



Universidad Nacional Autónoma De México

División de Ingeniería Eléctrica

**PROPUESTA Y EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN
SISTEMA ENERGÉTICO EN BASE A
COGENERACIÓN PARA UNA PLANTA
PROCESADORA DE CARNE DE GUAJOLOTE.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

**P R E S E N T A :
BLANCA ANGÉLICA APARICIO ARISTA**



MÉXICO D.F.

2014

A mis padres:

Juana Arista Bravo

Roberto Narciso Aparicio Hernández

Y a mi hermana:

Reyna Elizabeth Aparicio Arista

Por ustedes he llegado a este momento de mi vida, agradezco su apoyo incondicional y los ejemplos que me han dado.

A la UNAM y a la Facultad de Ingeniería

Por brindarme la oportunidad de ser orgullosamente miembro de su comunidad.

Al Doctor Gabriel

Asesor de este trabajo quien además de ser uno de mis profesores, me ha brindado su amistad y su paciencia para lograr mi objetivo.

A mis amigos

La personalidad de cada uno de ustedes me ha dejado enseñanzas de vida, de algunos he obtenido conocimiento valioso, todos y cada uno tienen mi respeto y admiración. Sin importar el paso de los años siempre tendrán un lugar importante en mi memoria. Gracias por ser ustedes.

Lina, Natali, Alberto, Joali, Carlos, Arturo, Alonso, Yolanda, Yessika, Tania, Eric, Oscar Neri,
Alex M. Ramírez, Damián.

ÍNDICE

Nomenclatura.....	6
Prefijos	6
Símbolos Químicos.....	6
Abreviaturas.....	7
1. Antecedentes	11
1.1 Energía y Desarrollo Sustentable	12
1.2 Energía Renovable	14
1.3 Eficiencia Energética	22
1.4 Cogeneración y Biogás	25
1.5 Marco Regulatorio en México	39
Conclusión del Capítulo 1	44
2. Proceso energético utilizado en la granja de pavos.....	45
2.1 Cría y desechos de la granja de pavos	48
2.2 Procesamiento de la carne de pavo	56
2.3 Estimación del potencial energético de los desechos	62
2.4 Descripción de la planta procesadora	78
Conclusión del Capítulo 2	80
3. Propuesta del sistema de generación	81
3.1 Tecnología de generación de energía eléctrica y térmica	82
3.2 Tecnologías de aprovechamiento de los residuos orgánicos y forestales	86
3.3 Caracterización y demanda energética de la instalación.....	89
3.4 Evaluación del esquema de cogeneración propuesto	91
3.5 Aspectos medioambientales del sistema de cogeneración.....	100
Conclusión del Capítulo 3	103
4. Conclusión de la Tesis	104
Referencias bibliográficas	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ciclo con turbina de vapor	29
Figura 1.2. Ciclo con Turbina Gas en ciclo simple	30
Figura 1.3. Ciclo combinado	31
Figura 1.4. Ciclo con Motor Alternativo	32
Figura 1.5. Microturbina de Gas.....	33
Figura 2.1. Sistema de Comercialización del Pavo	46
Figura 2.2. Proceso de sacrificio del Guajolote	56
Figura 2.3. Cabina de Aturdimiento eléctrico	58
Figura 2.4. Máquina de sacrificio de aves.....	59
Figura 2.5. Características del biogás de Pavos	70
Figura 2.6. Proporciones del digestor	77
Figura 2.7. Zonas específicas para procesado de carne.....	79
Figura 3.1. Caldera universal, tipo pirotubular, marca BOSCH	83
Figura 3.2. Chiller para aves tipo DRAG a contra corriente, marca MORRIS and Associates	84
Figura 3.3. Chiller para aves tipo Tornillo, marca MORRIS and Associates	85
Figura 3.4. Tina tipo chiller, con agua a temperatura de 0 a 4 °C	85
Figura 3.5. Gasificador de lecho fluidizado.....	86
Figura 3.6. Esquema de una planta procesadora de biomasa para generación de electricidad	87
Figura 3.7. Caldera para biomasa	88
Figura 3.8. Esquema de la planta de biogás.....	92
Figura 3.9. Esquema de cogeneración propuesto, a partir de biogás.	95

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.1. Producción mundial de energía eléctrica por tipo de combustible en el año.	19
Gráfica 1.2. Participación porcentual de las energías renovables en la generación de energía eléctrica mundial en el año 2011.	20
Gráfica 1.3. Generación bruta de energía por tipo de tecnología al año 2013.	21
Gráfica 1.4. Distribución porcentual de proyectos con energías renovables (2010)	43
Gráfica 2.1. Principales Estados productores de canal de guajolotes en México al año 2012.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Definición de Objetivos y Estrategias del PRONASE 2014-2018	23
Tabla 1.2. Eficiencias típicas comparativas de generación y cogeneración.....	27
Tabla 1.3. Potencial nacional total de cogeneración en México	35
Tabla 1.4. Composición del Biogás	37
Tabla 1.5. Emisiones evitadas de carbono y ahorro de energía	43
Tabla 2.1. Requerimiento de espacio durante el periodo de vida de los pavos.	51
Tabla 2.2. Temperatura requerida en la nave de crecimiento	52
Tabla 2.3. Cantidad de estiércol producido por tipo de aves de corral	55
Tabla 2.4. Producción específica de metano para diferentes tipos de desechos.....	62
Tabla 2.5. Estimación de producción de aves	64
Tabla 2.6. Características del estiércol de aves de corral	65
Tabla 2.7. Producción diaria de estiércol para pavos de diferentes peso vivo	66
Tabla 2.8. Cálculo de producción de biogás anual RET-screen.....	68

Tabla 2.9. Producción de biogás seco al día y anual para guajolotes.....	70
Tabla 2.10. Resultados para producción de biogás y cuantificación de potencia.....	72
Tabla 3.1. Eficiencia típica de calderas tipo paquete con base en el poder calorífico superior.....	83
Tabla 3.2. Características de tecnologías de generación de energía eléctrica.....	88
Tabla 3.3. Intensidad energética anual en la crianza, sacrificio y procesamiento de aves de corral.	89
Tabla 3.4. Cantidad de energía por tipo de servicio utilizado en el proceso de cría y sacrificio de aves de corral	90
Tabla 3.5. Condiciones de evaluación de resultados	97
Tabla 3.6. Promedio mensual del Costo Total a Corto Plazo para el año 2013	99
Tabla 3.7. Potencial de calentamiento (conversión a CO2 equivalente).....	102

Nomenclatura

°C	Grado Centígrado
A	Ampere
g	gramo
h	hora
J	Joule
l	litro
m	metros
m ²	metros cuadrados
m ³	metros cúbicos
s	segundo
W	Watt
Wh	Watt hora

Prefijos

k	kilo, 1000
M	Mega, 10 ⁶
T	Tera, 10 ¹²
m	mili, 0.001

Símbolos Químicos

Ca	Calcio
K	Potasio
N	Nitrógeno
P	Fósforo
NaCl	Cloruro de Sodio
CO ₂	Dióxido de Carbono
SO ₂	Dióxido de azufre

Abreviaturas

CFE	Comisión Federal de Electricidad
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CRE	Comisión Reguladora de Energía
ER	Energías Renovables
FAO	Food and Agriculture Organization (por sus siglas en inglés)
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrico
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IEA	International Energy Agency
LAERFTE	Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética
LASE	Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
MG	Motor Generador
NOM	Norma Oficial Mexicana
PEAER	Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PRONASE	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
PROVAR	Proyecto de Apoyo al Valor Agregado
SAGARPA	Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentos
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SENER	Secretaría de Energía
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SIE	Sistema de Información Energética
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética

OBJETIVO

Diseñar un sistema energético para una planta procesadora de carne de guajolote, que utilice Biogás producido en base a la biomasa generada durante el proceso de crecimiento de las aves y el procesamiento de la carne utilizando un digestor y un esquema de cogeneración.

Objetivos específicos.

- Conocer los requerimientos energéticos, ambientales y técnicos, necesarios para realizar el proyecto.
- Reunir datos técnicos del proceso, necesarios para el diseño del sistema como son: consumos de energía, producción diaria de desechos orgánicos, cantidades de agua utilizadas en el proceso.
- Analizar el potencial energético de los desechos orgánicos.
- Comparar las tecnologías existentes de cogeneración con biogás y seleccionar la opción que cumpla los requerimientos energéticos de la procesadora de carne.

INTRODUCCIÓN

A partir de la década de los noventa, el concepto del cambio climático cobró importancia alrededor del mundo, al hablar de éste tema es imprescindible mencionar otros temas como la energía renovable, el desarrollo sustentable, la eficiencia energética y recientemente la cogeneración.

Dentro del campo de generación de energía eléctrica, el uso de las energías renovables como materia prima ha crecido constantemente. Algunas razones de éste incremento son: principalmente la constante disminución de los recursos fósiles, el interés por racionar el uso de los mismos, así como la preocupación por los altos índices de contaminación que generan.

Es un hecho que los combustibles fósiles son altamente contaminantes, sin embargo, el alto rendimiento energético de los mismos genera una gran dependencia hacia éstos como fuentes primarias para generación de energía tanto eléctrica como térmica

La contaminación ambiental, la creciente demanda energética y la meta de alcanzar un desarrollo sustentable, aportan la posibilidad de desarrollar tecnología con alto grado de eficiencia, y que además incluya el uso de recursos renovables

A pesar de que se ha demostrado que las energías renovables pueden ser altamente eficientes, no producen grandes cantidades de desechos, no generan gases de efecto invernadero, e incluso representan ahorros económicos, la aceptación de dichas energías limpias no ha sido fácil, principalmente porque la tecnología que utilizan representa un costo elevado.

Por estas razones, y el compromiso que la sociedad ha adquirido con el medio ambiente, han surgido acuerdos mundiales que combinan el desarrollo de países con el cuidado del ambiente.

Dentro de los métodos de generación de energía que han reportado mayor rendimiento se encuentra el llamado cogeneración, el cual trata de generar tanto energía térmica como eléctrica a partir de una misma fuente.

En la presente tesis se propone un sistema de cogeneración que trabaje a partir del biogás generado por desechos orgánicos en una granja procesadora de carne de guajolote. Las actividades realizadas para concluir éste trabajo de tesis fueron principalmente de investigación. Para conocer los requerimientos de energía de la planta, fue necesario conocer los procesos utilizados en las granjas de cría de aves de corral, así como los métodos utilizados en el sacrificio de las mismas.

Una vez obtenidas las características de los procesos de crianza y sacrificio, se analiza el potencial energético de los desechos orgánicos generados, es decir, se determina la cantidad de biogás que puede obtenerse. En éste caso se utilizaran dos métodos para evaluar la cantidad de biogás, uno es el método de coeficientes de rendimiento del estiércol, y otro es el software RETScreen 4 utilizado para la evaluación de proyectos de energías limpias.

Se analizarán los tipos de tecnología de cogeneración con biogás y se realizará la estimación de la demanda energética requerida por el proceso de producción, con éstos datos, y la producción de biogás calculada, es posible dimensionar la planta en conjunto y seleccionar la tecnología más conveniente para el proyecto.

1. Antecedentes

Este capítulo aborda los conceptos básicos útiles para el desarrollo del presente trabajo de tesis; se puntualizan los conceptos de energías renovables, desarrollo sustentable y eficiencia energética los cuales marcan la introducción al tema principal de la tesis, que es la cogeneración con biogás.

La introducción al tema de cogeneración, se hace mediante definiciones y los tipos de tecnología que se utilizan. Se define el concepto de biogás, así como su composición y algunas de las tecnologías que se utilizan para su obtención.

Se resaltan las principales ventajas y desventajas que tienen las energías limpias, y el marco regulatorio bajo el cual se rigen los proyectos de cogeneración en México.

1.1 Energía y Desarrollo Sustentable

La energía en su forma más simple es utilizada para cubrir las necesidades de la humanidad, con el paso del tiempo, dichas necesidades se han incrementado y se han transformado, hoy en día el uso de la energía en sus diversas formas es fundamental para el desarrollo económico y el bienestar social en cualquier nación.

Dos ejemplos claros son la leña y el viento, que son los principales energéticos utilizados por las primeras civilizaciones, con el aumento de la población los bosques se vieron amenazados por una sobreexplotación descontrolada, lo que obligó a la búsqueda de nuevos combustibles que sin duda serían más eficientes como el carbón y el petróleo.

El viento siendo un recurso permanente en el planeta, ha sido utilizado de manera libre para la navegación de veleros, en molinos de viento para procesar granos, y más recientemente cómo recurso primario para la generación de energía.

Dentro de los principales recursos energéticos se encuentran los llamados combustibles fósiles (hidrocarburos y carbón); son aquellos que se extraen de los recursos naturales formados a partir de biomasa en el pasado geológico. Actualmente son la base de la producción de energía, un ejemplo claro de ello es el petróleo que se ha posicionado como el principal producto primario comercializado a nivel mundial. Su precio se relaciona con el desarrollo económico de quién lo posee y de quién lo compra.

Si bien la producción de energía depende principalmente de los recursos fósiles, desde hace varias décadas se ha tomado conciencia del cambio climático que sufre nuestro planeta, y de las consecuencias que éste conlleva para el medio ambiente en general. Dicha preocupación se tornó en acciones para la mitigación del cambio climático, las cuales promueven el uso responsable de los recursos naturales, la eficiencia energética, y el desarrollo sustentable.

¿Qué es desarrollo sustentable?

El concepto fue presentado por primera vez en el año 1987 por la Comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo, en su informe presentado a la asamblea general donde se expone el tema del desarrollo sustentable como: “el tipo de desarrollo que satisface las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Naciones Unidas, 1987)

Los tres componentes del desarrollo sustentable son:

- desarrollo económico,
- desarrollo social y
- protección del medio ambiente

Estos tres componentes son pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente. La erradicación de la pobreza, la modificación de las modalidades insostenibles de producción y consumo y la protección y ordenación de la base de recursos naturales del desarrollo económico y social son objetivos generales y requisitos indispensables del desarrollo sostenible. (Naciones Unidas, 1987)

El auge de las energías renovables se debe a que se les atribuyen las características del desarrollo sustentable, es por esta razón que se ha invertido en investigación e implementación de las mismas dentro del campo de generación eléctrica.

1.2 Energía Renovable

Definiciones

La energía como tal no puede regenerarse únicamente se transforma como lo dice la primera ley de la termodinámica, debido a las modificaciones al lenguaje nos referimos a las fuentes de energía como Energía Renovable, ER.

Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua. Las fuentes renovables de energía perduraran por miles de años. Las energías renovables se pueden clasificar de distintas formas: por su origen primario de la energía, por el nivel de desarrollo de las tecnologías, y por las aplicaciones de las energías (Alatorre, Frenk Claudio, 2009, p. 12).

La Ley Para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (Cámara de Diputados, México, 2008, p. 2) publicada en del diario Oficial de la Federación señala en el artículo 3º el concepto de energías renovables como:

Aquellas reguladas por esta Ley, cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles a ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, que se generan naturalmente, por lo que se encuentran disponibles en forma continua o periódica y que se enumeran a continuación:

1. El viento
2. La radiación solar en todas sus formas
3. El movimiento del agua en cauces naturales o artificiales

4. La energía oceánica en sus distintas formas, a saber: maremotriz, maremotérmica, de las olas, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal
5. El calor de los yacimientos geotérmicos
6. Los bioenergéticos, que determine la Ley de Promoción de los Bioenergéticos y
7. Aquellas otras que en su caso, determine la Secretaría cuya fuente cumpla con el primer párrafo de ésta sección

Las energías renovables se basan en los flujos y ciclos implícitos en la naturaleza. Son aquellas que se regeneran y se espera que perduren por cientos o miles de años. Además, se distribuyen en amplias zonas y su adecuada utilización tiene un impacto ambiental favorable en el entorno, elemento que hoy se convierte en una herramienta de gran importancia, ante la necesidad de disminuir significativamente la emisión de gases de efecto invernadero a nivel mundial (PEAER-SENER, p.11)

Beneficios de las Energías Renovables

La experiencia internacional, demuestra que las energías renovables producen diversos tipos de beneficios a los sistemas y a los países en su conjunto. Estos beneficios son tanto económicos, como sociales y ambientales. A continuación se presentan los beneficios en el caso particular de México.

Económicos: Reducción de los costos y los riesgos económicos de la energía.

- Las tecnologías basadas en energía renovable representan una opción económica para comunidades rurales aisladas (reducción de la factura energética).

- El costo de dicha tecnología es elevado si se trata de un sistema aislado pero en conjunto éste disminuye.
- Representan poca variabilidad de costos de la energía.

Contribución a la soberanía energética.

- Los recursos renovables permiten la conservación de los recursos no renovables y retardan la posibilidad de convertirnos en un país importador neto de energéticos.
- Menor dependencia de otros países en materia energética.

Aumento de la seguridad en el abasto de energía.

- Disminuyen la dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria de energía.

Sociales: Desarrollo rural e industrial; Mayor acceso a servicios energéticos sustentables en áreas rurales.

- La ER resultan ser, en muchos casos, la opción más rentable para proveer servicios energéticos tanto eléctricos como térmicos o mecánicos por medio de: estufas eficientes de leña, los digestores, las aerobombas y las bombas de ariete tanto para uso doméstico como productivo.

Fomento del desarrollo industrial y rural.

- Con ayuda de una adecuada política industrial, el uso de tecnologías de ER tiene impactos positivos en el desarrollo rural como son: mayor número de empleos locales, participación de los pobladores como socios de los proyectos, entre otros.

Ambientales globales y locales.

- Mitigación del cambio climático.
 - El aprovechamiento de las energías renovables, al desplazar el consumo de combustibles fósiles, constituye una de las principales estrategias de mitigación del cambio climático a nivel mundial.
 - Proyectos de ER representan para México una oportunidad importante de captar recursos internacionales de los mercados de bonos de carbono.

- Reducción de los impactos del sector energía sobre la salud y el medio ambiente
 - Disminución de emisión de gases y partículas contaminantes como el dióxido de azufre (SO₂) que al reaccionar con la atmósfera provoca lluvia ácida, causante de daños a la salud, y corrosión de monumentos históricos.

Contribución a la protección de bosques y selvas: Particularmente hay dos casos que pueden aumentar el interés de los pobladores locales para la conservación de los bosques y selvas al generar empleos locales e incrementar la renta forestal.

- a) los sistemas hidroeléctricos implican la conservación de la vegetación de los suelos en las cuencas.
- b) bioenergía.

Desventajas de las Energías Renovables

Existe una serie de características que pueden generar incertidumbre para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía y sus tecnologías.

Dispersión territorial y pequeña escala.

- La mayoría de los recursos renovables se encuentran dispersos en el territorio, esto implica que para obtener la misma cantidad de energía que se obtendría con tecnología convencional, se requiere una mayor extensión de terreno.
- Esta característica limita a los proyectos de ER a ser proyectos de menor escala que los convencionales.

Variabilidad en el tiempo.

- Las energías renovables se pueden denominar intermitentes como el viento, la radiación solar y el movimiento de las olas, es decir no tienen un comportamiento continuo, lo cual hace difícil el control sobre ellas. Es bien sabido que para satisfacer la demanda energética es necesario tener el control sobre la generación, esta “estabilidad” no la proporcionan las ER.
- Se requiere de una central convencional de respaldo cuando el recurso intermitente no se encuentra disponible.

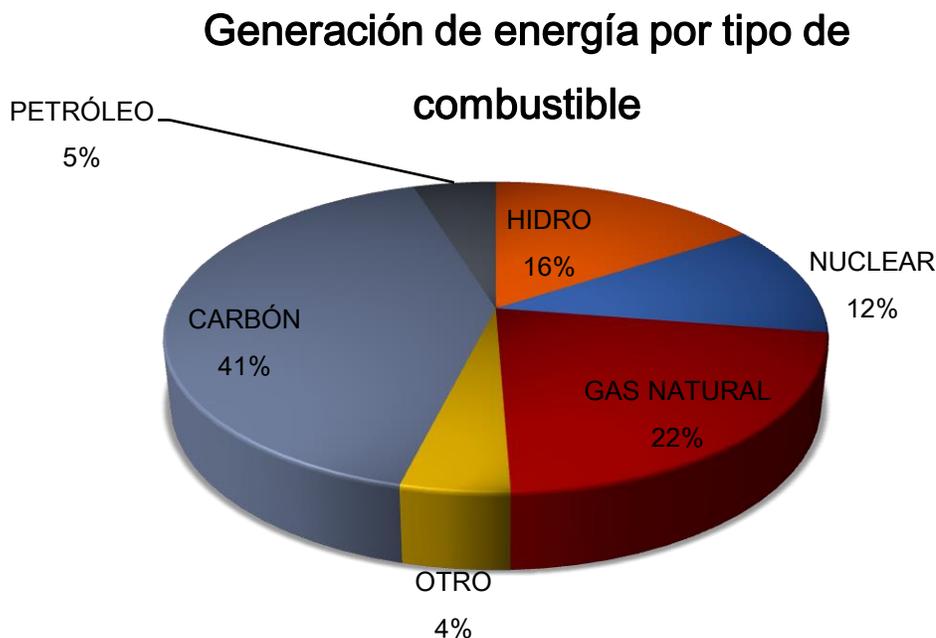
Mayor inversión inicial.

- Los costos de inversión de las energías renovables por MW son más altos que para las tecnologías convencionales, mientras que sus costos de operación son más bajos. Esta particularidad se convierte en una barrera más para el desarrollo de las energías renovables, sobre todo en un contexto de escasez de financiamiento para inversiones.

Panorama del sector energético a nivel mundial

Producción de energía eléctrica

En el año 2011 se registró una generación de energía eléctrica de 22, 126 TWh a nivel mundial, según datos de la Agencia Internacional de Energía, la gráfica siguiente muestra la distribución porcentual de dicha producción respecto al tipo de combustible utilizado.



Gráfica 1.1. Producción mundial de energía eléctrica por tipo de combustible en el año.

Nota: El campo "otro" incluye geotermia, solar, viento, biocombustibles, biomasa y calor.

Fuente: Keyworld 2013 IEA

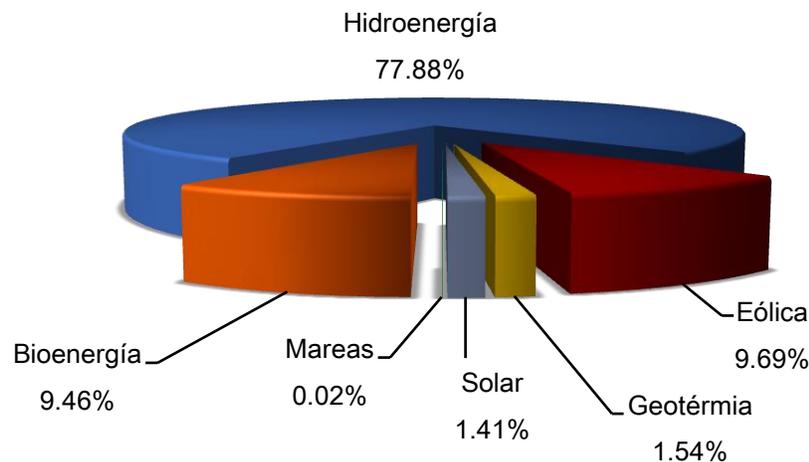
La principal fuente de generación de energía en China fue el carbón, con una producción de 3,723 TWh, en Japón fue el petróleo, con un estimado de 153 TWh, y en los Estados

Unidos de América el combustible más utilizado fue el gas natural, con una generación estimada de 1,045 TWh.

En México, se utilizó gas natural para producir 156 TWh y petróleo para producir 48 TWh ocupando el quinto y cuarto puesto, respectivamente, a nivel mundial al año 2011.

De la Gráfica 1.1 se puede decir que el porcentaje que corresponde a energías renovables es el 20%, es decir 4,482 TWh, el cual se subdivide a su vez como lo muestra la Gráfica 1.2. La mayor participación la tiene el sector hidro energético con un total de 3,490 TWh, y la menor es la energía maremotriz con 1 TWh, seguida de los paneles de concentración solar con 2 TWh, en la gráfica, el término solar conlleva paneles de concentración y fotovoltaicos.

Porcentaje equivalente de generación de energía eléctrica renovable



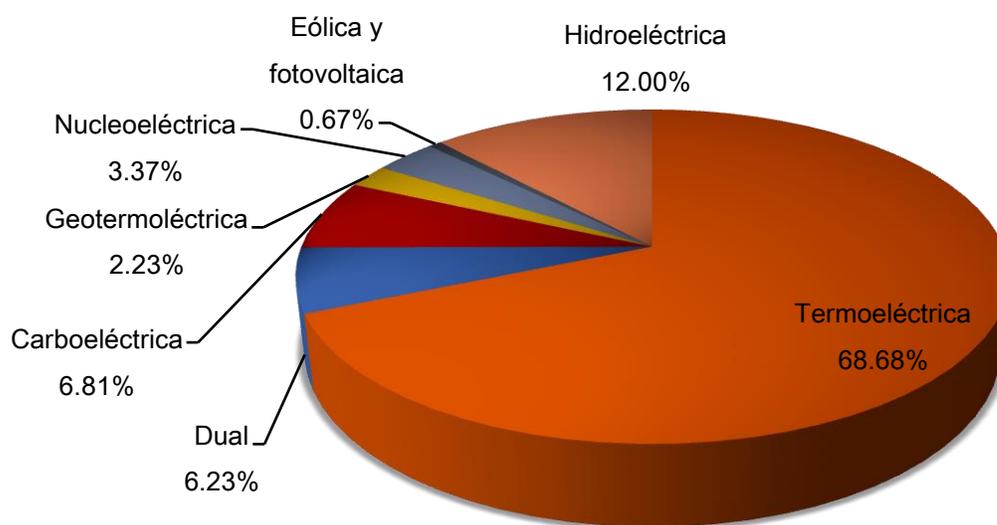
Gráfica 1.2. Participación porcentual de las energías renovables en la generación de energía eléctrica mundial en el año 2011.

Fuente: Elaboración propia con datos de la IEA, *World Energy Outlook 2013*.

Datos obtenidos del Sistema de Información Energética (SIE), indican que la generación bruta de energía en México, al año 2013, fue de 257.86 TWh.

Generación bruta de energía por tipo de tecnología

257.86 TWh (año 2013)



Gráfica 1.3. Generación bruta de energía por tipo de tecnología al año 2013.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIE.

1.3 Eficiencia Energética

La eficiencia energética es una herramienta que promueve la reducción de la cantidad de energía que se necesita para cubrir las necesidades de los diferentes sectores energéticos. En pocas palabras es hacer más con menos.

La Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, LASE, en el punto IV del Artículo 2, se establece la eficiencia energética como:

“Todas las acciones que conlleven a una reducción económicamente viable de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que requiere la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior y una disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía. Queda incluida dentro de esta definición, la sustitución de fuentes no renovables de energía por fuentes renovables de energía”

En México (2009) se publicó por primera vez el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, PRONASE 2009-2012, es un programa especial que rige el aprovechamiento sustentable de energía en México. El poder Ejecutivo Federal establece por medio de dicho programa, las estrategias objetivos acciones y metas que permitan alcanzar el uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo final.

El PRONASE 2014-2018, define 6 objetivos fundamentales para lograr las metas nacionales que se han planteado, enfocadas hacia el desarrollo sustentable del país. Dichos objetivos y estrategias se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Definición de Objetivos y Estrategias del PRONASE 2014-2018

Objetivo	Estrategias
<p>Diseñar y desarrollar programas y acciones que propicien el uso óptimo de energía en procesos y actividades de la cadena energética nacional</p>	<p>Implementar acciones de eficiencia energética en los procesos de explotación, transformación y distribución de las empresas energéticas paraestatales.</p> <p>Incrementar la eficiencia energética en los sectores residencial, comercial y servicios, agropecuario e industrial mediante la sustitución de tecnologías.</p> <p>Incrementar la eficiencia en el consumo de energía del sector transporte.</p> <p>Propiciar programas de eficiencia energética dentro de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal.</p> <p>Dar continuidad y fortalecer las acciones de eficiencia energética en los servicios que proveen los estados y municipios.</p>
<p>Fortalecer la regulación de la eficiencia energética para aparatos y sistemas consumidores de energía fabricados y/o comercializados en el país.</p>	<p>Apoyar las actividades de normalización de eficiencia energética.</p> <p>Apoyar y fortalecer el sistema de evaluación de la conformidad con las NOM de eficiencia energética.</p>
<p>Fortalecer los sistemas e instancias de gobernanza de la eficiencia energética a nivel federal, estatal y municipal e integrando instituciones públicas, privadas, académicas y sociales</p>	<p>Promover y apoyar el establecimiento de arreglos institucionales para el diseño y ejecución de políticas, programas y proyectos de eficiencia energética en estados y municipios.</p> <p>Promover arreglos institucionales para la ejecución de programas y proyectos de eficiencia energética en grandes usuarios de energía.</p> <p>Impulsar el desarrollo de marcos propicios para el financiamiento de programas y proyectos de eficiencia energética.</p> <p>Desarrollar mecanismos de coordinación gubernamental para la formulación y ejecución de políticas y programas de eficiencia energética.</p>
<p>Fomentar el desarrollo de capacidades técnicas y tecnológicas vinculadas al aprovechamiento sustentable de la energía</p>	<p>Ampliar y mejorar la capacidad de capacitación de personal dedicado al diseño, implantación y operación de proyectos y programas de eficiencia energética. Fortalecer y ampliar la oferta de empresas de consultoría y de desarrollo de proyectos. Difundir información de apoyo a los profesionales y empresas dedicadas a la eficiencia energética.</p>

Objetivo	Estrategias
Contribuir en la formación y difusión de la cultura del ahorro de energía entre la población	Identificar y valorar los impactos positivos del aprovechamiento sustentable de la energía en el contexto del hogar, de las empresas y del país. Divulgar información sobre el aprovechamiento sustentable de la energía.
Promover la investigación y desarrollo tecnológico en eficiencia energética	Fortalecer las capacidades nacionales de investigación relacionada a la eficiencia energética. Promover la investigación que genere conocimiento especializado para el desarrollo de acciones de eficiencia energética.

Fuente: Elaboración propia a partir de información del PRONASE 2014-2018

Dentro de las líneas de acción más comunes se encuentra el incremento de la eficiencia energética ya sea para consumo de energía, utilización de combustibles, procesos industriales; el apoyo a la modernización tecnológica; la regulación del sector energético bajo normas específicas de eficiencia energética.

El PRONASE está dirigido a todos los sectores, el industrial, el comercial y el residencial; propone impulsar el aprovechamiento de potenciales como el de cogeneración en el sector petroquímico, así como el acercamiento de los consumidores finales a las tecnologías renovables.

Se contempla que cada línea de acción incluya el cuidado del medio ambiente, haciendo un uso racional de los recursos utilizados, y aprovechando al máximo su potencial energético.

1.4 Cogeneración y Biogás

¿Qué es cogeneración?

La cogeneración se define como la producción secuencial de energía eléctrica y/o mecánica y de energía térmica aprovechable en los procesos industriales a partir de una misma fuente de energía primaria (CONUEE, México, 2013)

La cogeneración es una tecnología que permite alcanzar mayores índices de eficiencia energética y emisiones evitadas. Las energías térmica y eléctrica son insumos indispensables en la mayor parte de las empresas del sector industrial. Cuando estas dos formas de energía se requieren de manera conjunta, se presenta la oportunidad de implementar sistemas de cogeneración, como consecuencia se obtiene de manera simultánea mayor eficiencia en el uso de combustibles fósiles y menor generación de emisiones contaminantes por unidad de energía útil.

El desarrollo de la cogeneración permitirá utilizar menos combustibles para obtener la misma cantidad de energía en forma de calor y electricidad, con importantes beneficios adicionales, tanto ambientales como económicos.

Particularmente en México, los principales beneficios por el desarrollo de la cogeneración son:

- Ahorro de energía primaria de combustibles nacionales
- Reducción de la importación de combustibles
- Disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera
- Nuevas inversiones, desarrollo regional y creación de empleos
- Liberación de la capacidad de la red y de las subestaciones eléctricas en el Sistema Eléctrico Nacional, SEN.
- Reducción de pérdida de transmisión, transformación y distribución en el SEN

Para los usuarios industriales:

- Mayor disponibilidad y confiabilidad del suministro eléctrico, al contar con generación propia y respaldo de la red del SEN, evitando cortes de suministro que afectarían la producción, con su costo correspondiente.
- Mejor calidad de energía, incrementando la vida útil de los equipos que se utilizan en los procesos.
- Disminución de la factura energética (Electricidad + Combustibles).
- Incremento de la competitividad por reducción de costos de producción y mejor calidad de la energía.

Clasificación de sistemas de cogeneración.

Los sistemas de cogeneración se clasifican en:

- a) Sistemas inferiores. Generan la electricidad a partir de la energía térmica no utilizada en los procesos industriales como los gases calientes de escape de hornos o los gases combustibles. Las industrias donde se pueden aplicar son principalmente las siguientes: cemento, acero, vidrio y algunas petroquímicas y químicas.
- b) Sistemas superiores. Aprovechan el calor residual de los gases de escape producido en la combustión de algún energético como gas natural, diesel, carbón u otro similar utilizado como producto primario en la generación de energía eléctrica. Se utilizan en industrias como: papel y celulosa, química, azucarera, textil, cerveza, agroindustria, alimentos, entre otras que requieren vapor o agua caliente para realizar los procesos.

La eficiencia de la conversión de energía primaria en energía útil, siempre es mayor en un sistema de cogeneración comparado con uno convencional, ya que la cogeneración proporciona entre 20 y 45 % de ahorro de energía primaria solamente por el proceso de conversión. Se disminuyen las pérdidas por transmisión. En la Tabla 1.2 se muestra una comparativa de la eficiencia de sistemas convencionales con sistemas de cogeneración.

Tabla 1.2. Eficiencias típicas comparativas de generación y cogeneración

Tecnología	Planta convencional (%)	Cogeneración (%)
Turbina de vapor	7-38	60-80
Turbina de gas	25-42	65-87
Ciclo combinado	35-55	73-90
Motor- generador	25-45	65-92
Microturbinas	15-30	60-85
Celdas de combustible	37-50	85-90

Fuente: Estudio sobre Cogeneración en el Sector Industrial en México. México 2009, p. 12

Características principales de la cogeneración

La cogeneración se diseña para satisfacer los requerimientos de energía de los procesos industriales; por ello, debe ser:

- ✓ Adecuada para los requerimientos del proceso productivo del usuario.
- ✓ Flexible para variaciones estacionales y horarias.
- ✓ Con alto grado de confiabilidad y disponibilidad.
- ✓ Con nivel de inversión competitiva.
- ✓ Que genere ahorros económicos sustantivos en comparación con las condiciones actuales, para que éstos permitan pagar la inversión y su financiamiento.

Elementos de una planta de cogeneración

Los elementos comunes en cualquier planta de cogeneración (Empresa OTSI) son los siguientes:

1. Fuente primaria de energía: el gas natural es la fuente más utilizada, pero también pueden utilizarse otras fuentes de energía como residuos orgánicos.
2. Motor: Es el encargado de convertir energía térmica o química en mecánica. Dependiendo del tipo de planta pueden ser turbinas de gas, de vapor o motores alternativos (de pistón)
3. Sistema de aprovechamiento de energía mecánica. Por lo general es un alternador que transforma la energía mecánica en eléctrica, pero también puede tratarse de un compresor, bombas, etc. Donde la energía mecánica es aprovechada directamente.
4. Sistema de aprovechamiento de calor: Pueden ser calderas recuperadoras de calor de gases de escape, secadores o intercambiadores de calor, incluso unidades de absorción que producen frío a partir de este calor de bajo rango.
5. Sistema de refrigeración: En todo sistema térmico una parte de la energía contenida en el combustible no será aprovechada en la planta y debe ser evacuada; las torres de enfriamiento, los condensadores o los intercambiadores de calor suelen ser elementos habituales de estos sistemas. Las plantas de cogeneración buscan minimizar la cantidad de calor desaprovechado y evacuado a la atmósfera.
6. Sistema de tratamiento de agua. Tanto el sistema de refrigeración como el aprovechamiento de calor requieren ciertas especificaciones en las características físico-químicas del fluido que utilizan (generalmente agua) que requiere una serie de sistemas para su tratamiento y control.
7. Sistema de control. Encargado de controlar el funcionamiento de las instalaciones que por lo general están muy automatizadas.
8. Sistema eléctrico. Permite tanto la alimentación de los equipos auxiliares de la planta como la exportación e importación de energía eléctrica necesaria para cumplir la demanda de la planta. Debe ser un sistema confiable, y capaz de trabajar aislado en caso de falla en la red externa.

Los equipos y configuraciones más utilizados en la cogeneración son:

Turbina de vapor: La energía térmica es producida en una turbina, acoplada a un generador eléctrico, mediante la expansión de vapor de alta presión generado en una caldera convencional. Existen tres tipos de turbinas de vapor que son a contrapresión, a extracción y a condensación.

- 1) A contrapresión; el vapor producido se utiliza directamente sin necesidad de un condensador y equipo periférico, como torres de enfriamiento.
- 2) De extracción / condensación; una parte del vapor se puede extraer en uno o varios puntos de la turbina antes de la salida al condensador, obteniendo así vapor a proceso a diferentes presiones, el resto del vapor se expande hasta la salida del condensador.

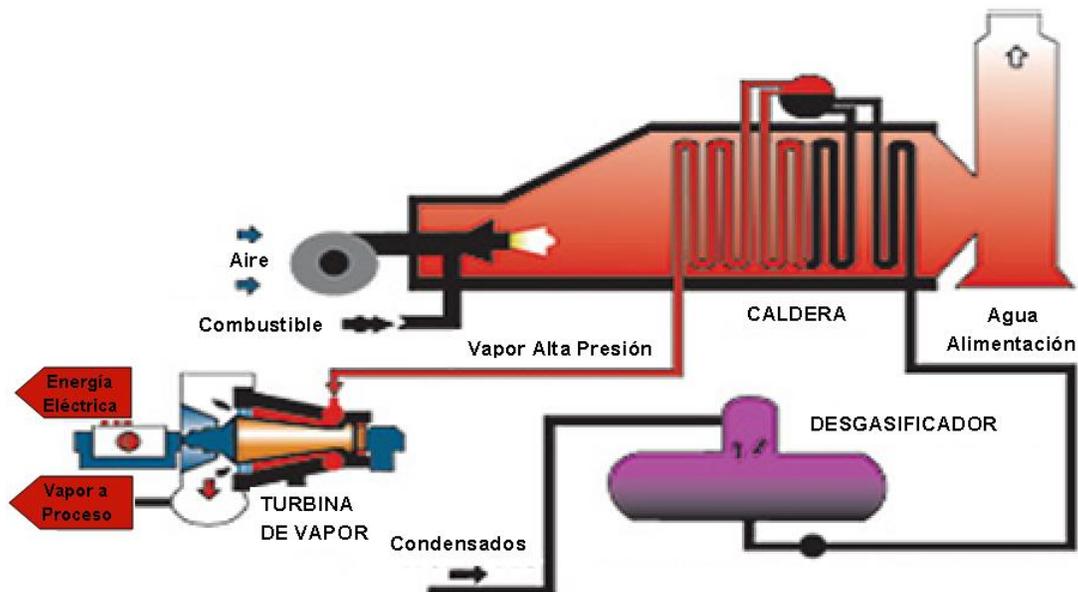


Figura 1.1. Ciclo con turbina de vapor

Fuente: <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/plantas-de-cogeneracion#ancla>

Turbina de Gas: En estos sistemas se quema combustible en un turbogenerador. Parte de la energía se transforma en energía mecánica, que se transformará con la ayuda del alternador en energía eléctrica. Su rendimiento eléctrico es inferior al de los motores alternativos, sin embargo permiten una recuperación fácil del calor, concentrado en los gases de escape, que está a una temperatura de unos 500°C, idónea para producir vapor en una caldea de recuperación. Cuando se presenta en el denominado ciclo simple, el sistema consta de una turbina de gas y una caldera de recuperación, generándose vapor directamente a la presión de utilización en la planta de proceso asociada a la cogeneración. Son plantas de gran fiabilidad y económicamente rentables cuando están diseñadas para una aplicación determinada. El diseño del sistema de recuperación de calor es primordial, pues su economía está directamente ligada al mismo, ya que a diferencia de las plantas con motores alternativos el precio del calor recuperado es esencial en un ciclo simple de turbina de gas.

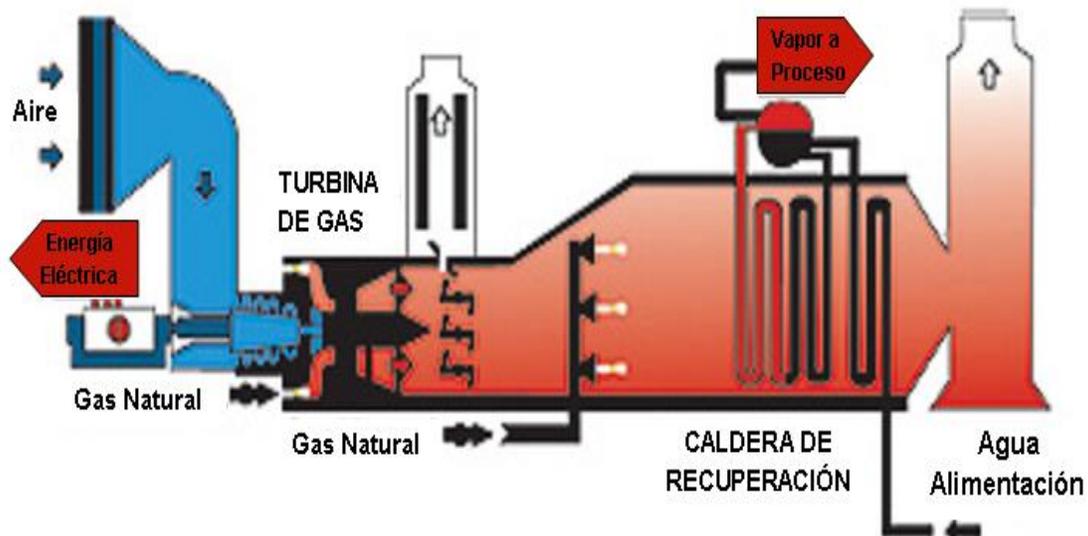


Figura 1.2. Ciclo con Turbina Gas en ciclo simple

Fuente: <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/plantas-de-cogeneracion#ancla>

Ciclo combinado: Consiste en la aplicación conjunta de una turbina de gas y una de vapor, con todas sus posibles combinaciones en lo referente a los tipos de combustibles utilizados, quemadores de postcombustión, salidas de vapor de turbina a contrapresión o condensación, etc. El rendimiento global en la producción de energía eléctrica es mayor que las soluciones anteriores. En este sistema los gases producidos en la combustión de la turbina de gas, se emplean para producir vapor a alta presión mediante una caldera de recuperación, para posteriormente alimentar la turbina de vapor, sea de contrapresión o extracción-condensación y producir por segunda vez energía eléctrica, utilizando el vapor a la salida de la turbina o de las extracciones para los procesos de que se trate.

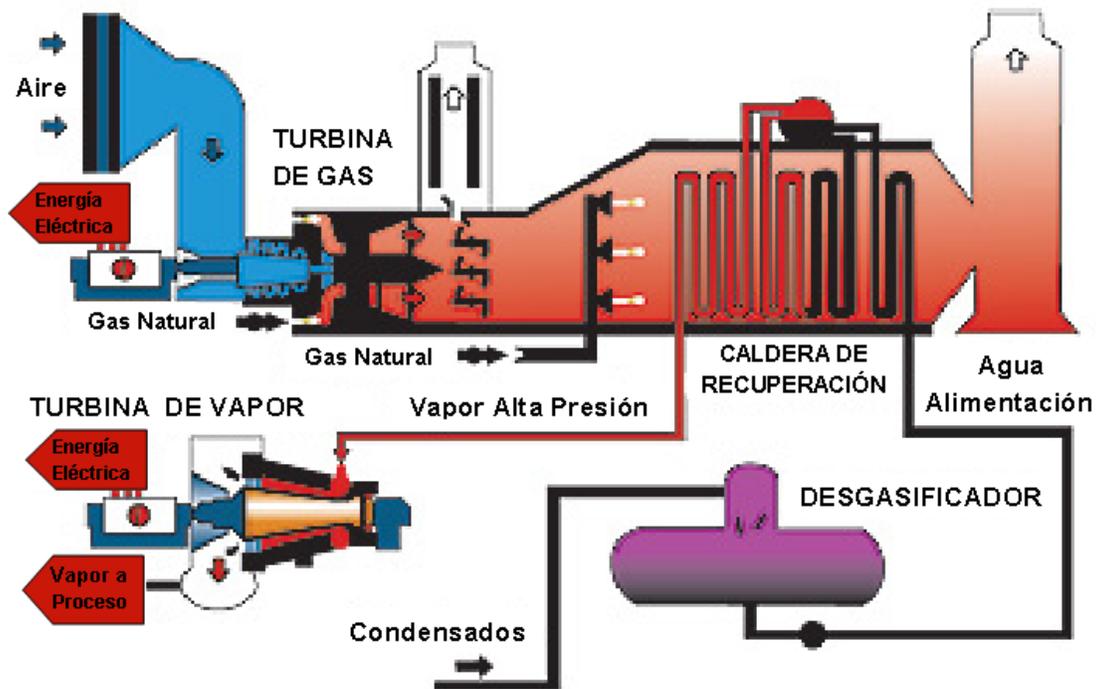


Figura 1.3. Ciclo combinado

Fuente: <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/plantas-de-cogeneracion#ancla>

Motor Alternativo: Los motores alternativos aportan rendimientos eléctricos más elevados, en cambio tienen limitaciones en cuanto al aprovechamiento de energía térmica. Dicha energía térmica posee un nivel térmico inferior y se encuentra repartida entre sus diferentes subsistemas. Son sistemas con mayor flexibilidad, lo cual les permite responder de manera casi inmediata a las variaciones de potencia, sin que ello conlleve un gran incremento en el consumo específico del motor.

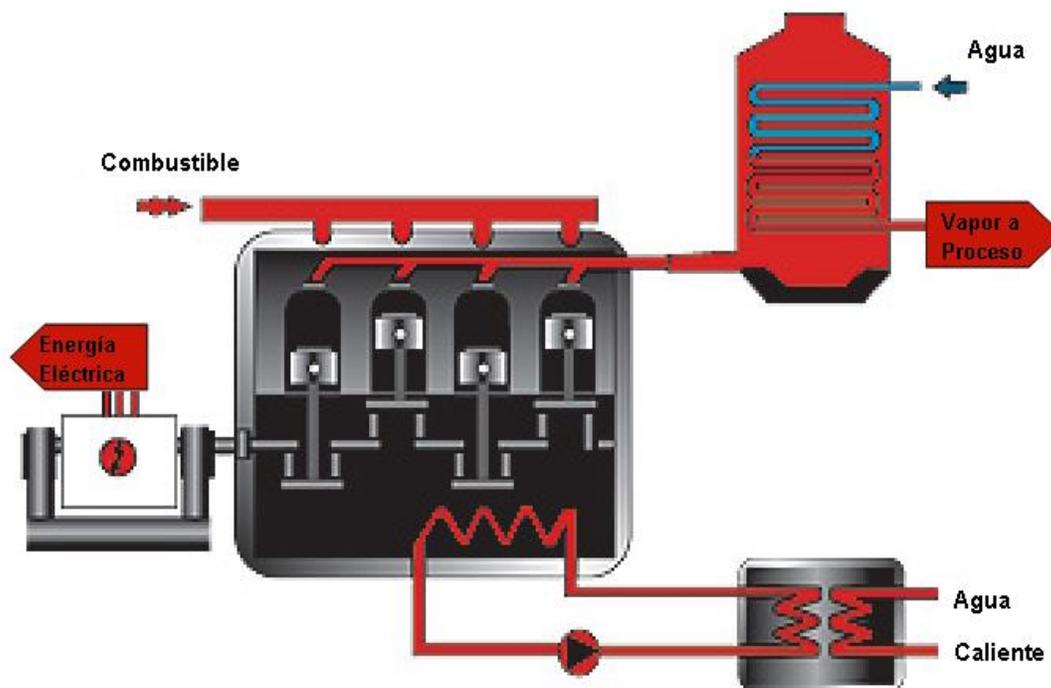


Figura 1.4. Ciclo con Motor Alternativo

Fuente: <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/plantas-de-cogeneracion#ancla>

Microturbinas: La micro cogeneración consiste en la generación simultánea de energía eléctrica y térmica pero a muy baja escala. Con potencias típicas en el entorno de 50kW, el motor térmico principal puede consistir en una pequeña turbina o un pequeño motor de explosión.

Una microturbina es esencialmente una planta de poder miniatura, auto-contenida, que genera energía eléctrica y calorífica en rangos desde 30kW hasta 1.2 MW en paquetes múltiples (multipacks). Tiene una sola parte móvil, sin cajas de engranes, bombas u otros subsistemas, y no utiliza lubricantes, aceites o líquidos de enfriamiento. Estos equipos pueden usar varios tipos de combustibles tanto líquidos como gaseosos, incluyendo gas amargo de pozos petroleros con un contenido amargo de hasta 7%, gas metano, gases de bajo poder calorífico (tan bajo como 350 Btu) emanados de digestores de rellenos sanitarios.

Empresas comerciales, pequeñas industrias, hoteles, restaurantes, clínicas, centros de salud, y una multitud de otras aplicaciones pueden combinar sus necesidades de electricidad y energía térmica mediante el uso de microturbinas como sistemas de cogeneración que anteriormente era difícil de lograr.

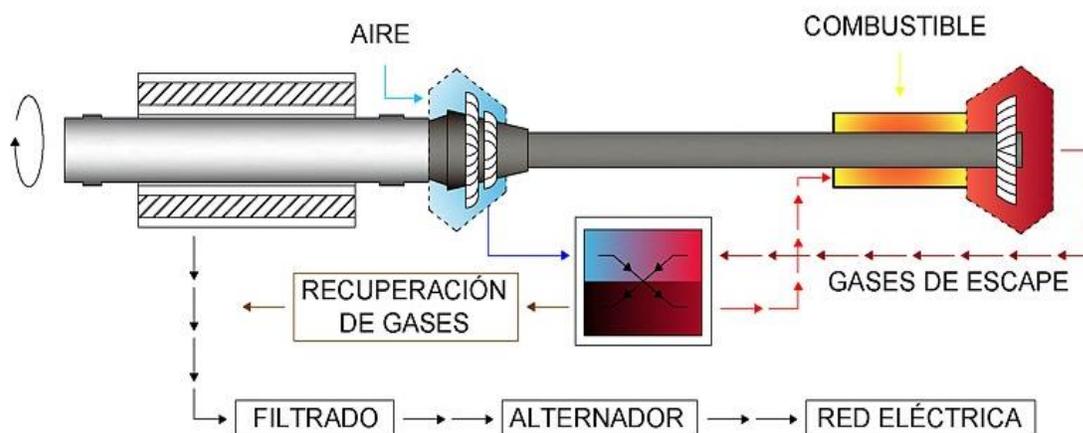


Figura 1.5. Microturbina de Gas

Fuente: <http://www.multitekingenieros.com/microcogeneracion>

Potencial de Cogeneración en México

De acuerdo con estadísticas de la CRE, el número de permisos de generación de energía eléctrica, vigentes al 31 de marzo de 2014 es de 556, de los cuales 461 corresponden a autoabastecimiento, 95 son de cogeneración; del total 447 están en operación, 77 se reportan en construcción, 3 se encuentran inactivos y 29 reportan que iniciarán operación a más tardar en 2018.

El principal combustible que se utilizará en cogeneración es gas natural, sin embargo, también se reporta el uso de biogás en 7 proyectos. La actividad económica preponderante es la petrolera, con 15 permisos, seguida de industrias diversas con 13 y demás.

En la Propuesta de creación de COGENERA México (2013) se destaca que el mayor potencial de cogeneración se presenta en las instalaciones de PEMEX y en otras grandes industrias con un patrón de alto consumo de energía y que utilizan calor en sus procesos. De acuerdo al estudio “Cogeneración en el Sector Industrial en México”, realizado por CONUEE-GIZ (2009), el potencial máximo de cogeneración estimado en México es de 10,164 MW.

Sin embargo, a pesar que éste tipo de generación de energía es económicamente rentable y que en México se han dado grandes pasos en materia regulatoria y para la promoción de la cogeneración, no se ha logrado un incremento sustancial en la capacidad instalada.

El potencial total se distribuye en diversos subsectores como lo muestra la Tabla 1.3. Sin embargo su desarrollo se ha visto limitado por:

- ❖ La falta de un marco regulatorio adecuado.
 - ◆ La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos indica claramente que la actividad de generación eléctrica corresponde exclusivamente a la Nación.
 - ◆ Al planterase como objeto principal de la cogeneración el autoabastecimiento, se limita el aprovechamiento de la energía.
 - ◆ Tendrán que definirse metodologías de interconexión a la red para los cogeneradores.
 - ◆ Para poder obtener el permiso de cogeneración se requiere llevar a cabo trámites de permisos y licencias en los tres niveles de gobierno.
- ❖ La falta de conocimiento en la industria sobre los beneficios de la cogeneración.
- ❖ La falta de personal especializado para dichos proyectos.

Tabla 1.3. Potencial nacional total de cogeneración en México

Sector	Máximo teórico (MW)	Técnicamente factible (MW)	Económicamente factible (MW)	Potencial máximo con excedentes en la industria (MW)
Industrial	2,630	2,286	1,989	6,085
Azucarero	979	979	979	979
PEMEX	3,100	3,100	3,100	3,100
Total	6,710	6,365	6,069	10.164

Fuente: Consulta en línea <http://www.cogeneramexico.org.mx/menu.php?m=74> (9-01-2014)

¿Qué es Biogás?

El biogás es una mezcla de gases constituida principalmente por metano bióxido de carbono y una pequeña porción de trazas de otros gases como ácido sulfhídrico, nitrógeno, oxígeno y vapor de agua entre otros. Se obtiene a partir de residuos vegetales y animales como estiércol animal o humano, aguas negras y residuos agrícolas, concentrados dentro de digestores en los cuales se puede degradar la materia orgánica hasta convertirse en biogás y otros efluentes.

Existen diversos tipos de clasificaciones para los digestores, para efectos del presente trabajo de tesis nos enfocaremos en el reactor anaerobio.

El proceso biológico que ocurre dentro de los digestores cerrados es de tipo anaerobio; en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas la materia orgánica se descompone en productos gaseosos o “biogás” y en efluente, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación.

Los reactores anaerobios más utilizados son: a) los de flujo continuo, b) los de tipo estanque.

En éste tipo de digestores el biogás es almacenado sobre el fermentador y el material residual es depositado en un estanque abierto para luego ser utilizado como fertilizante. El digestor se alimenta regularmente con un cierto volumen de materia orgánica y por medio de un sistema de bombeo se retira el mismo material residual. El tiempo de descomposición de la materia orgánica depende de la temperatura de fermentación aproximadamente entre 20 o 30 días.

Los digestores tipo estanque, se componen por dos estanques el primero es para la fermentación y la homogenización de la materia orgánica, el segundo tanque es para el material residual, éste se encuentra cerrado herméticamente y el gas que se produce ahí dentro también se almacena.

El biogás contiene un alto porcentaje en metano, ésta característica convierte al biogás en una fuente de energía primaria ya que puede ser utilizado como combustible en motores, en turbinas o en calderas.

Tabla 1.4. Composición del Biogás

Componente	Concentración aproximada (%)
Metano (CH ₄)	55 - 70
Dióxido de Carbono (CO ₂)	35 - 40
Hidrógeno (H ₂)	1 - 3
Nitrógeno (N ₂)	0.5 - 3
Sulfuro de Hidrógeno	0.1
Vapor de Agua	Trazas

Fuente: SAGARPA-FIRCO (2007), Aprovechamiento de biogás para la generación de energía eléctrica en el sector agropecuario. Página 16.

La tabla anterior muestra la composición del biogás en porcentaje. Para obtener un alto contenido de metano en el biogás, la materia orgánica debe ser rica en contenido de carbono.

Algunos usos del biogás son:

- a. Combustible para producción de calor en calderas.
- b. Combustible de motores, calderas o turbinas para producción de electricidad.
- c. Cogeneración.
- d. Combustible para automotores.
- e. Inyección a la red de distribución de gas, después de ser purificado.

El proceso controlado de digestión conlleva la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados. Aunado a ellos, la reducción de olores fétidos es significativa, y la mineralización de los suelos a partir de los abonos resultantes.

Algunos tipos de residuos, que pueden tratarse mediante digestión son los provenientes de las industrias ganadera y agrícola, así como los residuos derivados de los procesos utilizados en ambos ramos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, camas de ganado etc. Éste tipo de digestión también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias.

Las granjas de cría de ganado de dimensiones grandes, representan un gran problema por las altas concentraciones de purines que producen. Una solución para éste problema es la propuesta de una planta de producción de biogás como auto abastecimiento energético según las necesidades de la instalación.

Una situación ideal sería implantar un pequeño sistema de cogeneración, que permitiría un ahorro en agua caliente y electricidad en épocas frías, junto con la conexión a la red para la venta eléctrica. En los meses de verano, venta a la red eléctrica o venta de biogás para su embotellado a presión.

En la siguiente sección se verá que lo anterior permite el marco regulatorio de México.

1.5 Marco Regulatorio en México

Con el paso del tiempo el gobierno Mexicano se ha dado a la tarea de promover el uso de nuevas tecnologías y recursos para la generación de energía eléctrica. Sin embargo la modernización del sistema eléctrico se ve obstaculizada por la falta de un marco regulatorio adecuado.

La generación de energía eléctrica se rige por varios artículos de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, de los cuales destacan los siguientes:

El artículo 25, que señala que corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional, para garantizar que éste sea integral y sustentable y que fortalezca la Soberanía de la Nación.

El artículo 27, que en su tercer párrafo otorga a la Nación el derecho de regular, en beneficio social, “el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación [incluyendo los energéticos no renovables], con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.”

El artículo 28, que establece la necesidad de asegurar la eficacia de la prestación de los servicios y la utilización social de los bienes.

Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

Esta ley se basa en el artículo 27 de la Constitución, y define a todos los actos relacionados con el servicio público de energía eléctrica son de orden público y que tanto el autoabastecimiento, cogeneración o pequeña producción no son servicios públicos.

Sin embargo ésta ley en su artículo 36 se refiere a la otorgación de permisos para cogeneración, autoabastecimiento, pequeña producción, producción independiente o de importación o exportación de energía eléctrica según las condiciones que señala dicho artículo.

En cuanto a cogeneración, el permiso se otorgará si la energía generada se destina para satisfacer las necesidades de establecimientos asociados a la cogeneración, siempre que se incrementen las eficiencias energéticas y económicas de todo el proceso y que la primera sea mayor a la obtenida en plantas de generación convencional. El permisionario puede no ser el operador de los procesos que den lugar a la cogeneración. El excedente de energía eléctrica tiene que ponerse a disposición de la CFE.

Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE).

Tiene como objetivo regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación de servicio público de energía eléctrica. En el artículo 20 se especifica que para la cogeneración se aplicarán las mismas ventajas y apoyos establecidos para las energías renovables en el art.7

Ley para el Aprovechamiento Sustentable de Energía

Básicamente trata de promover las acciones y estrategias para el buen uso de la energía, un punto muy importante es la eficiencia energética ya que se impulsa la sustitución de fuentes no renovables de energía por fuentes renovables de energía.

Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos

Tiene por objeto el promover el uso y desarrollo de los bioenergéticos, logrando una diversificación energética y el desarrollo sustentable en apoyo al campo mexicano. Se establecen las bases para la producción de insumos bioenergéticos derivados de actividades agropecuarias, algas, forestales, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano; también se promueve el desarrollo de la producción, comercialización y uso eficiente de los bioenergéticos para contribuir al desarrollo integral de las comunidades (particularmente las de muy alta marginalidad); procurar reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Dentro de las instituciones que regulan el sector energético se encuentran las siguientes

La Secretaría de Energía, SENER, órgano rector del sector energético en México, su principal actividad es generar políticas públicas energéticas que permitan el uso racional y responsable de recursos energéticos, garantizando el abasto de los mismos y el bienestar tanto social como ambiental.

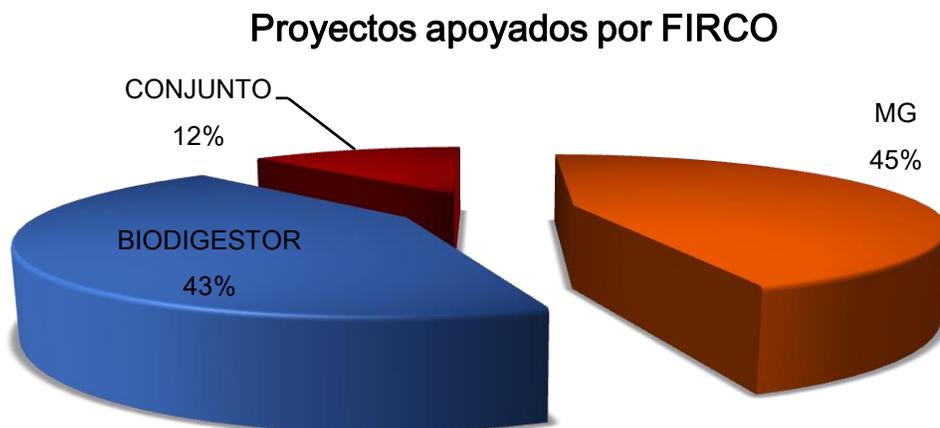
La Comisión Reguladora de Energía, CRE, es la encargada de regular la interacción entre los generadores privados de energía y la CFE, por medio de normas y metodologías de carácter administrativo respecto a la generación de energía eléctrica. La CRE también es

responsable de otorgar permisos, autorizar precios y tarifas, aprobar términos y condiciones para la prestación de servicios, también tiene la facultad de aplicar sanciones.

La Comisión Federal de Electricidad, CFE, es la encargada de controlar, generar, transmitir y comercializar la energía eléctrica en México. Respecto al tema de cogeneración, la CFE realiza un proceso minucioso, en el cual determina la factibilidad del proyecto.

La Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, SAGARPA, creó un fideicomiso para impulsar proyectos con la finalidad de emprender el desarrollo del sector industrial en México. El Fideicomiso de Riesgos Compartidos, FIRCO, incluye diversos proyectos que promueven el uso de energías renovables, en 2010, se financiaron parcialmente 146 proyectos, los apoyos a instalación de digestores y Moto-Generadores, MG, continuaron realizándose en la componente de energía renovable y digestores del PROVAR (Proyecto de Apoyo al Valor Agregado), la Gráfica 1.4 es la distribución de los proyectos, y la

Tabla 1.5 muestra la reducción de emisiones de CO₂ logradas gracias a estos proyectos.



Gráfica 1.4. Distribución porcentual de proyectos con energías renovables (2010)

Fuente: Informe de Rendición de Cuentas 2006-2012. Memoria Documental "Proyectos de Energía Renovable", SAGARPA-FIRCO, Octubre 2012, p. 82

Tabla 1.5. Emisiones evitadas de carbono y ahorro de energía

Tecnologías	Proyectos	Impactos (Anual)	
		Reducción GEI (Ton CO ₂ e)	Generación/ahorro Energía (MWh)
Digestores	63	133,686.00	
Motogeneradores (MG)	65	7,169.50	10,790.00
Conjunto	18	1,985.40	2,988.00
Total	146	142,840.90	13,778.00

Fuente: Informe de Rendición de Cuentas 2006-2012. Memoria Documental "Proyectos de Energía Renovable", SAGARPA-FIRCO, Octubre 2012, p. 82

Conclusión del Capítulo 1

Las oportunidades para el campo de la cogeneración en México son favorables, existen diversos programas que ofrecen apoyo a proyectos que utilicen energía limpia, o que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

El interés por la diversificación dentro del campo de generación de energía es un punto positivo para las energías renovables y la cogeneración, ya que se cuenta con un potencial de recursos favorable y se han trabajado las políticas públicas en pro del desarrollo de nueva tecnología e impulso de los proyectos.

Es claro que el sector con más oportunidades de cogeneración es el petroquímico, sin embargo el sector agropecuario también cuenta con ventajas importantes en términos de la disposición de desechos y del aprovechamiento de la biomasa para autoabastecimiento. En capítulos posteriores se describirá el potencial energético de los desechos orgánicos producidos en una granja de guajolotes, la cual requiere de una producción específica diaria equivalente a dos toneladas de carne en canal.

2. Proceso energético utilizado en la granja de pavos

En México, el consumo de carne de guajolote o pavo es bajo, ya que generalmente se limita a la época navideña y fin de año; en el año 2012 se produjo una cantidad de 27,534 toneladas de guajolote en pie. Existen tres sistemas de producción de carne de pavo que se diferencian entre sí por el nivel tecnológico que se utiliza en cada uno de ellos.

El primero y el más antiguo es la **cría de traspatio o de tipo rural**, que se dedica a la crianza de lotes pequeños de aves, que pueden ir desde un par hasta 50 o 100, generalmente es utilizada para autoconsumo, una pequeña parte se comercializa dentro de la región ya sea como aves en pie o en canal. Ésta práctica es realizada principalmente en comunidades rurales, ya que no requiere grandes recursos para su práctica.

Otro sistema es el **tecnificado**, que se dedica a cubrir el abasto de fin de año y el consumo de piezas como son pechugas y piernas que han incrementado su aceptación entre los consumidores; principalmente se practica en Chihuahua, Yucatán y Sonora. Este tipo de sistema utiliza tecnología de punta comparable con la utilizada en países desarrollados, pero adaptada a las necesidades del mercado nacional, lo cual permite cumplir con la normatividad zoosanitaria establecida por las Normas Oficiales Mexicanas, tanto en la producción como en los procesos de sacrificio, empackado, congelación y transportación.

También existe el sistema **semi tecnificado**, el cual resulta ser la opción menos rentable ya que los insumos principales para la producción y alimentación de los animales son comprados a terceros lo cual encarece el proceso de producción.

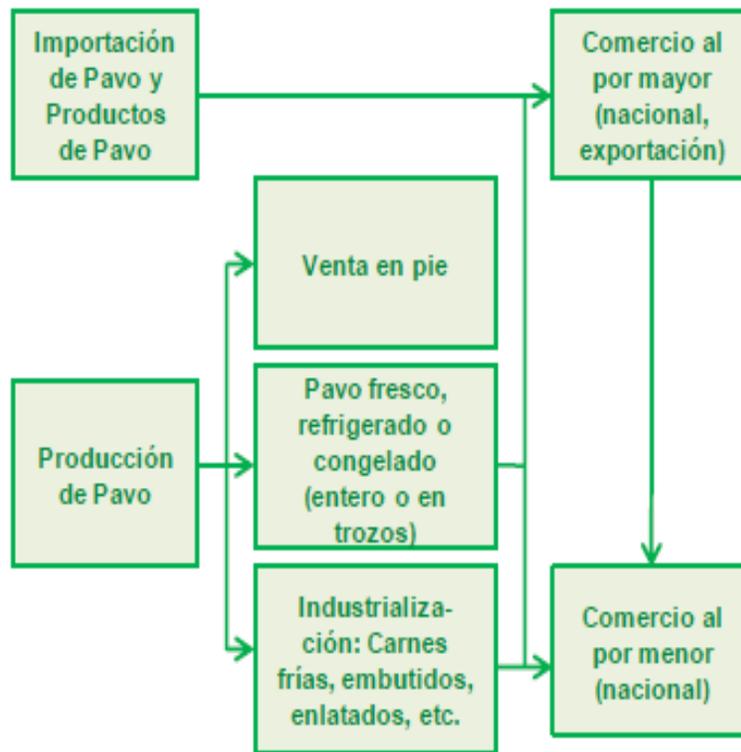
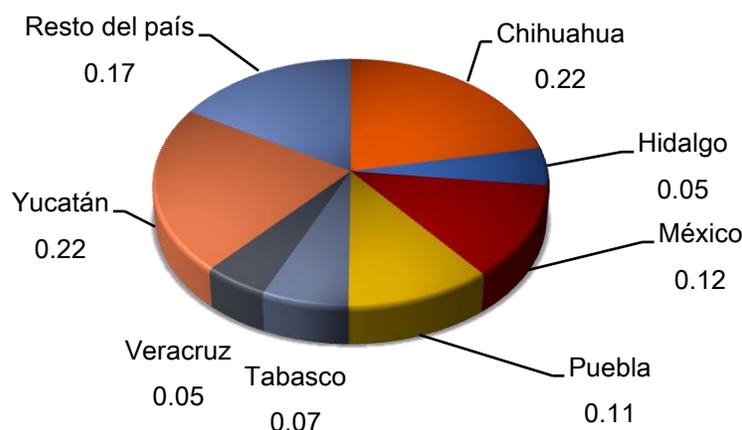


Figura 2.1. Sistema de Comercialización del Pavo

Fuente: "Monografía del Guajolote", Financiera Rural, Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial Diciembre 2010.

En el año 2012 se produjeron 20,640 toneladas de carne en **canal** de guajolote en México (SAGARPA, SIAP), aproximadamente 57 toneladas diarias a lo largo del país, los principales estados productores son: Yucatán y Chihuahua

Producción de canal de Guajolote



Gráfica 2.1. Principales Estados productores de canal de guajolotes en México al año 2012

Fuente: Elaboración propia con datos estadísticos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (S I A P) año 2012

Las instalaciones destinadas para el sacrificio, cría y procesamiento de animales son reguladas por varias Normas Oficiales Mexicanas principalmente las siguientes:

- NOM-008-ZOO-1994 establece las características que deben cumplir los establecimientos en cuanto a ubicación, equipo y construcción.
- NOM-009-ZOO-1994 procesamiento de carne y subproductos para consumo humano.
- NOM-033-ZOO-1995 trata sobre los métodos humanitarios de sacrificio de animales

2.1 Cría y desechos de la granja de pavos

El ciclo productivo del pavo maneja 3 etapas, y puede durar hasta 20 semanas en razas grandes. Para efectos del presente trabajo de tesis, se propone un ciclo de vida de 16 semanas, al término del cual los pavos tendrán un peso vivo promedio de 12 kg. Las etapas del ciclo de vida son las siguientes:

- Iniciación (1 - 4 semanas)
- Crecimiento (4 - 8 semanas)
- Engorde (8- sacrificio)

Las dimensiones de las instalaciones necesarias para la cría de guajolotes varían dependiendo del número de aves y de la finalidad del producto. Existen condiciones ambientales que son de gran importancia para obtener productos de calidad.

Un criadero de guajolotes debe contar con los servicios básicos de electricidad y agua, además de considerar que existan vías de comunicación adecuadas para el transporte de los productos.

El agua es básica para mantener limpias las jaulas, el piso de las naves y los corrales, ésta agua puede no ser potable, sin embargo la destinada para consumo humano y animal si tiene que ser potable.

En un sistema semi tecnificado, la electricidad es necesaria para agilizar los trabajos dentro del criadero y también en el rastro, ya que se tiene un control del proceso, se reduce el tiempo del mismo y se desperdicia menor cantidad de insumos como alimento

para aves. Las vías de comunicación son vitales para la transportación de materiales de construcción e insumos así como para la comercialización de las aves o subproductos.

- *Condiciones ambientales.*

Es importante cuidar las condiciones climáticas dentro de las instalaciones dedicadas a la producción de carne para consumo humano, ya que cualquier variación podría ocasionar desde una baja producción hasta una mala calidad del producto.

Existen cuatro aspectos que se deben vigilar cuidadosamente para mantener una producción continua; los datos presentados a continuación son generales, hay que tomar en cuenta que se modifican de acuerdo al tipo de instalación a tratar.

1. Iluminación: La alternancia de entre luz y oscuridad favorece la producción de huevos, mientras que una mayor exposición a la luz favorece la producción de carne. La colocación de las fuentes luminosas debe estar entre 2 y 2.3 m de altura, en términos generales se aplicara una media de 3 a 4 W/m²
2. Temperatura: Oscila entre 15 °C para animales en engorda y 22°C para animales reproductores. La regulación de éste factor se logra por medio de la calefacción en invierno, aunque representa un aumento en los costos de producción, y en verano se pueden instalar unidades de evaporación o bien provocar áreas de sombra con arbustos, ventilar las instalaciones, regar las paredes y el techo con agua fresca o pintar el exterior de blanco.
3. Humedad: Es la cantidad de vapor contenida en el aire, principalmente se condiciona por la evaporación de los excrementos de las camas, de los abrevaderos y de la que emiten los animales al respirar. Se regula variando la temperatura y ventilando el sitio. El índice óptimo de humedad relativa ($V_{\text{agua efectiva}}$)

V_{aire} , a cierta temperatura) para las aves es entre 60 y 70%, en época calurosa soportan de 80 a 90% y hasta 50% en época fría.

4. Ventilación: Es el cambio de aire viciado por aire fresco, resulta útil para mantener los niveles tanto de humedad como de temperatura, y es fundamental para expulsar gases nocivos provenientes de la respiración animal, como el anhídrido carbónico, y de la fermentación de la cama y el excremento, principalmente el amoniaco. En cualquier caso la circulación de aire no debe superar los 0.2 m/s.

Descripción de proceso de cría y engorde

Los pavipollos deben ser criados y empollados separadamente de los pavos de otras edades.

Las grandes empresas comerciales tienen áreas permanentes para empollar a los pavitos, en algunos casos son criados en jaulas durante 2 ó 3 semanas antes de colocarlos en el piso.

La nutrición de los guajolotes es mucho más delicada que la de cualquier otro animal doméstico ya que las aves digieren con mayor rapidez, respiran con mayor intensidad, su circulación sanguínea es más acelerada, su temperatura corporal es 4 o 6 grados mayor (aprox. 41.3 °C), son más activas, son más sensibles frente a las influencias ambientales, crecen más rápido y llegan a la madurez más temprano.

En la avicultura, los alimentos se emplean para mantenimiento, crecimiento, engorde, producción, y reproducción. La fase principal de la reproducción es la formación del huevo.

La alimentación se basa principalmente en la finalidad para la que es criado el pavo, ya sea para reproducción de la especie o para comercialización. En la etapa de reproducción, lo más importante es el agua, los hidratos de carbono, las grasas, las proteínas, los minerales y las vitaminas.

Las condiciones de espacio requerido por cada ave, aumentan conforme a su crecimiento en general se toman las medidas de la siguiente tabla.

Tabla 2.1. Requerimiento de espacio durante el periodo de vida de los pavos.

Edad	#aves por m ²	m ² por ave
0-6 semanas	10 M o 10 H	0.10
7-11 semanas	4M , 6H	0.25 M, 0.16H
12- 16 semanas	2M , 4H	0.50 M, 0.25H
17-20 semanas		

Fuente: Cantaro, Horacio, Sánchez J., Sepúlveda P. Cría y engorde de pavos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, p. 12

Etapa de incubación y nacimiento

Los huevos se recogen y se limpian para evitar contaminación por parásitos. Se mantienen a una temperatura de entre 10 y 15 °C. En promedio la incubación dura 28 días, aunque depende del tipo de raza que se maneja.

Al término de los 28 días, solamente los pavitos que logran romper el cascaron por sí solos son seleccionados para continuar con su crecimiento, ya que es un signo de crías sanas y fuertes. Los pavitos que no logran nacer solos, son retirados de las jaulas e incinerados o depositados en un pozo séptico para evitar contagios de cualquier tipo.

Una vez que nacieron, los pavitos son puestos en jaulas verticales u horizontales, conocidas como baterías, con capacidad para albergar entre 250 y 300 pavitos las cuales se encuentran a 33 °C inicialmente, dicha temperatura disminuye 3° C cada semana por un periodo aproximado de 4 a 5 semanas.

Las baterías cuentan con bebederos y comederos con alimento especial, la calefacción puede mantenerse con focos incandescentes de 100 W o bien por medio de serpentines de agua caliente que circulan bajo las jaulas. Para regular la temperatura se pueden utilizar extractores de aire, sin embargo el costo de la instalación es muy elevado; en caso de usar focos se puede regular la temperatura apagándolos y ventilando un poco el sitio, cuidando que no haya corrientes de aire.

Tabla 2.2. Temperatura requerida en la nave de crecimiento

Semana	Temperatura promedio °C
1	33
2	30
3	27
4	24
5	21
6	20
A partir de la semana 7	15

Fuente: Elaboración Propia

Etapas de iniciación

Se debe contar con la caseta de iniciación o de crianza donde se colocaran los pavitos de 3 semanas, en esta etapa se utilizan criadoras de gas y extractores de aire para regular la temperatura, la instalación cuenta con una cama de virutas de un espesor de 5 a 10 cm

sobre un suelo de cemento, con ventanas suficientes que garanticen una circulación de aire adecuada.

Las instalaciones cuentan con equipo automatizado como son bebederos y comederos, que facilitan la alimentación continua de las aves. Cada 3 días, las camas deben ser cambiadas y son utilizadas como alimento de ganado en algunos casos.

Etapa de crecimiento y engorda

El área es un corral el cual se agrandará de acuerdo a las necesidades del animal. Se instalan comederos y bebederos automáticos a razón de las siguientes características:

Para pavos de menos de 8 semanas:

- por cada 100 pavos, 4 metros de comedero lineal
- por cada 250 pavos: 5 tolvas redondas de 40 cm, o bien 3 tolvas redondas de 70 cm
- por cada 100 pavos: 4.5 m de bebedero lineal o un bebedero redondo de 40 cm

Para pavos de más de 8 semanas:

- por cada 100 pavos, 7 m de comedero lineal
- por cada 200 pavos: 6 tolvas redondas de 40 cm, o bien 4 tolvas redondas de 70 cm
- por cada 100 pavos, 3 m lineales de bebedero
- por cada 80 pavos, 1 bebedero redondo de 40 cm

Cuando los pavos son engordados en confinamiento total se les proporciona una superficie aproximada de 0.27 a 0.46 m² por ave hasta que alcancen el peso y edad de comercialización adecuado para cada raza.

Manejo de las excretas

Durante el proceso de la crianza y matanza de los guajolotes se generan desechos orgánicos, que pueden ser utilizados en como materia prima de un digestor, los cuales al degradarse producirán biogás. El biogás, cómo se menciona en el capítulo uno subtema 1.4, puede utilizarse como combustible para plantas de cogeneración. De ésta manera, se reducen los desechos y se puede producir energía útil para el proceso de la cría de pavos, disminuyendo el monto de la factura eléctrica.

En cifras aproximadas la producción diaria de estiércol por ave es de 175 g, por ésta razón es importante retirar los desechos al menos cada 5 días. La eliminación del excremento reduce la producción de humedad ambiental, los gases de la fermentación, olores fétidos y fuentes de enfermedades.

El abono de estiércol es una mezcla de excremento, integrada por alimentos no digeridos y ciertos restos corporales y camas. El estiércol contiene ingredientes valiosos para los suelos y las cosechas; al ser utilizado como materia orgánica puede mejorar cultivos ya que disminuye la erosión del suelo y mejora la retención de agua de éste, proporciona a las plantas nutrientes tales como nitrógeno, fósforo y potasio, también contiene calcio, boro, manganeso, cobre y zinc.

La cantidad y composición del estiércol varían de acuerdo con la especie, peso, clase, así como con la cantidad de alimento de las aves, también con la clase y cantidad de camas. La siguiente tabla muestra la cuantificación y valor del estiércol puro sin agregar camas.

Tabla 2.3. Cantidad de estiércol producido por tipo de aves de corral

No. de aves	Tipo de plantel	Peso promedio por ave (kg)	Cantidad de estiércol producido en seco (kg)
100	Gallinas ponedoras	2.0	1,080
1,000	Pollos parrilleros	1.8	1,225
1,000	Pavos para asar	3.6	1,960
1,000	Pavos pesados	9.0	15,870

Fuente: Adaptada de Ensminger, M. Eugene (1976). Producción avícola, capítulo 7, página 188.

Algunas granjas cuentan con hoyos para desperdicios o incineradores, que si bien cumplen con la función de disminuir los desechos, no permiten la utilización de los mismos como materia prima de un nuevo proceso energético.

Ésta tesis plantea el aprovechamiento del contenido energético de la materia orgánica generada a lo largo del proceso de cría y producción de carne de guajolote, por medio de una planta de cogeneración alimentada con biogás.

2.2 Procesamiento de la carne de pavo

Antes de la matanza de los animales es importante que exista el ayuno de entre 6 y 8 horas, un ayuno prolongado puede afectar en el peso del producto por otro lado alimentar a los animales hasta el último momento podría significar expulsión de excremento al ser apilados, ensuciando canales aledañas. Una vez cumplido el ayuno, los guajolotes se conducen a una habitación oscura junto al matadero poco antes del sacrificio, de esta manera se capturan fácilmente.

El proceso del sacrificio de las aves se resume en el siguiente diagrama



Figura 2.2. Proceso de sacrificio del Guajolote

Fuente. Elaboración Propia

Independientemente del tipo de rastro donde se realice el procedimiento, automatizado o rural, los pasos a seguir son los mismos, la diferencia radica en la tecnología usada. A continuación se explica brevemente cada paso del proceso.

1. Colgado. Cuando se reciben los animales se cuelgan sobre unos ganchos aéreos que los transportan durante gran parte del proceso.
2. Aturdimiento. Los pavos se aturden con un ligero golpe en la nuca si se hace de manera manual, o bien con una ligera descarga eléctrica, éste paso equivale a anestesiarse al animal y evita que se tensen los músculos que rodean las plumas. Existen varios métodos de aturdimiento por ejemplo, la descarga eléctrica que consiste en hacer que las cabezas de las aves hagan contacto con una solución salina (1%NaCl) cargada, lo que produce un flujo de corriente a través del cuerpo del ave, provocando un estado de inconsciencia de 40 a 60 segundos. Las condiciones de uso del aturdimiento eléctrico varían alrededor del mundo, por ejemplo en E.U.A. las aves reciben de 20 a 40 mA por pavo en un periodo de 10 a 12 segundos. En la mayor parte de Europa, las leyes establecen el aturdimiento como obligatorio y con amperajes mayores a 100 mA por pavo de 4 a 6 segundos (*Alan R. Sams, 2001*).

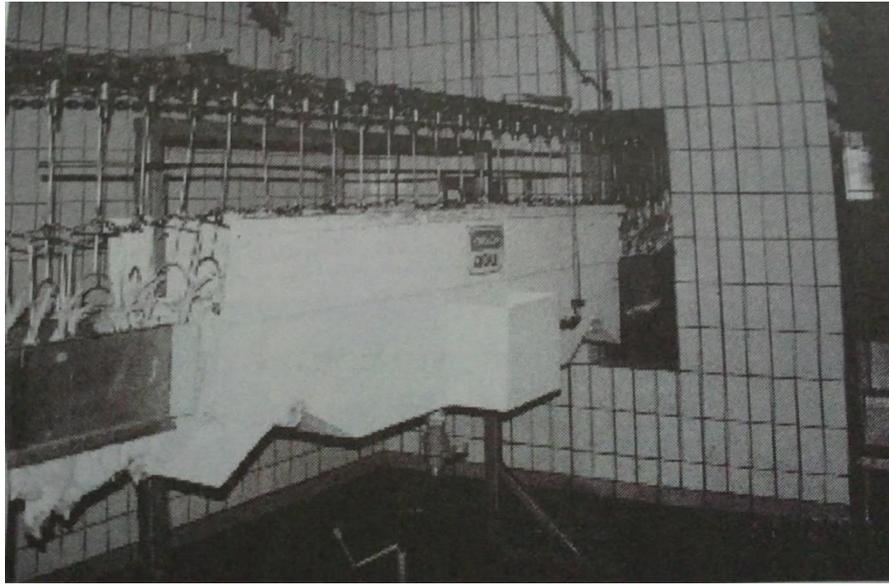


Figura 2.3. Cabina de Aturdimiento eléctrico

Contiene un electrodo cubierto por una solución salina, el movimiento de las aves es de izquierda a derecha.

Fuente: Alan R. Sams, et al. (2001) Poultry meat processing.

Una forma alternativa de aturdir eléctricamente a las aves es mediante la utilización de alto voltaje (300-500 Volts), que causa un paro cardíaco inmediato.

3. Degüello. Se corta la vena principal del cuello del ave. En algunas partes de Europa se ha optado por la matanza mediante electroshock y se realiza durante el aturdimiento. Existe el método automático, utilizando una máquina para matar aves, la cual tiene unas barras guía para mantener las cabezas alineadas apropiadamente y permitir que las navajas rotatorias corten del cuello de manera correcta y se obtenga una mayor pérdida de sangre.

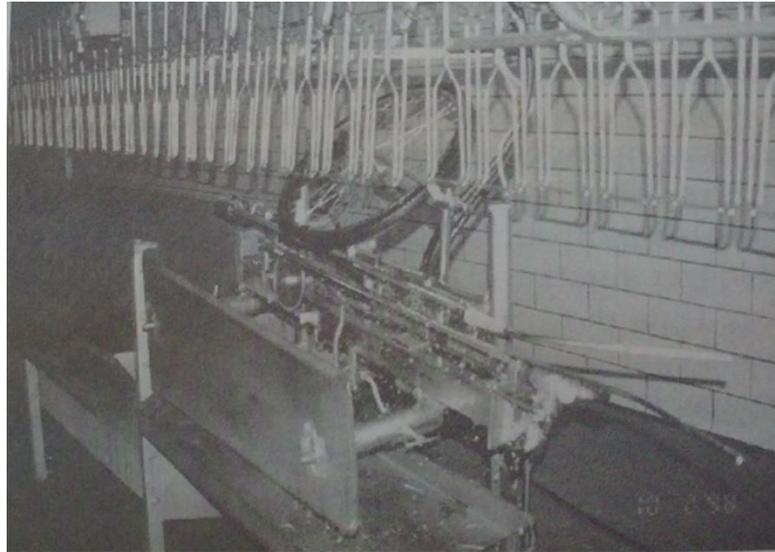


Figura 2.4. Máquina de sacrificio de aves

Fuente: Alan R. Sams, et al. (2001) *Poultry meat processing*.

4. Desangrado. Los animales se cuelgan boca abajo en el llamado canal de desangre, éste procedimiento es necesario para obtener carne blanca. Dura de 2 a 3 minutos, en éste periodo el ave pierde entre un 30 y 50 % de su sangre.

5. Escaldado. La finalidad de éste proceso es transferir calor a los folículos para facilitar el desplume; existen dos tecnologías para este proceso:

El llamado escaldado bajo se realiza a una temperatura de 53.35 °C durante 120 segundos, permite la fácil remoción de las plumas y no produce daños visibles en la piel del ave; es el método preferido para la venta de carne fresca ya que deja una capa de pigmento amarillo.

El escaldado alto se realiza a una temperatura de 62 a 64 °C durante 45 segundos, se utiliza cuando la piel de la canal no será utilizada y es preferentemente usado para aves acuáticas. (Alan R. Sams, 2001)

El rango de temperaturas que se debe evitar es de 54.4° a 58.8 °C ya que la temperatura es demasiado alta para mantener la piel intacta y demasiado baja para eliminar toda la capa epidérmica, además el aspecto de la piel se torna deshidratado, y con áreas manchadas. (Mountney, George J., 2001)

6. Desplume. En las pequeñas productoras se realiza a mano, en los rastros automatizados se utilizan máquinas de diversas tecnologías y capacidades de proceso, dependiendo de la cantidad de aves que se procesen por día y del tamaño de éstas.

Algunas plumas están muy adheridas a la piel (los plumones) por tanto requieren atención manual, las que no se pueden remover, son incineradas (chamuscadas) al pasar las canales a través de una flama, ya que su apariencia estética no es agradable para el consumidor.

7. Eviscerado. Por lo general la evisceración de los pavos se realiza manualmente. En el proceso automático, existe una línea aérea separada de la principal que permite tener un mejor manejo de las canales, y menor contaminación bacteriana. Los pavos son suspendidos por las patas y el cuello. Inicialmente se les hace un corte abdominal, algunas evisceradoras automáticas pueden procesar 40 canales por minuto en una línea de procesado de 2,400 canales por hora; sin embargo las máquinas no siempre quitan todas las vísceras, es por eso que existe una mesa de inspección. En seguida son separadas las menudencias (corazón, hígado, molleja) y se lavan, se extraen los pulmones generalmente por medio de un sistema de vacío. De forma manual se extrae el buche, tráquea y cuello. Finalmente las menudencias son envueltas e introducidas en la canal.

8. Enfriamiento. La principal función de un enfriador es reducir el crecimiento de microbios, de manera que beneficie la sanidad de la carne y el tiempo de venta en mercado. Generalmente se alcanza una temperatura de 4°C o menos lo antes posible después de la evisceración, (de una a dos horas post mortem). En E.U.A se maneja un plazo de 8 horas para que los pavos alcancen la temperatura de enfriamiento.

Existen dos métodos comunes que son agua y aire.

El enfriamiento con agua incluye múltiples etapas de tanques de agua. Las canales son transportadas por medio de cadenas y empujadas lentamente hacia los tanques de agua por medio de una especie de palas o sistemas de oruga.

La primera etapa llamada pre enfriamiento es de 7° a 12°C y dura de 10 a 15 min. Contiene agua descargada del enfriador principal, la función principal es permitir la absorción de agua, pero también tiene efectos de lavado y enfriamiento en la canal. A la entrada de esta etapa la temperatura de la canal es de 38 °C aprox. y a la salida se oscila de 30 a 35 °C

Cuando la canal entra al enfriador principal, el agua en el tanque está a 4 °C a la entrada y a 1°C a la salida. Estas temperaturas reducen rápidamente la temperatura de las canales durante los 45 a 60 minutos que se encuentran dentro del tanque.

El enfriamiento con aire se realiza mediante cadenas que circulan en cuartos grandes enfriados con aire de -7 a 2°C por un periodo de 1 a 3 horas.

9. Empaquetado.

2.3 Estimación del potencial energético de los desechos

El potencial de generación del biogás se refiere al volumen de gas teóricamente obtenible de una materia prima, en función de rendimiento (producción específica) y cantidad disponible.

Tabla 2.4. Producción específica de metano para diferentes tipos de desechos

Material	Producción de gas m ³ /kg de materia orgánica*	Metano CH ₄	Tiempo de permanencia (días)
Deyecciones de bovinos	0.33	-	-
Estiércol de ganado	0.23-0.50	-	-
Estiércol de bovinos	0.86	58	10
Estiércol de pollos	0.31	60	30
Estiércol de aves	0.56	69	9
Desechos de cerdo	1.02	68	20
Estiércol de ovinos	0.37-0.61	64	20

*Base seca

Fuente: Guadarrama Ortigoza A., (2009) Tesis "Estudio de viabilidad para la conversión de biomasa en energía eléctrica y térmica en una comunidad rural e indígena: caso San Antonio Sinicahua, Oaxaca". FI-UNAM, ANEXO 1 pág. 93.

Es necesario tener una estimación de la cantidad de residuos que se van a generar durante el proceso de cría y engorde de las aves, por ésta razón se calcula el número de aves que se necesitarán para tener una producción continua de carne de pavo.

La producción diaria de carne en canal debe ser de 2 toneladas, para obtener dicha cantidad se considera la cantidad de carne consumible que se obtiene por cada kilo de peso vivo; en promedio de cada kilo de peso vivo se obtienen 600 g de carne consumible (Cantaro H., Sánchez J., Sepúlveda P., Cría y engorde de pavos) es decir hay una

pérdida del 40% en peso, utilizando la ecuación 2.1, se obtiene el número de aves que se va a sacrificar por día.

Las aves llegarán al término de su etapa de crecimiento cuando alcancen un peso promedio de 12 kg, por lo tanto las canales pesarán en promedio 7.2 kg cada una.

$$\#aves = \frac{\text{Producción diaria kg}}{\text{Peso promedio de la canal kg}} = \frac{2,000 \text{ kg}}{7.2 \text{ kg}} = 277.77 \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$\#aves \approx 278 \text{ aves}$$

La producción semanal se obtiene multiplicando el #aves que se sacrifican al día por los 7 días de la semana lo que nos da un total de **1,946 aves**, de igual manera se multiplica el número de aves semanales por el número de semanas que dura cada etapa del ciclo reproductivo de las aves.

La continuidad de la línea de producción depende del número de aves que se disponen para sacrificio, para estimar la población total se toma en cuenta el porcentaje de mortalidad de las aves y se calcula con la ecuación 2.2

$$P.T. = \#aves \cdot \text{ciclo de vida} \cdot T.M. \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

#aves: se obtiene con la ecuación 2.1

Ciclo de vida: 16 semanas=112 días

T.M.: tasa de mortalidad= 11%

$$P.T. = (278 \text{ aves/día}) \cdot 112(\text{días}) \cdot 1.11 = 34,561 \text{ aves}$$

Tabla 2.5. Estimación de producción de aves

Tiempo	Cantidad de aves (cabezas)	Número de aves vivas por metro cuadrado de espacio	
		Machos	Hembras
Recién nacidos -4 semanas	8,640	10	10
4-8 semanas	8,640	4	6
8-16 semanas	17,281	2	4
*Sacrificio semanal	1,946	-	-
TOTAL	34,561	-	-

* No se toma en cuenta para la cantidad de aves total

Fuente: Elaboración Propia

El cálculo de la producción de biogás y de residuos se realiza a partir de los datos contenidos en la Tabla 2.5. Para la producción diaria de estiércol se utiliza la ecuación 2.3, y para la producción de sólidos totales, la ecuación 2.4

Las ecuaciones surgen a partir del dato teórico de producción diaria de estiércol, para un pavo de 9.072 kg de peso vivo, con ésta información se hace una relación de proporcionalidad para los diferentes pesos promedio que se manejan.

$$E = X_{\text{peso vivo}} \cdot \left(\frac{0.408 \text{ kg/día}}{9.072 \text{ kg peso vivo}} \right) \text{ Ecuación 2.3}$$

Donde:

E: Producción de Estiércol al día por pavo [kg/día]

X_{peso vivo}: Peso promedio de cada pavo [kg]

Producción diaria de estiércol de pavo= 0.408 [kg/día] (ver Tabla 2.6)

Peso vivo del pavo= 9.072 [kg] (ver Tabla 2.6)

$$S.T. = X_{\text{peso vivo}} \cdot \left(\frac{0.102 \text{ kg/día}}{9.072 \text{ kg peso vivo}} \right) \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

S.T.: Sólidos Totales [kg/día]

X_{peso vivo}: Peso promedio de cada pavo [kg]

Producción diaria de sólidos totales= 0.102 [kg/día] (ver Tabla 2.6)

Peso vivo del pavo= 9.072 [kg] (ver Tabla 2.6)

Ejemplo: Para un pavo de 6 kg de peso vivo, se calcula E, y S.T. en kg/día. Sustituyendo

X_{peso vivo}=6 kg en las ecuaciones 2.3 y 2.4 se tiene:

$$E = (6 \text{ kg peso vivo}) \cdot \left(\frac{0.408 \text{ kg/día}}{9.072 \text{ kg peso vivo}} \right) = 0.27 \left[\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right]$$

$$S.T. = (6 \text{ kg peso vivo}) \cdot \left(\frac{0.102 \text{ kg/día}}{9.072 \text{ kg peso vivo}} \right) = 0.067 \left[\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right]$$

Tabla 2.6. Características del estiércol de aves de corral

Característica	Unidades	Tipo de Ave			
		Ponedoras	Broilers	Pavos	Patos
Peso por ave	kg	1.814	0.907	9.072	2.722
Agua	%	75	74	75	73
Densidad	kg/m ³	1041.079	1009.008	1009.046	993.029
Sólidos Totales	kg/día	0.029	0.021	0.102	0.040
Sólidos Volátiles	kg/día	0.022	0.015	0.078	0.024
BOD ₅	kg/día	0.007	0.005	0.030	0.005

Característica	Unidades	Tipo de Ave			
		Ponedoras	Broilers	Pavos	Patos
Producción diaria de estiércol	kg/día	0.118	0.082	0.408	0.150
	m ³ /día	0.0001	0.0001	0.0004	0.0001
	L/día	0.117	0.079	0.409	0.151
Contenido de nutrientes					
N	kg/día	0.0016	0.0010	0.0057	0.0021
P ₂ O ₅	kg/día	0.0012	0.0006	0.0049	0.0017
K ₂ O	kg/día	0.0007	0.0005	0.0024	0.0013

Fuente: Manure Characteristics. Manure Management Systems Series. MidWest Plan Service, Iowa State University, 2000, Extraído de la Tabla 6 Producción diaria de estiércol y características

Sustituyendo los diferentes valores de $X_{\text{peso vivo}}$ en la ecuación 2.3 se genera la siguiente tabla de datos para la producción diaria de estiércol.

Tabla 2.7. Producción diaria de estiércol para pavos de diferentes peso vivo

peso por ave [kg]	producción de estiércol [kg/día]
1	0.045
2	0.090
4	0.180
6	0.270
9	0.405
12	0.540
Promedio	0.255

Fuente: Elaboración Propia

La producción diaria de estiércol total se calcula con la ecuación 2.5 y basándose en el promedio de la producción diaria de estiércol de los pavos obtenido en la Tabla 2.7.

$$P.E_{TOTAL} = \#aves \times producción\ estiércol_{promedio} \left[\frac{kg}{día} \right] \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$P.E_{TOTAL} = 34,561cabezas \times 0.255 \left[\frac{kg}{día} \right] = 8,813.055 \left[\frac{kg}{día} \right]$$

Al año se obtiene un promedio de **3,216.76** toneladas de estiércol, hay que tomar en cuenta que para éste dato no se consideran los desechos de las camas ni los residuos de la matanza.

La estimación del potencial energético del estiércol de ave se llevará a cabo por 2 métodos diferentes, el primero de ellos es utilizando un software llamado RETScreen4, con él cual se obtendrá la producción de biogás anual en metros cúbicos, en base al tipo de animales y la cantidad de los mismos. El segundo método es el de Coeficientes de Rendimiento.

✓ *Primer método (RETScreen 4)*

RETScreen 4 es una herramienta de software de análisis de proyectos de energía limpia basada en Excel que ayuda a los gestores a determinar de manera rápida y económica la viabilidad técnica y financiera de proyectos potenciales de energía renovable, eficiencia energética y cogeneración. (<http://www.etscreen.net/es/home.php> ;fecha de consulta: 15 de enero de 2014)

Se realizaron dos simulaciones con los datos ponderados para cada peso promedio de las aves, tomando en cuenta la información de la Tabla 2.5. Los resultados de ambas simulaciones se concentran en la siguiente tabla.

Tabla 2.8. Cálculo de producción de biogás anual RET-screen

Unidad	Peso promedio por unidad	Cantidad	Material seco	Material seco - sólidos volátiles	Factor de producción de biogás	Producción de biogás - anual	Contenido de metano
	kg		%	%	m ³ /kg	m ³	%
Aves de corral	1	8,640	32.0%	71.5%	0.54	24,352	69%
	2	2,160	32.0%	71.5%	0.54	12,176	69%
	3	2,160	32.0%	71.5%	0.54	18,264	69%
	4	2,160	32.0%	71.5%	0.54	24,352	69%
	5	2,160	32.0%	71.5%	0.54	30,440	69%
	6	2,468	32.0%	71.5%	0.54	1,830	69%
	7	2,468	32%	72%	0.54	2,134	69%
	8	2,468	32.0%	71.5%	0.54	55,649	69%
	9	2,468	32.0%	71.5%	0.54	62,605	69%
	10	2,468	32.0%	71.5%	0.54	69,561	69%
	11	2,468	32.0%	71.5%	0.54	76,517	69%
	12	2,473	32.0%	71.5%	0.54	83,643	69%
Total		34,561				461,524	69%

Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación con RET-screen 4.1

✓ Segundo método Factores de Rendimiento del Estiércol

Este método considera el coeficiente de rendimiento del estiércol como el 4.5 % de cada kilogramo de peso vivo por ave.

Las deyecciones diarias se calculan con la ecuación 2.6 tomando en cuenta el peso promedio de las aves y el coeficiente de rendimiento del estiércol.

$$Deyecciones_{\text{día}} \left[\frac{kg}{\text{día}} \right] = 0.045 \left[\frac{kg}{\text{día}} \right] \times \text{peso del ave} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

La cantidad de materia orgánica seca se obtiene al multiplicar los sólidos volátiles totales que aparecen en la Tabla 2.6 por el número de aves (Ecuación 2.7). De manera similar se multiplica la cantidad de aves por las deyecciones al día para obtener la Materia Orgánica húmeda (Ecuación 2.8)

$$M.O._{seca} \left[\frac{kg}{día} \right] = S.T. \left[\frac{kg}{día} \right] \times \# \text{ aves} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$M.O._{humeda} = Deyecciones_{día} \left[\frac{kg}{día} \right] \times \# \text{ aves} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Finalmente la estimación de biogás se obtiene multiplicando el coeficiente de producción de la Tabla 2.4 correspondiente al dato de estiércol de aves, por la cantidad de Materia Orgánica seca calculada anteriormente.

$$Biogas = biogas \text{ por unidad de materia seca} \times M.O._{seca} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Para calcular el flujo de biogás se usa la fórmula 2.10, se toman en cuenta la densidad del biogás que se calcula en base al dato obtenido del programa THERMOFLEX, los resultados de éste cálculo se muestran en la Tabla 2.9 .

$$\phi_{biogas} = \frac{\rho_{biogas} \cdot Producción \text{ diaria}}{86400 \text{ s}} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Donde:

ϕ_{biogas} : Flujo de biogás [kg/s]

ρ_{biogas} : Densidad del biogás [kg/m³]

La ecuación 2.10 (a) se utilizó para el cálculo de la densidad del biogás, a partir de los datos contenidos en la Figura 2.5.

$$\rho_{biogas} = \frac{21,358 \left[\frac{kJ}{m^3} \right]}{19,618 \left[\frac{kJ}{kg} \right]} = 1.0887 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad \text{Ecuación 2.10 (a)}$$

Fuel Summary	
Fuel phase	= Gas
LHV @ 25C	= 17669 kJ/kg
HHV @ 25C	= 19618 kJ/kg
Fuel Supply Temperature	= 25C
Total LHV + Sensible Heat @ 25C	= 17669 kJ/kg
Fuel enthalpy referenced to 0C	= 19704 kJ/kg
Volumetric LHV (P = 1.013 bar, T = 25 C)	= 19236 kJ/m ³
Volumetric HHV (P = 1.013 bar, T = 25 C)	= 21358 kJ/m ³
Wobbe Index (P = 1.013 bar, T = 25 C)	= 22648 kJ/m ³
Modified Wobbe Index	= 1181.3 kJ/m ³ -K ^{0.5}
Molecular Weight	= 26.63
<input type="button" value="Aceptar"/>	

Figura 2.5. Características del biogás de Pavos

Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación para composición de biogás en THERMOFLEX

Tabla 2.9. Producción de biogás seco al día y anual para guajolotes

peso	Deyecciones	S.T.	M.O. seca	M.O. húmeda	biogás	Flujo de biogás	
kg	# aves	[kg/día]	[kg/día]	[kg/día]	[m ³ /día]	[kg/s]	
1	8640	0.045	0.011	97.143	388.800	54.400	0.00069
2	2160	0.090	0.022	48.571	194.400	27.200	0.00034
3	2160	0.135	0.034	72.857	291.600	40.800	0.00051
4	2160	0.180	0.045	97.143	388.800	54.400	0.00069
5	2160	0.225	0.056	121.429	486.000	68.000	0.00086
6	2468	0.270	0.067	166.492	666.360	93.236	0.00117
7	2468	0.315	0.079	194.241	777.420	108.775	0.00137
8	2468	0.360	0.090	221.989	888.480	124.314	0.00157
9	2468	0.405	0.101	249.738	999.540	139.853	0.00176
10	2468	0.450	0.112	277.487	1110.600	155.393	0.00196
11	2468	0.495	0.124	305.235	1221.660	170.932	0.00215
12	2473	0.540	0.135	333.659	1335.420	186.849	0.00235
Total	34,561					1,224.15111	

Fuente: Elaboración Propia.

Tomando el dato obtenido en la tabla anterior, como total de biogás producido al día, sabemos que la cantidad generada de biogás al año es de **446,815.156 m³**.

Utilizando los datos de las Tabla 2.8, Tabla 2.9, la Figura 2.5 y las ecuaciones 2.11 y 2.12, se calcula tanto la energía como la potencia.

$$Energía = Produccion\ de\ biogas \times PCS \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Donde:

PCS: Poder Calorífico Superior, Obtenido con el software THERMOFLEX, ver Figura 2.5

$$Potencia = \frac{Energía}{tiempo} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Donde:

Energía: es la obtenida con la ecuación 2.11

Tiempo= 86400 s

Sustituyendo los valores obtenidos anteriormente se genera la tabla resumen de producción de biogás (ver Tabla 2.10), la cual sirve como comparación de los resultados obtenidos a lo largo de éste capítulo.

A partir de los datos obtenidos, se planteara la generación de energía eléctrica y de calor útil, mediante la simulación del esquema de una planta de cogeneración con el software THERMOFLEX.

La energía será dispuesta para la utilización de la planta procesadora de carne, y el proceso de cría de las aves.

Tabla 2.10. Resultados para producción de biogás y cuantificación de potencia

Método	Producción anual de biogás [m³]	Producción diaria de biogás [m³]	Energía [MJ/día]	Potencia [kW _{Químico}]
RETSCREEN	461,524.000	1264.45	27,006.11	312.57
Coefficientes de Rendimiento	446,815.156	1224.15	26,145.42	302.61

Fuente: Elaboración Propia

Al observar la tabla, se puede notar fácilmente que la variación de resultados entre los dos métodos utilizados es mínima. Tomando como parámetro teórico el resultado obtenido con el software, el porcentaje de error entre ambos métodos es el siguiente.

$$\%error = \frac{Valor\ teórico - Valor\ real}{Valor\ teórico} \times 100 \quad \text{Ecuación 2.13}$$

$$\%error = \frac{27,006.11 - 26,145.42}{26,145.42} \times 100 = 3.29\%$$

Calculo del volumen del digestor

Existen diversos métodos para realizar el cálculo del volumen de un digestor, en cada método se ocupan datos diversos como pueden ser densidades, volumen de materia a degradar, tiempo de fermentación o retención, etcétera.

A continuación se presentan varias fórmulas citadas en textos referentes al cálculo del volumen de digestores.

A partir de los sólidos totales: Una manera de calcular el volumen del digestor es por medio de la siguiente fórmula (Juárez Sergio, 2012):

$$V = \frac{(M_{exc})(TR)}{\rho_{inf}} \left(\frac{ST_i}{ST_f} \right) \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Donde:

V: volumen del digestor [m³]

M_{exc}: producción diaria de excretas [kg/día]

TR: tiempo de retención [días]

ρ_{inf}: densidad del influente [kg/m³]

ST_i: Sólidos totales iniciales

ST_f: Sólidos totales finales

A partir de la mezcla a degradar (Manual de Biogás, Chile, 2011): Éste método considera la cantidad de materia orgánica más la cantidad de agua añadida para la conformación del sustrato, así como el tiempo de residencia.

$$V_{digestor} = V_{mezcla} \times TR \quad \text{Ecuación 2.15}$$

A partir de la cantidad deseada de biogás (Guadarrama O., Hernández O., 2010): La siguiente fórmula, contempla la cantidad de biogás que se requiere, también los parámetros de la mezcla a degradar como la densidad y el peso de agua añadida.

$$V = \frac{CxR(1 + D)xTF}{Yxd} \quad \text{Ecuación 2. 16}$$

Donde:

V: volumen del digestor [m³]

C: capacidad deseada de biogás por día [m³/día]

R: relación estiércol húmedo- estiércol seco (comúnmente 5)

D: peso de agua añadida a cada kilogramo de estiércol

TF: tiempo de fermentación en días

Y: gas producido por unidad de estiércol seco.

d: densidad de la mezcla estiércol-agua.

El tiempo de retención o de fermentación, se refiere al tiempo que permanece la materia orgánica dentro del digestor, depende de diversos factores como son el tipo de materia a degradar, la temperatura ambiente, y la temperatura del influente. Para las condiciones ambientales promedio de México, se considera un tiempo de retención de 30 días (SEMARNAT, 2010).

Se recomienda añadir agua en relación 1:3 (Manual de Biogás, Chile, 2011). Teniendo en cuenta los datos anteriores, calculamos el volumen del digestor por los tres métodos.

Como primer paso del cálculo necesitamos obtener la *densidad de la mezcla* o del influente que se determina con la siguiente expresión matemática:

$$\rho_{mezcla} = \frac{masa_{mezcla}}{V_{mezcla}}$$

Respetando la relación para degradación de la mezcla 1:3 sabemos que la masa total de la mezcla que será 4kg, con el dato para densidad del estiércol presentado en la Tabla 2.6 es posible determinar el volumen de la mezcla.

Primero determinamos el volumen de agua:

$$1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = \frac{3kg}{V_{agua}} \quad \text{por lo tanto} \quad V_{agua} = 0.003 [m^3]$$

Después el volumen de estiércol:

$$1009.046 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = \frac{1kg}{V_{estiércol}} \quad \text{por lo tanto} \quad V_{estiércol} = 0.000991 [m^3]$$

El volumen de la mezcla es la suma de los dos anteriores, el resultado es 0.003991 [m³], por lo tanto la densidad de la mezcla es:

$$\rho_{mezcla} = \frac{4 kg}{0.003991 m^3} = 1,002.255 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Ahora para el primer método, sustituimos los valores necesarios en la ecuación 2.14

$$V = \frac{(8750 [kg/día])(30 días)}{1,002.255 [kg/m^3]} \left(\frac{25}{3} \right) = 2,182.578 [m^3]$$

Para el segundo método, tomando en cuenta la cantidad de desechos estimada a partir de los datos de la Tabla 2.9 (redondeando 8,750 kg), se realiza el procedimiento para el cálculo del digestor.

Los kilogramos de excretas serán diluidos con agua en una relación 1:3 por lo tanto, se añadirán 26,250 litros de agua, dando como resultado un volumen de mezcla de 35,000 litros. Sustituyendo los valores en la ecuación 2.15:

$$V_{digestor} = V_{mezcla} \times TR$$

$$35,000 \left[\frac{L}{día} \right] \times 30 [días] = 1,050,000 [L]$$

$$V_{digestor} = 1,050 [m^3]$$

Para el método 3, la cantidad de biogás diaria presentada en la Tabla 2.10, que corresponde al método de RETSCREEN será la base del cálculo.

De la Tabla 2.4, se toma el dato correspondiente a la variable Y, la densidad de la mezcla es 1,002.255 [kg/m³]. Sustituyendo los valores en la ecuación 2.16, se tiene:

$$V = \frac{1,264.45 [m^3/día] \times 5(1 + 3) \times 30 [días]}{0.56 [m^3/kg] \times 1,002.255 [kg/m^3]} = 1,351.7197 [m^3]$$

De los tres resultados obtenidos, podemos concluir que el método 1, corresponde a un escenario alto, el método 2 corresponde a un escenario bajo y el método 3 a un escenario medio.

El volumen del digestor para la propuesta del sistema energético de la presente tesis, será el resultado del método tres con la ecuación 2.16 ya que considera el volumen de gas obtenido a partir de las excretas de pavo y es el valor medio de los tres calculados.

El digestor será tipo domo cilíndrico, de carga continua, es decir, se aprovecha el sitio de digestión para almacenamiento de biogás. Para dimensionar el tanque cilíndrico se considera como dos terceras partes del volumen total, dejando así un tercio para el volumen de almacenamiento de gas.

Debido a la relación mostrada en la Figura 2.6, el volumen total del digestor se determina a partir de la ecuación 2.17

$$V_{total} = V_{digestor} + \frac{V_{digestor}}{2} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

$$V_{total} = 1,351.72 [m^3] + 675.86 [m^3] = 2,027.58 [m^3]$$

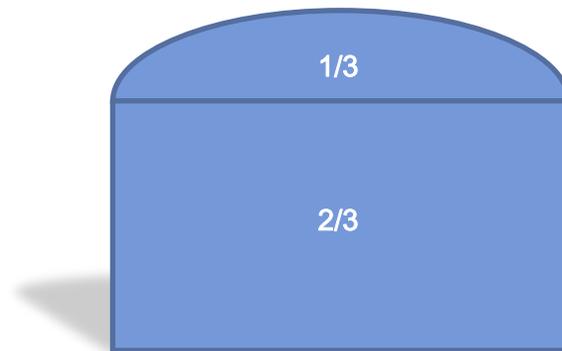


Figura 2.6. Proporciones del digestor

Fuente: Elaboración propia

Como parte del diseño de la instalación, se sobredimensiona el tanque un 20 %. Por lo tanto el volumen final será de **2,433.095 [m³] ~ 2,433 [m³]**

A partir del dato anterior y de la relación mostrada en la Figura 2.6, se determina que el volumen para el cilindro es de 1,622 m³. En base a ésta cantidad se propone una altura de 3 metros; utilizando la fórmula para determinar el volumen de un cilindro se puede determinar el radio del digestor como se muestra a continuación.

$$V_{cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad \text{Ecuación 2.18}$$

$$r = \sqrt{\frac{V_{cilindro}}{\pi x h}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1,622 [m^3]}{\pi x 3[m]}} = 13.1186 [m]$$

En general, el diseño de los digestores es una estructura de poca altura y extensión amplia, ya que este tipo de diseño minimiza el material de construcción, reduciendo el costo de la construcción y por lo tanto el costo de la inversión.

2.4 Descripción de la planta procesadora

Las instalaciones de éste proyecto se basan en un sistema semi tecnificado, con capacidad para albergar 112 parvadas de 304 aves, ya que se tiene una tasa de mortandad promedio del 11% para ambos sexos, la población total de aves será de 34,561 aves. Se estima un 20% adicional al número de aves total, ya que se prevé un crecimiento de la producción, en años subsecuentes. La planta debe ser conformada por áreas específicas para cada tarea a realizar.

Área de desembarque, para la recepción de las aves, con ventilación adecuada, techo liso y de fácil limpieza; tendrá un recipiente para el depósito de los decomisos es decir las vísceras, canales y partes que sean inadecuadas para consumo humano.

Área de insensibilización. En la que se utilizará inmersión de la cabeza en baños electrificados o arcos eléctricos, el tiempo de aplicación voltaje y amperaje se determinan por las recomendaciones del fabricante

Área de desangrado. Esta área cuenta con líneas independientes de colgado de las aves que garanticen un completo desangrado, debe estar separada físicamente del área de desembarque y del área de escaldar.

Área de escaldar y desplume. La tina para escaldar debe tener circulación de agua continua y el espacio suficiente para la eliminación de las plumas, ya sea mecánico o

manual, debe contar con un área de lavado de canales previo al área de evisceración. La línea de colgado debe ser lavada antes de su regreso con un sistema manual o mecánico.

Área de eviscerado e inspección. Debe estar separada del área de desplume con espacio suficiente para la inspección de las canales y las vísceras, con una iluminación de 100 candelas como mínimo o su equivalente.

Contará con un área y equipo necesario para el lavado de las canales después de su inspección.

Contará con instalaciones que garanticen el enfriado de las canales y con un almacén para el hielo.

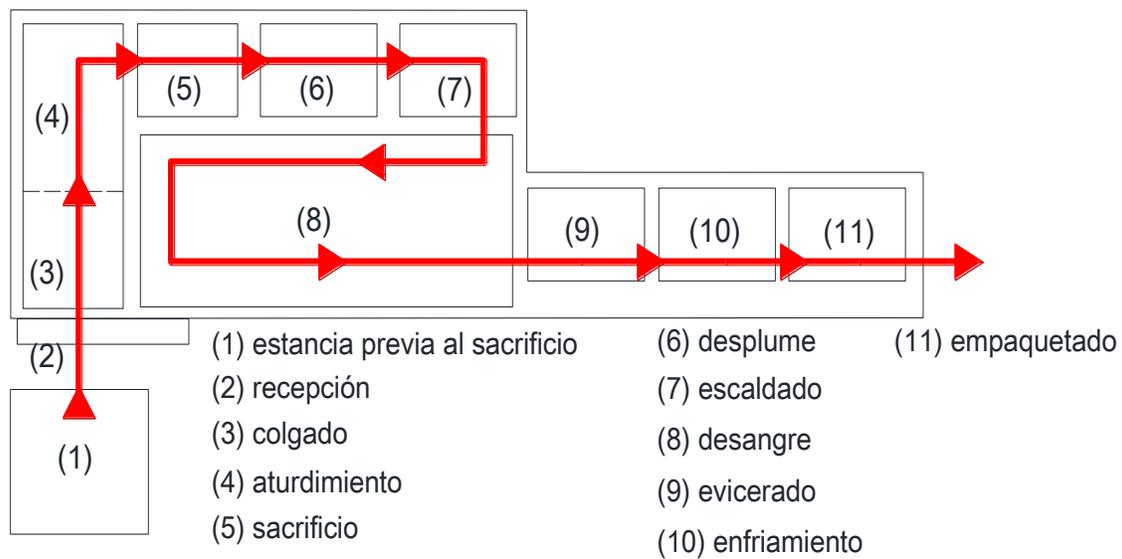


Figura 2.7. Zonas específicas para procesamiento de carne

Fuente: *Elaboración propia*

Conclusión del Capítulo 2

Éste capítulo dio a conocer el proceso de crianza de los guajolotes, ya que fue en base a éste que se determinó tanto la edad a la que se pueden sacrificar, como el peso que tendrían para obtener la producción diaria esperada de dos toneladas de canal.

Otro punto muy importante fue conocer las características de las excretas, que son las que determinaron el potencial de generación de biogás que se podría obtener y el tamaño del digestor.

Se estimó que la cantidad de biogás producido a partir de las excretas de pavos, es de *1,264.45* metros cúbicos de biogás por día, y el tamaño del digestor será de *2,433* metros cúbicos.

A partir de la cantidad y la composición del biogás determinadas con ayuda del programa THERMOFLEX, se concluye que existirá una potencia química alrededor de *300 kW*.

Los datos obtenidos son importantes para el siguiente capítulo, ya que se requiere estimar la demanda energética de la planta procesadora para poder dimensionar el sistema de cogeneración.

3. Propuesta del sistema de generación

En este capítulo se exponen las tecnologías de generación de energía tanto convencionales como de aprovechamiento de biomasa. También se realizará la estimación de la demanda energética de la planta procesadora, con la cual se evaluará el sistema de cogeneración a partir de un motor de combustión interna.

La evaluación se hará a partir de los resultados contenidos en el capítulo dos y de la estimación energética resultante del presente capítulo, mediante una simulación en el software THERMOFLEX.

En dicha simulación, se obtendrá la capacidad de la planta de cogeneración, que puede ser abastecida con el biogás producido

3.1 Tecnología de generación de energía eléctrica y térmica

Dentro de la industria alimentaria, es común que se utilice tecnología convencional para la obtención de energía eléctrica y térmica.

En el caso de la energía eléctrica, se puede adquirir de la red nacional. Esto depende del tamaño de la instalación, ya que por el costo de la electricidad podría resultar conveniente invertir en un sistema de autoabastecimiento ajustado a las necesidades de la planta.

Obtener energía eléctrica directamente de la red nacional, representa una ventaja importante, ya que solamente se requiere un contrato por el servicio y realizar la instalación correspondiente. Aunque existen desventajas, como estar sujetos a la fluctuación de las tarifas o cobros extra por bajo factor de potencia, además de la necesidad de contar con un sistema de respaldo para evitar paros de producción.

Una ventaja del autoabastecimiento es tener disponibilidad del servicio a placer, es decir, se puede diseñar el sistema de manera que se cubra eficientemente las necesidades energéticas del lugar así como programar los trabajos de mantenimiento de forma que no afecten la producción de la planta.

Como panorama general, en la Tabla 1.2 del capítulo 1, se menciona las eficiencias típicas de los diversos sistemas energía eléctrica, comparando las tecnologías en configuración convencional con las mismas tecnologías en cogeneración.

En cuanto a la obtención de energía térmica, lo más común es ocupar una caldera u hornos para procesos que requieren calor, y un chiller para procesos que requieren frío.

Una caldera se define como un recipiente cerrado destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica (Vásquez, 2006).

En la Tabla 3.1 se muestra la eficiencia de dos tipos de calderas con varias capacidades, la tabla corresponde a un documento publicado por la CONUEE (antes CONAE).

Tabla 3.1. Eficiencia típica de calderas tipo paquete con base en el poder calorífico superior

Tipo de caldera	Capacidad kW	Eficiencia (%)	Combustible
Calderas de tubos de humo	100-200	76	Gas natural o L.P.
	100-200	80	Combustóleo, gasóleo, diesel
	200-8,000	76	Gas natural o L.P.
	200-8,000	80	Combustóleo, gasóleo, diesel
Calderas de tubos de agua	100-200	74	Gas natural o L.P.
	100-200	78	Combustóleo, gasóleo, diesel
	200-8,000	76	Gas natural o L.P.
	200-8,000	80	Combustóleo, gasóleo, diesel

Fuente: CONAE, *Eficiencia en Calderas y Combustión*, Mayo 2007, p. 10



Figura 3.1. Caldera universal, tipo pirotubular, marca BOSCH

Fuente: *Página de internet de la marca BOSCH* (<http://www.bosch-industrial.com/>)

Un chiller se utiliza para generar agua helada, ya sea para mantener ambientes frío (aire acondicionado) o para obtener agua para procesos industriales, como el caso de las procesadoras de alimentos. La capacidad y configuración de los chillers depende fundamentalmente del tamaño de las aves que se van a procesar y de la cantidad de éstas.

Existen dos tipos de enfriamiento, por inmersión y por aire. El enfriamiento por inmersión se realiza en una tina con agua helada, ya sea en un chiller tipo tornillo (ver Figura 3.2) o en un chiller de contraflujo de agua, como lo muestran la Figura 3.3 y Figura 3.4. El enfriamiento por aire se realiza por medio de aire seco que circula dentro de un cuarto aislado o en un túnel.

Las siguientes imágenes muestran algunos tipos de chillers utilizados en el procesamiento de aves de corral.

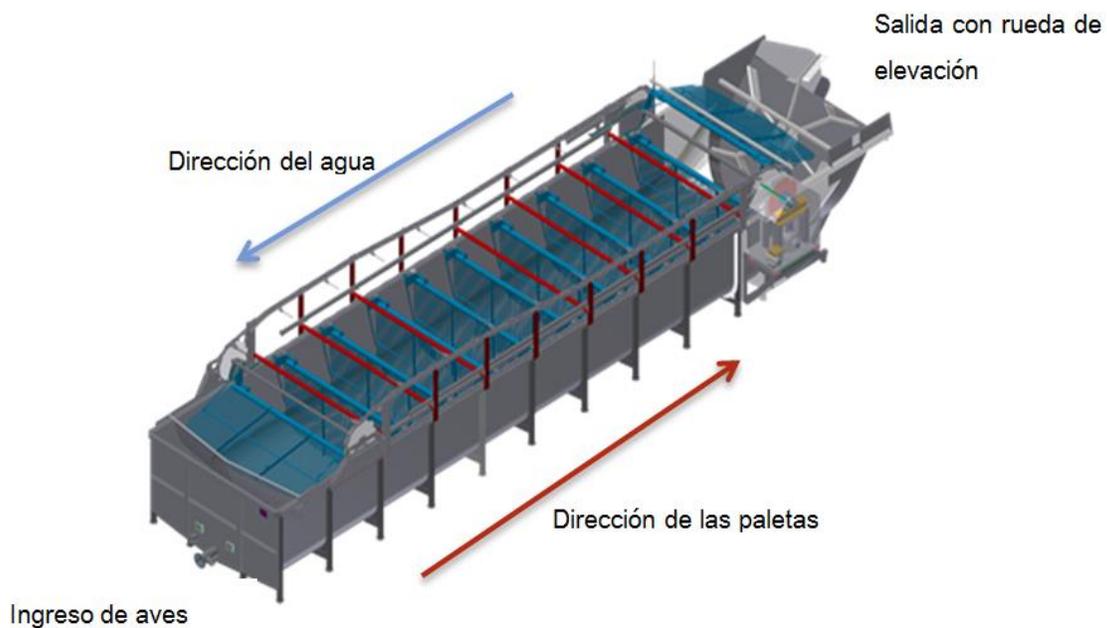


Figura 3.2. Chiller para aves tipo DRAG a contra corriente, marca MORRIS and Associates

Fuente: Hoja de especificaciones técnicas (<http://www.morris-associates.com/>)



Figura 3.3. Chiller para aves tipo Tornillo, marca MORRIS and Associates
Fuente: Hoja de especificaciones técnicas (<http://www.morris-associates.com/>)



-Tina tipo chiller en modelo automático para rastro industrial.

Figura 3.4. Tina tipo chiller, con agua a temperatura de 0 a 4 °C
Fuente: <http://www.engormix.com/MA-avicultura>

3.2 Tecnologías de aprovechamiento de los residuos orgánicos y forestales

Existen diversos tipos de tecnologías que procesan biomasa ya sea por medio de procesos termoquímicos o biológicos. Dentro de los termoquímicos se encuentran la gasificación, la combustión y la pirolisis, aplicados a biomasa seca, es decir, que contienen una humedad menor al 60%; los biológicos utilizan biomasa húmeda, es decir contiene más del 60% de humedad, generalmente son procesos bioquímicos de fermentación como la digestión anaerobia y aerobia. (Probiomasa, Argentina)

La gasificación es un proceso mediante el cual la biomasa se oxida parcialmente para convertirse en un combustible gaseoso utilizable en motores de combustión interna, los cuales a su vez pueden articularse a un alternador para producir energía eléctrica.

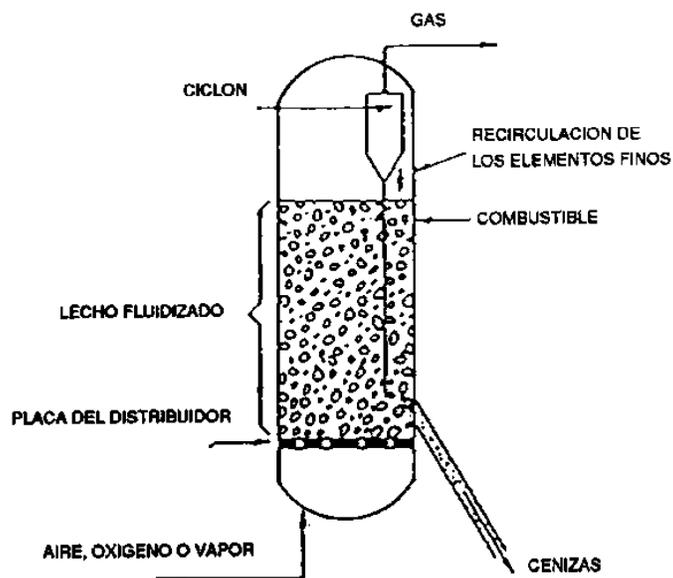


Figura 3.5. Gasificador de lecho fluidizado

Fuente: Depósito de documentos de la FAO (<http://www.fao.org/docrep/t0512s/t0512s03.htm>)

La pirolisis es un proceso de descomposición de la biomasa por medio de calentamiento y en total ausencia de oxígeno, requiere una temperatura inicial de 260 °C y una final de entre 450°C y 500°C (para residuos sólidos urbanos se pueden alcanzar 1,000°C). El producto que se obtiene puede ser carbón vegetal, combustible líquido o gaseoso

Los productos de la digestión de biomasa son biogás y fango. El biogás se puede utilizar en un motor de combustión interna, en una microturbina, en una turbina de gas o en un proceso de combustión para obtener energía eléctrica, mecánica vapor o calor.

El proceso de combustión de la biomasa es aplicable tanto para uso doméstico como puede ser un fogón utilizado para cocción de alimentos o calefacción de habitaciones; también tiene un uso industrial en calderas de alto rendimiento para producir calor a proceso, vapor, o energía mecánica.

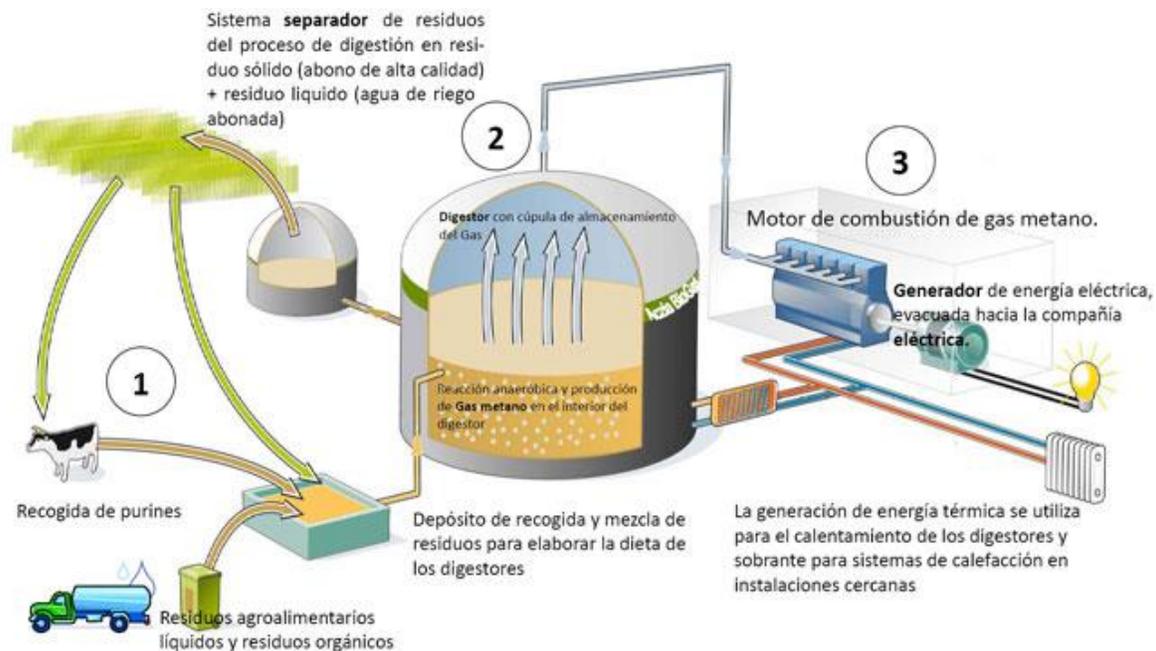


Figura 3.6. Esquema de una planta procesadora de biomasa para generación de electricidad

Fuente: http://www.aczia-biogas.es/como_funciona.php

Dentro de las tecnologías convencionales que pueden utilizar biogás, se encuentran las calderas (Ver Figura 3.7), las turbinas y microturbinas así como el motor de combustión interna, la Tabla 3.2 indica las características de algunas de estas tecnologías.

Tabla 3.2. Características de tecnologías de generación de energía eléctrica

	Turbina de gas	Microturbina	Motores de combustión interna	Celdas de Hidrógeno de alta temperatura	
Combustible	100% Biogás	100% Biogás	Ciclo Diesel Ciclo Otto	60% Biogás 40% Diesel 100% Biogás	
Tamaño	100kW-50MW	20-500kW	5kW-5MW	Baja temp.: 1kW-200kW Alta temp.: 1kW-10MW	
Eficiencia (%)	25-40	20-30	30-45	30-50	
Emisiones kg/MWh	CO ₂ NO _x SO ₂ CO	545-700 1.8-5 0.14-0.18 0.5-4.5	590-800 0.09-0.64 Despreciable 0.14-0.82	590-800 4.5-18.6 0.18-1.36 0.18-4	360-630 <0.023 0 0.005-0.055
Disponibilidad (%)	90-98	90-98	90-95	>95	
Superficie (m²/kW)	0.003-0.01	0.025-0.065	0.003-0.03	0.06-0.11	

Fuente: Tesis de Licenciatura "Generación distribuida a partir de biogás en granjas porcinas" capítulo 4, p. 39, UNAM-FI, 2010

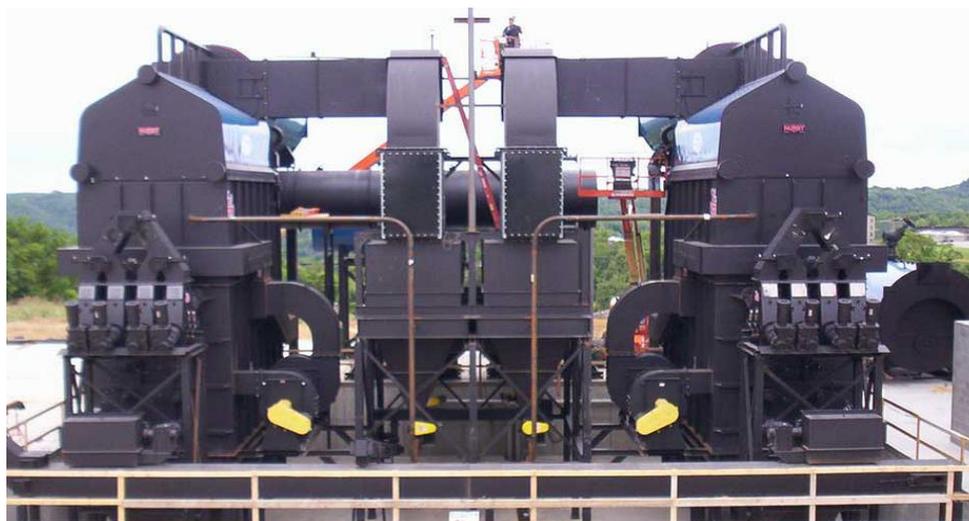


Figura 3.7. Caldera para biomasa

Fuente: <http://www.caldera.com.mx/>

3.3 Caracterización y demanda energética de la instalación

Debido a que este proyecto de tesis es una proyección teórica de un sistema de cogeneración para una planta de procesamiento de carne, no existen datos reales de los requerimientos energéticos de la planta, por esta razón la estimación del consumo energético necesario para la cría de aves de corral, se basa en la matriz de consumo energético para la agroindustria por subsectores, de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).

En primer lugar se tiene una comparativa de los consumos anuales de energía para la crianza de aves de corral, entre Estados Unidos de América, Brasil y Colombia la cual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3.3. Intensidad energética anual en la crianza, sacrificio y procesamiento de aves de corral.

País	Cantidad Anual Producida [t]	Consumo Energético anual del Subsector [kWh]	Consumo energético Específico [kWh/t]
Estados Unidos de América	15,792,000	36,019,618,597	2,281
Brasil	9,080,000	3,887,959,188	428
Colombia	613,129	1,293,800,702	2,110

Fuente: Ministerio de Agricultura, Pecuaria e Abastecimiento; Agrocadenas; NASS USDA. Citados en: UPME, 2007. Unidad de Planeación minero energética. Bogotá, Colombia. Documento consultado en línea.

El ritmo de producción propuesto para esta tesis, es de **2,000 [kg]** de carne al día, tomando como base el indicador de consumo energético específico para Brasil de la Tabla 3.3, el consumo energético específico diario para el caso planteado será **856 [kWh/día]**

La demanda energética del proceso, está basada en la tabla 47 “Consumo energético en Tcal, agregación subsectores”, citada en el documento “Caracterización del consumo final de energía en el sector agroindustrial. Tomo I” (UPME, Bogotá, Colombia); de la cual se toma como base la suma de los consumos energéticos excepto el transporte, que da un total de 78.63 Tcal; a partir de éste dato se obtienen porcentajes para cada tipo de servicio.

La Tabla 3.4 refleja los porcentajes obtenidos así como la equivalencia del consumo energético en kWh tanto para una tonelada como para las dos toneladas que se van a producir en el caso de estudio.

Tabla 3.4. Cantidad de energía por tipo de servicio utilizado en el proceso de cría y sacrificio de aves de corral

Tipo de Servicio	Porcentaje %	Consumo energético para el caso de estudio kWh/día
Fuerza Motriz	41.06	351.474
Acondicionamiento térmico de ambientes, refrigeración y preservación	3.00	25.680
Calentamiento Directo	54.84	469.430
Iluminación	0.70	5.992
Equipo Electrónico	0.40	3.424
TOTAL	100	856

FUENTE: Adaptada de “Caracterización del consumo final de energía en el sector agroindustrial. Tomo I” (2007). UPME, Colombia.

Por tanto del 100% del consumo energético, el 45.16% corresponde a la demanda eléctrica y el 54.84% a la demanda térmica. Es decir, el consumo total diario del proceso de crianza sacrificio y producción de aves de corral, la energía térmica y eléctrica será:

- El consumo de energía eléctrica es 386.57 [kWh_e/día]
- El consumo de energía térmica es 469.43 [kWh_t/día]

3.4 Evaluación del esquema de cogeneración propuesto

Se propone un sistema de cogeneración a partir de un motor de combustión interna alimentado con biogás, ya que se tiene conocimiento de que éste tipo de sistemas funcionan adecuadamente para los fines que requiere la planta procesadora, principalmente para la obtención de electricidad.

Cabe mencionar que se puede obtener resultados similares utilizando otros tipos de tecnología, por ejemplo con una microturbina, sin embargo el costo de inversión de ésta tecnología es mayor al de un motor de combustión interna.

En primer lugar tenemos la planta de biogás, que se esquematiza en la Figura 3.8, la planta requiere de elementos de almacenamiento de agua, y de excretas que serán mezcladas en un tanque de homogenización, después la mezcla se introduce al tanque digester donde permanecerá 30 días en su proceso de fermentación.

El tanque digester cuenta con un serpentín para mantener la temperatura en el interior, que como se mencionó en capítulos anteriores pertenece a un rango mesófilo la temperatura óptima sería de 38 °C; se utilizará una parte de los humos de combustión del MCI mostrado en la Figura 3.9 para mantener la eficiencia del sistema (ver proceso 23).

El agua que se utilizará para la mezcla pertenece a un circuito con temperatura ambiente. El tanque digester, cuenta con todos los mecanismos necesarios para el monitoreo de parámetros importantes como la presión, el ph, la temperatura, el volumen de gas y el volumen de mezcla.

El domo del digester, funciona como tanque de almacenamiento del biogás, el cual tendrá un tratamiento de filtrado y posteriormente pasará al motor de combustión interna.

Los lodos digeridos, serán retirados del digestor, y almacenados en un tanque especial, que permitirá el secado de los mismos, para posteriormente ser utilizados como fertilizante.

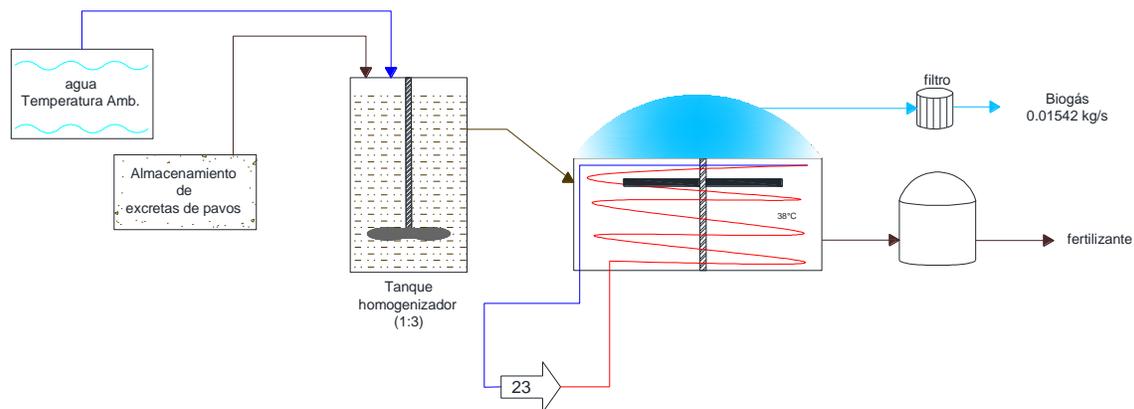


Figura 3.8. Esquema de la planta de biogás

Fuente: Elaboración propia

La simulación requiere de una composición química del biogás para determinar el flujo del mismo; Tomando en cuenta que el biogás producido por pavos tienen un contenido de gas metano del 58 % (Garay O. 2011) y con los datos de la Tabla 1.4. Composición del Biogás, se propone que el biogás obtenido a partir de pavos tenga las siguientes características:

Metano 58%, Dióxido de carbono 38%, Hidrógeno 2% y Nitrógeno 2%

El flujo de biogás se obtiene de la expresión 2.10, mostrada en el capítulo anterior, sustituyendo los valores requeridos obtenemos lo siguiente:

$$\phi_{biogas} = \frac{\left(1.0887 \left[\frac{kg}{m^3}\right]\right) \left(1,224.15 \left[\frac{m^3}{día}\right]\right)}{\left(86,400 \left[\frac{s}{día}\right]\right)} = 0.01542 \left[\frac{kg}{s}\right]$$

Con éste dato, se realiza la simulación en el software THERMOFLEX. La Figura 3.9 muestra la simulación del sistema de cogeneración propuesto, el flujo de biogás es ajustado por el software a un valor de 0.0156 kg/s, en condiciones de temperatura ambiente, es decir a 25 °C.

El biogás entra al motor de combustión interna, que se ha determinado con una capacidad de 90 kW, en éste proceso, se recuperan los humos de combustión a una temperatura de 582.2 °C y una presión de 0.7035 bar, éstos humos de combustión contienen un potencial energético de 312.78 kW_q y son aprovechados dentro de un intercambiador de calor para los procesos térmicos de la planta procesadora, del 100% de la potencia química, un 44.85% (140.29 kW_q) se utiliza en el proceso de enfriamiento de las aves, y un 54.11% (169.23 kW_q) se ocupa para el proceso de escaldado de las canales.

En el proceso de escaldado se requiere agua con una temperatura de 53.35 °C así que del agua que se obtiene a 95°C, tiene que existir un proceso de enfriamiento para disminuir la temperatura a la antes mencionada, y que sea efectiva para la conservación de la carne como se ha mencionado anteriormente.

Para el proceso de enfriamiento de las canales, el agua entra a un chiller, a una temperatura de 95°C, la cual disminuye gradualmente hasta 2°C con un flujo de 0.4536 kg/s, para dicho proceso se requiere de un pre enfriamiento en un rango de 7 a 12 °C, y las condiciones del chiller deben ser ajustadas para que el agua de entrada tenga una temperatura de 4°C y la de salida 1°C, como se indica en el capítulo 2.

A la salida del proceso de escaldado el agua es desechada, ya que contiene contaminantes que podría dañar los mecanismos de la planta de cogeneración, afectando su desempeño y reduciendo su vida útil.

En cuanto al sistema de enfriamiento del motor, se ocupa una parte del agua de salida del intercambiador de calor equivalente a 254.17 kW_q con temperatura de $77.24 \text{ }^\circ\text{C}$, que junto con agua de repuesto a 39.95°C y con una potencia química de 132.63 kW_q entran a un cambiador de calor en el cual la presión del fluido disminuye, y es utilizado en el sistema de enfriamiento del motor, dicho sistema es de gran importancia ya que mantiene en condiciones óptimas de operación al sistema.

Entre el motor de combustión interna y el cambiador de calor, se tiene una válvula de control y una torre de enfriamiento, la válvula permite el paso de agua desde la torre de enfriamiento en caso de ser necesario.

Se propone éste tipo de sistema de enfriamiento para el motor en vez de un radiador, con la finalidad de aprovechar los flujos constantes de agua y así disminuir las pérdidas energéticas del sistema.

Un 1.04% de los humos recuperados del MCI se utiliza en un intercambiador de calor para el proceso de calentamiento del digestor, equivale a 3.26 kWt manteniendo $38 \text{ }^\circ\text{C}$. Agregar este proceso aumenta la eficiencia de la planta.

Los resultados de la simulación indican lo siguiente:

- la eficiencia del sistema de cogeneración será 74.89%,
- el calor neto de proceso de salida es **150.5 kWt**
- la potencia eléctrica será **70.21 kWe**

Tomando en cuenta el poder calorífico superior del biogás

- la eficiencia eléctrica neta es de 21.47 %
- el promedio de calor neto corresponderá a 16768 kJ/kWh

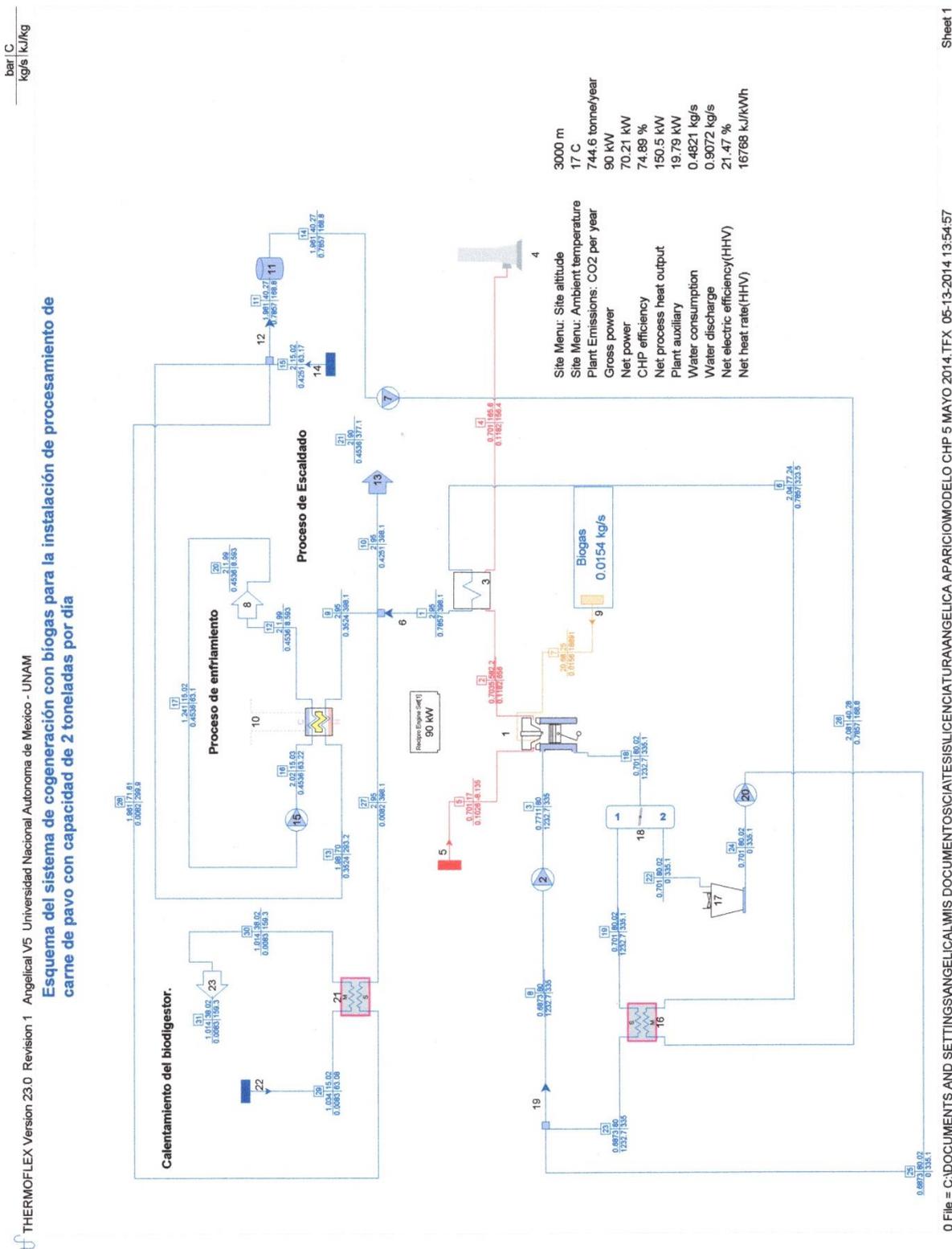


Figura 3.9. Esquema de cogeneración propuesto, a partir de biogás.

Fuente: THERMOFLEX

Una vez obtenidos los resultados a partir de la simulación de la planta de cogeneración, y teniendo en cuenta los requerimientos energéticos del procesamiento de carne calculados en el subtema 3.3, haremos la comparación entre los resultados obtenidos de la propuesta de cogeneración contra los datos referenciados.

La jornada de producción de carne tiene una duración de 10 horas por lo tanto, a partir de la demanda energética diaria de referencia, se calcula la potencia requerida del sistema:

$$Potencia\ Eléctrica = \frac{386.57 \left[kWh_e / día \right]}{10\ h} = 38.657 [kW_e]$$

$$Potencia\ Térmica = \frac{469.43 \left[kWh_t / día \right]}{10\ h} = 46.943 [kW_t]$$

Se propone que el sistema de generación sea de operación continua, y se evalúan dos escenarios.

Escenario 1: El factor de planta es 0.80

$$Energía\ eléctrica.- \quad 70.21 [kW_e] \times 24 [h] \times 0.80 = \mathbf{1,348.032} \left[kWh_e / día \right]$$

$$Energía\ Térmica.- \quad 150.5 [kW_t] \times 24 [h] \times 0.80 = \mathbf{2,889.6} \left[kWh_t / día \right]$$

Escenario 2: Debido a la intermitencia que puede presentarse para un sistema con biomasa, se propone factor de planta de 0.60

$$\text{Energía eléctrica.- } 70.21 [kW_e] \times 24 [h] \times 0.60 = \mathbf{1,011.024} \left[\frac{kWh_e}{\text{día}} \right]$$

$$\text{Energía Térmica.- } 150.5 [kW_t] \times 24 [h] \times 0.60 = \mathbf{2,167.2} \left[\frac{kWh_t}{\text{día}} \right]$$

Las comparaciones que se muestran en la Tabla 3.5 determinan si el sistema propuesto de cogeneración, es o no capaz de suministrar la energía que se requiere para completar el proceso de la carne de guajolote.

Tabla 3.5. Condiciones de evaluación de resultados

Condición	Resultado
Energía generada > Energía requerida	Se cubre la demanda energética del proceso y existen excedentes que se calculan como la diferencia de ambas energías
Energía generada = Energía requerida	Se cubre la demanda del proceso y no existen excedentes
Energía generada < Energía requerida	No se cubre la demanda del proceso. Se puede proponer un sistema que compense la energía faltante

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los cálculos anteriores, el sistema energético propuesto cumple la primera condición de la tabla, por lo tanto el excedente de energía será:

$$1,011.024 [kWh_e] - 386.57 [kWh_e] = 624.45 [kWh_e]$$

$$2,167.2 [kWh_t] - 469.43 [kWh_t] = 1,697.77 [kWh_t]$$

Los excedentes de energía eléctrica pueden ser comercializados a CFE siempre que cumplan con los criterios establecidos por las leyes mexicanas:

Los contratos de interconexión para fuentes de energía renovable o sistemas de cogeneración se dividen en pequeña y mediana escala; a su vez existe otra clasificación para sistemas de cogeneración eficiente.

En pequeña y mediana escala, se efectúa una diferencia, entre la energía suministrada por CFE y la energía entregada por el generador a ésta. Si el resultado es negativo, significa una ganancia para el generador la cual puede ser compensada en un plazo no mayor a 12 meses de lo contrario se cancela automáticamente dicha compensación. Si el resultado es positivo, se efectúan los cargos correspondientes de acuerdo a la tarifa que indique el contrato de suministro. (CRE, 2010)

En el contrato para cogeneración eficiente se tienen varios escenarios que determinan el monto al cual será pagada o cobrada la energía, ya sea como compensación en especie o monetaria.

Analizando solo el caso de energía sobrante, la compensación se realiza al 85% del costo total a corto plazo, CTCP, del mes y periodo de generación correspondiente.

Como ejemplo general, se calculó el costo anual que se obtendría por la venta de energía sobrante. Considerando que se tiene un caso de cogeneración eficiente, se obtuvieron los valores promedio de cada mes del CTCP, proporcionados por la CFE, con éstos se generó la Tabla 3.6

Utilizando la siguiente expresión matemática, se lleva a cabo el cálculo correspondiente

$$CP_{diario} = EGS * 0.85 * \overline{CTCP}$$

Donde:

CP diario: es el costo promedio diario de la venta de energía [\$/kWh]

EGS: es la energía generada sobrante [kWh/día]

\overline{CTCP} : es el promedio del costo total a corto plazo [\$/kWh]

Por lo tanto: $CP_{diario} = 600 \left[\frac{kWh}{día} \right] * 0.85 * 1.2967 \left[\frac{\$}{kWh} \right] = 661.3 \text{ [\$]}$

Al año se calcula un costo promedio de **\$ 241,382.**, tomando en cuenta un escenario de generación estable.

Es importante aclarar que el cálculo real se realiza por cada periodo de generación, y para cada día del año, ya que el CTCP varía en función de dichos parámetros.

Tabla 3.6. Promedio mensual del Costo Total a Corto Plazo para el año 2013

Periodo mensual	\$/MWH
Enero	1596.14
Febrero	1603.90
Marzo	1525.35
Abril	2013.25
Mayo	1822.70
Junio	1504.72
Julio	1392.21
Agosto	1645.89
Septiembre	715.13
Octubre	630.88
Noviembre	575.82
Diciembre	534.48

Fuente: Elaboración propia con datos de CFE,

<http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/OTROS/costostotales/ConsultaArchivoBalance.aspx>

El excedente de energía térmica podría representar una desventaja del sistema de cogeneración, es por ello que se propone utilizar el calor excedente como parte del sistema de calefacción del digestor.

Se propone utilizar la ganancia por la venta de energía sobrante como reserva económica para el mantenimiento preventivo y/o correctivo del sistema energético.

3.5 Aspectos medioambientales del sistema de cogeneración

Una de las principales ventajas de contar con sistemas de cogeneración a partir de biomasa es que permiten el aprovechamiento de la energía contenida en ésta; a la par logran reducir emisiones de CO₂.

El programa Thermoflex, indica que la planta propuesta genera 744.6 tCO₂/año; con un sistema convencional conformado por una caldera y obteniendo la energía eléctrica de la red nacional mexicana, el cálculo de emisiones de dióxido de carbono de ése sistema se describe a continuación.

En primer lugar analizaremos el caso de la caldera, la cual funciona con diesel, y tiene una eficiencia de 78%

La potencia térmica requerida por el sistema es 46.9 kW_t así que:

$$E_q = 46.9 [kW_t] \times 8760[h] \times 0.6 = 0.2465 [GWh]$$

$$E_{q-combustible} = \frac{E_q}{\eta} = \frac{0.2465 [GWh]}{0.78} = 0.316 [GWh_{año}]$$

$$E_{q-combustible} = 0.316 \left[\frac{GJ}{S} \times h_{año} \right] \times 3600 \left[\frac{S}{h} \right] = 1,137.722 [GJ_{año}]$$

Tomando el índice de emisiones de CO₂ para el diesel como 72.78 kg CO₂/GJ (León De los Santos, 1998), se determinan las emisiones provocadas por la caldera convencional como:

$$emisiones_{diesel} = 1,137.722 [GJ_{año}] \times 0.07278 \left[\frac{tCO_2}{GJ} \right] = 82.8034 [tCO_{2año}]$$

Para la energía utilizada de la red eléctrica nacional se utiliza el valor de la potencia eléctrica bruta para el sistema de cogeneración el cual es 90 kW. Siguiendo con el mismo procedimiento que para la caldera, por lo tanto:

$$E_e = 90 [kW_e] \times 8760 [h] \times 0.6 = 473.04 [MWh_{año}]$$

El índice de emisiones equivalentes de la red eléctrica en México es 0.584 t CO₂/MWh_e dato utilizado en el proyecto “El Gallo” que fue aprobado como proyecto MDL.

$$emisiones_{red\ nacional} = 473.04 [MWh_{año}] \times 0.584 \left[\frac{tCO_2}{MWh} \right] = 276.2554 [tCO_{2año}]$$

El total de emisiones evitadas por el sistema de cogeneración equivale a la suma, de las emisiones de la caldera convencional y de las emisiones de la red eléctrica, es decir 359.0758 toneladas de CO₂ al año.

También es importante recordar que el gas metano liberado a la atmósfera en estado puro, es mucho más contaminante que el dióxido de carbono ya que 1 unidad de CH₄ equivale a 21 unidades de CO₂eq (SEMARNAT, 2012)

Durante el proceso de generación térmica existe un sobrante de 103.6 kWt, esta energía representa una cantidad de emisiones de metano evitadas. El cálculo de éstas se realiza de la siguiente manera.

$$E_Q = \frac{\dot{m} \times PCI}{\eta}$$

$$\dot{m} = \frac{544,521.6 [kWh \text{ año}] \times 0.78}{13.88 \left[\frac{kWh}{kg} \right]} = 30,599.92 \text{ kgCH}_4 \text{ año}$$

Con el factor de equivalencia entre metano y CO₂ las toneladas equivalentes de CO₂ evitadas por éste proceso son:

$$\text{emisiones} = 21 * 30.6 \text{ tCH}_4 = 642.6 \text{ tCO}_2 \text{ eq/año}$$

Tabla 3.7. Potencial de calentamiento (conversión a CO₂ equivalente)

Gas de efecto invernadero	Potencial de calentamiento (horizonte a 100 años)
Bióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21
Óxido Nitroso (N ₂ O)	310
HFC-125	2,800
HFC-143a	3,800
HFC-236fa	6,300
Pentafluorometano (CF ₄)	6,500
Pentafluorobutano (C ₄ F ₁₀)	7,000
Pentafluorohexano (C ₆ F ₁₄)	7,400
Pentafluoroetano (C ₂ F ₆)	9,200
HFC-23	11,700
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	23,900

Fuente: SEMARNAT, 2012, México Quinta Comunicación nacional ante la convención de las naciones unidas sobre el Cambio Climático, p. 238

Conclusión del Capítulo 3

El capítulo tres muestra un panorama técnico en el cual se determinan tanto la demanda térmica como la demanda eléctrica requeridas dentro del procesamiento de la carne de guajolote. Ya que, como se ha mencionado anteriormente, ésta tesis plantea escenarios teóricos, se ha tomado como referencia un trabajo realizado por la UPME en el año 2007 en el que se desglosan los consumos energéticos requeridos del subsector agrícola, específicamente para aves de corral.

A partir de los resultados de estimación de biogás del capítulo dos, se realiza el planteamiento esquemático de la planta de biogás y la planta de cogeneración que dan como resultado un escenario viable para la cogeneración de energía.

Se determinó que es posible cubrir la demanda energética de la planta procesadora a partir de la utilización del biogás dentro de un motor de combustión interna de 90 kW de capacidad.

El resultado es un proceso de cogeneración con eficiencia del 70.89 %, del cual se generan 624.45 kWh al día de energía eléctrica excedente, ésta puede ser comercializada siempre y cuando cumpla los requisitos establecidos por la CRE en el contrato de interconexión de correspondiente.

4. Conclusión de la Tesis

A lo largo del desarrollo de la tesis titulada “Propuesta y evaluación técnica de un sistema energético en base a cogeneración para una planta procesadora de carne de guajolote” se obtuvieron resultados teóricos favorables para el escenario planteado, cumpliendo así el objetivo principal que es proponer un sistema de cogeneración que aproveche la biomasa generada durante la crianza de las aves, y que sea capaz de cubrir la demanda energética de la planta procesadora de carne.

La principal condición es cubrir una producción diaria de 2 toneladas de carne en canal, para ello se calculó que debe existir una población de 34,561 aves de diversas edades, a partir del dato teórico de producción de excretas de un pavo de 9.072 kg, se hizo una relación para cada uno de los pesos estimados desde uno hasta 12 kilogramos, el promedio de producción de excretas es 0.255 kg. La relación entre la cantidad total de aves y el promedio de producción de excretas resulta de 8.8 toneladas al día, éste dato se utilizó para estimar la producción de biogás.

Para calcular la cantidad de biogás se utilizaron dos métodos, el primero de ellos fue el uso del software RETscreen4, que es una herramienta creada para evaluar proyectos de energías limpias; el software cuenta con un apartado para el cálculo de biogás utilizando datos recabados para diferentes tipos de biomasa como las excretas de aves de corral, donde se supone un factor de 0.54 m³ de biogás por kilogramo de excreta con un 69% de gas metano. El resultado es una producción de 1,264.45 m³ de biogás al día.

El segundo método fue utilizar el coeficiente de rendimiento del estiércol, en éste se toma el 4.5% del peso del ave como la cantidad de excretas que se producen, y se toma en cuenta que por cada kilogramo de materia seca se producen 0.56 m³ de biogás con un 58% de metano. El resultado del segundo método es 1,224.15 m³

La diferencia entre ambos métodos radica principalmente en el porcentaje de metano del biogás y el coeficiente de factor de rendimiento del estiércol.

De los dos resultados obtenidos se seleccionó el primero para la propuesta de cogeneración, ya que la composición del biogás propuesta es de 58% de CH₄, 38% de CO₂, 2% de H y 2% de N, y corresponde al mismo contenido de metano que se supone en ese método.

Otro punto de gran importancia fue conocer la demanda energética que se requiere dentro de una planta procesadora de carne, tomando como referencia el consumo del sector agroindustrial reportado por la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia. Partiendo de una relación entre el indicador energético reportado para Brasil y la producción que se propone en este trabajo, se determinó que la demanda energética de la planta será **856 kWh/día**, de esta cantidad, **386.57 kWh** pertenecen a la demanda eléctrica y **469.43 kWh** a la demanda térmica.

Una vez establecida la demanda de la planta se realizó la propuesta del sistema de cogeneración mediante el uso del software Thermoflex. El sistema energético se propuso con un motor de combustión interna a biogás de 90 kW, para generar 70.21 kW de energía eléctrica, de los humos de combustión del motor se recuperan 150.5 kW de energía térmica utilizada en dos procesos específicos de la producción, uno es el escaldado de las aves, que requiere calor y el otro el enfriamiento de las mismas.

Se propone comercializar la energía eléctrica sobrante de acuerdo a los lineamientos establecidos por la CRE, y utilizar la energía térmica sobrante como parte del sistema de calefacción del digestor.

Una ventaja medioambiental de utilizar biomasa en vez de combustible fósil es evitar emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. El presente proyecto logra una reducción de 359 toneladas de CO₂ al año mediante el proceso de cogeneración utilizando biogás; aunado a esto la conversión de biomasa en metano representa una reducción de 642.6 toneladas de CO₂ equivalente por año.

Se propone que, en trabajos posteriores, se analice el caso planteado utilizando otras tecnologías como son las celdas de hidrógeno a alta temperatura y las microturbinas con el fin de comparar la rentabilidad económica de cada tecnología; de igual manera se propone experimentar con muestras reales para obtener un escenario consistente de la producción de biogás a partir de excretas de pavos y comparar los resultados con otro tipo de excretas de aves de corral.

Referencias bibliográficas

Libros y publicaciones electrónicos

A

- Aguilar Hernández, Enrique et al. (2008). *Manual de Procedimientos Unidad Avícola- Pavo de Engorda*. México, Chihuahua: Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia. Recuperado el 7 de noviembre de:
<http://comunidad.uach.mx/fsalvado/PAVOS-FZ-UACH-UNIDAD.pdf>
- Alatorre Frenk, Claudio (2009). *Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009*. México: Forever Print. Recuperado el 14 de Septiembre de 2012 de:
http://www.energia.gob.mx/res/0/ER_para_Desarrollo_Sustentable_Mx_2009.pdf

B

- BESEL, S.A. (Departamento de Energía) (2007). *Biomasa: Digestores Anaerobios*. Madrid: IDEA. Recuperado el 19 de octubre de 2011 de:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf
- BESEL, S.A. (Departamento de Energía) (2007). *Biomasa: Producción eléctrica y cogeneración*. Madrid: IDEA. Recuperado el 14 de octubre de 2011 de:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_prod_elec_y_cogeneracion_07_b5ba3c15.pdf

C

- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2008). *Ley para el Aprovechamiento Sustentable de Energía*. México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 3 de octubre de 2011 de:
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LASE.pdf>

- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2011). *Ley del servicio público de energía eléctrica*. México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 3 de octubre de 2011 de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/99.pdf>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2008). *Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos*. México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 3 de octubre de 2011 de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/99.pdf>
- Cantaro, Horacio, Sánchez J., Sepúlveda P. *Cría y engorde de pavos*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado el 4 de marzo de 2014 de: http://inta.gob.ar/documentos/cria-y-engorde-de-pavos/at_multi_download/file/Cria_y_engorde_de_Pavos.pdf
- Carrillo, Leonor. (2003). *Microbiología Agrícola*. Universidad Nacional de Salta. Capítulo 5. Recuperado el 15 de febrero de 2012. Recuperado de: <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri.htm>
- Chamy, Rolando, Vivanco E., Escuela de Ingeniería Bioquímica, PUCV. (2007). *Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás: Potencial de Biogás*. Santiago de Chile: ByB Impresores. Recuperado el 9 DE SEPTIEMBRE DE 2011 de: http://www.inapiprojecta.cl/605/articles-1660_recurso_1.pdf
- Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Programación: Coordinación de Planificación. *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2012-2026*. Recuperado el 28 de enero de 2014 de: http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/_layouts/mobile/dispsform.aspx?List=02198503-8a91-4a57-904d-d6558215bdf4&View=58b9a1a3-b23d-4a10-8b97-6e7c19221302&ID=7

- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía. *Oportunidades de Cogeneración Eficiente*. Recuperado el 13 de septiembre de 2011 de: http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7364/2/INCR_M17_AE1_A1Y2_ANEXO3.pdf
- Comisión Reguladora de Energía. *Contrato de interconexión para centrales de generación de energía eléctrica con energía renovable o cogeneración eficiente*. Recuperado el 28 de abril de 2014 de: <http://www.cre.gob.mx/documento/1328.pdf>
- Córdova, Pérez, Ana Delia (2013). *Propuesta de creación de COGENERA México*. México: SENER-CONUEE-CRE-GIZ. Recuperado el 9 de enero de 2014 de: <http://www.cogeneramexico.org.mx/anexos/File/Propuesta%20COGENERA%20Mexico-VF.pdf>

D

- De la Guerra, Carrasco Amaranta Tesis (2011). *Generación distribuida a partir de biogás en granjas porcinas*. México FI-UNAM Recuperado el 3 de abril de 2014 de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/285/A7.pdf?sequence=6>
- Dirección de Enlace y Programas Regionales, Apoyo al sector privado (2007). *Eficiencia en Calderas y Combustión*. México: CONAE/SENER/PyME. Recuperado el 19 de marzo de 2014 de: http://www.cnpml.org.sv/UCATEE/ee/docs/Calderas_02.pdf

F

- Financiera Rural (2010). *Monografía del Guajolote o Pavo*. México. Recuperado el 28 de octubre de 2011 de: [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaGuajolote\(dic%2010\)vf.pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaGuajolote(dic%2010)vf.pdf)

G

- Garay García Oscar Augusto (2011). *Análisis técnico-económico de una planta de generación eléctrica en base a biogás*. Santiago de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Recuperado el 4 de abril de 2014 de: http://www.tesis.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104119/cf-garay_og.pdf?sequence=3

M

- *Manure Management Systems Series: Manure Characteristics*. MidWest Plan Service, Iowa State University. (2000). Recuperado el 29 de febrero de 2012 de: <ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/CA/technical/cnmp/certification/manurecharMWPS.pdf>

N

- Naciones Unidas (1987). *Our Common Future: Brundtland Report*. Recuperado en Septiembre de 2012 de: http://conspect.nl/pdf/Our_Common_Future-Brundtland_Report_1987.pdf
- Noriega Grial Luis E., Corporación Rehovot (2009). *Estudio Sobre Cogeneración en el Sector Industrial en México*. México: CONUEE/CRE/GTZ. Recuperado el 14 de octubre de 2011 de: [http://www.cogeneramexico.org.mx/anexos/2009-12-Cogen_sec-ind-Mex\[1\].pdf](http://www.cogeneramexico.org.mx/anexos/2009-12-Cogen_sec-ind-Mex[1].pdf)

S

- Secretaría de Energía. *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables*. México. Recuperado el 5 de marzo de 2014 de: <http://www.sener.gob.mx/res/0/Programa%20Energias%20Renovables.pdf>
- Secretaría de Energía (2014). *Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de Energía 2014-2018*. México: SENER. Recuperado el 28 de marzo de 2014 de: <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7902/16/07PRONASE20142018.pdf>

U

- Unidad de Planeación Minero Energética, UPEM (2007). *Caracterización del consumo final de energía en el sector agroindustrial. Tomo I.* Bogotá, Colombia. Recuperado en marzo de 2012 de: http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/Agroindustrial/ILM_Tomo_I.pdf

V

- Varnero Moreno Ma. Teresa (2011). *Manual de Biogás.* Santiago de Chile: MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF. Recuperado el 1 de marzo de 2012 de: <http://www.rlc.fao.org/es/publicaciones/manual-biogas/>
- Vásquez, Quilodran Marco (2006). *Apunte: Descripción de Calderas y Generadores de Vapor.* Máquinas y Sistemas térmicos. Chile, Concepción-Talcahuano: INACAP. Recuperado el 19 de marzo de 2014 de: <http://www.fidena.edu.mx/biblioteca/MAQUINAS/Copia%20de%20Apunte-Calderas-y-Generadores-de-Vapor.pdf>

Libros impresos

A

- *Aves de corral* México: SEP: Editorial Trillas, 1992. Capítulos: 2, 3, 4 y 6.

E

- Ensminger, M. Eugene (1976). *Producción avícola.* Buenos Aires: El ateneo. Capítulo 3 y 7.

G

- Guadarrama Ortigoza Araceli, Tesis (2009) *Estudio de viabilidad para la conversión de biomasa en energía eléctrica y térmica en una comunidad rural e indígena: Caso San Antonio Sinicahua, Oaxaca*. México, FI-UNAM.

H

- Hordeski, Michael F. (2007). *Alternative fuels: The future of Hydrogen*. Lilburn, Georgia: Fairmont. Capítulo 7.

L

- León, De los Santos Gabriel (1998). *Reconversión de calderas industriales convencionales para la mitigación de emisiones contaminantes*. México, FI-UNAM.

M

- Misersky, Peter (1968). *Producción y sacrificio de aves para carne: Pollos, patos, payos y gansos*. Zaragoza: Acribia. Capítulo 5.
- Mountney, George J., Parkhurst, Carmen R. (2001). *Tecnología de productos avícolas*. Zaragoza: Acribia, depósito legal. Capítulos: 7, 8, 9, 10, 13 y 17.

S

- Sams, Alan R. (2001). *Poultry meat processing (Procesamiento de aves de corral)*. Boca Raton, Florida. CRC Press
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2012). *México Quinta comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México Grupo Communicare S.C.

V

- Visigalli, Sergio. (1994). *Animales de granja*. Barcelona: De Vecchi. Páginas: 25, 51-63, 77-90.

Páginas de internet

- Comisión Federal de Electricidad
<http://www.cfe.gob.mx/paginas/home.aspx>
- Comisión Nacional Para el uso eficiente de energía.
http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_312_que_es_cogeneracion
- Comisión Reguladora de Energía
<http://www.cre.gob.mx/>
- Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica
<http://www.fide.org.mx/>
- Gas Natural FENOSA
<http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/plantas-de-cogeneracion#ancla>
- Curso de Generación de Energía Eléctrica, Profesor Antonio Guilherme Garcia Lima
<http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/podercalorifico.htm>