

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN PROTOTIPO DE BIODIGESTOR ANAERÓBICO UTILIZANDO RESIDUOS ORGÁNICOS

AUTORES:

Recibido: agosto 26, 2017
Aceptado: septiembre 23, 2017

L. Muñoz Piña¹
Y. Salvador Cruz²
C. Mojica Mesinas³
D.C. Acosta Pintor⁴

RESUMEN

En este proyecto se diseñó, construyó y probó el funcionamiento de un biodigestor anaeróbico utilizando residuos orgánicos de una granja porcícola ubicada al norte de Ciudad Valles con la finalidad de generar biogás. Para el diseño y construcción fue utilizado un modelo de ciclo básico de diseño, con el cual se formularon los requerimientos del diseño, las especificaciones y componentes para proceder a crear un diseño de detalle funcional. Los materiales utilizados fueron en su mayor parte de PVC y CPVC, debido a que son altamente resistentes y durables, presentan poca inflamabilidad, son flexible y moldeables lo cual facilita su modificación. El diseño en detalle fue realizado en AutoCAD. El costo total del prototipo fue de \$1,574.48. La granja porcícola de la que se obtuvieron los residuos para la prueba del prototipo cuenta con 58 cerdos los cuales generan alrededor de 64 kg de excreta diaria. Para la realización de la prueba de funcionamiento a nivel laboratorio se utilizaron 11 mezclas de un kg de excreta de cerdo fresca que fue previamente recolectada de la granja, en proporción 1:3, 3 litros de agua y 0.50 kg de hojarasca secas para la aportación de carbono. El análisis de las características físico-químicas correspondientes a la excreta fresca, alimentación al biodigestor, salida de lixiviados y lodos del biodigestor, permite inferir; que la excreta de cerdo (base de las mezclas) y sus diferentes combinaciones genera biogás para fines de uso doméstico en pequeñas granjas.

ABSTRACT

This project was designed, built and tested the operation of an anaerobic biodigester using organic waste from a porcine farm located north of Valles City in order to generate biogas. For the design and construction, a basic design cycle model was used, with which design requirements, specifications and components were formulated to proceed to create a functional detail design. The materials used were mostly PVC and CPVC, because they are highly resistant and durable, have low flammability, are flexible and moldable which facilitates their modification. The detailed design was done in AutoCAD. The total cost of the prototype was \$ 1,574.48. The porcine farm from which the waste was obtained for the prototype test has 58 pigs which generate about 64 kg of excreta daily. To carry out the test at the laboratory level, 11 mixtures of one kg of fresh pig excreta were used, which were previously collected from the farm, combined with 1: 3, 3 liters of water and 0.50 kg of dry leaf litter for carbon input. The analysis of the physicochemical characteristics of the fresh excreta, feed to the biodigester, leachate and sludge from the biodigester, allows to infer; that the excreta of pig (base of the mixtures) and its different combinations generates biogas for purposes of domestic use in small farms.

¹ Estudiante tesista de ingeniería ambiental, 12690034@tecvalles.mx

² Estudiante tesista de ingeniería industrial, 12690407@tecvalles.mx

³ Profesor tres cuartos de tiempo. Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, cuitlahuac.mojica@tecvalles.mx

⁴ Profesora medio tiempo. Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, dulce.acosta@tecvalles.mx

PALABRAS CLAVE en español e inglés

Biodigestor, biogás, residuos orgánicos, granja porcícola

Biodigester, biogas, organic waste, porcine farm

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el 90% de las necesidades energéticas de nuestro planeta son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles, (petróleo, gas, y carbón); (Campos, 2000). Todos ellos extinguibles, además fuertemente contaminantes y utilizados de forma ineficiente, por el interés predominante de la producción de energía.

Existen posibles soluciones a estos problemas, previendo que a futuro tengamos problemas de abasto de combustible, éstas se encuentran básicamente en las fuentes alternas de energía, entre otras, la eólica, la solar y la hidráulica, sin embargo, existen otra fuentes de energía que han comenzado a generalizarse la del biogás. Generada a través de un biodigestor o reactor.

Según la literatura, en la india se construyó la primera instalación para producir biogás, en una fecha cercana a 1900, a partir de ese momento se ha incrementado el número de biodigestores, y actualmente funcionan en ese país miles de unidades (Aguilar y Botero, 2006). China es hoy la región que tiene un mayor número de instalaciones de esta biotecnología, con un valor cercano a 10 millones de unidades (Guevara, 1996).

Este proyecto plantea la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos orgánicos (específicamente desechos de cerdo y bovino). Estos elementos tienen un efecto negativo en la salud humana, generando con estos, gases como el metano, que al no contar con un uso o medida sustentable afecta de manera negativa, desafortunadamente este gas es emitido a la atmosfera contribuyendo con esto en la concentración de gases efecto invernadero.

No obstante, si se cuenta con una alternativa o sistema apropiado de recolección y almacenamiento, el gas metano puede ser utilizado como combustible, convirtiéndose por combustión en CO₂ y vapor de agua, ya que en proporciones se estima que el metano es 21 veces más contribuyente a la contaminación, que el mismo dióxido de carbono, además que este puede ser absorbido por las plantas, en el proceso de la fotosíntesis, disminuyendo así su concentración en la atmósfera.

En general podemos afirmar que todo tipo de residuo sólido, orgánico, urbano y doméstico por su contenido en materia orgánica, pueden ser utilizadas para fines energéticos, mediante procesos de transformación de biomasa residual en biogás. Se da el nombre de biogás a la mezcla gaseosa producida por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaerobias o sin presencia de aire y cuyos principales componentes son el metano, y el dióxido de carbono (CO₂), que se producen como resultado de la fermentación y descomposición de la materia orgánica en ausencia de aire.

El biogás puede obtenerse de muchas formas por medio de biodigestores anaerobios, utilizando estiércoles de diferente ganado o las aguas residuales, en donde además de biogás obtenemos nutrientes naturales para el campo con la materia orgánica restante. Considerando el beneficio que se puede obtener a partir de la generación de energía por medio de biodigestores, es de importancia conocer el manejo de esta biotecnología e implementarla en lugares donde hay disposición de materia orgánica necesaria para su funcionamiento.

METODOLOGÍA

Diseño

Para el diseño del biodigestor anaeróbico se elaboró un prototipo utilizando un modelo de ciclo básico de diseño, con la finalidad de definir los requerimientos del diseño, definir las especificaciones y componentes para proceder a crear un diseño de detalle funcional (Riba, 2006).

Se determinaron las especificaciones iniciales del prototipo para su diseño, considerando los factores base que deben ser tomados en cuenta en el dimensionamiento de biodigestores: tipo y disponibilidad de las excretas porcinas y materia orgánica, sus características fisicoquímicas y aspectos ambientales de la zona. Considerando las siguientes especificaciones iniciales para el prototipo de acuerdo a la función, operaciones y precisión requeridas:

ESPECIFICACIONES INICIALES	
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
FUNCIÓN	Reproducir en ambientes controlados el proceso de biodigestión
	Manejo adecuado de excretas
	Flujo volumétrico adecuado del influente
OPERACIONES NECESARIAS	Sistema de agitación y remoción de lodos
	Sistema de recolección, conducción de biogás
	Sistema de utilización de biogás
PRECISIÓN	Facilidad para determinar las características físicas, químicas y biológicas del biogás e influente.
	Adecuado volumen de biodigestor para la producción de biogás
	Facilidad para calcular la producción de biogás

Tabla 1. Especificaciones para el diseño. Fuente propia.

Una vez definidas las especificaciones iniciales, se definió la estructura funcional del producto, el cual representa las entradas y salidas del sistema.



Ilustración 1 Diagrama de funciones de un biodigestor. Fuente propia.

De esta manera se elaboró un esquema general del funcionamiento del biodigestor, donde la entrada del proceso es materia orgánica, excreta porcina y agua; mientras que en el proceso central se representa la parte biológica donde se mezcla la excreta porcina, materia orgánica, agua y microorganismos; que conllevan a los procesos de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis para la generación de biogás. La salida está representada por los residuos (lodos y licor mixto digerido) del efluente. Todo este proceso incluye los dispositivos necesarios, tales como la salida de biogás, válvula de seguridad y tuberías de conducción.

Así mismo se detalló la estructura funcional del biodigestor, tal y como se muestra en la figura 2.

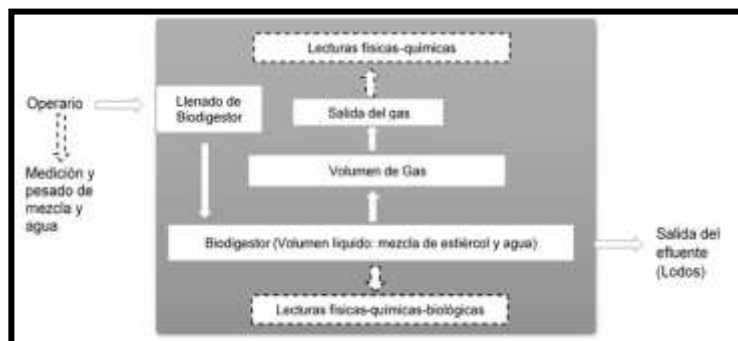


Ilustración 2 Estructura Funcional de un biodigestor. Fuente propia.

El proceso inicia con el operario al momento de medir y pesar la mezcla de excreta y materia orgánica con agua, para una vez realizada esta acción, llenar el biodigestor donde se contiene la mezcla de excretas y agua. Dentro de este, sucede el proceso de biodegradación, dando lugar a la producción de metano a partir de ácido acético, hidrógeno y bióxido de carbono. La cantidad y calidad de biogás dependerá de la composición de los residuos utilizados, por lo que es importante medir la relación de carbono-nitrógeno (C/N), con la finalidad de asegurar una producción óptima, así como los niveles de sólidos totales, sólidos volátiles, temperatura, tiempo de retención, velocidad de la carga orgánica, rangos de pH y alcalinidad.

Así mismo se realizó el diseño en detalle mediante AutoCAD, en el cual fue importante tomar en cuenta los componentes que un biodigestor debe de tener y así mismo observar su funcionalidad.



Ilustración 3 Diseño en AutoCAD de biodigestor

Material

Se analizaron varias alternativas de materiales, y para ello se establecieron los criterios más adecuados para seleccionarlos. Los criterios utilizados fueron: volumen de carga, volumen del biodigestor, tiempo de retención, volumen del reservorio y velocidad de carga; estos criterios son indispensables para la funcionalidad del biodigestor.

Los materiales seleccionados son de bajo costo, accesibles y funcionales. En su mayor parte el prototipo es de PVC y CPVC. Estos materiales son altamente resistentes y durables, presentan poca inflamabilidad, son flexibles y moldeables lo cual facilita su modificación.

Los materiales utilizados para la elaboración del prototipo y su costo fueron los siguientes:

Tabla 2. Materiales utilizados en el prototipo y costos

Material	Costo	Material	Costo
4 orrings de 2"	\$60.00	1PVC cople	\$7.75
3 tapones PVC 2"	\$37.56	1 PVC tapa hidráulica	\$10.25
Codo sanitario PVC 2"	\$8.02	1 PVC conductor hidráulico	\$2.84
1 segueta dupla bimetálica	\$29.00	1 adaptador	\$3.97
1 PVC tapa hidráulica	\$9.5	1 Abrazadera SF	\$6.2
1 cámara de llanta	\$37.8	1.5 tubo PVC 6"	\$190.95
3 orrings de 1/8 "	\$30.00	1 válvula ESF 2"PVC	\$222.32
4 empaques Oster	\$8.00	2 tapas PVC 6"	\$86.00
1 manguera gas 1"	\$11.43	6 Coples 6"	\$84.00
1 manguera gas 1/2"	\$9.85	4 codo PVC hidráulico 2x90	\$96.00
1 abrazadera SF	\$3.87	2 tubos PVC hidráulico C40 2"	\$101.4
1 llave BLAN	\$47.00	1 silicón dow 82.2 mm	\$45.00
1 pegamento RUGO	\$42.00	1 cople PVC 6"	\$23.00
2 abrazaderas SF No.4	\$14.6	1 tapa PVC 6"	\$45.00
2 abrazaderas SF No.6	\$15.00	2 Adaptador hembra PVC 2"	\$24.2
1 PVC cople hidráulica	\$3.32	2 Adaptador macho PVC 2"	\$22.74

1 PVC tee hidráulica	\$3.18	1 pegamento CPVC	\$31.12
2 PVC codo hidráulico	\$10.5	3 tablas de 1" x 2 1/2"	\$75.00
2 CPVC Tee PVC 13 mm	\$4.48	3 abrazaderas de metal 6"	\$70.00
1 CPVC cople 13 mm	\$1.63	12 tornillos	\$40.00
Total			\$1,574.48

Dimensiones y construcción

Con base al diseño en AutoCAD se procedió a fabricar el prototipo del biodigestor para observar su funcionamiento. Para la entrada del biodigestor se utilizó un tubo de PVC que tiene un diámetro de 2", por 5 m de largo, al cual se conectó un tubo de 1/2" para la salida del biogás el cual fue almacenado en una cámara de caucho como reservorio. El tubo 1 es la entrada que tiene un diámetro de 2", por 10 cm de largo. Que se encuentra sellado con pegamento para PVC con un codo sanitario con 90° de 2". Posteriormente se conectó a el tubo 2 que tiene 2" de diámetro por 5.5 cm de largo, y un coplee de 2" que se encuentra unido a la tapa principal del cuerpo del biodigestor de 6", sellado internamente por un orring de 2" y pegamento para PVC.

Esta tapa está unida al tubo principal, el cual es el almacenamiento de la biomasa que mide 6" de diámetro y de largo 140.5 cm. A partir de los 80 centímetros se encuentra una coplee de 1/2" de diámetro, en conexión con un tubo de PVC de 1/2" por 11 cm de largo en el tubo principal por donde se plantea que el gas metano viaje y se encuentra un nivel ya que el espacio del tubo principal debe de contener un 75% de líquido y el 25% de gas metano. Ese tubo conecta con la llave Venturi de 1/2" de diámetro por 7.56 cm de largo, unida a su vez con un tubo de pvc de 1/2" de diámetro por 7 cm de largo.

A su vez está unido a una conexión T de 1/2" de diámetro y un tubo de pvc de 1/2" de diámetro por 11 cm de largo. Todo esto ensamblado a la conexión macho-hembra de 2" de diámetro junto con una manguera de gas de 1/2" de diámetro y 20 cm de largo que conectará al reservorio que es una cámara con la capacidad de almacenar 2.6 litros diarios de gas metano. Distancia de la conexión T a la segunda llave Venturi de 1/2" de diámetro son 31cm. Segunda llave Venturi de 1/2" de diámetro a la segunda conexión de 1/2" de diámetro 14 cm. Entre el filtro y el segundo soporte se encuentra una trampa de agua con una botella de 600 ml para retener los sulfatos que se producen en la digestión de la biomasa.

El filtro contiene una fibra de aluminio para atrapar los sulfatos evitando la corrosión del quemador, con la conexión de codo de 90° 3" de diámetro y de altura 15 cm y del codo a la conexión macho -hembra 2" son 13.5cm, la distancia de la manguera para gas 103 cm conectando al final un quemador. Las salidas se encuentran conectadas al extremo final del tubo principal, la primera salida es la de los lixiviados por lo cual consta de un coplee de 2" diámetro unido a un tubo de PVC de 2" diámetro por 5 cm de largo, pegado a un codo de 90° con 2" de diámetro, sellado con una tapa que tiene un orificio en donde conecta una llave.

La segunda salida para los lodos está conectada a un coplee de 2" diámetro unido a un tubo de PVC de 2" diámetro por 8 cm de largo, pegado a un codo de 90° con 2" de diámetro sellado con una tapa de 2" de diámetro.



Ilustración 5 Recepción de mezcla para la alimentación del biodigestor



Ilustración 4 Nivel para indicar la capacidad del sobrenadante



Ilustración 7 Tubo principal de transporte de biogás al reservorio y llave de paso



Ilustración 6 Trampa de agua y filtro de hierro para eliminar sulfatos y nitratos



Ilustración 9 Cámara de carretilla para el almacenamiento de biogás



Ilustración 8 salidas de lodos y lixiviados



Ilustración 10 Prototipo biodigestor

Prueba

La granja cuenta con 58 cerdos, los cuales generan 64 kg/día de excretas aproximadamente. Para la prueba de funcionamiento del prototipo, se prepararon 11 mezclas de 1 kg de excreta de cerdo fresca que fue previamente recolectada de la granja porcícola, en proporción 1:3, 3 litros de agua y 0.50 kg de hojarasca secas para la aportación de carbono. Es importante señalar que los estiércoles tienen esa bondad de contener la bacteria que es la generadora en la producción de metano, a diferencia de otras fuentes de biomasa que, para ser utilizadas, se necesitaría utilizar un porcentaje de estiércol, con la finalidad de asegurar el inóculo de la bacteria y así obtener el éxito en la generación de metano.

Después de medir el agua y la excreta se pasó a la homogenización, para esto se utilizó una licuadora, con lo cual los elementos se incorporaron completamente, la mezcla se vertió en el prototipo del biodigestor, el tiempo de retención fue de 11 días, posterior se realizó la quema del gas metano acumulado, mediante la prueba del cerillo. La medición del biogás se llevó a cabo después que pasaron los 11 días de retención, la forma en que se evaluó la producción de biogás fue contando las veces que se llenó el reservorio diariamente. La generación de biogás producido fue de 2.3 litros diarios, una vez que se midió el radio de la cámara y se calculó el volumen de la dona que se forma. Se evaluaron las características físico-químicas correspondientes a la excreta fresca, alimentación al biodigestor, salida de lixiviados y lodos del biodigestor.



Ilustración 12 Cerdos de la granja



Ilustración 11 Pesado de agua, excreta de cerdo y hojarasca para la alimentación del biodigestor



Ilustración 13 Alimentación de la mezcla en el interior del biodigestor



Ilustración 14 Prueba de la flama 11 días de retención de la biomasa

RESULTADOS

El promedio de las características físico-químicas evaluadas en el proceso de generación de biogás con residuos de la granja porcícola y sus mezclas, fueron los siguientes:

Tabla 3. Análisis de características físico-químicas a excreta de cerdo fresca

	Excreta de cerdo fresca		
	Obtenida	Teórica	Bibliografía
pH	6.99	6.0-8.0	Manual de biogás
Conductividad [mS]	14	----	----
% Humedad	68.5773	85-51	Manual de biogás
% St	31.4226	15.0-49.0	Manual de biogás
% Ceniza	21.2597	23.67	Manual de biogás
% Sv	78.7402	76.33	Manual de biogás
Ca [ppm]	320	361	---
Ca-Mg [ppm]	376	411	---
Mg [ppm]	56	50	---
% Lípidos	8.426	11.5	Manual de biogás

% C	34.7425	25	Manual de biogás
% N	1.6636	1.5	Manual de biogás
C/N	21/1	16/1	Manual de biogás

Tabla 4. Análisis de características físico-químicas en alimentación al biodigestor

	Alimentación al Biodigestor		
	Obtenida	Teórica	Bibliografía
pH	7.481	6.0-8.0	Manual de biogás
Conductividad [mS]	2.86	----	----
% Humedad	89.7388	88-92	Manual de biogás
% St	10.2612	8.0-12.0	Manual de biogás
% Ceniza	7.3465	7.89	Manual de biogás
% Sv	25.82016	25.44	Manual de biogás
Ca [ppm]	328	361	---
Ca-Mg [ppm]	387	411	---
Mg [ppm]	59	50	---
% Lípidos	7.895	11.5	
% C	34.7425	25	Manual de biogás
% N	1.663595039	1.5	Manual de biogás
C/N	21/1	16/1	Manual de biogás

Tabla 5. Análisis de características físico-químicas en salida de lixiviados y lodos del biodigestor

	Salida lixiviados Biodigestor			Salida lodos Biodigestor		
	Obtenida	Teórica	Bibliografía	Obtenida	Teórica	Bibliografía
pH	7.481	7.9	Manual de biogás	7.381	7.2	Manual de biogás
Conductividad [mS]	14.661	----	----	9.987	14.4	Manual de biogás
% Humedad	99.1	----	----	45.837	45	Manual de biogás
% St	0.9	----	----	54.163	55	Manual de biogás
% Ceniza	0.0145	----	----	59.573	58	Manual de biogás
% Sv	0	----	----	40.427	42	Manual de biogás
Ca [ppm]	334	----	----	368	----	----
Ca-Mg [ppm]	398	----	----	443	----	----
Mg [ppm]	64	----	----	75	----	----
% Lípidos	0	----	----	2.5545	----	----
% C	0	----	----	44.724	----	Manual de biogás
% N	0.0025	----	----	1.785	1.8	Manual de biogás
C/N	0	----	----	25/1	----	Manual de biogás

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que es factible obtener metano a partir residuos orgánicos generados por la granja porcícola ubicada al Norte del municipio de Ciudad Valles, S.L.P. El análisis de las características físico-químicas de la excreta de cerdo fresca (base de las mezclas) de la tabla 3, nos muestra que la materia prima de entrada, con la que se trabaja el biodigestor, están dentro o cerca de los valores que marca la bibliografía revisada, en este caso, la correspondiente al Manual de Biogás.

Con respecto al análisis de las características físico-químicas en alimentación al biodigestor de la tabla 4, todos están dentro de los parámetros que marca la bibliografía; esta alimentación se obtiene al mezclar un kilogramo de excreta con 3 litros de agua (mezcla 1:3), estos valores son muy consistentes en las once mezclas que se realizaron de pruebas.

Al realizar el análisis de características físico-químicas en salida de lixiviados y lodos del biodigestor; sólo hay referencias para algunos datos de los lodos que se obtienen después de realizarse el proceso de biodigestión anaeróbica, observándose resultados muy consistentes. Con respecto a los lixiviados no hay puntos de comparación.

Todos estos resultados permiten confirmar que la excreta de cerdo (base de las mezclas) y sus diferentes combinaciones genera biogás para fines de uso doméstico en pequeñas granjas.

CONCLUSIONES

En la región se encuentran gran cantidad de criaderos y engorda de ganado porcino, por lo cual se contará fácilmente con la materia orgánica y así el biodigestor puede estar funcionando todo el tiempo. Se sugiere la implementación de un biodigestor a mayor escala, fabricado con geomembrana, debido a la gran cantidad de materia orgánica que se encuentra en la región, que puede ser recolectada, así mismo como trabajar con otro tipo de excreta de granjas o establos.

Para aumentar la eficiencia del proceso de digestión anaerobia, y por ende el porcentaje de metano obtenido a partir de estos desechos, se recomienda que el prototipo incluya en la entrada una trampa de agua con la cual evita el acceso de aire adentro de biodigestor y permite la recirculación del flujo constante de la biomasa y a su vez, permite incrementar el tiempo de permanencia de los desechos orgánicos dentro de los biodigestores, es decir el tiempo de retención.

La inversión que realice el productor se recuperará en un corto plazo y se verá reflejado en la disminución de los costos al implementar este tipo de energías renovables. La temperatura de la región influye positivamente para la producción de biogás debido a que las condiciones climáticas no difieren bruscamente y su temperatura es constante incluso en invierno.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, F.X.; BOTERO, R.; (2006). *Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo*. Tierra Tropical, 15-25.

CAMPOS, J. C. (2000). *Herramientas para Establecer un Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía*. Diplomado En Gestión Energética, Universidad Del Atlántico, Barranquilla, Colombia.

GUEVARA V., A.; (1996). *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes*. Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud. Lima.

Varnero, M.M.T., (2011). *Manual de biogás*. Chile. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Global Environment Facility, Proyecto CHI/00/G32: “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. Obtenida el 28 de julio de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

REMBIO, (2011). Cuaderno Temático No. 4. *La Bioenergía en México. Situación actual y perspectivas*. México.

Riba, C., Molina, A. (2006). *Ingeniería Concurrente: Una metodología integradora*. España.

Secretaría de Economía. *Estrategia de Transición para Promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios*-Documento en discusión, México. Obtenida del 15 de julio del 2017, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/129248/20160829_Documento_Estrategia_para_comentarios_del_CCTE.pdf