



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**GUÍA PARA EL MONTAJE DE UN MOTOGENERADOR DE 1 MW, UTILIZANDO  
BIOGÁS EN LA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA LA FRANCIA**

**Miguel Angel Landaverri Rodríguez**

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, junio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PARA EL MONTAJE DE UN MOTOGENERADOR DE 1 MW, UTILIZANDO  
BIOGÁS EN LA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA LA FRANCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MIGUEL ANGEL LANDAVERRI RODRÍGUEZ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**GUÍA PARA EL MONTAJE DE UN MOTOGENERADOR DE 1MW, UTILIZANDO BIOGÁS EN LA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA LA FRANCIA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 23 de octubre de 2015.



**Miguel Angel Landaverri Rodríguez**

Guatemala, 11 de abril de 2016

Ingeniero  
Roberto Guzmán Ortiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Guzmán:

Respetuosamente le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **GUÍA PARA EL MONTAJE DE UN MOTOGENERADOR DE 1MW, UTILIZANDO BIOGÁS EN LA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA LA FRANCIA** presentado por el estudiante Miguel Angel Landaverri Rodríguez, carné 2003 13520, y después de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto, hago de su conocimiento que, en mi opinión, dicho trabajo llena los requisitos necesarios para ser sometido a discusión en su Examen General Público y recomiendo su aprobación para el efecto.

Atentamente,



Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
Colegiado 3071

---

Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado 3071



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.132.2016

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **GUÍA PARA EL MONTAJE DE UN MOTOGENERADOR DE 1MW, UTILIZANDO BIOGÁS EN LA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA LA FRANCIA** desarrollado por el estudiante **Miguel Angel Landaverri Rodríguez, carné 2003-13520** recomienda su aprobación.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador Área Complementaria  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, abril 2016



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.181.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **GUÍA PARA EL MONTAJE DE UN MOTOGENERADOR DE 1MW, UTILIZANDO BIOGÁS EN LA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA LA FRANCIA** del estudiante **Miguel Angel Landaverri Rodríguez**, carné No. **2003-13520** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, junio de 2016

/aej

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

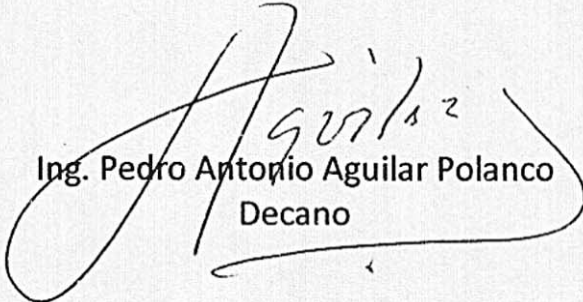


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 247.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **GUÍA PARA EL MONTAJE DE UN MOTOGENERADOR DE 1MW, UTILIZANDO BIOGÁS EN LA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA LA FRANCIA**, presentado por el estudiante universitario: **Miguel Angel Landaverri Rodríguez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, junio de 2016

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por confiar en mí y por darme todas las habilidades. Por el plan de Dios para mí y el regalo de la fe y confianza en Él, que me permiten lograr todo. La meta lograda es de Dios y para Dios. La confianza mutua entre Dios y yo me permitió en este día lograr mi graduación.

Estar con Dios, conocer a Dios, creer en Dios, confiar en Dios, amar a Dios, servir a Dios es la razón de nuestra existencia.

Dios tiene esperanza para cada uno de nosotros. Cristo tiene esperanza para cada uno de nosotros.

Dios tiene un plan para nosotros. Es el plan de Dios. El plan de Dios para nosotros es ideal y perfecto.

Lo único que necesitamos es a Dios. Un encuentro con Dios. Un reencuentro con Dios.

“Si nuestros pensamientos perseveran en Jehová, El guardará nuestra vida en completa paz”. Isaías 26:3.

Con Dios todo lo podemos hacer.

Comparto con ustedes unos versos de la Biblia porque la Biblia es la palabra de Dios, el manual del ser humano y nuestra guía.

Al que cree todo le es posible

“De cierto, de cierto os digo: El que en mí cree, las obras que yo hago, él las hará también; y aun mayores hará, porque yo voy al Padre. Y todo lo que pidieréis al Padre en mi nombre, lo haré, para que el Padre sea glorificado en el Hijo. Si algo pidieréis en mi nombre, yo lo haré”. Juan 14:12-14.

“Respondiendo Jesús, les dijo: Tened fe en Dios. Porque de cierto os digo que cualquiera que dijere a este monte: Quítate y échate en el mar, y no dudare en su corazón, sino creyere que será hecho lo que dice, lo que diga le será hecho. Por tanto, os digo que todo lo que pidieréis orando, creed que lo recibiréis, y os vendrá”. Marcos 11:22-24.

“Jesús le dijo: Si puedes creer, al que cree todo le es posible”. Marcos 9:23.

“Si permanecéis en mí, y mis palabras permanecen en vosotros, pedid todo lo que queréis, y os será hecho”. Juan 15:7.

“Yo soy la vid, vosotros los pámpanos; el que permanece en mí, y yo en él, éste lleva mucho fruto; porque separados de mí nada podéis hacer”. Juan 15:5.

“Y esta es la confianza que tenemos en él, que si pedimos alguna cosa conforme a su voluntad, él nos oye”. 1 Juan 5:14.

**Mis padres**

Eduardo Landaverri y Dora Rodríguez de Landaverri, por su amor, apoyo en todo momento de mi vida, por su testimonio de integridad y amor.

**Mis hermanos**

Eduardo y Daniel Landaverri, por su compañía, armonía y apoyo entre hermanos.

**Daniel Landaverri**

Mi hermano menor que está en los lugares celestiales como un ángel junto a Jesús y con Dios. Comparto mi meta con mi hermano y se la envió al cielo.

**Mis primos**

Gesly Bonilla y Marco Rodríguez, por su ayuda y colaboración en el inicio y final de mi carrera.

**Mis tíos**

César Landaverry y Marco Rodríguez, por su ayuda en el inicio y final de mi carrera.

**Les presento mi trabajo de graduación en el nombre de Jesús**

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser la universidad que me permite ser un profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser la Facultad que me dio los conocimientos.

**Mi asesor**

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez, por la ayuda, asesoría y consejos que me ha dado en mi trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. PROCESO DE LA OBTENCIÓN DEL BIOGÁS DE LA PALMA AFRICANA .....	1
1.1. Extractora de aceite de palma africana La Francia .....	1
1.1.1. Proyectos de generación de energía limpia para contribuir con tecnologías favorables al medio ambiente.....	1
1.2. Palma africana.....	5
1.3. Biogás.....	6
1.4. Extracción de aceite de palma africana .....	14
1.4.1. Proceso de extracción de aceite de palma africana en la extractora La Francia .....	17
1.5. Aguas residuales .....	27
1.6. Balance de metano.....	28
1.7. Biodigestores.....	29
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MOTOGENERADORES DE COMBUSTIBLE BIOGÁS MARCA JENBACHER .....	35
2.1. Principios de funcionamiento de un motor a biogás .....	35

2.2.	Sistemas y componentes .....	37
2.3.	Datos técnicos.....	38
2.4.	Fundamentos teóricos.....	39
2.5.	Mezcla aire-combustible.....	50
2.6.	Proceso de combustión.....	51
2.7.	Disposición de las válvulas en el motor.....	51
2.8.	Potencia generada .....	51
3.	MONTAJE Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL MOTOGENERADOR DE COMBUSTIBLE BIOGÁS MARCA JENBACHER .....	53
3.1.	Cimentación .....	53
3.2.	Instalaciones mecánicas .....	58
3.2.1.	Instalación de componentes.....	58
3.2.2.	Elementos auxiliares .....	59
3.2.3.	Instalación de tuberías .....	60
3.3.	Sistema de control.....	66
3.4.	Sistema eléctrico .....	67
3.5.	Sistema de protección.....	69
3.6.	Sistema de combustible .....	71
3.7.	Sistema de lubricación .....	73
3.8.	Sistema de enfriamiento.....	73
4.	RESULTADOS.....	75
4.1.	Encuesta de opinión acerca de la propuesta de la guía del montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 megawatt .....	75
4.2.	Potencia instalada real .....	78
4.3.	Potencia promedio .....	78

CONCLUSIONES .....	85
RECOMENDACIONES .....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	89
APÉNDICE.....	91





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Extractorora La Francia .....	2
2.	Panorámica de la extractorora La Francia.....	2
3.	Prensas digestoras, extractorora La Francia.....	3
4.	Instalaciones de la extractorora La Francia.....	3
5.	Esquema típico de una planta de biogás .....	4
6.	Esquema de planta de biogás en la extractorora La Francia .....	9
7.	Canal de agua residual .....	10
8.	Laguna de enfriamiento.....	10
9.	Biodigestores .....	11
10.	Filtros .....	11
11.	<i>Chiller</i> .....	12
12.	<i>Blower</i> .....	12
13.	Motogenerador Jenbacher .....	13
14.	Quemador de biogás.....	13
15.	Ingreso de fruta .....	18
16.	Análisis de la fruta .....	18
17.	Área de tolva .....	19
18.	Área de esterilización .....	20
19.	Área de volteo .....	21
20.	Área de desfrutación .....	21
21.	Proceso de raquis .....	22
22.	Aceite crudo de palma.....	23
23.	Clarificación.....	24

24.	Secado.....	24
25.	Almacenaje .....	25
26.	Aceite crudo de palmiste ( <i>crude palm kernel oil</i> ) .....	26
27.	Productos de palma de aceite .....	27
28.	Índice de metano de los gases .....	28
29.	Biodigestores en la extractora La Francia.....	32
30.	Alimentación de agua residual a Biodigestor .....	33
31.	Motogenerador Jenbacher J 320 GS .....	39
32.	Ciclo Otto .....	40
33.	Diagramas ciclo Otto.....	43
34.	Ciclo diésel .....	44
35.	Diagramas ciclo diésel .....	48
36.	Motores de cuatro tiempos .....	48
37.	Poder calorífico .....	50
38.	Gama de productos 2008 (60 Hz).....	52
39.	Sistema de control .....	66
40.	Sistema eléctrico.....	68
41.	Sistema de protección .....	70
42.	Sistema de combustible.....	72
43.	Sistema de enfriamiento .....	74
44.	¿Está de acuerdo con la propuesta de una guía de montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 megawatt? .....	75
45.	¿Considera de beneficio una guía de montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 megawatt?.....	76
46.	¿Qué piensa acerca de una propuesta de una guía de un motogenerador Jenbacher de 1 megawatt? .....	76
47.	Como empleado de la planta apoya la propuesta de la guía de montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 megawatt? .....	77

48.	¿Qué tan útil sería para usted una guía de montaje de un motogenerador de 1 megawatt? .....	78
49.	Potencia promedio (megawatt) semanal .....	80
50.	Fruta procesada (tonelada métrica) .....	82
51.	Biogás quemado (metro cúbico) .....	84

## **TABLAS**

I.	Especificaciones técnicas del J 320 GS.....	39
II.	Sistema de gestión de motor.....	67
III.	Potencia promedio (megawatt) semanal .....	79
IV.	Fruta procesada (tonelada métrica) semanal.....	80
V.	Biogás quemado (metro cúbico) semanal .....	82



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>HP</b>	Caballos de fuerza
<b>cm</b>	Centímetro
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>K</b>	Kelvin
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>lb</b>	Libra
<b>Psi</b>	Libra sobre pulgada cuadrada
<b>lt</b>	Litro
<b>l/h</b>	Litros por hora
<b>MJ</b>	Mega julios
<b>MW</b>	Megawatt
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>mm</b>	Milímetro
<b>min</b>	Minuto
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>TM</b>	Tonelada métrica
<b>PVC</b>	Cloruro de polivinilo



## GLOSARIO

<b>Biodigestor</b>	Sistema natural o espacio confinado que aprovecha la digestión anaerobia para generar biogás.
<b>Biofiltro</b>	Equipos diseñados para remover valiéndose de medios biológicos el contenido de gases no deseados como por ejemplo el sulfuro de hidrógeno en un sistema de combustión de biogás rico en metano para generación eléctrica.
<b>Biogás</b>	Gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire).
<b>Generador</b>	Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica.
<b>Montaje</b>	Es el proceso mediante el cual se emplaza cada pieza en su posición definitiva dentro de una estructura.
<b>Motogenerador</b>	Es el conjunto motor y generador.
<b>Motor</b>	Un motor es una máquina que transforma la energía calorífica en energía mecánica directamente utilizable.





## RESUMEN

El presente trabajo de graduación es una guía para el montaje de un motogenerador de 1 MW en la extractora de aceite de palma africana la Francia.

Con el presente proyecto se busca realizar el montaje y puesta en funcionamiento un motogenerador con combustible biogás, obtenido del proceso de la extracción de aceite de palma africana.

Debido al incremento de la fruta a procesar y demanda de energía en el proceso de extracción de aceite de palma africana en la extractora La Francia se necesita realizar un montaje y aprovechar el combustible generado en la planta. Para ello se busca montar un motogenerador Jenbacher especial para combustible biogás y ponerlo en funcionamiento.

Este combustible biogás se obtiene producto de la fermentación de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma africana. Se busca aprovechar al máximo todos los procesos para reducción de costos. A la vez se busca sustituir la planta eléctrica de diésel por una planta eléctrica de biogás.

También se busca ser una alternativa de complemento de generación venta de energía eléctrica a la red de energía nacional, obteniendo ganancias.

La energía eléctrica mediante el combustible biogás es sustentable y es una energía limpia.

Para el montaje del motogenerador se considerará la cimentación, el anclaje, la alineación, las vibraciones y las instalaciones mecánicas necesarias para el funcionamiento. Se calcula el tipo de grúa necesaria para realizar el montaje del motogenerador y luego se conectan todas las instalaciones mecánicas y los sistemas con sus dimensionamientos respectivos.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer una guía para el montaje de un motogenerador de 1 MW, utilizando biogás en la extractora de aceite de palma africana La Francia.

### **Específicos**

1. Describir la necesidad de ampliar la generación de electricidad en la extractora de aceite de palma africana La Francia.
2. Describir en forma general el motogenerador Jenbacher a instalar.
3. Realizar el montaje de un motogenerador Jenbacher.
4. Poner en funcionamiento un motogenerador Jenbacher.
5. Sustituir la planta eléctrica de diésel por una planta eléctrica de biogás.
6. Realizar una encuesta de opinión acerca de la propuesta de la guía del montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 MW.



## INTRODUCCIÓN

Montaje es el proceso mediante el cual se emplaza cada pieza en su posición definitiva dentro de una estructura.

Los equipos industriales deben de estar cimentados y anclados adecuadamente para permitir su óptima operación.

Para el adecuado montaje de los equipos industriales se debe de tomar en cuenta lo siguiente: cimentación y pernos de anclaje adecuados, alineación adecuada, grúas y montacargas, aislantes de vibración, drenaje, instalación eléctrica, agua, estudios de impacto ambiental.

Con el presente proyecto se busca realizar el montaje y puesta en funcionamiento de un motogenerador con combustible biogás obtenido del proceso de la extracción de aceite de palma africana.

Debido al incremento de la fruta a procesar y demanda de energía en el proceso de extracción de aceite de palma africana en la extractora La Francia se necesita realizar un montaje y aprovechar el combustible generado en la planta. Para ello se busca montar un motogenerador Jenbacher especial para combustible biogás y ponerlo en funcionamiento.

Este combustible biogás se obtiene producto de la fermentación de las aguas residuales del proceso de extracción de aceite de palma africana.

Se busca aprovechar al máximo todos los procesos para reducción de costos. A la vez se busca sustituir la planta eléctrica de diésel por una planta eléctrica de biogás. También se busca ser una alternativa de complemento de generación de energía eléctrica y vender energía eléctrica a la red de energía nacional, obteniendo ganancias.

La energía eléctrica mediante el combustible biogás es sustentable y es una energía limpia.

Para el montaje del motogenerador se considerará la cimentación, el anclaje, la alineación, las vibraciones y las instalaciones mecánicas necesarias para el funcionamiento.

# **1. PROCESO DE LA OBTENCIÓN DEL BIOGÁS DE LA PALMA AFRICANA**

## **1.1. Extractora de aceite de palma africana La Francia**

Extractora La Francia empezó su construcción en enero de 2011 e inició operaciones en julio de 2012. Tiene capacidad instalada para procesar la fruta de la palma de aceite y extraer aceite crudo de palma (*crude palm oil*), aceite crudo de harina de palma (*crude palm kernel oil*), harina de almendra de palma (*palm kernel cake*) y sus subproductos.

### **1.1.1. Proyectos de generación de energía limpia para contribuir con tecnologías favorables al medio ambiente**

En extractora La Francia se cuenta con biodigestores, en donde ocurrirá una fermentación anaeróbica de los lodos obtenidos por el proceso de extracción, que produce biogás para la generación de energía limpia y reducción del gas efecto invernadero.



Figura 1. **Extractorora La Francia**



Fuente: instalaciones de extractora La Francia.

Figura 2. **Panorámica de la extractora La Francia**



Fuente: instalaciones de extractora La Francia.

Figura 3. **Prensas digestoras, extractora La Francia**



Fuente: instalaciones de extractora La Francia.

Figura 4. **Instalaciones de la extractora La Francia**



a) Biodigestores

b) Área de montaje de motogenerador

Continuación de la figura 4.

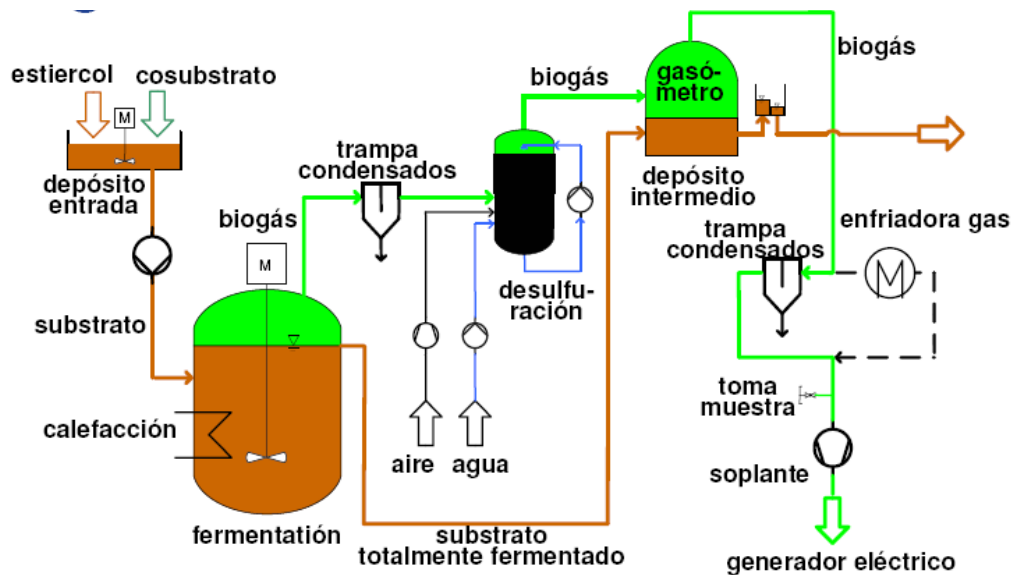


c) Bagonetas de fruta a procesar

d) Área de esterilización

Fuente: instalaciones de extractora La Francia.

Figura 5. Esquema típico de una planta de biogás



Fuente: General Electric. <http://www.ge.com/>. Consulta: marzo de 2016.

## 1.2. Palma africana

- Palma africana: es una planta tropical propia de climas cálidos, cuyo origen se ubica en la región occidental y central del continental africano, concretamente en el golfo de Guinea.
- Biomasa de palma africana: la biomasa contiene carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno como todos los seres vivos, y por lo tanto presenta el potencial para la combustión. Esta combustión ofrece la energía en forma de calor y electricidad.

La biomasa se puede elaborar a partir de palma africana.

- Ventajas de uso
  - Permite eliminar residuos orgánicos e inorgánicos, al tiempo que les da una utilidad.
  - Es una fuente de energía renovable.
  - Es una fuente de energía no contaminante.
  - Disminuye las emisiones que crean el efecto Invernadero.
  - Permite el autoconsumo, ya que con ella no se depende de la energía del exterior.
  - Se limpian los bosques creando puestos de trabajo.
  - Posee precios competitivos y estables.
  - La biomasa es limpia y moderna.
  - Dióxido de carbono y cobalto neutro.
  - El mismo confort con un 60 % de ahorro.

### 1.3. Biogás

El biogás es un gas compuesto básicamente por metano ( $\text{CH}_4$ ) entre un 55 % - 70 %, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y pequeñas proporciones de otros gases. Se produce por la fermentación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno). Tiene características similares al gas natural.<sup>1</sup>

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, (bacterias metanogénicas), y otros factores, en ausencia de aire (esto es, en un ambiente anaeróbico). Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás.

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables, ya que producen un combustible de valor, además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. El biogás tiene como promedio un poder calorífico entre 4.500 a 5.600 (cinco mil seiscientos) kilocalorías por metro cúbico. Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, en hornos, estufas, secadores, calderas, u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptados para tal efecto.

Se llama biogás a la mezcla constituida por metano ( $\text{CH}_4$ ) en una proporción que oscila entre un 50 % a un 70 % y dióxido de carbono

---

<sup>1</sup> *Ecobiogas SL*. [http://www.ecobiogas.es/archivos/es/biogas\\_biogasienergia.php](http://www.ecobiogas.es/archivos/es/biogas_biogasienergia.php). Consulta: viernes 26 de febrero de 2016.

conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno<sup>2</sup>.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110, lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión; por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido.

En los motores de ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100 % de biogás con una merma de la potencia máxima del 20 % al 30 %.

A los motores de ciclo diésel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables. El gasoil no puede ser reemplazado en los motores funcionando a campo del 85 % al 90 %, debido a que la autonomía conseguida es menor comparada con la original.

La proporción de H<sub>2</sub>S en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios.

---

<sup>2</sup> *Wikipedia*. <http://es.wikipedia.org/wiki/Biogas>. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación, siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural. El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad.<sup>3</sup>

- Composición del biogás: depende del tipo de desecho utilizado y las condiciones en que se procesa. Los principales componentes del biogás son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Aunque la composición del biogás varía de acuerdo con la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación (Werner 1989):
  - Metano, CH<sub>4</sub> (54 – 70 % volumen)
  - Bióxido de carbono, CO<sub>2</sub> (27 – 45 %)
  - Hidrógeno, H<sub>2</sub> (1 – 10 %)
  - Nitrógeno, N<sub>2</sub> (0.5 – 3 %)
  - Ácido sulfhídrico, H<sub>2</sub>S (0-1 %)

El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano alrededor de 20 – 25 MJ/m<sup>3</sup>, comparado con 33 – 38 MJ/m<sup>3</sup> para el gas natural.

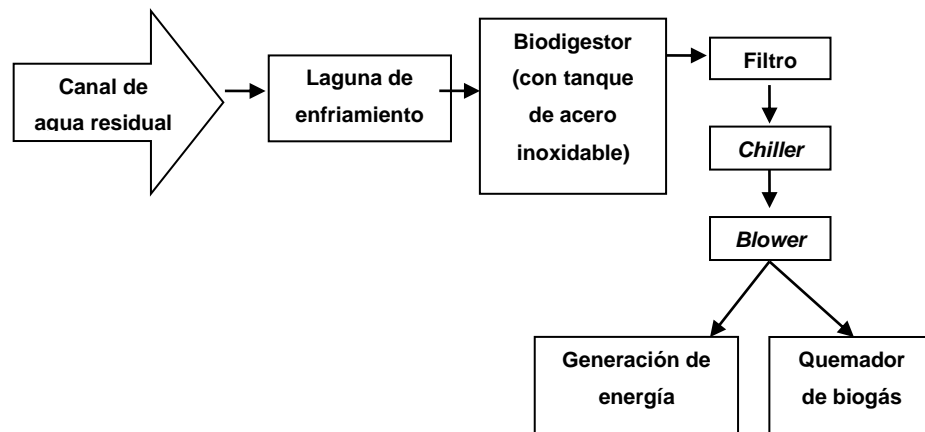
El metano es un gas combustible, incoloro, inodoro, cuya combustión produce una llama azul y productos no contaminantes. Veintiuna veces más activo que el gas carbónico, el biogás contribuye también muy activamente al "efecto invernadero". Para evitar estos inconvenientes, su eliminación se ha hecho obligatoria para las mayores instalaciones. Generalmente quemado en chimeneas, puede servir también para producir electricidad: un m<sup>3</sup> de biogás equivale a medio metro cúbico de gas natural, es decir, 5 kW/h.

---

<sup>3</sup> La red. Textos científicos. <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas>. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Hasta ahora, su explotación estaba limitada por los compuestos corrosivos del biogás y por su composición fluctuante. Efectivamente, esta varía en función de las condiciones climáticas: según la humedad, la temperatura, la presión atmosférica y el modo de captación, su tenor en metano, que confiere al biogás su poder calorífico, oscila entre un 30 y un 60 %, con el resultado de que los motores, afectados por una corrosión y un atascamiento importantes, deben someterse a un ajuste delicado. Por consiguiente, el biogás se mezcla generalmente con gas natural antes de ser utilizado en las centrales eléctricas.<sup>4</sup>

Figura 6. **Esquema de planta de biogás en la extractora La Francia**



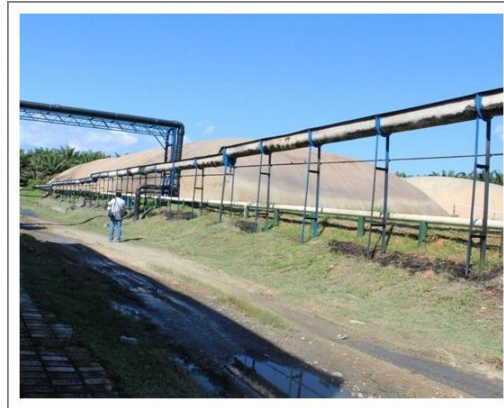
Fuente: elaboración propia.

- Planta de biogás en la extractora La Francia
  - Canal de agua residual: las aguas residuales que se obtienen del proceso de extracción pasan por canales que llevan el agua a la laguna de enfriamiento. Estas aguas residuales están compuestas por aceite obstruido y sólidos finos.

<sup>4</sup> *Planthogar.net*. <http://www.planthogar.net/encyclopedia/jump.asp?doc=00000293.htm>. Consulta: viernes 26 de febrero de 2016.



Figura 7. **Canal de agua residual**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- Laguna de enfriamiento: en la laguna de enfriamiento se baja la temperatura de las aguas residuales. Luego se bombea el agua y se pasa a torres de enfriamiento que bajan la temperatura para que el agua pase a los biodigestores.

Figura 8. **Laguna de enfriamiento**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- Biodigestores: en los biodigestores se descomponen las partículas orgánicas y al cubrirlos con una carpa se capta el biogás que tiene 55 % de metano. El biogás generado en los biodigestores es trasladado a los filtros a través de tuberías.

Figura 9. **Biodigestores**



Fuente: instalaciones de extractora La Francia.

- Filtros: el biogás es trasladado al filtro que elimina el ácido sulfhídrico para reducir el gas efecto invernadero.

Figura 10. **Filtros**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- *Chiller*: condensa la humedad que contiene el gas y baja la temperatura para no introducir humedad en los generadores, lo cual puede producirles oxidación.

Figura 11. **Chiller**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- *Blower*: ejerce presión al gas para que fluya eficientemente en las tuberías.

Figura 12. **Blower**



*Blower* succionando biogás  
de biodigestores

*Blower*

Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- Motogenerador: el gas es trasladado al motogenerador para producir energía eléctrica.

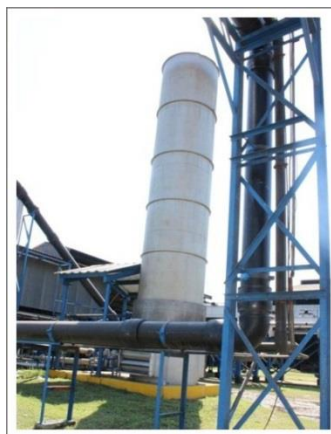
Figura 13. **Motogenerador Jenbacher**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- Quemador del biogás: el excedente de biogás se quema a una temperatura controlada mayor de 600 °C para reducir el gas efecto invernadero.

Figura 14. **Quemador de biogás**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

#### 1.4. Extracción de aceite de palma africana

A continuación se describe la extracción de aceite de palma africana.

- Descripción del proceso de extracción del aceite de palma africana
  - Pesado de la fruta: la operación del pesado se realiza con básculas gigantes, se pesa el camión cargado con la fruta, luego ya descargado y así se obtiene el peso neto de la fruta.
  - Control de calidad de la fruta: luego de que la fruta es pesada se deposita en tolvas para proceder luego a realizar los controles de calidad.
  - Llenado de góndolas: las góndolas son vagones con una capacidad de 3 y 5 toneladas.
  - Esterilización de la fruta: esta operación es posiblemente la más importante para la calidad del proceso de extracción de aceite de palma. La operación de esterilización se lleva a cabo en recipientes cilíndricos (esterilizadores o autoclaves), las principales variables que influyen en la esterilización son el tiempo de cocción y la temperatura. Se cargan con fruto fresco un grupo de unas 8 góndolas, se transportan por medio de rieles hasta introducirlas a los esterilizadores, posteriormente se cierra la puerta del esterilizador y se procede a abrir la válvula de alimentación de vapor.
  - La temperatura en el esterilizador es de aproximadamente 135 C° y una presión de 45 psi(libras por pulgada cuadrada). La fruta se mantiene en el esterilizador por 60-70 minutos; dependerá del grado de madurez que tenga la fruta.

- Los objetivos principales de la esterilización son los siguientes:
  - Inactivar las enzimas que causan el desdoblamiento del aceite y en consecuencia el incremento del porcentaje de ácidos grasos libres.
  - Ablandar el pedúnculo de unión de los frutos con su soporte natural.
  - Disminuir la resistencia de los tejidos de la pulpa para lograr el fácil rompimiento de las celdas de aceite durante los procesos de digestión y prensado.
  - Calentar y deshidratar parcialmente las almendras contenidas dentro de las nueces.
  - Coagular las proteínas e hidrolizar la materia mucilaginosa contenida en la pulpa del fruto.
  
- Desfrutado: luego de que el fruto es esterilizado se procede al desfrutado, que consiste en separar el fruto del racimo; el resultado final es fruto suelto y raquis vacío. Esta operación se lleva a cabo en el tambor rotatorio.
  
- Digestión: el fruto es depositado en un cilindro llamado digestor, el cual tiene unas paletas para macerar el fruto por medio de agitación circular, se aplica vapor a 45 psi. Los objetivos de la digestión son:
  - Desprender la pulpa de las nueces y romper las celdas para liberar el aceite que contienen.
  - Calentar la masa de los frutos y darle el contenido de humedad necesario para preparar la extracción.
  
- Prensado: cuando el fruto ha pasado por la digestión se procede a prensarlo. Se aplica agua a la salida del digestor y en la parte inferior de

la prensa, con el fin de lavar las fibras y lograr que la extracción de aceite sea eficiente, además se le da la dilución adecuada para realizar la separación en la sección de clarificación. La eficiencia del prensado depende de varios factores: la presión aplicada a los conos de los tornillos y el estado de desgaste que tienen los tornillos y conos. Del prensado salen dos productos; uno sólido y otro líquido. El sólido está compuesto por semilla del fruto y las fibras producidas en el proceso de prensado; el líquido es una mezcla de aceite, agua y lodos.

- Clarificación: el aceite crudo de palma que viene del prensado contiene impurezas de tipo vegetal, arena y agua. El objetivo de la clarificación es separar el aceite de palma de estas impurezas. La mezcla de aceite, agua y lodos es pasada por un proceso cuyo fin es remover las arenas y tierras. Luego la mezcla pasa al tamizado, cuya función es remover una alta cantidad de sólidos con un mínimo de arrastre de aceite y lograr la máxima reducción en la viscosidad con una mínima reducción en el tamaño de las gotas de aceite. Después de haber tamizado la mezcla, se procede a elevar la temperatura de la mezcla llevándola a 95– 98 °C; luego de calentado, el aceite pasa al tanque clarificador donde se le aplica agitación constante con el fin de acelerar la separación de la mezcla.

El aceite ya separado de las otras fases es decantado y enviado a un tanque de aceite el cual cuenta con serpentines para mantener la temperatura a 80 °C; este aceite decantado se le elimina la humedad en una unidad de vacío, para luego ser almacenado a una humedad no mayor al 0,20 % y una temperatura no mayor de 50 °C. Los lodos de la clarificación son depositados en un tanque para luego procesarlos en las centrífugas y así recuperar el aceite contenido en ellos (aceite

recuperado); este lodo centrifugado es mandado a los florentinos donde se trata de recuperar el aceite residual, y luego se manda a las pilas de tratamiento.

La clarificación es el paso del proceso de extracción de aceite en donde se produce la mayor cantidad de agua residual, para lograr una formación de diferentes fases para la recuperación de aceite y para separar impurezas y el agua del aceite. El proceso de extracción de aceite demanda mucha agua, la relación de fruta procesada y agua utilizada es de 1:1.2, es decir, por cada tonelada de fruta procesada se requiere 1,2 toneladas de agua.

- Palmisteria: la mezcla sólida del prensado es separada por medio de una columna de aire, la cual separa las fibras y las envía a la caldera por medio de un tornillo sinfín para ser utilizado como combustible. La semilla o nuez es transportada a los quebradores donde se quiebra la nuez y se procede a separar la almendra de la cáscara por medio de un ciclón; la almendra es mandada a un secador donde se elimina la humedad; la cáscara es enviada a las calderas para ser usada como combustible. El producto que se obtiene en la planta de palmiste es aceite de almendra y harina de palma.<sup>5</sup>

#### **1.4.1. Proceso de extracción de aceite de palma africana en la extractora La Francia**

- Ingreso de fruta: de las fincas se traslada la fruta en camiones a la planta extractora. Al ingresar la fruta se pesa en básculas y se toman los datos de los racimos y se determina de qué finca proviene.

---

<sup>5</sup> COAPALMA; GIZ 4E. *Extracción de aceite de la palma africana*. p. 52.



Figura 15. **Ingreso de fruta**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- **Análisis de la fruta:** el análisis que se realiza a la calidad de la fruta consiste en determinar si hay racimos maduros, verdes, sobremaduros y que no tengan pedúnculo largo. También se evalúa y analiza la calidad de la fruta en el laboratorio para medir la acidez, humedad, sustancias volátiles, impurezas y el deterioro de la blanqueabilidad.

Figura 16. **Análisis de la fruta**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- Área de tolva: después del análisis de la fruta, se trasladan los racimos al área de tolva en donde los camiones voltean la fruta. Mediante el sistema de tolvas se llenan las vagonetas con capacidad de 3 a 5 toneladas de fruta fresca por cada vagoneta.

Figura 17. Área de tolva



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- Esterilización: es la primera etapa y posiblemente la más importante del proceso de extracción del aceite de palma. Entre sus funciones está inactivar las enzimas que provocan la separación del aceite y facilitar el

proceso de trituración de nuez y desfrutación. La fruta se esteriliza por un tiempo de 60 a 90 minutos a una temperatura de 130 °C, con el fin de facilitar el proceso de trituración de la nuez y desfrutación.

Figura 18. **Área de esterilización**



Fuente: instalaciones de extractora La Francia.

- Área de volteo: al salir las vagonetas de los esterilizadores pasan por un puente de traslación al área de volteo en donde se voltean hasta 20 vagonetas por hora para llevar la fruta al área de desfrutación.

Figura 19. **Área de volteo**



Fuente: instalaciones de extractora La Francia.

- Área de desfrutación: luego de haber volteado la fruta, el racimo sube a los desfrutadores, en donde se separa el racimo del fruto. El racimo pasa al proceso de raquis y el fruto a la extracción del aceite.

Figura 20. **Área de desfrutación**



Fuente: instalaciones de extractora La Francia.

- Proceso de raquis: el racimo luego de la desfrutación se traslada al área de raquis. El raquis pasa por una picadora para bajar el volumen y luego pasa por la prensa para quitar el aceite adherido en la esterilización.

Figura 21. **Proceso de raquis**

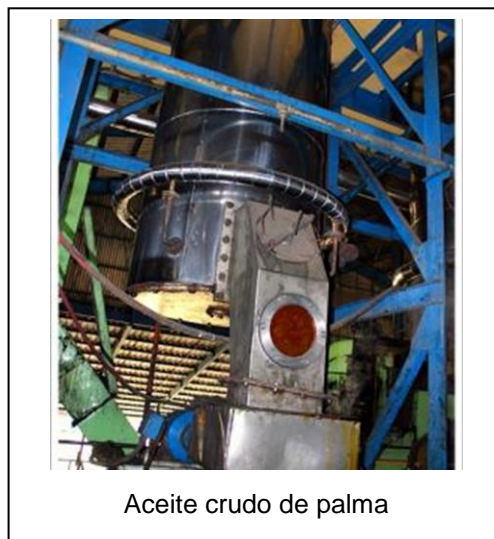


Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- Aceite crudo de palma: al haber sido separada la fruta del raquis, esta sube a través del railer a cada uno de los digestores para ser macerada durante media hora y luego se prensa para extraerle el aceite. Después

de ser prensada la fruta se obtiene una torta de nuez y fibra de mesocarpio, la cual se pasa por secadores para quitarle la humedad y se traslada a un ciclón que separa la fibra de la nuez para ser trasladada al área de palmistería.

Figura 22. **Aceite crudo de palma**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- Clarificación: proceso en el cual se separa el aceite de palma del resto de componentes, primero por decantación y luego por centrifugación. Después de haber extraído el aceite de la fibra de mesocarpio, se tamiza el líquido para quitar la fibra y las partículas gruesas; luego se pasa a tanques primarios en los que se separa por decantación el agua del aceite y lodo. Por último se pasa a un tanque sedimentador para quitar partículas que estén incorporadas al aceite extraído y así quede totalmente limpio. Los lodos, antes de verterlos, son centrifugados para recuperar el aceite.

Figura 23. **Clarificación**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- Secado: el aceite, luego de estar en el tanque sedimentador, se pasa a los secadores, en donde se le quita la humedad. Luego del secado se pasa al tanque de aceite terminado para ser despachado.

Figura 24. **Secado**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- Almacenaje: el aceite, después del proceso de secado, pasa al tanque de aceite terminado para ser despachado. Las aguas que se obtienen del proceso se envían a centrífugas para recuperar un porcentaje de aceite, el cual vuelve a ser procesado.

Figura 25. **Almacenaje**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

- Aceite crudo de palmiste (*crude palm kernel oil*): el líquido con aceite que se obtiene de la extracción del palmiste pasa a un tamiz para quitar todas las partículas gruesas, luego a un depósito en el que se bombea hacia el filtro-prensa para dejarlo totalmente limpio y ser trasladado al tanque de aceite de palmiste terminado (*crude palm kernel oil*).



Figura 26. **Aceite crudo de palmiste (*crude palm kernel oil*)**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

Agrocaribe: con extractora La Francia y extractora del Atlántico tienen una capacidad instalada para producir: aceite rojo, aceite blanco y harina de almendra de palma.

- Subproductos
  - Agrocaribe: con extractora La Francia y extractora del Atlántico también produce y comercializa subproductos, tales como fibra de mesocarpio, y de raquis; y la emisión de *Certified Emission Reductions*, generados por el proyecto de mecanismo de desarrollo limpio.
  - Usos del aceite de palma: se utiliza principalmente en la industria química, cosmética, en la preparación de comestibles y en alimentos para animales.

Figura 27. **Productos de palma de aceite**



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico.

### 1.5. **Aguas residuales**

- Descripción del proceso actual de tratamientos de desechos
  - La planta de extracción de aceite de palma africana La Francia cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de biodigestores hechos con tanques de acero inoxidable.
  - Las aguas residuales provienen de la planta de extracción de aceite y contienen un alto contenido de ácidos grasos, el efluente circula a través de canales de concreto, tuberías de acero inoxidable y tuberías PVC que llevan el fluido a los biodigestores.

- Las aguas residuales se obtienen en el tren de centrifugas de la extractora, ahí se separan y se envían a los biodigestores con un sistema de bombeo.

## 1.6. Balance de metano

Ecuación para el balance del metano:

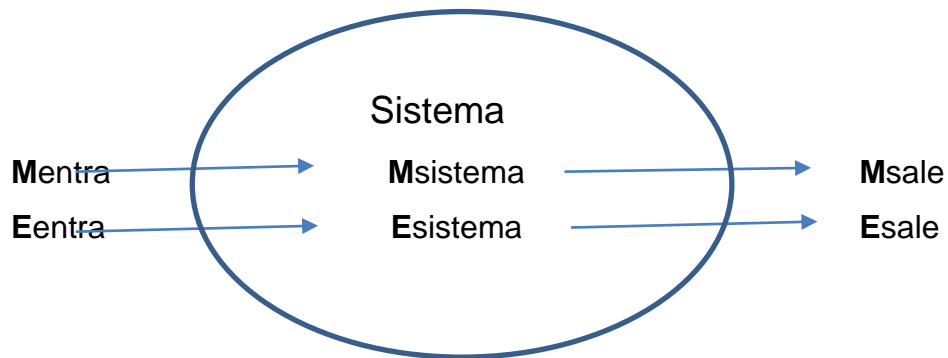
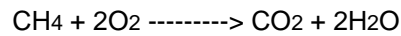
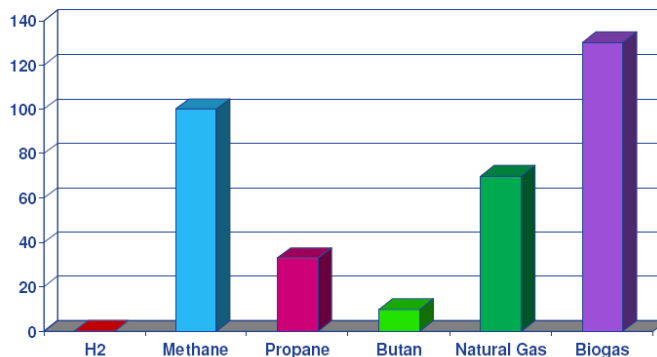


Figura 28. Índice de metano de los gases



Fuente: General Electric. <http://www.ge.com/>. Consulta: marzo de 2016.

## 1.7. Biodigestores

Es un contenedor hermético que permite la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas y facilita la extracción del gas resultante para su uso como energía. El biodigestor cuenta con una entrada para el material orgánico, un espacio para su descomposición, una salida con válvula de control para el gas (biogás), y una salida para el material ya procesado (bioabono).<sup>6</sup>

- Principales factores que condicionan el proceso microbiológico:
  - Concentración de oxígeno: las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas, es decir, el oxígeno para ellas constituye un elemento tóxico. No obstante, dado que en general todos los procesos se realizan en un solo reactor y las poblaciones bacterianas encargadas de las distintas etapas cohabitan, en caso de producirse ingreso de oxígeno al reactor, este puede ser consumido por las bacterias hidrolíticas y acidogénicas, ya que éstas son bacterias facultativas (pueden crecer en presencia o ausencia de oxígeno). Si es necesario adicionar pequeñas dosis de aire para la desulfurización biológica, esta adición debe ser controlado para evitar la presencia de oxígeno en el medio líquido.
  - Temperatura: este factor es crucial para asegurar la eficiencia del proceso de degradación de la materia orgánica. Las bacterias metanogénicas involucradas en el proceso de descomposición presentan diferentes velocidades de degradación de la materia orgánica en función de la temperatura. Dependiendo del rango de temperatura en el que las bacterias se desarrollen, se distingue entre bacterias psicrófilas (hasta los 25 °C, bajo grado de

---

<sup>6</sup> © 2016 About.com — All rights reserved. <http://vidaverde.about.com/od/Energias-renovables/a/Que-Es-Un-Biodigestor.htm>. Consulta: viernes 26 de febrero de 2016.

actividad bacteriana); bacterias mesofílicas (32 °C a 42 °C, grado de actividad mediano) y bacterias termofílicas (50 °C a 57 °C, grado de actividad alto). Como muestra la figura 7, a mayor temperatura, mayor es la velocidad de degradación y la producción final alcanzada. En general, las plantas productoras de biogás trabajan en el rango mesofílico, dado que en el rango termofílico, si bien se tiene una mayor actividad microbiana, el proceso es más inestable y la operación es por lo mismo más compleja y costosa.

- pH: el control de este parámetro resulta muy importante al igual que la temperatura, ya que el proceso de digestión anaerobia de la materia orgánica debe realizarse en un rango de pH entre 6,8 y 7,5 en el caso de reactores de mezcla completa. Esto ya está determinado porque las bacterias acetogénicas y metanogénicas, las que regulan el proceso, son muy sensibles a altos valores de acidez, lo que a su vez genera una disminución en el pH. Un pH menor a 6,5 implica acidificación del reactor y, por tanto, una inhibición de las bacterias metanogénicas. Sin embargo, las bacterias encargadas de las etapas de hidrólisis y acidogénesis presentan alta actividad en medios más ácidos, con un pH óptimo entre 4,5 y 6,3, por lo que un reactor con ese pH logrará una solubilización de la materia orgánica, pero no una metanización. El valor de este parámetro es un indicador de la actividad predominante en el reactor.
- Nutrientes y compuestos inhibidores: además de la materia orgánica degradada las bacterias requieren otros nutrientes para su desarrollo. La relación de los elementos C:N:P:S debería establecerse alrededor de 600:15:5:1, a fin de proveer a los

microorganismos de las condiciones adecuadas para su desarrollo. Una carencia en un nutriente puede provocar una disminución en la actividad microbiana y, por ende, en la velocidad de producción de metano. Las concentraciones de posibles compuestos inhibidores son también un factor importante para la estabilidad del proceso. Respecto de inhibidores, debe considerarse la presencia de compuestos como metales pesados, amoníaco, pesticidas, sanitizantes, antibióticos u otros compuestos.

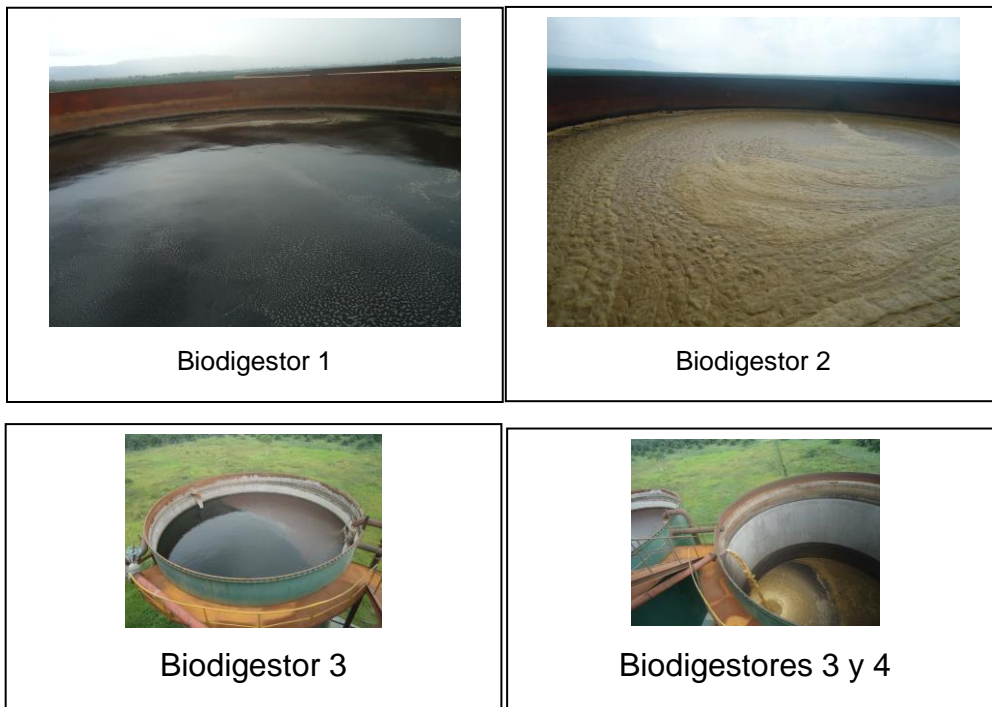
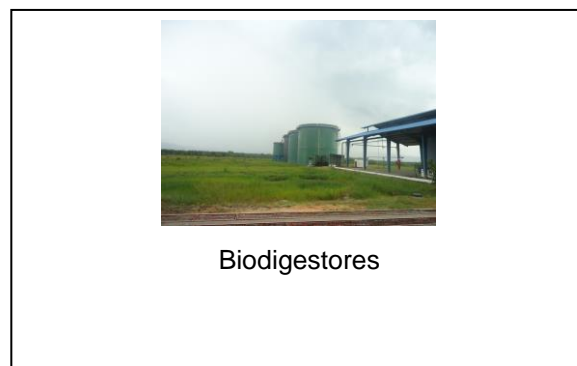
- En general, la velocidad del proceso está limitada por la velocidad de la etapa más lenta, la cual depende de la composición de cada residuo. Para sustratos solubles, la fase limitante acostumbra ser la metanogénesis. Para aumentar la velocidad, la estrategia consiste en adoptar diseños que permitan una elevada concentración de microorganismos acetogénicos y metanogénicos en el reactor, con lo que se pueden conseguir sistemas con tiempo de proceso del orden de días. Por su parte, para residuos en los que la materia orgánica esté en forma de partículas sólidas, la fase limitante es la hidrólisis, proceso enzimático cuya velocidad depende de la superficie de las partículas y que, usualmente, se traduce en tiempos de proceso de dos a tres semanas. En este caso, para aumentar la velocidad del proceso, una estrategia es reducir el tamaño de las partículas durante el pretratamiento o facilitar su solubilización para lo cual existen diversas alternativas (aplicación de ultrasonido, de temperatura elevada, de alta presión, una combinación de estas últimas o maceración).<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile. Proyecto Energías Renovables No Convencionales (MINENERGÍA/GIZ).

- Biodigestores en la extractora La Francia: en la extractora La Francia se tienen 4 biodigestores de acero inoxidable. Cada biodigestor es llenado de aguas residuales que salen del proceso de extracción de aceite. Luego se coloca una lona en cada biodigestor para captar el biogás.

Figura 29. **Biodigestores en la extractora La Francia**



Fuente: instalaciones de extractora La Francia.

- Alimentación de agua residual a biodigestor: la alimentación de las aguas residuales hacia los biodigestores se hace con un sistema de bombeo, desde el tren de centrífugas hasta los biodigestores.

Figura 30. **Alimentación de agua residual a Biodigestor**



Fuente: instalaciones de extractora La Francia.

- La digestión anaeróbica

La digestión anaerobia es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar, como por la cantidad de grupo de bacterias involucradas en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. El proceso de degradación de la materia orgánica se divide en cuatro etapas:

- Etapa de hidrólisis: la hidrólisis consiste en una transformación controlada por enzimas extracelulares en la que las moléculas orgánicas complejas y no disueltas se rompen en compuestos susceptibles de emplearse como fuente de materia y energía para las células de los microorganismos.
- Etapa acidogénica: la segunda etapa, controlada por bacterias, consiste en la transformación de los compuestos formados en la primera etapa en otros compuestos de peso molecular



intermedio; como dióxido de carbono, hidrógeno, ácidos y alcoholes alifáticos, metilamina, amoníaco y sulfhídrico. Esta etapa se denomina acidogénesis.

- Etapa acetogénica 3: en la etapa de acetogénesis, los ácidos y alcoholes que provienen de la acidogénesis se van transformando por la acción de bacterias en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.
- Etapa metanogénica: la metanogénesis, última etapa, consiste en la transformación bacteriana del ácido acético y del ácido fórmico en dióxido de carbono y metano y la formación de metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno.  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ . Las bacterias responsables de este proceso son anaeróbicas estrictas. Se distinguen dos tipos de microorganismos, los que degradan el ácido acético a metano y dióxido de carbono (bacterias metanogénicas acetoclásticas) y los que reducen el dióxido de carbono con hidrógeno a metano y agua (bacterias metanogénicas hidrogenófilas).<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> AGROWASTE. <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>. Consulta: 6 de abril de 2016.

## **2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MOTOGENERADORES DE COMBUSTIBLE BIOGÁS MARCA JENBACHER**

### **2.1. Principios de funcionamiento de un motor a biogás**

La fuente de energía que permite que un motor de combustión interna trabaje es el calor producido por la combustión de una mezcla de aire con cierto tipo de combustible. El proceso de combustión tiene lugar dentro de un cilindro sellado que contiene un pistón, una biela-manivela y todo el conjunto se mueve de arriba hacia abajo.

Dentro del cilindro el pistón se mueve y transforma la fuerza de presión que se produce dentro de la cámara de combustión en un torque suficientemente fuerte para mover un eje, es decir que el movimiento rectilíneo del pistón se convierte en movimiento de rotación.

Cuando la combustión tiene efecto, el calor producido se convierte en presión que es utilizada mecánicamente para producir potencia. A medida que el combustible se quema y el pistón desciende, la cámara se hace más grande; esto permite la utilización continua de esta presión.

Según su principio de funcionamiento los motores térmicos se clasifican en alternativos, rotativos y de chorro y según el sitio en donde se produzca la combustión se clasifican en: de combustión interna, cuando el combustible es quemado en su interior y de combustión externa, cuando esta se verifica fuera de los mismos.

En los motores de combustión interna la combustión se realiza en el denominado fluido operante, el cual está constituido por una mezcla de combustible y comburente. El combustible utilizado es biogás y el comburente que suministra el oxígeno necesario para la combustión es aire atmosférico.

Un motor diésel funciona mediante la ignición (encendido) del combustible al ser inyectado muy pulverizado y con alta presión en una cámara (o precámara, en el caso de inyección indirecta) de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de auto combustión, sin necesidad de chispa como en los motores de gasolina. Esta es la llamada autoinflamación. La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo del motor, la compresión.

El combustible se inyecta en la parte superior de la cámara de combustión a gran presión desde unos orificios muy pequeños que presenta el inyector de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión (entre 700 y 900 °C). Como resultado, la mezcla se inflama muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo. Los 4 tiempos del diésel, inyección directa.G.

Esta expansión, al revés de lo que ocurre con el motor de gasolina, se hace a presión constante, ya que continúa durante la carrera de trabajo o de expansión. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación.

Para que se produzca la autoinflamación es necesario alcanzar la temperatura de inflamación espontánea del gasóleo. En frío es necesario precalentar el gasóleo o emplear combustibles más pesados que los empleados en el motor de gasolina, empleándose la fracción de destilación del petróleo

fluctuando entre los 220 °C y 350 °C, que recibe la denominación de gasóleo o *gasoil* en inglés.

El biogás puede ser utilizado para reemplazar la gasolina hasta en un 100 %, mientras que en motores diésel solo se logra un máximo de 80 %, debido a que la baja ignición del biogás no permite que haya explosión en este tipo de motores que carecen de bujía.

Según Marchaim (1992), citado por Chará y Pedraza (2002), para el uso del biogás en motores, es indispensable eliminar el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), ya que este al reaccionar con agua forma ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), que es altamente corrosivo y puede ocasionar graves daños internos al motor.

## **2.2. Sistemas y componentes**

Los motores de combustión interna pueden ser de inyección mecánica o electrónica y están compuestos de varios sistemas:

- Sistema de control
- Sistema eléctrico
- Sistema de protección
- Sistema de combustible
- Sistema de lubricación
- Sistema de enfriamiento

Los componentes o partes de un motogenerador son:

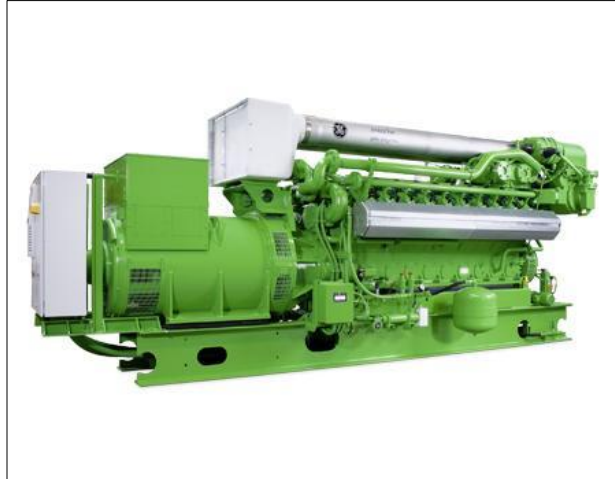
- Motor de combustión interna
- Generador

- Motor de arranque
- Radiador
- Alternador
- Turbo
- Bomba de combustible
- Cáster
- Bomba para drenar el aceite del carter
- Filtro de aire
- Batería y soporte de batería
- Base estructural
- Amortiguador
- Panel de control
- Interruptor
- Placa de datos
- Regulador de voltaje automático

### **2.3. Datos técnicos**

- Motogenerador Jenbacher tipo 3
  - Potencia eléctrica 1 MW.
  - Disponible como motor V20.
  - 1800 rpm.
  - Paquetizado en contenedores ISO de 40 pies.
  - Aplicaciones principales: biogás, gas de plantas de tratamiento de aguas residuales, cogeneración, generación distribuida, gas de pozo de petróleo.

Figura 31. **Motogenerador Jenbacher J 320 GS**



Fuente: GE Energy Jenbacher gas engines J 320 GS. p. 20.

Tabla I. **Especificaciones técnicas del J 320 GS**

Número de cilindros / disposición:	20 / V 70°
Combustión:	Sistema de mezcla pobre
Diámetro interior:	5,3 pulgadas (135 mm)
Recorrido:	6,7 pulgadas (170 mm)
Velocidad:	1.500 / 1.800 rpm
Dimensiones del grupo electrógeno (en pies):	17,1 (largo) por 6,2 (ancho) por 7,5 (alto)
Dimensiones del grupo electrógeno (en mm):	5.200 (largo) por 1.900 (ancho) por 2.300 (alto)
Peso:	24.912 libras (11.300 kg)

Fuente: GE Energy Jenbacher gas engines. p. 30.

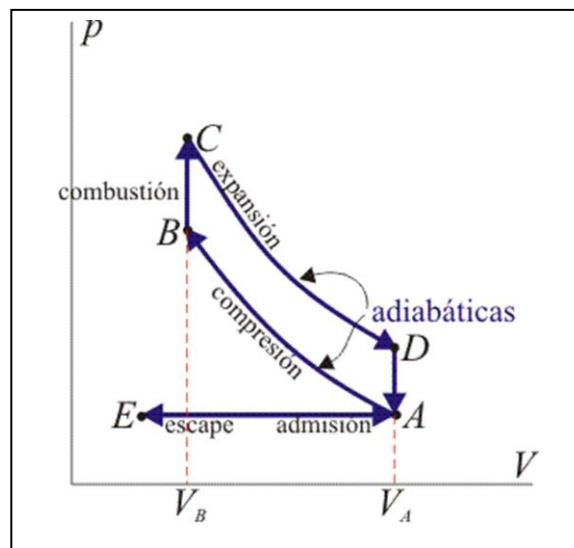
#### 2.4. **Fundamentos teóricos**

- Ciclo termodinámico: es una serie de eventos en donde la cantidad más grande posible de energía a un nivel elevado, se convierte en trabajo útil y el resto de la misma se vierte, disipa o evacua a través del

funcionamiento del sistema, para esto es conveniente considerar al aire como medio ideal de trabajo con calor específico constante, procesos presentes reversibles, se eliminan como consecuencia todos los aspectos producidos por rozamientos y cualquier proceso puede ser adiabático o isotérmico. El ciclo diésel teórico se desarrolla a través de los procesos, compresión isoentrópica, adición de energía a presión constante, expansión isoentrópica y expulsión de energía a volumen constante

- Ciclo Otto: es el ciclo termodinámico que se aplica en los motores de combustión interna de encendido provocado (motores de gasolina). Se caracteriza porque en una primera aproximación teórica, todo el calor se aporta a volumen constante. Un ciclo Otto ideal es una aproximación teórica al comportamiento de un motor de explosión.

Figura 32. **Ciclo Otto**



Fuente: *Laplace*. [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Otto](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto). Consulta: 5 de abril de 2016.

Las fases de operación de este motor son las siguientes:

- Admisión (1): el pistón baja con la válvula de admisión abierta, aumentando la cantidad de mezcla (aire + combustible) en la cámara. Esto se modela como una expansión a presión constante (ya que al estar la válvula abierta la presión es igual a la exterior). En el diagrama PV aparece como la línea recta E→A.
- Compresión (2): el pistón sube comprimiendo la mezcla. Dada la velocidad del proceso se supone que la mezcla no tiene posibilidad de intercambiar calor con el ambiente, por lo que el proceso es adiabático. Se modela como la curva adiabática *reversible* A→B, aunque en realidad no lo es por la presencia de factores irreversibles como la fricción.
  - Combustión: con el pistón en su punto más alto, salta la chispa de la bujía. El calor generado en la combustión calienta bruscamente el aire, que incrementa su temperatura a volumen prácticamente constante (ya que al pistón no le ha dado tiempo a bajar). Esto se representa por una isócora B→C. Este paso es claramente irreversible, pero para el caso de un proceso isócoro en un gas ideal el balance es el mismo que en uno reversible.
  - Expansión (3): la alta temperatura del gas empuja al pistón hacia abajo, realizando trabajo sobre él. De nuevo, por ser un proceso muy rápido se aproxima por una curva adiabática reversible C→D.
- Escape (4): se abre la válvula de escape y el gas sale al exterior, empujado por el pistón a una temperatura mayor que la inicial, siendo sustituido por la misma cantidad de mezcla fría en la siguiente admisión. El sistema es realmente *abierto*, pues intercambia masa con el exterior.



No obstante, dado que la cantidad de aire que sale y la que entra es la misma se puede, para el balance energético, suponer que es el mismo aire que se ha enfriado. Este enfriamiento ocurre en dos fases: cuando el pistón está en su punto más bajo, el volumen permanece aproximadamente constante y se tiene la isócora D→A. Cuando el pistón empuja el aire hacia el exterior, con la válvula abierta, se emplea la isobara A→E, cerrando el ciclo.

En total, el ciclo se compone de dos subidas y dos bajadas del pistón, razón por la que se le llama motor de cuatro tiempos.

En un motor real de explosión varios cilindros actúan simultáneamente, de forma que la expansión de alguno de ellos realiza el trabajo de compresión de otros.

El rendimiento de este ciclo viene dado por la expresión:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \quad (\text{Ec. 1.})$$

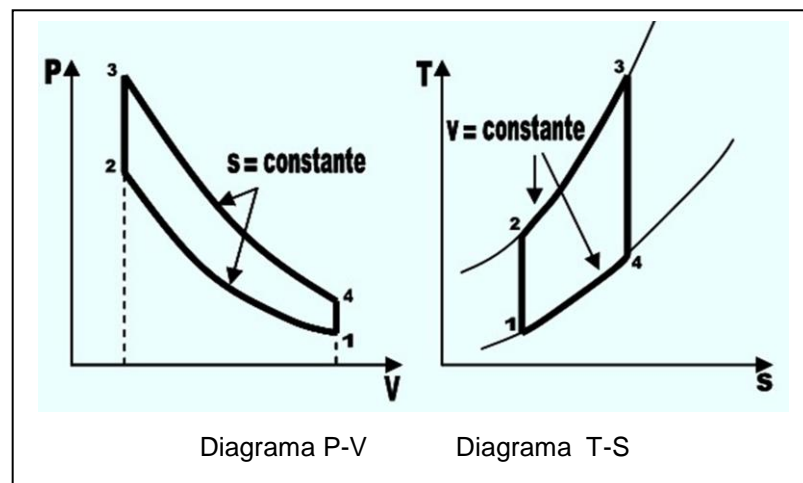
Siendo  $r = V_A / V_B$  la razón de compresión igual al cociente entre el volumen al inicio del ciclo de compresión y al final de él. Para ello, hallar el rendimiento a partir del calor que entra en el sistema y el que sale de él; expresar el resultado en términos de las temperaturas en los vértices del ciclo y, con ayuda de la Ley de Poisson, relacionar este resultado con los volúmenes  $V_A$  y  $V_B$ .<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Laplace. [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Otto](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto). Consulta: 5 de abril de 2016.

- Funcionamiento
  - Tiempo de admisión: el aire y el combustible mezclados entran por la válvula de admisión.
  - Tiempo de compresión: la mezcla aire/combustible es comprimida y encendida mediante la bujía.
  - Tiempo de combustión: el combustible se inflama y el pistón es empujado hacia abajo.
  - Tiempo de escape: los gases de escape se conducen hacia fuera a través de la válvula de escape<sup>10</sup>.

Figura 33. Diagramas ciclo Otto



Fuente: UNET. Universidad Nacional Experimental del Táchira.

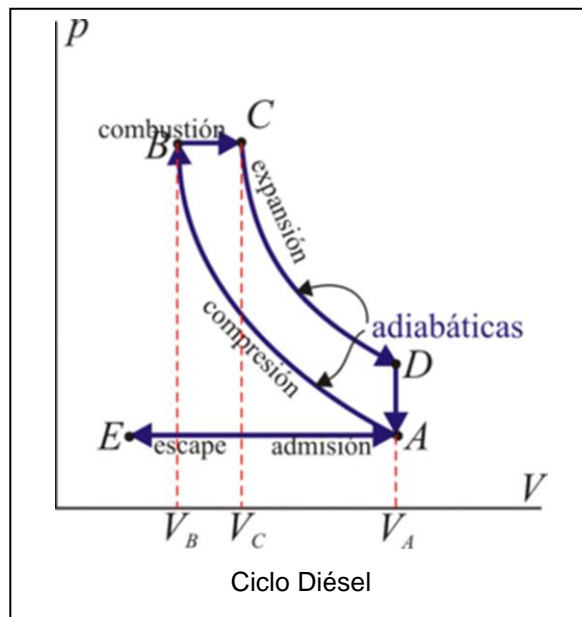
- Ciclo diésel: un ciclo diésel ideal es un modelo simplificado de lo que ocurre en un motor diésel. En un motor de esta clase, a diferencia de lo que ocurre en un motor de gasolina, la combustión no se produce por la ignición de una chispa en el interior de la cámara. En su lugar, aprovechando las propiedades químicas del gasóleo, el aire es comprimido hasta una temperatura superior a la de autoignición del

<sup>10</sup> Wikipedia. [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_interna](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna). Consulta: 5 de abril de 2016.

gasóleo y el combustible es inyectado a presión en este aire caliente, produciéndose la combustión de la mezcla.

Puesto que solo se comprime aire, la relación de compresión (cociente entre el volumen en el punto más bajo y el más alto del pistón) puede ser mucho más alta que la de un motor de gasolina (que tiene un límite, por ser indeseable la autoignición de la mezcla). La relación de compresión de un motor diésel puede oscilar entre 12 y 24, mientras que el de gasolina puede rondar un valor de 8.

Figura 34. **Ciclo diésel**



Fuente: *Laplace*. [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Diesel](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Diesel). Consulta: 5 de abril de 2016.

Para modelar el comportamiento del motor diésel se considera un ciclo diésel de seis pasos, dos de los cuales se anulan mutuamente:

- Admisión  $E \rightarrow A$ : el pistón baja con la válvula de admisión abierta, aumentando la cantidad de aire en la cámara. Esto se modela como una expansión a presión constante (ya que al estar la válvula abierta la presión es igual a la exterior). En el diagrama PV aparece como una recta horizontal.
- Compresión  $A \rightarrow B$ : el pistón sube comprimiendo el aire. Dada la velocidad del proceso se supone que el aire no tiene posibilidad de intercambiar calor con el ambiente, por lo que el proceso es adiabático. Se modela como la curva adiabática reversible  $A \rightarrow B$ , aunque en realidad no lo es, por la presencia de factores irreversibles como la fricción.
- Combustión  $B \rightarrow C$ : un poco antes de que el pistón llegue a su punto más alto y continuando hasta un poco después de que empiece a bajar, el inyector introduce el combustible en la cámara. Al ser de mayor duración que la combustión en el ciclo Otto, este paso se modela como una adición de calor a presión constante. Este es el único paso en el que el ciclo diésel se diferencia del Otto.
- Expansión  $C \rightarrow D$ : la alta temperatura del gas empuja al pistón hacia abajo, realizando trabajo sobre él. De nuevo, por ser un proceso muy rápido se aproxima por una curva adiabática reversible.
- Escape  $D \rightarrow A$  y  $A \rightarrow E$ : se abre la válvula de escape y el gas sale al exterior, empujado por el pistón a una temperatura mayor que la inicial, siendo sustituido por la misma cantidad de mezcla fría en la siguiente admisión. El sistema es realmente abierto, pues intercambia masa con el exterior. No obstante, dado que la cantidad de aire que sale y la que entra es la misma, se puede para el balance energético, suponer que es el mismo aire, que se ha enfriado. Este enfriamiento ocurre en dos fases.

Cuando el pistón está en su punto más bajo, el volumen permanece aproximadamente constante y tenemos la isócara D→A. Cuando el pistón empuja el aire hacia el exterior, con la válvula abierta, se emplea la isobara A→E, cerrando el ciclo.

En total, el ciclo se compone de dos subidas y dos bajadas del pistón, razón por la que es un ciclo de cuatro tiempos, aunque este nombre se suele reservar para los motores de gasolina.

Un motor diésel puede modelarse con el ciclo ideal formado por seis pasos reversibles. El rendimiento de este ciclo viene dado por la expresión:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma r^{\gamma-1}} \frac{r_c^\gamma - 1}{r_c - 1} \quad (\text{Ec. 2.})$$

Siendo  $r = V_A / V_B$  la razón de compresión y  $r_c = V_C / V_B$  la relación de combustión.<sup>11</sup>

- **Funcionamiento**
  - Primer tiempo o admisión: en esta fase el descenso del pistón aspira la mezcla aire combustible en los motores de encendido provocado o el aire en motores de encendido por compresión. La válvula de escape permanece cerrada, mientras que la de admisión está abierta. En el primer tiempo el cigüeñal da 180° y el árbol de levas da 90° y la válvula de admisión se encuentra abierta y su carrera es descendente.

---

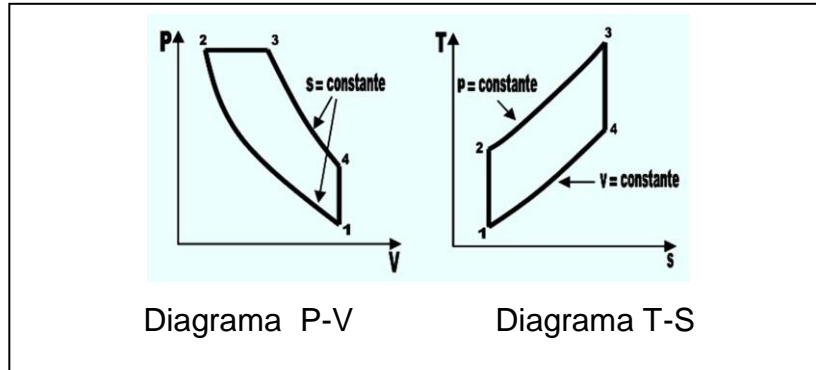
<sup>11</sup> Laplace. [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Diesel](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Diesel). Consulta: 5 de abril de 2016.

- Segundo tiempo o compresión: al llegar al final de carrera inferior, la válvula de admisión se cierra, comprimiéndose el gas contenido en la cámara por el ascenso del pistón. En el segundo tiempo el cigüeñal da 360° y el árbol de levas da 180°, y además ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es ascendente.
- Tercer tiempo o explosión: al no poder llegar al final de carrera superior el gas ha alcanzado la presión máxima. En los motores de encendido provocado salta la chispa en la bujía, provocando la inflamación de la mezcla, mientras que en los motores diésel, se inyecta con jeringa el combustible que se autoinflama por la presión y temperatura existentes en el interior del cilindro. En ambos casos, una vez iniciada la combustión, esta progresa rápidamente incrementando la temperatura en el interior del cilindro y expandiendo los gases que empujan el pistón. Esta es la única fase en la que se obtiene trabajo. En este tiempo el cigüeñal da 170°, mientras que el árbol de levas da 240°; ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es descendente.
- Cuarto tiempo o escape: en esta fase el pistón empuja cuidadosamente, en su movimiento ascendente, los gases de la combustión que salen a través de la válvula de escape que permanece abierta. Al llegar al final de carrera superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, reiniciándose el ciclo. En este tiempo el cigüeñal da 360° y el árbol de levas da 180° y su carrera es ascendente.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Google. <https://sites.google.com/a/misena.edu.co/aprendiendo-mecanica-diesel/siclo-de-funcionamiento>. Consulta: 5 de abril de 2016.

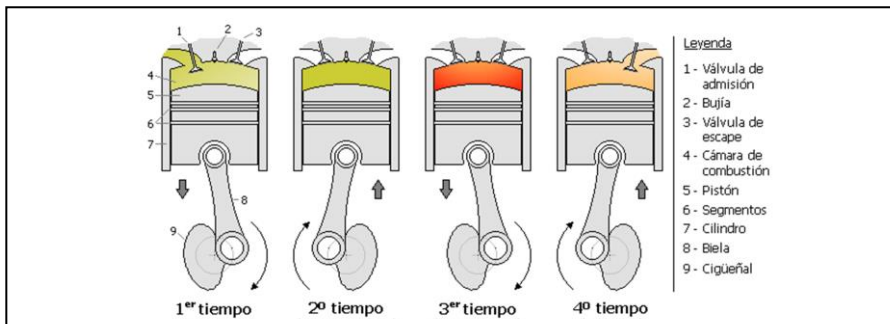
Figura 35. Diagramas ciclo diésel



Fuente: UNET. Universidad Nacional Experimental del Táchira.

- Motores de cuatro tiempos: se denomina motor de cuatro tiempos al motor de combustión interna alternativo tanto de ciclo Otto como ciclo del diésel, que precisa cuatro carreras del pistón o émbolo (dos vueltas completas del cigüeñal) para completar el ciclo termodinámico de combustión. Estos cuatro tiempos son: admisión, compresión, trabajo y escape.

Figura 36. Motores de cuatro tiempos



Fuente: *Wikipedia*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_de\\_cuatro\\_](https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_cuatro_). Consulta: 6 de abril de 2016.

Aquí se detallan los diferentes tiempos (actividades realizadas durante el ciclo) y sus características.

- Primer tiempo o admisión: en esta fase el descenso del pistón aspira la mezcla aire combustible en los motores de encendido provocado o el aire en motores de encendido por compresión. La válvula de escape permanece cerrada, mientras que la de admisión está abierta. En el primer tiempo el cigüeñal gira  $180^{\circ}$  y el árbol de levas da  $90^{\circ}$  y la válvula de admisión se encuentra abierta y su carrera es descendente.
- Segundo tiempo o compresión: al llegar al final de la carrera inferior, la válvula de admisión se cierra, comprimiéndose el gas contenido en la cámara por el ascenso del pistón. En el segundo tiempo el cigüeñal da  $360^{\circ}$  y el árbol de levas da  $180^{\circ}$ , y además ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es ascendente.
- Tercer tiempo o explosión/expansión: al llegar al final de la carrera superior el gas ha alcanzado la presión máxima. En los motores de encendido provocado o del ciclo Otto salta la chispa en la bujía, provocando la inflamación de la mezcla, mientras que en los motores diésel, se inyecta a través del inyector el combustible muy pulverizado, que se autoinflama por la presión y temperatura existentes en el interior del cilindro. En ambos casos, una vez iniciada la combustión, esta progresa rápidamente incrementando la temperatura y la presión en el interior del cilindro y expandiendo los gases que empujan el pistón. Esta es la única fase en la que se obtiene trabajo. En este tiempo el cigüeñal gira  $180^{\circ}$  mientras que el árbol de levas gira  $90^{\circ}$  respectivamente, ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es descendente.

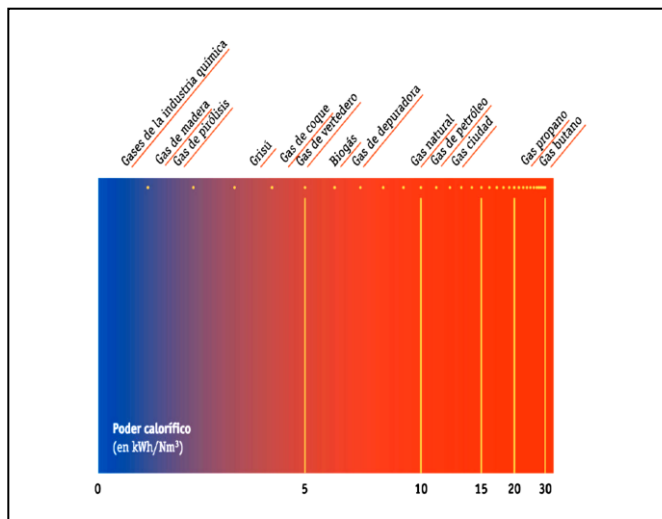


- Cuarto tiempo o escape: en esta fase el pistón empuja, en su movimiento ascendente, los gases de la combustión que salen a través de la válvula de escape que permanece abierta. Al llegar al punto máximo de carrera superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, reiniciándose el ciclo. En este tiempo el cigüeñal gira  $180^\circ$  y el árbol de levas gira  $90^\circ$ .<sup>13</sup>

## 2.5. Mezcla aire-combustible

Para el proceso de combustión se recomienda una mezcla aire-biogás de 18,1:1 Basado en el documento: Diseño de un mezclador aire-biogás para un motor diésel turboalimentado Prospect. Vol. 8, No. 2, Julio - Diciembre de 2010, págs. 37-43.

Figura 37. Poder calorífico



Fuente: GE Energy Jenbacher gas engines.

<sup>13</sup> Wikipedia. [https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_de\\_cuatro\\_tiempos](https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_cuatro_tiempos). Consulta 6 de abril de 2016.

## **2.6. Proceso de combustión**

El sistema de control de combustión de mezcla pobre LEANOX, desarrollado por GE Jenbacher y patentado en todo el mundo asegura un índice de aire/gas correcto de 18,1:1 bajo cualquier condición de funcionamiento para minimizar las emisiones de gases de escape y mantener un funcionamiento del estable del motor.

Prestaciones y ventajas: el sistema LEANOX utiliza una configuración especial para la cámara de combustión para obtener una combustión más eficiente, enlascando directamente la salida de energía, la presión de carga de combustión y las emisiones NOx. Así se elimina la necesidad de controlar el oxígeno de los gases de escape utilizando una sonda *lambda*. El sistema de control LEANOX corrige los parámetros del motor para garantizar que este cumpla los requisitos de NOx de forma permanente.

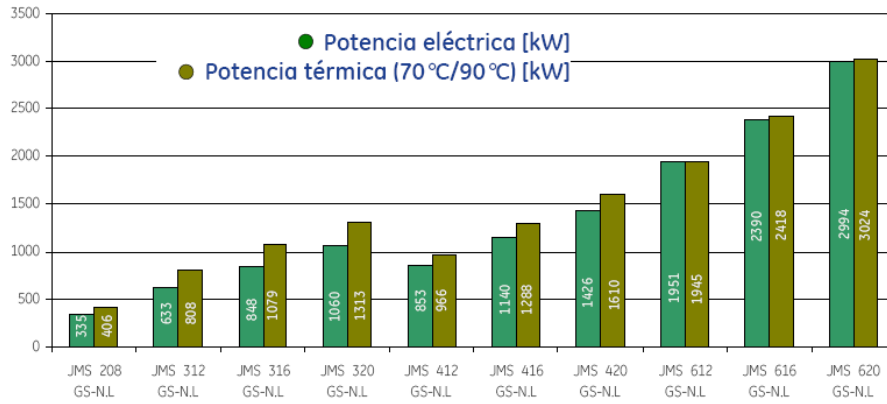
## **2.7. Disposición de las válvulas en el motor**

Cada cilindro cuenta con una válvula de admisión y una de escape accionadas por un eje de levas. La válvula de admisión para la entrada de los gases y la de escape para la salida de los gases. El total de válvulas en el motor es de 40.

## **2.8. Potencia generada**

La potencia generada por el motogenerador es de 1 MW. El modelo es el JMS 320 GS.

Figura 38. Gama de productos 2008 (60 Hz)



7  
 GE Energy Jenbacher gas engines  
 Benito Prieto Baumann 10/14/2008

Fuente: GE Energy Jenbacher gas engines. <http://www.ge.com/>. Consulta: mayo de 2016.

### **3. MONTAJE Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL MOTOGENERADOR DE COMBUSTIBLE BIOGÁS MARCA JENBACHER**

#### **3.1. Cimentación**

Como un motogenerador es una maquina reciprocante y rotatoria debe hacerse una cimentación sometida a esfuerzos dinámicos y estáticos. Para este tipo de maquinarias se diseñan cimentaciones tipo bloque, por las vibraciones. Aquí se consideran las cargas dinámicas y las cargas estáticas.

Inicialmente se debe de tener un conocimiento adecuado de las condiciones del suelo y agua subterránea en donde se va a cimentar.

- Procedimiento: debe prepararse un plano de cargas y dimensiones de la maquina por cimentar; estos datos pueden obtenerse de los catálogos distribuidos por los fabricantes de las mismas cuyos datos básicos por investigar son los siguientes:
  - Velocidad y fuerza normal de la máquina
  - Carácter, magnitud y punto de aplicación de las cargas dinámicas, si este dato no fuese dado; deberán asumirse como mínimo las excentricidades obtenidas de los códigos de construcción, o bien investigar cimientos similares ya construidos.
  - Cargas estáticas impuestas por las máquinas (peso), así como sus dimensiones.
  - Localización de pernos de anclaje, tuberías, ranuras, entre otros.

Con el conocimiento de la teoría de vibraciones y la teoría elástica del suelo, complementada con el conocimiento de las características de la máquina, el diseño consiste en determinar la frecuencia y amplitud de vibración del cimiento para compararla con valores límites, y también chequear la capacidad-soporte del suelo. El cálculo estructural del cimiento debe cumplir con los requisitos de los códigos de construcción para concreto reforzado (ACI 318-77, UBC 79).

- Aislamiento de vibraciones
  - Se emplean dos tipos básicos de aisladores de vibración:
    - Resortes absorbedores
    - Capas de material aislante<sup>14</sup>

El motor Jenbacher que se va a montar ya trae sus bases especiales para el problema de la vibración.

- Cálculo de cimentación (ver apéndice 2 y 3)

Profundidad de cimentación 4 pies

$D_f = 4' \cdot 150 \text{ lb/pie}$

$D_f = 600 \text{ lb/pie}$

$\text{Area} = (1/2) \cdot (5,25 + 3,35) \cdot (1,90/2)$

$\text{Area} = 4,1 \text{ m}^2$

$\text{CM} = 4,1 \text{ m}^2 \cdot 2 \cdot 400 \text{ kg/m}^3$

$\text{CM} = 9 \cdot 840 \text{ kg/m}$

$(9 \cdot 840 \text{ kg/m}) \cdot (2,2/1 \text{ kg}) \cdot (1 \text{ m}/3,281 \text{ pie}) = 6 \cdot 600 \text{ lb/pie}$

---

<sup>14</sup> MONROY PERALTA, Fredy. *Publicación de montaje y mantenimiento de equipo*. p. 20.

$$CM_{total} = 6\,600 + 600$$

$$CM_{total} = 7\,200 \text{ lb/pie}$$

- Peso de la maquina

$$24\,912 \text{ lb}/17,1 = 1\,456,84 \text{ lb/pie}$$

Datos

$$f'_c = 5\,000 \quad f_y = 60\,000 \text{ psi} \quad \gamma_{suelo} = 100 \text{ lb/pie}^3 \quad \gamma_{concreto} = 150 \text{ lb/pie}^3$$

$$d_f = 4' \quad b = 4' \quad q_{admisible} = 2\,000 \text{ lb/pie}^3$$

- Calculo de cimiento

Asumiendo  $t = 25''$

$$q_e = q_{admisible} - [\gamma_{concreto} \cdot t + \gamma_{suelo} \cdot (d_f - t)]$$

$$q_e = 2\,000 - [150 \cdot (25/12) + 100 \cdot (4 - (25/12))]$$

$$q_e = 1\,495,83$$

$$\text{Base} = B = (CM + CV) / q_e = (1\,456,84 + 7\,200) / 1\,495,83 = 5,78' \approx 6'$$

$$Pds = (1,4 CM + 1,7 CV) / B = [1,4 \cdot (7\,200) + 1,7 \cdot (1\,456,84)] / 6 = 2\,092,77 \text{ lb/pie}$$

- Calculo por flexionamiento

$$d = 25'' - 3'' = 22'' \quad a = 10''$$

$$L = (B/2) - ((a/2) + d) = (6/2) - ((10/12)/2 + (22/12)) = 0,75$$

$$V_{cr} = 2 (f'_c)^{1/2} \cdot b \cdot d = 2 \cdot (5000)^{1/2} \cdot (6) \cdot (22/12) = 1555,66 \text{ lb}$$

$$V_{v1} = pds \cdot L \cdot 1 \text{ pie} = (2\,092,77) \cdot (0,75) \cdot (1) = 1\,569,57$$

$$d = V_{v1} / (\phi \cdot 2 \cdot (f'_c)^{1/2} \cdot b) = 1\,569,57 / (0,85 \cdot 2 \cdot (5\,000)^{1/2} \cdot 12) = 1,08' = 13'' < 22'' \text{ Ok}$$

○ Momento

$$L_1 = [6 - (10/12)]/2 = 2,58'$$

$$M = (1/2) * W * L^2 = (1/2) * (2\ 093) * (1\ \text{pie}) * (2,58') = 6\ 965,92\ \text{lb-pie}$$

$$(6\ 965,92 * 12) / (0,90 * 12 * 22^{1/2}) = 60\ 000\ \text{P} - (0,59P^2 * (60\ 000)^2) / 5\ 000$$

$$15,59 = 60\ 000\ \text{P} - 424\ 800P^2$$

Resolviendo

$$X_1 = 0,14$$

$$X_2 = 2,67 * 10^{-4}$$

$$X_2 = 0,000267$$

$$P_{\min} = (200) / f_y = (200 / 6\ 000) = 0,003\ \text{Ok}$$

$$\rho_{\text{bal}} = 0,0356$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,5 * \rho_{\text{bal}} = 0,5 * (0,0356) = 0,0178$$

$$A_s = P * d * b = (0,003) * (22) * (12) = 0,792\ \text{pulg}^2 / \text{pie}$$

$$1\ \text{var núm. 4} \quad 0,196\ \text{pulg}^2$$

$$0,792 \quad 1\ \text{pie}$$

$$0,196 \quad X$$

$$X = (0,196 * 1) / 0,792 = 0,25' = 7,6\ \text{cm}$$

Losa

$$\text{Peralte} = [(2) * (1,90) + (2) * (5,2)] / 180 = 0,078 \approx 0,08\ \text{m}$$

$$0,08 * 2\ 400\ \text{kg/m}^3 * 4,1\ \text{m}^2 = 787,82 * \text{long} / 5,2 = 151,38\ \text{kg/m}$$

- Peso de la máquina

11,3 toneladas= 11 300kg/5,2 =2 173,080 kg/m

$W_{total} = 151,38 + 2\ 173,08 = 2\ 324,46$

Momento=  $[WL^2]/2 = [(2\ 324,46) \cdot (0,95)^2 ]/2 = 1\ 048,91$  Kg-m

$d = 5,5$ cm

$A_s = 0,4 \cdot (14,1/f_y) \cdot b \cdot d = 0,4 \cdot (14,1/4\ 200) \cdot (5,5\ \text{cm}) \cdot (100\ \text{cmm}) = 0,74\ \text{cm}^2$

- Momento que resiste

$M_r = 0,9 \cdot [(A_s \cdot f_y) \cdot [d - (A_s \cdot f_y / 1,7 \cdot f'c \cdot c \cdot b)]] = 0,9 \cdot [(0,74 \text{cm}^2 \cdot 4\ 200) \cdot [5,5 - (0,74 \cdot 4\ 200 / 1,7 \cdot 100)]]$

$M_r = 15\ 247,17$  Kg-cm

$M_r = 15\ 247,170\ \text{kg-cm} \cdot 1\ \text{m} / 100\ \text{cm} = 152,47$  Kg-m

- Relación

$152,47\ \text{kg-m} \underline{\hspace{2cm}} 0,74 \text{cm}^2$

$1\ 048,91\ \text{kg-m} \underline{\hspace{2cm}} X$

$X = 5,090\ \text{cm}^2$

- Espaciamiento

Para var núm. 4=  $127/A_s = 127/5,09 = 24,95 \approx 24$  cm

Por facilidad de construcción usar 20 cm

Hierro núm. 4 a 20 cm

Armado riel-bastón y tensión

Columna

Hierro núm.4 a 20 cm vertical y horizontal



- Suelo
  - Compactar el terreno
  - Rellenar con piedra gruesa o redonda y compactar
  - Rellenar con piedrín y compactar
  - Rellenar con arena y compactar
  - Rellenar con arena blanca (selecto) y compactar

### **3.2. Instalaciones mecánicas**

Las instalaciones mecánicas son las siguientes:

- Motogenerador
- Biodigestores
- *Blowers*
- Torres de enfriamiento
- *Chiler*
- Filtros para eliminar el ácido sulfhídrico
- Separadores de humedad
- Quemador de biogás excedente
- Tuberías de acero inoxidable y PVC

#### **3.2.1. Instalación de componentes**

El elemento principal a instalar es el motogenerador y para instalarlo se usa una grúa de 25 toneladas. Para instalar el motor sobre la base ya cimentada se hace usando una grúa.

El motogenerador es de 11 300 kg (11,3 toneladas). Se calcula la grúa utilizando un factor de seguridad y determinamos que la grúa a utilizar es de 25 toneladas.

- Cálculo de la grúa

$$T_{grua} = T_{motogenerador} * FS$$

$$FS = 2 \quad FS = 100 \%$$

$$T_{grua} = (11,3)*(2)$$

$$T_{grua} = 22,6 \text{ toneladas}$$

$$T_{grua} = 25 \text{ toneladas}$$

- Otra forma de cálculo

$$FS = 100 \% \quad FS = 2$$

$$T_{grua} = T_{motogenerador} + T_{motogenerador} * FS$$

$$T_{grua} = (11,3)+(11,3)(100 \%)$$

$$T_{grua} = (11,3)+(11,3)(100)/(100)$$

$$T_{grua} = 22,6 \text{ toneladas}$$

$$T_{grua} = 25 \text{ toneladas}$$

### 3.2.2. Elementos auxiliares

Los elementos auxiliares para el adecuado funcionamiento del motogenerador son los siguientes: biodigestores, *blowers*, torres de enfriamiento, *chiller*, filtros para eliminar el ácido sulfhídrico, separadores de

humedad, quemador de gas excedente, bombas de aguas residuales, bombas de lubricante.

### **3.2.3. Instalación de tuberías**

Se instalan tuberías para el sistema de combustible, para el de lubricación y para el de enfriamiento.

Las tuberías que se usan son de acero inoxidable y unas de PVC. Las tuberías serán dimensionadas en función de las características del gasto diario del efluente (metro cúbico por hora, litro por hora), tomando en consideración sus propiedades termodinámicas y físicas, así como el tamaño de partículas. Estos parámetros se utilizarán para el cálculo del diámetro de las tuberías.

Las tuberías se deben seleccionar con el espesor y pared suficiente para soportar la presión de diseño del biodigestor y resistir cargas externas previstas. El diámetro de las tuberías también estará en función de la distancia a recorrer, desde el punto en que se origine el biogás hasta el punto en el que se le dará el uso final.

Se deben instalar soportes adecuados que garanticen la inmovilidad de las tuberías.

Se deberán instalar trampas de humedad para remover el agua en todos los puntos bajos o tiros verticales de tubo de conducción de biogás.

- Longitud de la tubería: la resistencia al flujo de biogás succionado a través de un conducto se incrementa por la presencia de accesorios y por lo tanto, la capacidad de conducción se ve reducida. Para expresar

dichas resistencias se ha optado hacerlo en longitudes de tubo recto. Las resistencias así expresadas son sumadas a la longitud real de la tubería y la suma "Le" llamada la longitud equivalente de la tubería. La resistencia que ocasionan los accesorios varían dependiendo de su diámetro. Para determinar la longitud de la tubería debida a la existencia de accesorios se pueden utilizar dos métodos:

- Se relacionan los accesorios directamente con longitudes de tubo recto; son variables. estas según sea el diámetro de los accesorios. Para ello se recurre a tablas.
- Se relacionan los accesorios con la resistencia que ocasionaría un codo de 90, hallando así un número determinado de codos equivalentes y estos a su vez se convierten en una longitud recta utilizando la fórmula:

$$L_{eq} = \# \text{ codos equivalentes} * \frac{25 * \text{diámetro de tubería}}{12}$$

- Diámetro de la tubería: la dimensión del diámetro de la tubería es de suma importancia. Debido a que las pérdidas de presión que sufre un fluido cuando se transporta en ella, están directamente relacionadas con su diámetro. Las pérdidas de presión aceptables deben oscilar comúnmente entre un 5 % a un 10 % de la presión nominal. Para determinar el diámetro óptimo en una instalación se deberá tomar en cuenta lo siguiente:
  - Calcular el consumo de combustible del equipo
  - Determinar el caudal requerido por la instalación
  - Determinar la presión de la instalación

- Determinar la pérdida de presión admisible
- Determinar la longitud equivalente
- Calcular la pérdida de presión

Se compara la pérdida admisible de presión con la pérdida de presión en la tubería; si esta última es mayor se debe de aumentar el diámetro de la tubería. El diámetro óptimo se determina de la siguiente manera:

- Renouard para bajas presiones ( $P < 0,05$  bar)

$$P_A = 50 \text{ mbar} \quad \Delta p = P_A \cdot (10\%) \quad \Delta P = 50 \cdot (10\%) \quad \Delta P = 5 \text{ mbar}$$

$$\Delta P = P_A - P_B \quad 5 = 50 - P_B \quad P_B = 50 - 5 \quad P_B = 45 \text{ mbar}$$

$$\rho_{\text{biogás}} = 1,091 \text{ kg/m}^3$$

$$L_r = 50 \text{ m}$$

$$L_e = 1,2 \cdot L_r$$

$$L_e = 1,2 \cdot (50) \quad L_e = 60 \text{ m}$$

Q = caudal

$$60 \cdot 109,357 \text{ m}^3 \frac{\text{biogás}}{\text{Semana}} \cdot \frac{1 \text{ semana}}{7 \text{ días}} = 8 \cdot 587,051 \text{ m}^3 \frac{\text{biogás}}{\text{día}}$$

$$8 \cdot 587,051 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 357,793 \text{ m}^3 \frac{\text{biogás}}{\text{h}}$$

$$Q = 357,793 \text{ m}^3 \frac{\text{biogás}}{\text{h}}$$

$$P_A - P_B = \frac{25 \cdot 076 \cdot \rho_{\text{biogás}} \cdot L_e \cdot Q^{1,82}}{D^{4,82}}$$

$$50 \text{ mbar} - 45 \text{ mbar} = \frac{25\,076 \cdot (1,09)^{60} \cdot (357,793)^{1,82}}{D^{4,82}}$$

$$D^{4,82} = \frac{7,285275 \cdot 10^{10}}{5 \text{ mbar}}$$

$$D = (1,457055 \cdot 10^{10})^{(1/4,82)}$$

$$D = (1,457055 \cdot 10^{10})^{0,2075}$$

$$D = 128,505 \text{ mm}$$

$$D = 128,505 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}} \cdot 39,37 \frac{\text{pulg}}{\text{m}}$$

$$D = 5,059 \text{ pulg}$$

D=6 pulg se utiliza un diámetro de 6 pulgadas porque es el próximo diámetro de mercado.

- Renouard para bajas presiones ( $P < 0,05 \text{ bar}$ )

$$P_A = 25 \text{ mbar} \quad \Delta p = P_A \cdot (10\%) \quad \Delta P = 25 \cdot (10\%) \quad \Delta P = 2,5 \text{ mbar}$$

$$\Delta P = P_A - P_B \quad 2,5 = 25 - P_B \quad P_B = 25 - 2,5 \quad P_B = 22,5 \text{ mbar}$$

$$\rho_{\text{biogás}} = 1,09$$

$$L_r = 50 \text{ m}$$

$$L_e = 1,2 \cdot L_r$$

$$L_e = 1,2 \cdot (50) \quad L_e = 60 \text{ m}$$

Q=caudal

$$60 \frac{109,357 \text{ m}^3 \text{ biogás}}{\text{Semana}} \cdot \frac{1 \text{ semana}}{7 \text{ días}} = 8\,587,051 \text{ m}^3 \text{ biogás/día}$$

$$8\,587,051 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 357,793 \text{ m}^3 \text{ biogás/h}$$

$$Q = 357,793 \text{ m}^3 \text{ biogás/h}$$

$$P_A - P_B = 25076 * \rho_{\text{biogás}} * L_e * \frac{Q^{1,82}}{D^{4,82}}$$

$$25 \text{ mbar} - 22.5 \text{ mbar} = 25\,076 * (1.09) * (60) * \frac{(357,793)^{1,82}}{D^{4,82}}$$

$$D^{4,82} = \frac{7,285275 * 10^{10}}{2.5 \text{ mbar}}$$

$$D = (2,91411 * 10^{10})^{(1/4,82)}$$

$$D = (2,91411 * 10^{10})^{0,2075}$$

$$D = 148,383 \text{ mm}$$

$$D = 148,383 \text{ mm} * \frac{1 \text{ m}}{1\,000 \text{ mm}} * \frac{39,37 \text{ pulg}}{1 \text{ m}}$$

$$D = 5,841 \text{ pulg}$$

$$D = 6 \text{ pulg}$$

Se utiliza un diámetro de 6 pulgadas porque es el próximo diámetro de mercado

Los diámetros de las tuberías van de 4 pulgadas a 12 pulgadas.

- Pendiente de tuberías: la red debe tener cierta pendiente a favor del sentido del flujo para que la humedad condensada sea dirigida hacia los purgadores, por la acción de la gravedad y por el sentido del caudal. Esta

pendiente debe ser aproximadamente de 1 pie por cada 40 pies de largo. Los purgadores deben colocarse en los puntos más bajos de las pendientes y no exceder una longitud de 100 pies entre ellos, evitando así una acumulación excesiva de condensado que puede afectar a los equipos. Los reguladores de presión deben estar ubicados en los ramales de distribución o cerca del punto de uso, para evitar pérdidas innecesarias que puedan afectar el rendimiento de las herramientas o equipos.

- Unidad de mantenimiento: la unidad de mantenimiento en un sistema se compone de: filtro y regulador de presión.
- Condensador de humedad: los condensadores de humedad también llamados trampas de humedad, están ubicados en un nivel inferior de la red de distribución; se fabrican comúnmente de lámina de acero con juntas soldadas, provistos de una válvula de seguridad, manómetro y una válvula que evacúa el drenado de una forma automática o manual. A continuación se mencionan algunos problemas que ocasiona el condensado en un sistema.
  - Corrosión en las tuberías
  - Lava la lubricación
  - Provoca desgaste prematuro
  - Deficiencia en la operación de las válvulas
  - Incrementa el costo y programas de mantenimiento





Tabla II. **Sistema de gestión de motor**

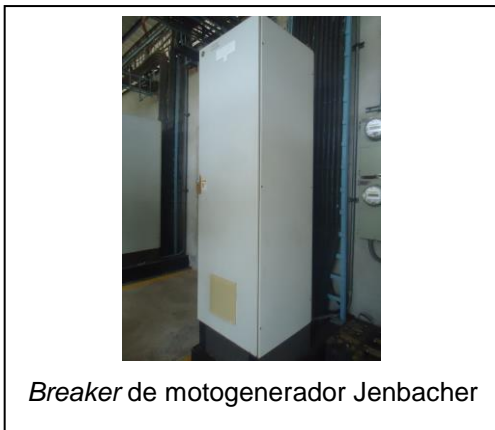
<p><b>DIA.NE® Sistema de gestión de motores</b></p> <p>DIA.NE es un sistema de gestión de motores de fácil manejo con una pantalla de gráficos a color que proporciona una visión general clara de toda la información. DIA.NE ofrece una solución de gestión de motores global, flexible y eficaz.</p>
<p><b>Sistema remoto de transmisión de datos HERMES</b></p> <p>HERMES es una tecnología de transmisión de datos para todos los motores GE Jenbacher equipada con el sistema de gestión de motores DIA.NE. El uso de estos sistemas ayuda a garantizar un funcionamiento de la planta económico.</p>
<p><b>Sistema de control de tensión de encendido automático MONIC</b></p> <p>MONIC (control de ignición monitorizado) permite controlar y analizar automáticamente la tensión de descarga de cada cilindro de un motor de combustión. MONIC reúne los datos y los transmite a un sistema de control del motor DIA.NE o a una unidad de visualización MONIC.</p>

Fuente: GE Energy Jenbacher gas engines.

### **3.4. Sistema eléctrico**

El sistema eléctrico está compuesto por una serie de elementos o componentes eléctricos eléctricos o electrónicos conectados eléctricamente entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales electrónicas o eléctricas.

Figura 40. **Sistema eléctrico**



Continuación de la figura 40.



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico y extractora La Francia.

### 3.5. Sistema de protección

Para el sistema de protección se tienen un *breaker* que es un sistema termomagnético que se acciona o dispara según las variaciones de temperatura o cantidad de carga. El *breaker* sirve para protección del motogenerador por cortocircuito. Cuando hay una leve sobrecarga se va

produciendo un aumento de temperatura, lo que hace que dicho *breaker* se dispare y apague la carga.

También se tiene un banco de capacitores para regular el factor de potencia y reducir los costos de facturación eléctrica, disminución de las pérdidas en los conductores, reducción de las caídas de tensión y un aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores. También se tiene un analizador de metano, oxígeno y dióxido de azufre en el combustible biogás.

Figura 41. **Sistema de protección**



Continuación de la figura 41.



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico y extractora La Francia.

### 3.6. Sistema de combustible

El combustible biogás para el motogenerador Jenbacher se obtiene del proceso de extracción de aceite de palma africana. Se instala un tren de centrífugas de aguas residuales. Del tren de centrífugas se obtienen las aguas residuales; estas se envían a los biodigestores y en los biodigestores se produce el biogás. El biogás se envía al motogenerador.

Se utiliza el *blower* para mover el biogás de los biodigestores al motogenerador; se conecta el motogenerador a los biodigestores con tuberías de acero inoxidable y para mover el biogás en la parte intermedia se conecta un *blower*. Los biodigestores y el *blower* han sido montados previamente.

Figura 42. Sistema de combustible



Fuente: instalaciones de extractora del Atlántico y extractora La Francia.

### **3.7. Sistema de lubricación**

El motogenerador cuenta con su sistema de lubricación ya instalado, bombas de lubricación, tuberías y adicionalmente se auxilia de las torres de enfriamiento para el enfriamiento del lubricante, para mantener una regulación más precisa de la temperatura del aceite.

El sistema de lubricación es el que se encarga de mantener lubricadas todas las partes móviles del motor, asimismo sirve como medio refrigerante.

La función es crear una película de aceite lubricante en las partes móviles, evitando el contacto metal con metal.

Consta básicamente de bomba de circulación, regulador de presión, filtro de aceite, conductos externos e internos por donde circula el aceite.

### **3.8. Sistema de enfriamiento**

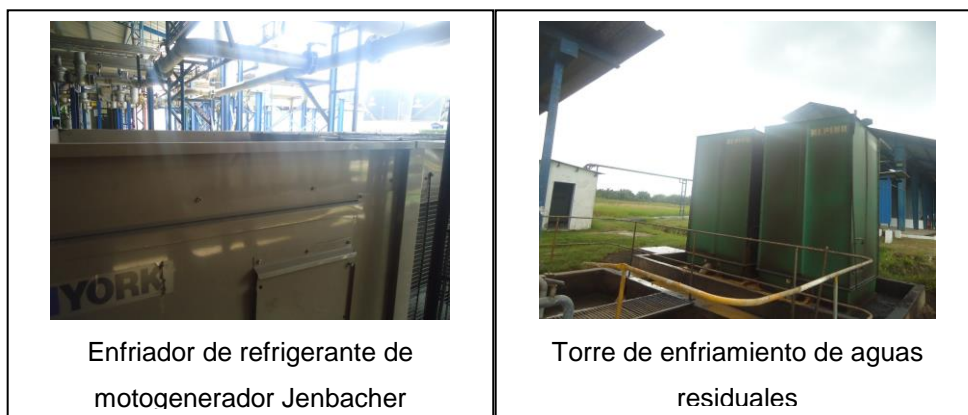
El sistema de enfriamiento del motogenerador viene incorporado en el motor y es un radiador. Adicionalmente se tienen torres de enfriamiento para el enfriamiento del lubricante del motogenerador y también se tiene un *chiller*. Estas torres de enfriamiento y el *chiller* han sido montadas previamente. Las torres de enfriamiento también se utilizan para bajarle la temperatura a las aguas residuales que pasan por los filtros que le quitan el ácido sulfhídrico a las aguas. Los refrigerantes utilizados en el sistema de enfriamiento son R717 y R22.

- Enfriamiento y limpieza del biogás



- Etapas del proceso
  - Enfriamiento previo hasta 20 °C. para la reducción de humedad.
  - Enfriamiento hasta 2-4 °C para la reducción del nivel de siloxanos.
  - Lavado del gas y extracción de condensados.
  - Adsorción en carbón activado.
  - Postenfriamiento del biogás para acondicionarlo para su uso.
  
- Residuos generados
  - Condensados: humedad del biogás.
  - Carbón activo: sistema de limpieza del biogás.<sup>15</sup>

Figura 43. **Sistema de enfriamiento**



Fuente: instalaciones de extractora La Francia.

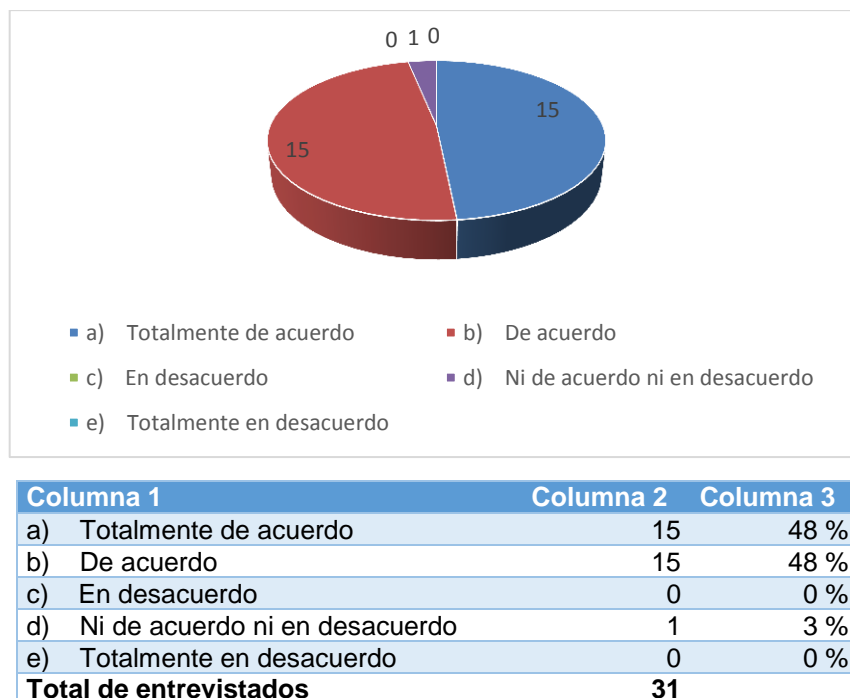
<sup>15</sup> DIM WATER SOLUTIONS, S.L. <http://www.dimamex.com/PDF/EQUIPOS%20BIOGAS.pdf>.  
Consulta: 4 de abril del 2016

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Encuesta de opinión acerca de la propuesta de la guía del montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 megawatt

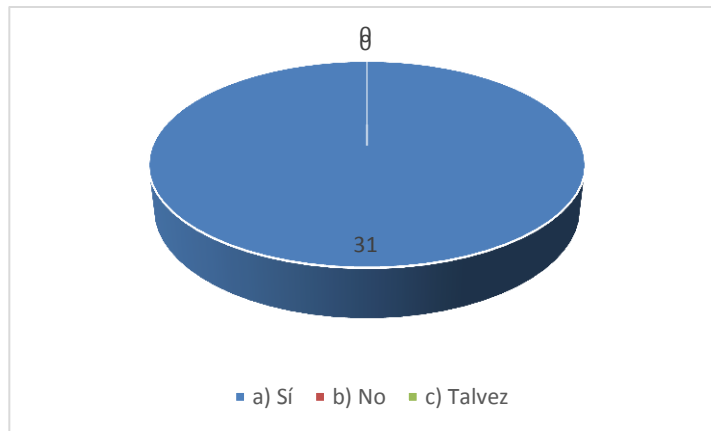
A continuación se presentan los resultados obtenidos de la encuesta realizada a empleados de la empresa extractora La Francia.

Figura 44. ¿Está de acuerdo con la propuesta de una guía de montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 megawatt?



Fuente: elaboración propia.

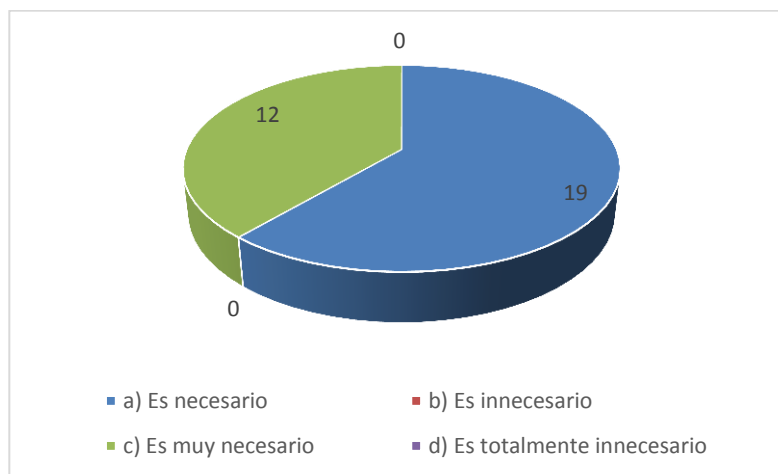
Figura 45. **¿Considera de beneficio una guía de montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 megawatt?**



Columna 1	Columna 2	Columna 3
a) Sí	31	100 %
b) No	0	0 %
c) Tal vez	0	0 %
Total	31	

Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **¿Qué piensa acerca de una propuesta de una guía de un motogenerador Jenbacher de 1 megawatt?**

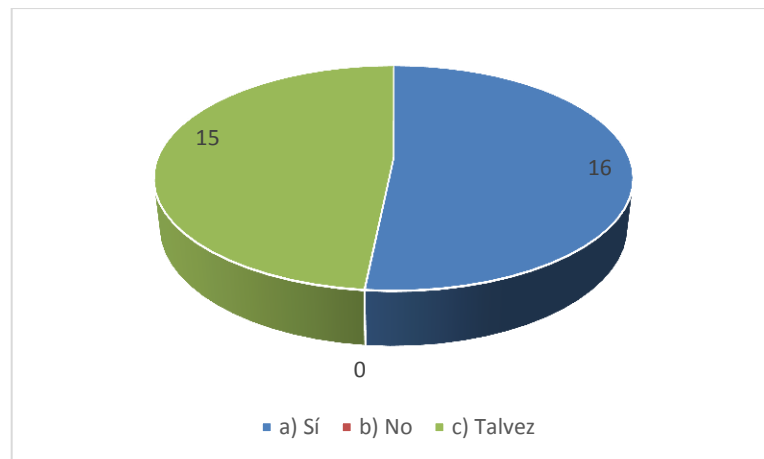


Continuación de la figura 46.

Columna 1	Columna 2	Columna 3
a) Es necesario	19	61 %
b) Es innecesario	0	0 %
c) Es muy necesario	12	39 %
d) Es totalmente innecesario	0	0 %
Total	31	

Fuente: elaboración propia.

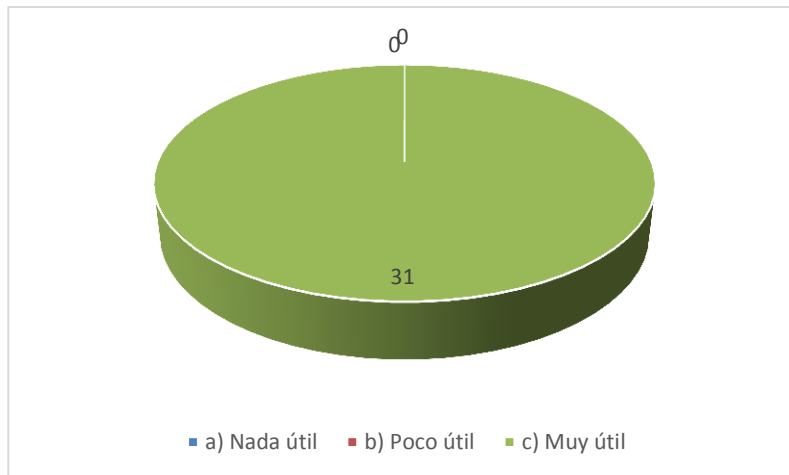
Figura 47. **Como empleado de la planta apoya la propuesta de la guía de montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 megawatt?**



Columna 1	Columna 2	Columna 3
a) Sí	16	52 %
b) No	0	0 %
c) Tal vez	15	48 %
Total	31	

Fuente: elaboración propia.

Figura 48. ¿Qué tan útil sería para usted una guía de montaje de un motogenerador de 1 megawatt?



Columna1	Columna2	Columna3
a) Nada útil	0	0 %
b) Poco útil	0	0 %
c) Muy útil	31	100 %
Total	31	

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. Potencia instalada real

La potencia instalada real es 1 MW.

$$P = 1 \text{ MW}$$

#### 4.3. Potencia promedio

A continuación se explicará la potencia promedio.

Tabla III. **Potencia promedio (megawatt) semanal**

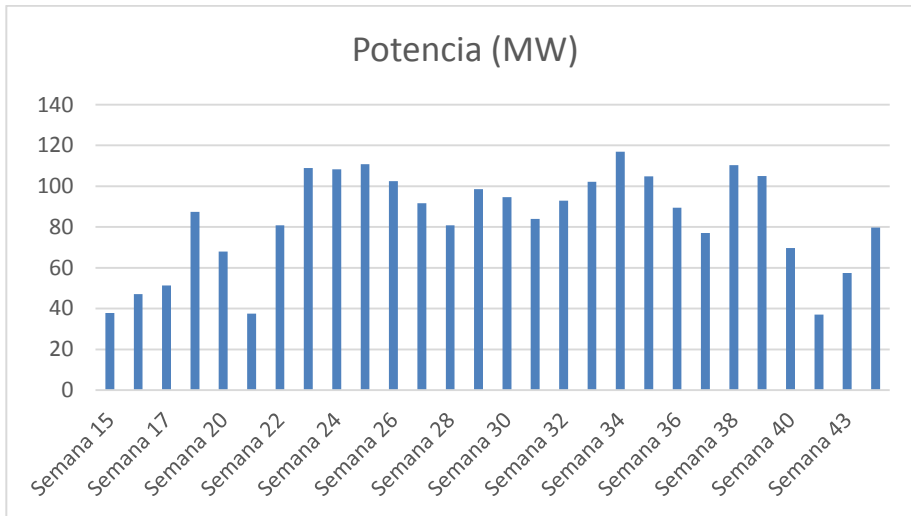
Semana	Potencia (MW)
Semana 15	37,8
Semana 16	47,1
Semana 17	51,4
Semana 19	87,5
Semana 20	68
Semana 21	37,5
Semana 22	80,8
Semana 23	109
Semana 24	108,3
Semana 25	110,8
Semana 26	102,5
Semana 27	91,7
Semana 28	80,9
Semana 29	98,5
Semana 30	94,7
Semana 31	84
Semana 32	93
Semana 33	102,2
Semana 34	116,9
Semana 35	104,9
Semana 36	89,4
Semana 37	77
Semana 38	110,4
Semana 39	105
Semana 40	69,7
Semana 42	37,1
Semana 43	57,5
Semana 44	79,8

Fuente: elaboración propia, con base en datos generales de Extractora del Atlántico.

$$P_{\text{promedio}} = (37,8+47,1+51,4+87,5+68+37,5+80,8+109+108,3+110,8+102,5+91,7+80,9+98,5+94,7+84+93+102,2+116,9+104,9+89,4+77+110,4+105+69,7+37,1+57,5+79,8)/28$$

$P_{\text{promedio}} = 83,335$  MW a la semana

Figura 49. **Potencia promedio (megawatt) semanal**



Fuente: elaboración propia, con base en datos generales de Extractora del Atlántico.

Tabla IV. **Fruta procesada (tonelada métrica) semanal**

Semana	Fruta procesada (TM)
Semana 15	4523,55
Semana 16	5418,41
Semana 17	4300,09
Semana 19	5249,31
Semana 20	5065,74
Semana 21	4612,9
Semana 22	5273,22
Semana 23	5006,81
Semana 24	5864,33
Semana 25	5639,13
Semana 26	5870,97
Semana 27	4967,97
Semana 28	5830,59
Semana 29	6124,3
Semana 30	6868,44
Semana 31	7078,17
Semana 32	7210,19
Semana 33	7476,07

Continuación de tabla IV.

Semana 34	7880,53
Semana 35	8070,34
Semana 36	6209,08
Semana 37	6428,8
Semana 38	9057,78
Semana 39	9530,03
Semana 40	8388,67
Semana 42	8598,52
Semana 43	6657,41
Semana 44	5715,21

Fuente: elaboración propia, con base en datos generales de Extractora del Atlántico.

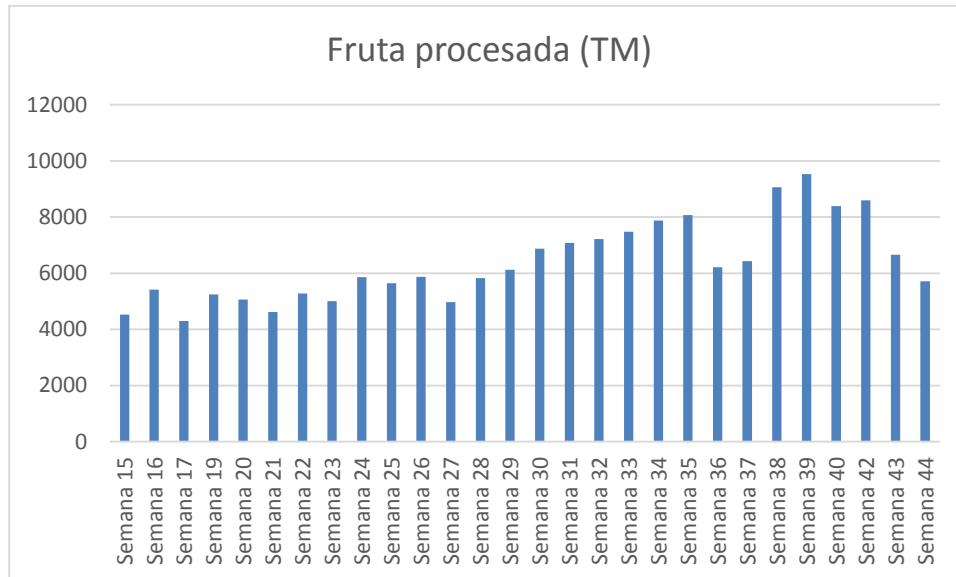
Frutaprosesadapromedio=

$$(4523,55+5418,41+4300,09+5249,31+5065,74+4612,9+5273,22+5006,81+5864,33+5639,13+5870,97+4967,97+5830,59+6124,3+6868,44+7078,17+7210,19+7476,07+7880,53+8070,34+6209,08+6428,80+9057,78+9530,03+8388,67+8598,52+6657,41+5715,21)/28$$

Fruta procesadapromedio = 6389,877 toneladas métricas a la semana.



**Figura 50. Fruta procesada (tonelada métrica)**



Fuente: elaboración propia, con base en datos generales de extractora del Atlántico.

**Tabla V. Biogás quemado (metro cúbico) semanal**

Semana	Biogás quemado (m <sup>3</sup> )
Semana 15	35 119
Semana 16	39 322
Semana 17	40 085
Semana 19	64 135
Semana 20	48 831
Semana 21	26 909
Semana 22	59 375
Semana 23	77 296
Semana 24	77 947
Semana 25	79 209
Semana 26	71 760
Semana 27	69 361
Semana 28	59 386

Continuación de la tabla V.

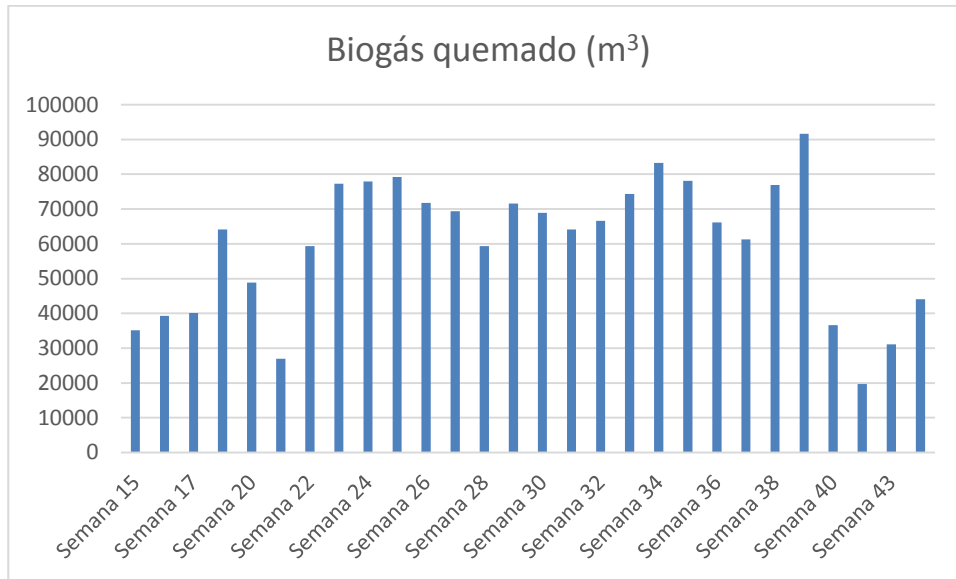
Semana 29	71 587
Semana 30	68 929
Semana 31	64 092
Semana 32	66 582
Semana 33	74 321
Semana 34	83 224
Semana 35	78 094
Semana 36	66 184
Semana 37	61 284
Semana 38	76 882
Semana 39	91 645
Semana 40	36 612
Semana 42	19 682
Semana 43	31 099
Semana 44	44 110

Fuente: elaboración propia, con base en datos generales de Extractora del Atlántico.

Biogás quemado promedio =  $(35\ 119 + 39\ 322 + 40\ 085 + 64\ 135 + 48\ 831 + 26\ 909 + 59\ 375 + 77\ 296 + 77\ 947 + 79\ 209 + 71\ 760 + 69\ 361 + 59\ 386 + 71\ 587 + 68\ 929 + 64\ 092 + 66\ 582 + 74\ 321 + 83\ 224 + 78\ 094 + 66\ 184 + 61\ 284 + 76\ 882 + 91\ 645 + 36\ 612 + 19\ 682 + 31\ 099 + 44\ 110) / 28$

Biogás quemado promedio = 60 109,357 m<sup>3</sup> biogás quemado semanal

Figura 51. **Biogás quemado (metro cúbico)**



Fuente: elaboración propia, con base en datos generales de extractora del Atlántico.

## CONCLUSIONES

1. La producción de potencia a la semana del motogenerador debera ser aproximadamente de 83,335 MW.
2. Se describen los sistemas del motogenerador y las instalaciones mecánicas necesarias y los sistemas auxiliares necesarios para el funcionamiento del motogenerador.
3. Para un motogenerador con una potencia de un 1 MW y utilizando un promedio de 6 389,87 toneladas métricas de fruta procesada, a la semana se debería obtener una potencia promedio de 83,335 MW.
4. Para un motogenerador con una potencia de un 1 MW y utilizando un promedio de 6 389,87 toneladas métricas de fruta procesada a la semana se debería quemar 60 109,357 m<sup>3</sup> biogás a la semana.
5. En la encuesta hecha al grupo de trabajadores de la empresa a través de la encuesta manifestar con satisfacción su apoyo a la propuesta de la guía de montaje del motogenerador Jenbacher de 1 MW.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar el presupuesto del montaje del motogenerador Jenbacher.
2. Tener precauciones necesarias en el manejo del biogás debido a que es un combustible altamente explosivo.
3. Utilizar los procedimientos de la seguridad industrial en el montaje y funcionamiento del motogenerador e instalaciones mecánicas.
4. Contar con el estudio de impacto ambiental siempre actualizado para confrontar cualquier inspección técnica.
5. Programar el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para el motogenerador e instalaciones mecánicas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ, René; RIERA, Víctor. *Producción anaeróbica de gas*. [en línea]. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/proyecto09.pdf>>. [Consulta: enero de 2016].
2. G E Energy. *Manual de motores de gas Jenbacher*. [en línea]. <<http://www.advantageaustria.org/mx/events/GeJenbacher.pdf>>. [Consulta: enero de 2016].
3. GUERRERO, Luz. *¿Qué es un biodigestor?* [en línea]. <<http://vidaverde.about.com/od/Energias-renovables/a/Que-Es-Un-Biodigestor.htm>>. [Consulta: febrero de 2016].
4. MENA MONZÓN, Édgar Alejandro. *Construcción de un sistema para la destrucción de metano en una extractora de aceite de palma africana. en el marco del mecanismo de desarrollo limpio*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 131 p.
5. Ministerio de Energía y Minas. MEM. *Energías renovables*. [en línea]. <<http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/04/Energ%C3%ADas-Renovables.pdf>>. [Consulta: enero de 2016].
6. MONROY PERALTA, Fredy. *Guía para el diseño de intercambiadores de calor*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999. 103 p.



7. Wikipedia. *Biodigestor*. [en línea].  
<<https://es.wikipedia.org/wiki/Biodigestor>>. [Consulta: febrero de 2016].
  
8. ZAPATA CAVIDAD, Álvaro. *Utilización de biogás para la generación de electricidad*. [en línea].  
<<http://www.agroparlamento.com.ar/agroparlamento/notas.asp?n=0659>>. [Consulta: enero de 2016].

## APÉNDICE

### Apéndice 1. Encuesta de opinión de la propuesta de guía del montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 MW

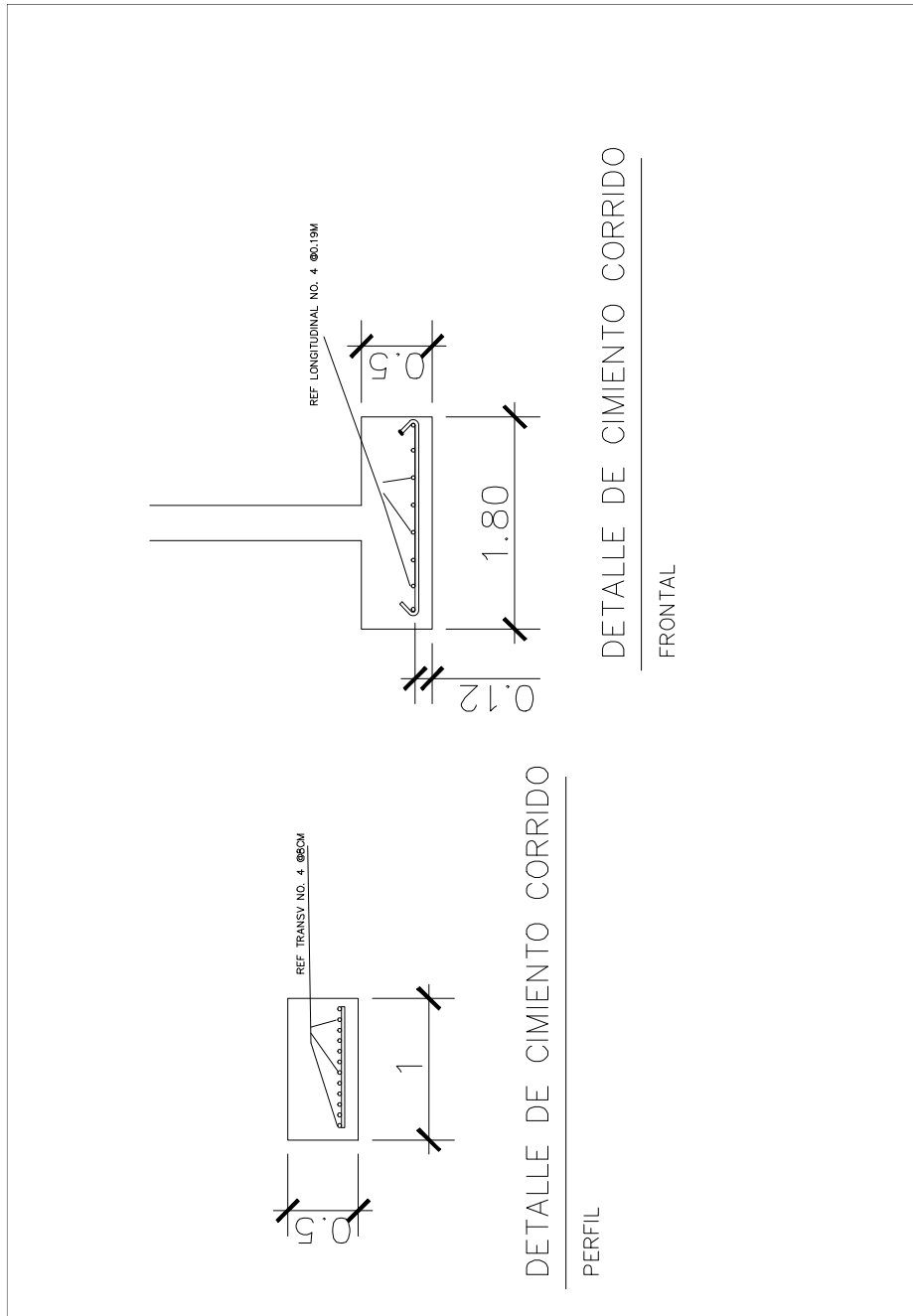
Edad \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_

1. ¿Está de acuerdo con la propuesta de una guía de montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 MW?
  - a) Totalmente de acuerdo
  - b) De acuerdo
  - c) En desacuerdo
  - d) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
  - e) Totalmente en desacuerdo
  
2. ¿Considera de beneficio una guía de montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 MW?
  - a) Sí \_\_\_\_\_
  - b) No \_\_\_\_\_
  - c) Talvez \_\_\_\_\_
  
3. ¿Qué piensa acerca de una propuesta de una guía de montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 MW ?
  - a) Es necesario
  - b) Es innecesario
  - c) Es muy necesario
  - d) Es totalmente innecesario

4. ¿Como empleado de la planta apoya la propuesta de la guía de montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 MW?
- a) Sí \_\_\_\_\_
  - b) No \_\_\_\_\_
  - c) Tal vez \_\_\_\_\_
5. ¿Qué tan útil sería para usted una guía de montaje de un motogenerador Jenbacher de 1 MW?
- a) Nada útil \_\_\_\_\_
  - b) Poco útil \_\_\_\_\_
  - c) Muy útil \_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia.

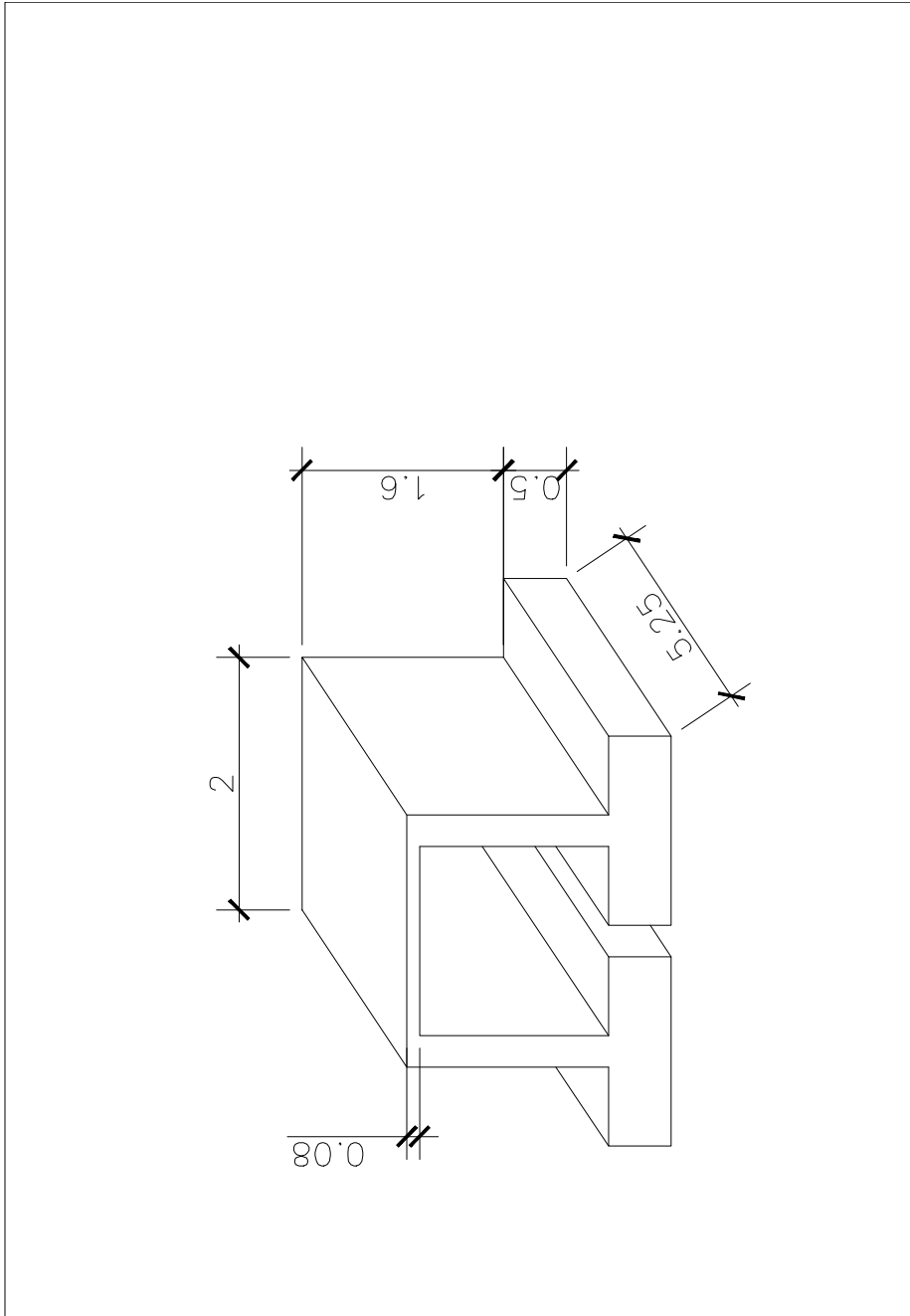
## Apéndice 2. Cimentación



Nota: las medidas están dadas en metros.

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 3. **Cimiento y losa (isométrico)**



Nota: las medidas están dadas en metros.

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.