	-9600	-9600	-9600	-19600	-9600	-9600
136051,34	146051,34	146051,34	146051,34	136051,34	146051,34	146051,34
-47617,9695	-51117,9695	-51117,9695	-51117,9695	-47617,9695	-51117,9695	-51117,9695
88433,37	94933,37	94933,37	94933,37	88433,37	94933,37	94933,37
15648,61359	15648,61359	15648,61359	15648,61359	15648,61359	15648,61359	15648,61359
104081,99	110581,99	110581,99	110581,99	104081,99	110581,99	110581,99
104081,99	110581,99	110581,99	110581,99	104081,99	110581,99	110581,99

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

Teniendo en cuenta nuestro Cash Flow y nuestra WACC y habiendo ya calculado nuestro WACC podemos calcular los indicadores TIR y VAN.

$\text{TIR} = 15,46\%$

$\text{VAN} = 51539,97 \text{ U\$}$

Si bien nuestro VAN no llega a ser tan alto por año, de todas maneras nos da positivo. Por otro lado vemos que nuestra TIR no supera en muchos puntos nuestro WACC pero aun así es mayor y por otro lado nuestro proyecto propone beneficios tanto ambientales como sociales al reducir la contaminación y aportar energía eléctrica de una manera ecológica.

7. MARCO LEGAL

A modo de justificación en lo que respecta a la legislación respecto a nuestro proyecto, existe un marco regulatorio tanto a nivel nacional como de la Provincia de Buenos Aires (ANEXO NORMATIVAS). La ley que más nos compete será la **Ley N° 26.093** “Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentable de Biocombustibles”. A partir de esta normas, la Provincia de Buenos Aires establece beneficios para los generadores de energías alternativas como por ejemplo, en el **Artículo N°3** “Las personas físicas y/o jurídicas que cumplan con las condiciones estipuladas en el artículo 2 y cuyos proyectos sean para autoconsumo o bien estén promovidos por la Ley 26.093, estarán exentas del pago de los impuestos a los Ingresos Brutos e Inmobiliario por quince (15) años correspondientes al proyecto promovido.”, los bienes afectados a los proyectos aprobados por la autoridad de aplicación, no integrarán la base de imposición del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta establecido por la **Ley N° 25.063**, o el que en el futuro lo complemente, modifique o sustituya, a partir de la fecha de aprobación del proyecto respectivo y hasta el tercer ejercicio cerrado, inclusive, con posterioridad a la fecha de puesta en marcha. Asimismo serán beneficiados con compensación tarifaria por cada Kw/h que comercialicen a través de la red pública.

La autoridad de aplicación de la ley es la Dirección Provincial de Energía (DPE), dependiente del Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires, a cuyo fin se delega el dictado de todos los actos administrativos que deban ser emitidos conforme a la ley y la reglamentación.

En conclusión podemos afirmar que en lo que concierne a las normas en nuestro país, todas ellas buscan favorecer y fomentar el desarrollo de las energías alternativas. Si bien mucha de la legislación es nueva y por lo tanto aun no se aplican de la mejor manera o es complejo adquirir algunos de los beneficios nombrados, creemos y confiamos que con el tiempo el panorama será favorecedor la hora de encarar este tipo de proyectos.

8. CONCLUSION

Como consecuencia de los relevamientos y análisis desarrollados en el presente estudio, llegamos a la conclusión de que es factible el resultado de este proyecto o emprendimientos similares.

El aporte de este estudio muestra que un recurso abundante en nuestros campos, como los desperdicios orgánicos, puede transformarse en subproductos de sumo valor agregado como lo son la energía eléctrica, y el biofertilizante. Esto no solo los transforma en beneficios económicos para el productor, sino que desde el punto ambiental se contribuye de a la reducción del efecto invernadero que estos desechos provocan.

Por otro lado, desde el punto de vista financiero, llegamos a la conclusión de que el proyecto, si bien no hace una diferencia significativa, aun así es rentable. Para nuestro caso obtuvimos una TIR del 15,46% y un VAN de U\$s 51.540 que demuestran la contribución desde el punto de vista económico para el productor agropecuario.

En este momento existen leyes y beneficios financieros planteados por el gobierno nacional para los establecimientos que decidan embarcarse en las energías renovables, pero aun no están en plena vigencia de manera que no contribuyen por completo para que la gran cantidad de establecimientos agropecuarios tomen la decisión de encarar este camino.

Si bien este proyecto fue aplicado específicamente para el caso de un campo dedicado al tambo, consideramos que el mismo sirve como modelo para la toma de decisiones de cualquier mediano productor, que tenga desechos orgánicos y esté interesado en encarar este tipo de proyectos.

Por todo lo mencionado anterior mente nos vemos en condiciones de asegurar que el proyecto es factible desde el punto de vista técnico, económico y fundamentalmente ambiental. Consideramos de mayor importancia que el gobierno nacional preste puntual atención en este tipo de cuestiones debido a que en materia

Proyecto Final de Ingeniería:

Construcción de un biodigestor para la obtención de biogás y abono

Federico Shedden LU: 128291

energética nuestro país atraviesa una crisis importante y las energías renovables en los tiempos que corren son cada vez de mayor consideración para la mayoría de los países del mundo que poseen estos tipos de desechos o recursos.

9. FUENTES Y BIBLIOGRAFÍAS

9.1 Fuentes

- [1] http://www.ecobiogas.es/archivos/es/biogas_biogasienergia.php
- [2] Biogas to Energy 2012/2013. The world market for biogas plants
- [3] http://www.petrotecnica.com.ar/1_2013/Petrotecnica/PdfsSinPublic/LaImportancia.pdf
- [4] Biogas from waste and renewable, Dieter Deublein y Angélica Steinhauser, 2008 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- [5] SET_TE_08_Biomasa [en línea] <http://www.energiaycambioclimatico.com>
- [6] Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás, Dipl. Ing. Gabriel Moncayo Romero, Aqualimpia Engineering e.K
- [7] Speece, R. E. (1996). Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters, Archae Press, ISBN: 0- 9650226-0-9, USA
- [8] Manual del Biogás, María Teresa Varnero Moreno Santiago de Chile 2011. ISBN 978-95-306892-0.
- [9] <http://www.bentec.es/esp/enusa.htm>
- [10] http://www.ows.be/es/organic_feedstock/bes-cstr/
- [11] http://www.bna.com.ar/agro/ag_creditos.asp
- [12] <http://www.enre.gov.ar/>
- [13] <http://www.mirsan.es/2009/03/23/tabla-de-amortizacion/>