



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**  
**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN**  
**DEL TÍTULO**  
**DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: ACONDICIONAMIENTO DE UN MOTOR A DIÉSEL**  
**CON BIOGÁS COMO SUSTITUTO DE COMBUSTIBLE FÓSIL**  
**PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE RIEGO EN**  
**LA HACIENDA SAN FRANCISCO.**

**AUTOR: ALEX JAVIER POMA SANDOYA**

**DIRECTOR: ING. FREDDY SALAZAR.**

**CODIRECTOR: ING. PABLO MENA.**

**LATACUNGA**

**2015**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICADO**

ING. FREDDY SALAZAR (DIRECTOR)

ING. PABLO MENA (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo denominado “**ACONDICIONAMIENTO DE UN MOTOR A DIÉSEL CON BIOGÁS COMO SUSTITUTO DE COMBUSTIBLE FÓSIL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE RIEGO EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO**”, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con normas y estatutos establecidos en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de la Fuerzas Armadas - ESPE.

Siendo este un proyecto de excelente calidad y contenido científico que servirá para la aplicación de conocimientos y desarrollo profesional en innovación de proyectos de energías renovables, recomendamos su publicación, el mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Alex Javier Poma Sandoya que lo entregue a la Ing. Katya Torres, en su calidad de Directora de la Carrera.

Latacunga, Agosto del 2015

---

Ing. Freddy Salazar

**DIRECTOR**

---

Ing. Pablo Mena

**CODIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Yo, Alex Javier Poma Sandoya

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado titulado “**ACONDICIONAMIENTO DE UN MOTOR A DIÉSEL CON BIOGÁS COMO SUSTITUTO DE COMBUSTIBLE FÓSIL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE RIEGO EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO**”, fue desarrollada con base a investigación exhaustiva, respetando todos los derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y las fuentes que se incorporan en la bibliografía. Por lo que se afirma en este proyecto es de mi autoría.

En virtud a dicha declaración, me responsabilizo del contenido, la veracidad y el alcance científico que tiene este proyecto de grado realizado.

Latacunga, Agosto del 2015

---

**Alex Javier Poma Sandoya**

**C.C.: 050265665-5**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, Alex Javier Poma Sandoya

**AUTORIZO**

A la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE la publicación, en la biblioteca Virtual de la Institución del trabajo denominado: **“ACONDICIONAMIENTO DE UN MOTOR A DIÉSEL CON BIOGÁS COMO SUSTITUTO DE COMBUSTIBLE FÓSIL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE RIEGO EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO”**, en el que se encuentra contenido, ideas y criterios que he desarrollado bajo mi responsabilidad y autoría.

Latacunga, Agosto del 2015

---

**Alex Javier Poma Sandoya**

**C.C.: 0502656655**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico a Dios quien me ha guiado por el sendero de la vida, con su luz de aliento, de fuerzas de superación, y permitirme superar los problemas suscitados, ante este reto.

A mi madre, Amada con su comprensión, apoyo y todo el amor que me brinda, se culminó este reto.

A mi padre, Víctor quien estuvo en todo momento alentándome y brindándome su apoyo incondicional.

A mi hermano, Cristian por sus consejos y ayuda técnica ante el proyecto

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por llenar mi vida de bendiciones, y darme la claridad de solucionar los obstáculos de la vida.

A toda mi familia, que de una u otra forma me supieron brindar su apoyo.

A mis docentes, que al final del tesis se volvieron mis amigos, y me brindaron el conocimiento para el cual estoy instruido.

A mis compañeros y amigo, por esos momentos de alegrías, tristezas y triunfos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>PORTADA .....</b>	<b>i</b>
<b>CERTIFICADO .....</b>	<b>ii</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xviii</b>

### CAPÍTULO I

<b>1. ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>1</b>
1.1. Generalidades.....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.1.3. Objetivo general.....	2
1.1.4. Objetivos específicos.....	3
1.1.5. Justificación.....	3
1.1.6. Alcance y metas.....	4
1.2. Biodigestor.....	4
1.2.1. Beneficios de los biodigestores.....	5
1.3. Aprovechamiento del biogás.....	5
1.3.1. Características del biogás.....	6
1.4. Motores diésel.....	7
1.4.1. Análisis del funcionamiento de un motor diésel.....	7
1.4.2. Los cuatro tiempos del ciclo de trabajo.....	8
1.4.3. Constitución básica de los motores diésel.....	12

1.4.4.	Sistema de admisión de aire.....	22
1.4.5.	Sistema de inyección de combustible.....	24
1.4.6.	Lubricación.....	28
1.4.7.	Refrigeración.....	29
1.5.	Sistema Eléctrico.....	30
1.5.1.	Motor de arranque eléctrico.....	31
1.5.2.	Alternador.....	32
1.6.	Sistema bi-fuel.....	33
1.7.	Bomba de agua.....	34
1.7.1.	Elementos De Una Bomba Centrífuga.....	34
1.8.	Compresor de aire.....	35

## **CAPÍTULO II**

<b>2.</b>	<b>DISEÑO DEL GRUPO DE BOMBEO.....</b>	<b>37</b>
2.1.	Generalidades.....	37
2.2.	Esquema del biodigestor hacienda san francisco.....	38
2.2.1.	Ubicación del área de trabajo.....	39
2.3.	Dimensionamiento del grupo de bombeo.....	40
2.3.1.	Bomba de agua.....	40
2.3.2.	Motor diésel.....	40
2.4.	Calculo de la potencia requerida en la bomba IHM 8x40x2 PE.....	41
2.4.1.	Calculo de las pérdidas de presión en la tubería.....	42
2.4.2.	Calculo de la potencia requerida en la bomba.....	44
2.5.	Selección del sistema de transmisión por bandas.....	44
2.6.	Diseño de la estructura para la sujeción del motor a diésel.....	47
2.7.	Selección del sistema “bi-fuel”.....	48
2.8.	Sistema eléctrico del grupo de bombeo.....	49
2.8.1.	Acondicionamiento de un motor diésel para su funcionamiento como motor estacionario.....	49
2.8.2.	Adaptación del sistema eléctrico del motor para la conexión del bi-fuel.....	50
2.8.3.	Circuito de conexión del sistema bi-fuel.....	50



2.9.	Diseño del tren de calibración de biogás para cumplir con los requerimientos del grupo de bombeo. ....	51
2.9.1.	Línea de biogás.....	54
2.9.2.	Dimensionamiento del filtro de h <sub>2</sub> s. ....	56
2.9.3.	Carácter toxico del H <sub>2</sub> S .....	56
2.9.4.	Corrosión causa por el H <sub>2</sub> S.....	57
2.10.	Dimensionamiento del compresor.....	58

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE. ....</b>	<b>61</b>
3.1.	Construcción y montaje del tren de calibración y el grupo de bombeo. ....	61
3.1.1.	Instalación de la línea de biogás para el tren de calibración.....	61
3.2.	Montaje del filtro de H <sub>2</sub> S.....	63
3.3.	Rehabilitación del separador de condensado. ....	64
3.4.	Rehabilitación del tanque de anti explosión. ....	65
3.5.	Construcción del chasis del motor a diésel. ....	65
3.6.	Acondicionamiento del motor diésel. ....	67
3.7.	Conexión del tablero de instrumentos. ....	68
3.8.	Pintado del motor y chasis. ....	69
3.9.	Cubierta del grupo de bombeo. ....	69
3.10.	Conexión de tubería de pvc del tanque anti explosión al motor. ....	70
3.11.	Conexión de compresor a la línea de biogás.....	71
3.12.	Conexión del bi-fuel. ....	72

### **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>RUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>73</b>
4.1.	Pruebas.....	73
4.1.1.	Consumo de diésel.....	73
4.1.2.	Funcionamiento como motor dual sin carga. ....	74
4.1.3.	Funcionamiento como motor dual con carga.....	76
4.2.	Resultados. ....	78

## **CAPÍTULO V**

<b>5. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL DISEÑO IMPLEMENTADO.....</b>	<b>83</b>
5.1. Análisis financiero.....	83
5.1.1. Lista de materiales usados. ....	83
5.1.2. Flujo de caja. ....	88
5.1.3. Cálculo del van, tir y tiempo de recuperación. ....	90
5.2. Calculo del valor actual neto (VAN).....	90
5.2.1. Calculo De La Tasa De Interés De Retorno (TIR).....	91
5.2.2. Tiempo de recuperación de la inversión. (TR) ....	92
5.3. Análisis financiero.....	93

## **CAPÍTULO VI**

<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>94</b>
6.1. Conclusiones. ....	94
6.2. Recomendaciones.....	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
ANEXOS.....	102

ANEXO A. BOMBA CENTRIFUGA IHM IGNACIO GOMES

ANEXO B. CHASIS DEL MOTOR A DIÉSEL.

ANEXO C. CROMATOGRAFÍA REALIZADO POR LA ESCUELA  
POLITÉCNICA NACIONAL

ANEXO D. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL CUARTO DE MAQUINAS.

ANEXO E. KIT BI-FUEL.

ANEXO F. SELECCIÓN DE TUBERÍA DE PVC PLASTIGAMA.

ANEXO G. SELECCIÓN DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1.	Área de trabajo con el grupo de bombeo.....	2
Figura 1. 2.	Biodigestor Hacienda San Francisco.....	4
Figura 1. 3.	Circuito de funcionamiento de un motor diésel. ....	8
Figura 1. 4.	Funcionamiento de un motor diésel de cuatro tiempos. (A, B, C, D, E, F, G, H.).....	11
Figura 1. 5.	Procedimiento diésel; trabajo de cuatro tiempos. ....	12
Figura 1. 6.	Vista de la parte superior de una culata mostrando colas y muelles de las válvulas. (Caterpillar Tractor Co.) .....	12
Figura 1. 7.	Vista de la parte superior de una culata mostrando colas y muelles de las válvulas. (Caterpillar Tractor Co.) .....	13
Figura 1. 8.	Vista de la parte inferior de una culata mostrando las cabezas de las válvulas. (Caterpillar Tractor Co.) .....	14
Figura 1. 9.	Bloque de un motor con sus camisas. (Caterpillar Tractor Co.).....	14
Figura 1. 10.	Camisa de cilindros. (Caterpillar Tractor Co.) .....	15
Figura 1. 11.	Bloque contemplado boca abajo. (Caterpillar Tractor Co.) .....	15
Figura 1. 12.	Casquillos de un cojinete principal. (Caterpillar Tractor Co.).....	16
Figura 1. 13.	Cigüeñal. (Caterpillar Tractor Co.).....	16
Figura 1. 14.	Árbol de levas. (Caterpillar Tractor Co.) .....	17
Figura 1. 15.	Pistón y biela con camisa. (Caterpillar Tractor Co.).....	18
Figura 1. 16.	Bomba inyectora, tubo de combustión, inyector y cámara de pre-combustión. (Caterpillar Tractor Co.) .....	19
Figura 1. 17.	Sistema de regulador conectado al grupo de la bomba inyectora. (Caterpillar Tractor Co.).....	19
Figura 1. 18.	Inyector y cámara de pre-combustión. ....	20
Figura 1. 19.	Pistón con soporte de aro prensado.....	21
Figura 1. 20.	Biela con el pie dividido oblicuamente. ....	21
Figura 1. 21.	Volante motor. ....	22
Figura 1. 22.	Sistema de admisión.....	23
Figura 1. 23.	Turbo Compresor. ....	24
Figura 1. 24.	Inyección del combustible a la cámara de combustión. ....	25

Figura 1. 25.	Proceso de combustión en la cámara de combustión. ....	27
Figura 1. 26.	Flujo de aceite de lubricación. ....	28
Figura 1. 27.	Esquema de refrigeración de un motor.....	30
Figura 1. 28.	Sistema eléctrico con precalentamiento de un motor a diésel. ....	31
Figura 1. 29.	Motor de arranque. ....	31
Figura 1. 30.	Partes del alternador. ....	33
Figura 1. 31.	Kit Bi-Fuel. ....	34
Figura 1. 32.	Partes de una bomba centrífuga. ....	35
Figura 1. 33.	Valor de compresibilidad de algunos gases.....	36
Figura 2. 1.	Ubicación Hda. San Francisco, Google Maps. ....	37
Figura 2. 2.	Esquema de construcción del biodigestor. ....	38
Figura 2. 3.	Tanque de nivel de agua con su tubería de dos pulgadas. ....	39
Figura 2. 4.	Área a intervenir para la instalación del proyecto.....	39
Figura 2. 5.	Diseño estructural. ....	48
Figura 2. 6.	Sistema de conversión diésel a Bi-Fuel.....	48
Figura 2. 7.	Diagrama de conexión del tablero de instrumentos. ....	49
Figura 2. 8.	Regulador de voltaje de 24 a 12 Vcd. ....	50
Figura 2. 9.	Diagrama de bloques del circuito eléctrico con sus colores de cable. ....	50
Figura 2. 10.	Tanque de 200 litros de volumen. ....	58
Figura 2. 11.	Viruta Frix 200 g referencia 7128.....	58
Figura 2. 12.	Tabla de selección de compresor. ....	59
Figura 2. 13.	Compresor de aire marca Porten.....	59
Figura 3. 1	Esquema del Tren de calibración. ....	61
Figura 3. 2.	Esquema tren de calibración Solid Works.....	62
Figura 3. 3.	Acople de la tubería.....	62
Figura 3. 4.	Línea de biogás. ....	63
Figura 3. 5.	Tubería perforada en la parte inferior. ....	63
Figura 3. 6.	Filtro de H <sub>2</sub> S terminado.....	64
Figura 3. 7.	Trampa de condensado rehabilitado.....	64
Figura 3. 8.	Tanque de anti explosión.....	65
Figura 3. 9.	Soldado de las juntas de los materiales del chasis. ....	66

Figura 3. 10.	Estructura del chasis con bases para el motor. ....	66
Figura 3. 11.	Chasis terminado con su radiador y soporte de instrumentos. ....	67
Figura 3. 12.	Adaptación del tubo de escape.....	67
Figura 3. 13.	Tanque de combustible.....	68
Figura 3. 14.	Conexión del tablero de instrumentos.....	69
Figura 3. 15.	Motor y chasis pintado. ....	69
Figura 3. 16.	Construcción de la estructura del cuarto de máquinas. ....	70
Figura 3. 17.	Cuarto me maquinas terminada. ....	70
Figura 3. 18.	Adaptación del tanque anti-explosión a la casa de máquinas.....	71
Figura 3. 19.	Adaptación del compresor. ....	71
Figura 3. 20.	Montaje del bi-fuel al chasis. ....	72
Figura 3. 21.	Conexión de accesorios al bi-fuel. ....	72
Figura 4. 1.	Toma de la muestra de consumo.....	74
Figura 4. 2.	Toma de la muestra de consumo del diésel sin carga ....	76
Figura 4. 3.	Toma de muestra de consumo de motor dual. ....	77
Figura 4. 4.	Gasómetro instalado y contando el consumo de biogás. ....	78
Figura 4. 5.	Toma de la muestra de biogás.....	79
Figura 4. 6.	Chasis cumpliendo con las cargas sometidas. ....	81
Figura 4. 7.	Perilla de la regulación de la velocidad de activación del BI-FUEL.....	82
Figura 5. 1.	Tasa del Banco Central Del Ecuador. ....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1.	Composición Del Biogás.....	6
Tabla 1. 2.	Equivalencia Energética 1 m <sup>3</sup> del Biogás. ....	7
Tabla 2. 1.	Bitacora de producción de biogás en la hacienda San Francisco.....	38
Tabla 2. 2.	Porcentaje de pérdida de oxígeno por altura msnm. ....	40
Tabla 2. 3.	Altura y área de la parroquia José Guango Bajo.....	40
Tabla 2. 4.	Características motor diésel ISUZU ELF 250 TLD.....	41
Tabla 2. 5.	Consumo en diésel. ....	51
Tabla 2. 6.	Cromatografía. ....	51
Tabla 2. 7.	Consumo diésel en poder calorífico. ....	52
Tabla 2. 8.	Sistema motor dual diésel 70%.....	52
Tabla 2. 9.	Sistema motor dual 30%.....	52
Tabla 2. 10.	Datos iniciales. ....	53
Tabla 2. 11.	Datos Técnicos De Reemplazo En Ecuación De Weymouth.....	55
Tabla 2. 12.	Datos técnico del compresor Porten.....	60
Tabla 4. 1.	Consumo de diésel. ....	73
Tabla 4. 2.	Consumo de diésel. ....	73
Tabla 4. 3.	Consumo de diésel. ....	74
Tabla 4. 4.	Consumo en diésel. ....	74
Tabla 4. 5.	Consumo como motor dual a 43.51 PSI.....	75
Tabla 4. 6.	Consumo en diésel. ....	75
Tabla 4. 7.	Consumo como motor dual a 25 PSI.....	75
Tabla 4. 8.	Consumo en diésel. ....	76
Tabla 4. 9.	Consumo como motor dual a 120 Kpa (1.2 BAR).....	76
Tabla 4. 10.	Consumo de diésel con carga.....	77
Tabla 4. 11.	Consumo del motor Dual con carga.....	77
Tabla 4. 12.	Cromatografía del biogás que entrega el biodigestor.....	79
Tabla 4. 13.	Cromatografía del biogás que entrega del filtro de H <sub>2</sub> S.....	80
Tabla 4. 14.	Porcentajes de efectividad. ....	80
Tabla 5. 1.	Materiales del chasis. ....	83

Tabla 5. 2.	Materiales eléctricos.....	84
Tabla 5. 3.	Acondicionamiento del motor a diésel.....	84
Tabla 5. 4.	Materiales del filtro de H <sub>2</sub> S.....	85
Tabla 5. 5.	Bombeo, succión y descarga.....	86
Tabla 5. 6.	Inversión total materia prima directa (MPD).....	86
Tabla 5. 7.	Mano de obra directa.....	87
Tabla 5. 8.	Inversión total.....	87
Tabla 5. 9.	Costo de autoabastecimiento.....	87
Tabla 5. 10.	Mano de obra del operador.....	88
Tabla 5. 11.	Costos de operación.....	88
Tabla 5. 12.	Ahorro de combustible.....	88
Tabla 5. 13.	Inversión total para un año de proyecto.....	88
Tabla 5. 14.	Cuadro de amortización de préstamos.....	89
Tabla 5. 15.	Flujo de caja.....	90
Tabla 5. 16.	Calculo del VAN.....	91
Tabla 5. 17.	Datos del VAN, TIR y TR.....	93

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1.	Potencia del motor.....	41
Ec. 2.	Velocidad promedio. ....	42
Ec. 3.	Numero de reynolds. ....	42
Ec. 4.	Perdidas de presion.....	43
Ec. 5.	Rugosidad relativa.....	43
Ec. 6.	Potencia de la bomba.....	44
Ec. 7.	Relacion de velocidad. ....	44
Ec. 8.	Potencia de diseño.....	45
Ec. 9.	Relacion de velocidad. ....	45
Ec. 10.	Potencia especifica. ....	46
Ec. 11.	Longitud de banda.....	46
Ec. 12.	Angulo de la envolvente.....	46
Ec. 13.	Numero de bandas.....	47
Ec. 14.	Consumo poder calorifico. ....	53
Ec. 15.	Flujo de biogás.....	54
Ec. 16.	Ecuacion de Weymouth.....	54
Ec. 17.	Diametro de la tuberia. ....	55
Ec. 18.	Volumen de consumo.....	67
Ec. 19.	Calculo del VAN.....	91
Ec. 20.	Calculo de la TIR.....	92
Ec. 21.	Tiempo de retorno de la inversion. ....	92
Ec. 22.	Tiempo de recuperacion. ....	92



## RESUMEN

Este proyecto presenta el diseño, desarrollo e implementación de un grupo de bombeo en la Hacienda San Francisco, el cual tendrá la capacidad de bombear 200 litros por segundo, a través de un motor a diésel con la adaptación de un kit Bi-Fuel que permite realizar la mezcla Aire-Biogás que ingresa por la cámara de admisión reemplazando un 30% de consumo de diésel, el equipo Dual es fácil de usar donde cualquier persona podrá tener acceso a la operación del mismo sin tener ningún problema de manipulación. Se implementó un filtro de purificación que permite separar el H<sub>2</sub>S del biogás, se rehabilito el condensador propio del biodigestor que reduce el porcentaje de agua existente en el biogás, también se rehabilito el tanque de anti explosión que estaba deteriorado que ayuda a sofocar la llama en caso de que exista un fuego, la línea de biogás permitió unir los elementos antes mencionados al biodigestor y al motor dual. El grupo de bombeo logra actuar sobre cuatro aspersores, los mismos que son cambiados de sitio cada dos horas para cubrir toda el área de riego. Cabe recalcar que la adaptación del kit Bi-Fuel no afectó en nada a las condiciones de trabajo del motor diésel, fue necesario usar un compresor para dar una presión mínima de 120 Kpa para el encendido del kit Bi-Fuel y pueda trabajar con normalidad.

### PALABRAS CLAVE

- **BIOCOMBUSTIBLES.**
- **BIOGÁS.**
- **MOTORES DIÉSEL.**
- **RIEGO POR BOMBEO.**

## ABSTRACT

This work presents the design, development and implementation of a pumping group at San Francisco Farm, which will have the capacity of pumping 200 liters per second, through a diesel engine with adaptation of a Bi-Fuel kit which let to perform the air- biogas which as through by the admission camera replacing 30% of diesel consumption, the Dual equipment is easy to use where anyone can have access to the same operation without any problems of handling. It was implemented a purification filter which permits to separate the H<sub>2</sub>S from biogas, it was rehabilitate the condenser belonging to the biodigester that reduces the percentage of water present in the biogas, it was also rehabilitated, anti-tank explosion that was run that also helps to put out the flame in case that there is a fire, the biogas line allowed to join the elements before men training to the digester and the dual motor. The pump group achieves to act upon four sprinklers, the same which are changed from the place every two hours to cover the entire area of irrigation. It is important to mention that the adaptation of the Bi-Fuel kit did not detract from the working conditions of the diesel engine, it was necessary to use a compressor to a give minimum pressure of 120 kPa to turn on the Bi-Fuel kit and can work normally

## KEYWORDS

- **BIOFUELS.**
- **BIOGAS.**
- **DIESEL ENGINES.**
- **PUMP IRRIGATION.**

## CAPÍTULO I

### 1. ASPECTOS GENERALES

#### 1.1. Generalidades.

##### 1.1.1. Antecedentes.

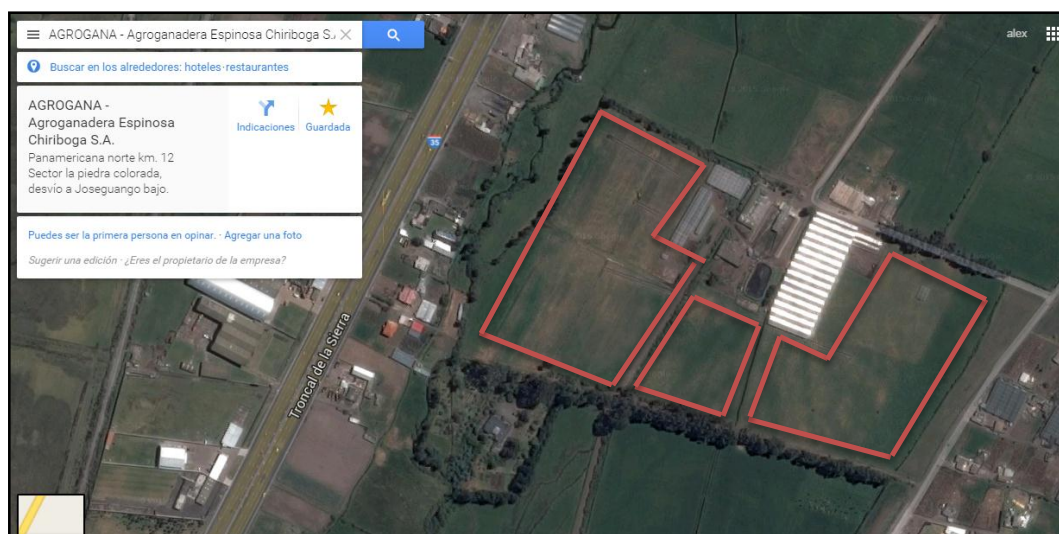
En los últimos años la contaminación al medio ambiente ha venido creciendo de una forma muy acelerada, siendo los combustibles fósiles uno de los primeros agentes de mayor contaminación, sumando los costos que involucran para su obtención y extracción.

Para opacar este problema mundial, la misma naturaleza nos brinda el poder de lograr convertir los elementos orgánicos en una fuente de energía limpia y segura para el medio ambiente y los equipos mecánicos.

En una gran lucha para reducir los gases de efecto invernadero producidos por las actividades agropecuarias y el uso de los derivados del petróleo de las que se obtienen energía, afectando considerablemente a lo social, económico y técnico, una de las formas más óptimas para aprovechar los residuos contaminantes en recursos valiosos es el uso de biodigestores.

##### 1.1.2. Planteamiento del problema.

La Hacienda San Francisco está dedicada a la ganadería con un promedio de 200 cabezas de ganado en una área de 100 hectáreas de terreno, y cuenta con un digestor de una producción de biogás alrededor de  $50 m^3$ . La figura 1.1 muestra el área a trabajar.



**Figura 1. 1. Área de trabajo con el grupo de bombeo.**

**Fuente: [1]**

La Hacienda para lograr tener el ganado en buen estado tiene 80 hectáreas de terreno con riego las mismas que están comandadas por bombas eléctricos de 50 HP de potencia (37.3kw), que mantienen el pasto en buen estado, de aquí surge un gran inconveniente económico en el pago de las planillas eléctricas que se encuentra en \$ 895.2 dólares americanos por cada bomba, de aquí nace la idea de este tema de tesis, para lograr ahorrar este consumo de energía con el uso de biogás.

El presente proyecto tiene como finalidad la implementación de un motor a diésel con adaptación a biogás para su funcionamiento y lograr el acople de una bomba de agua y cumplir con la necesidad del riego, logrando de esta manera cumplir con las energías renovables.

### **1.1.3. Objetivo general.**

DESARROLLAR UN SISTEMA QUE PERMITA UTILIZAR EL BIOGÁS COMO SUSTITUTO DEL DIÉSEL EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIÉSEL.

#### 1.1.4. Objetivos específicos.

- Determinar la calidad de biogás entregada por el biodigestor.
- Determinar la metodología de acondicionamiento del biogás hacia el motor diésel.
- Determinar un método de purificación de biogás económico y eficiente, para la eliminación del ácido sulfhídrico.
- Determinar las condiciones de Presión, Temperatura y caudal ( $H_2S$ ,  $CH_4$ ).
- Determinar los condensados producidos por los cambios físicos del biogás.
- Acondicionar un motor de combustión interna a diésel para que funcione ya sea a biogás o diésel.
- Dimensionar la línea de conducción de biogás con los parámetros necesarios para un motor de combustión interna a diésel.

#### 1.1.5. Justificación.

Por su gran producción de biogás que se obtiene del biodigestor de la hacienda San Francisco, se puede optimizar el uso de este recurso para el encendido de un motor de combustión interna a diésel, el cual permitirá aprovechar el biogás para lograr tener energía mecánica y poder acoplar una bomba agua para satisfacer las necesidades de la hacienda San Francisco.

Los beneficios son varios, tanto económicos como medioambientales ya que un equipo acondicionado a biogás esta alrededor de los \$70.000 dólares americanos esto sumado a costos de envío y transporte ya que en el país no existen, y medioambientales por que ayuda a reducir la contaminación ( $CO_2$ ) al ambiente en la quema de biogás, además ésta investigación pondrá en la mira a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE con este tipo de tecnologías en energías renovables de BIOMASA.

### 1.1.6. Alcance y metas.

- Información necesaria para la ejecución del proyecto.
- Realizar el tratamiento necesario del biogás entregado por el biodigestor.
- Diseñar los sistemas de regulación, purificación y manejo del biogás.
- Modificar la alimentación de biogás para aprovechamiento en el motor de combustión interna.
- Pruebas y ajustes de funcionamiento.

### 1.2. Biodigestor

También llamado planta de biogás, se compone de un tanque de homogenización o carga, una bomba (opcional), el tanque de biodigestión, un mezclador o agitador, tuberías de captación de biogás, el recipiente para almacenar biogás (puede estar integrado en el mismo biodigestor), tanque de descarga, tuberías, válvulas de seguridad, lechos de secados de lodos, filtro de remoción de  $H_2S$ , quemadores de biogás, equipos para combustión (calderas, incineradores, etc.) y/o generadores de energía eléctrica o calor (CHP). [2]

Dando como resultado que el biodigestor es un elemento amigable ecológicamente por su proceso anaeróbico actuando como un pulmón, la figura 1.2, muestra el biodigestor que se encuentra ubicado en la Hacienda San Francisco donde descompone la materia orgánica convirtiéndola en biogás y fertilizante, logrando satisfacer una necesidad en energía.



**Figura 1. 2. Biodigestor Hacienda San Francisco.**

### **1.2.1. Beneficios de los biodigestores.**

Los biodigestores y su biomasa como uso energético tienen algunas ventajas, tanto para el propietario como para la sociedad en sí. Una de las grandes ventajas es la economía, logrando reducir los costos de energía eléctrica y consumo de combustibles fósiles, que debe adquirir para lograr el funcionamiento de los equipos utilizados para la agroindustria.

Otra ventaja que podemos dar a conocer, es el uso de excrementos de animales (pollos, ganado, cerdos, etc.), desechos de basura y residuos orgánicos, convirtiéndolos en subproductos que se transforman en recursos como es el bio-abono y el biogás.

En ayuda con la ecología, el biodigestor se comporta como un reciclador de desechos orgánicos a un costo muy bajo, con su proceso de digestión anaeróbica reduce olores molestos y elimina casi en su totalidad los gérmenes y microorganismos, los lodos resultantes son fertilizantes los cuales ayudan al suelo con abonos de gran calidad, y al agua al evitar verter residuos orgánicos, al aire y la atmósfera reduciendo el efecto invernadero y las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ).

### **1.3. Aprovechamiento del biogás.**

Es un gas que contiene gran cantidad de metano, y es un combustible natural no fósil de alto poder calorífico, este gas se lo puede usar en todas las áreas como reemplazo de combustible fósil, como puede ser en generadores térmicos a base de combustible diésel y gasolina, para brindar calor donde esté presente el uso del GLP (gas licuado de petróleo), para calderas, turbinas, etc.

### 1.3.1. Características del biogás.

El poder calorífico del biogás es de 4700 a 5500 kcal/m<sup>3</sup> o 5-7kWh/m<sup>3</sup>, dependiendo del contenido de gas metano (CH<sub>4</sub>) se puede generar una cantidad de calor equivalente a 22000 BTU/m<sup>3</sup> o 21.5 MJ/m<sup>3</sup>. Su temperatura de auto-ignición es similar a la del metano puro y varía de 650-750 °C. Un m<sup>3</sup> biogás que se aprovecha en un generador de energía eléctrica es suficiente para hacer funcionar un motor de 3 HP durante 1 hora, todos estos valores dependen considerablemente de la eficiencia de los equipos que se utilizan para el aprovechamiento del biogás. [3]. La Tabla 1.1 se muestran los componentes del biogás.

**Tabla 1. 1.**

#### **Composición Del Biogás.**

COMPONENTE	UNIDAD	CONTENIDO
Metano	%	60 – 70
Dióxido de carbono	%	30 – 40
Hidrogeno	%	5 – 10
Nitrógeno	%	1 – 2
Oxígeno	%	0,1
Sulfuro de hidrogeno	%	0,1 – 2
Saturación con vapores de agua	%	80 – 100

**Fuente: [3]**

La Tabla 1.2 indica las equivalencias energéticas que posee el biogás con respecto a otros combustibles, y se puede apreciar que el biogás como combustible es muy aceptable para lograr su uso como un reemplazo de un combustible fósil, y aprovechar las bondades mecánicas que nos brindan los motores a Diésel y así ayudar al medio ambiente a reducir la contaminación que ya está muy deteriorado por la falta de conciencia del hombre con el mismo.



**Tabla 1. 2.****Equivalencia Energética 1m<sup>3</sup> del Biogás.**

<b>CANTIDAD EQUIVALENTE</b>	<b>TIPO DE BIOMASA O SUSTRATO</b>	<b>CAPACIDAD ENERGÉTICA</b>
0,6 kg	Diésel	12 kWh/m <sup>3</sup>
0,7 kg	Carbón	8,5 kWh/m <sup>3</sup>
0,6 m <sup>3</sup>	Gas natural	5,3 kWh/m <sup>3</sup>
0,24 m <sup>3</sup>	Gas propano	25 kWh/m <sup>3</sup>
1 m <sup>3</sup> biogás	Generación eléctrica	2,2 kWh
1,43 kg	Madera	4,5 kWh

**Fuente: [3]**

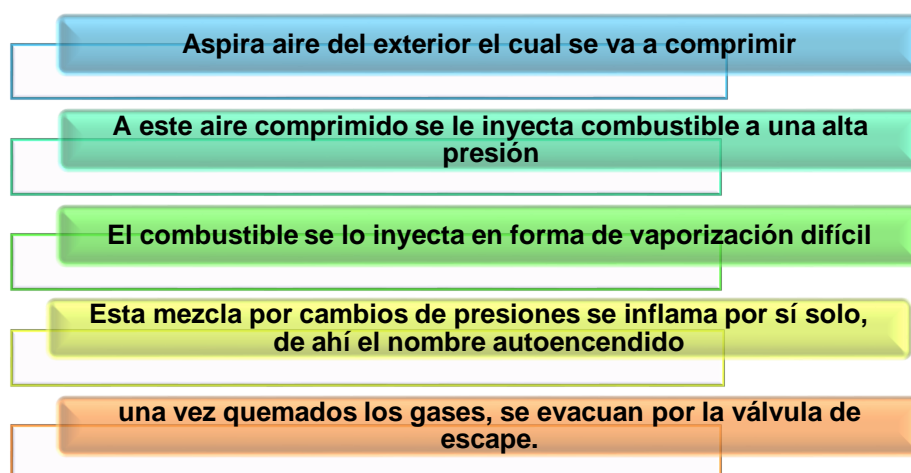
De acuerdo a esta tabla de tipos de combustibles se puede continuar con el análisis de las partes y componentes de un motor a diésel, para lograr su adecuación necesaria y usar el biogás como un combustible de reemplazo.

**1.4. Motores diésel.**

El motor de combustión interna es el encargado de proporcionar energía mecánica, para lograr que un vehículo salga del reposo dando como resultado un desplazamiento, por ello se ha considerado, usar un motor diésel que transforma la energía química entregada por el combustible diésel en energía mecánica de trabajo y aprovechar este cambio para usar en el giro de una bomba de agua.

**1.4.1. Análisis del funcionamiento de un motor diésel.**

El motor diésel dispone un ciclo de trabajo en un instante de tiempo que se la explica de la siguiente figura 1.3.



**Figura 1. 3. Circuito de funcionamiento de un motor diésel.**

El motor diésel por su forma de trabajar y operar tiene sus tiempos de trabajo que van del PMS (punto muerto superior.) al PMI (punto muerto inferior), que son: tiempo admisión, tiempo de compresión, tiempo de expansión, tiempo de escape, que ayudan al motor a trabajar de forma óptima, a continuación se explican los cuatro tiempos.

#### **1.4.2. Los cuatro tiempos del ciclo de trabajo.**

##### **a) Carrera de Admisión**

Comenzando con la figura 1.4 A, vemos que el pistón se encuentra en el extremo superior del cilindro y dispuesto para aspirar una carga de aire. La válvula de admisión está abierta y la otra válvula está cerrada. El cigüeñal está girando hacia la derecha y hacia abajo y arrastra consigo la biela, y esta, a su vez, arrastra consigo el pistón. De esta forma, el pistón desciende por el interior del cilindro tal como se muestra en la figura 1.4 B, y aspira una carga de aire nuevo a través de la válvula de admisión.

Cuando el pistón llega al extremo inferior de su carrera, la válvula de admisión se cierra, como se indica en la figura 1.4 C. en este momento, el cilindro se encuentra lleno de aire nuevo. En la figura 1.4 A, B y C se representa el inicio, el punto medio

y el final de la carrera de admisión. Esta carrera se llama también carrera de aspiración (solo en los motores no sobrealimentados).

#### **b) Carrera de Compresión.**

La figura 1.4 C muestra asimismo la posición en la cual el pistón se encuentra a punto de iniciar la compresión de la carga de aire. Cuando la manivela gira hacia la izquierda y hacia arriba, igualmente la biela empuja hacia arriba al pistón, tal como se representa en la figura 1.4 D. ahora ambas válvulas están cerradas y el aire no puede escaparse, y por tanto se reduce el espacio que ocupa. Con ello, aumenta la presión del aire y también su temperatura, por lo que cuando el pistón llega al extremo superior de su carrera (figura 1.4 E) el aire ocupa solo 1/16 aproximadamente del espacio que ocupaba inicialmente y su temperatura se habrá eleva unos 550 °C o más. El proceso, que se presenta en las figuras 1.4 C, D y E, reciben el nombre de carrera de compresión.

#### **c) Carrera de Combustión.**

En este momento, el aire se encuentra a tal temperatura que automáticamente inflamara al combustible cuando este sea pulverizado y dispersado en su seno. En la figura 1.4 E se representa la entrada del corro de combustible con el aire, el combustible se quema con rapidez, y este proceso de combustión engendra más calor, calentándose aún más la mezcla combustible. Como esta masa de gases calientes está confinada entre el pistón y el cilindro, su presión aumenta también y esta se transmite a la superficie superior del pistón impulsándolo hacia abajo en la carrera motriz, o de combustión.

En el instante que el pistón llega a la posición representada en la figura 1.4 F, la totalidad del aceite pesado ha sido pulverizado y ha terminado de quemarse. Entonces, los gases calientes ocuparan un espacio mayor (puesto que el pistón ha descendido), y por tanto puede decirse que están en expansión. Por ello, a veces esta carrera se llama también carrera de expansión.

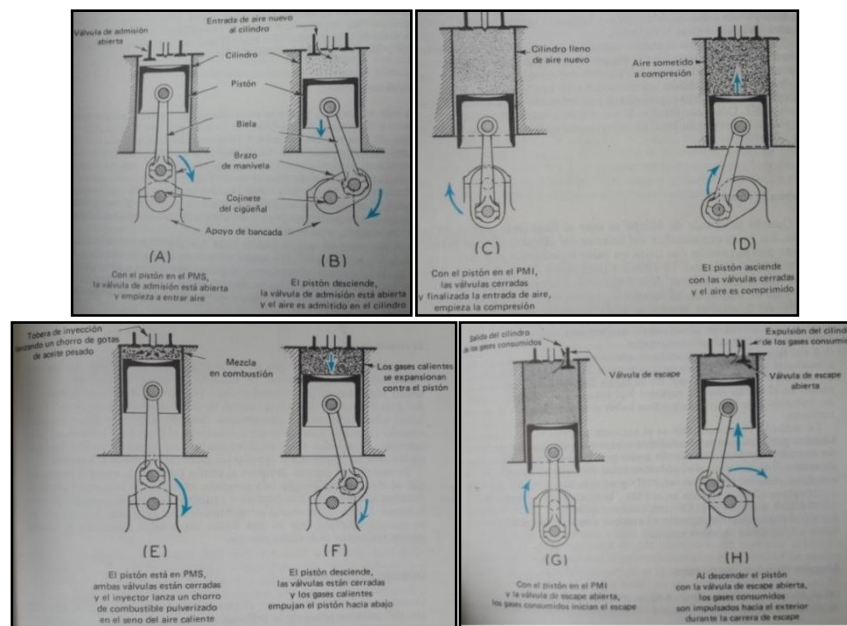
El pistón continúa descendiendo bajo el impulso de los gases calientes en expansión, pero estos pierden presión y se enfrían. Mientras tanto, la presión de los gases sobre el pistón se habrá estado transmitiendo a la manivela a través de la biela y la fuerza ejercida sobre la manivela habrá obligado a girar al cigüeñal.

Poco antes de que el pistón alcance el punto muerto inferior de la carrera de combustión, la válvula de escape es abierta mecánicamente y los gases consumidos, con la mayoría del calor y de la presión perdidos a causa de la expansión, comienzan a salir por la válvula de escape. (Generalmente, los gases consumidos son lanzados al exterior.) Véase la figura 1.4 G. con esto finaliza la carrera de combustión, que se inicia con el pistón en el punto muerto superior, tal como se representa en la figura 1.4 D.

#### **d) Carrera de Escape.**

Cuando la válvula de escape se abre al final de la carrera de combustión, los gases consumidos del interior del cilindro salen al exterior solo hasta que su presión cae hasta un valor ligeramente superior al de la presión del aire exterior. El cilindro permanece lleno de gases de combustión que deben vaciarse para dejar sitio a la carga de aire nuevo siguiente. Esto se realiza en la carrera siguiente, que se representa en la figura 1.4 H, en la cual el pistón se eleva mientras la válvula de escape está abierta. Cuando el pistón alcance el punto muerto superior, los gases consumidos habrán sido expulsados en su totalidad y habrá finalizado la carrera de escape. [4]

Una vez realizado todos estos pasos, el ciclo regresa a su inicio, para dar comienzo a un nuevo ciclo de trabajo.

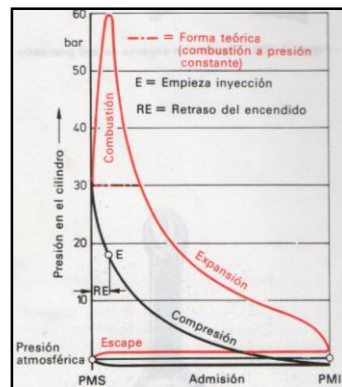


**Figura 1. 4. Funcionamiento de un motor diésel de cuatro tiempos. (A, B, C, D, E, F, G, H.)**

**Fuente: [4]**

Los motores diésel a más de tener estos cuatro tiempos de trabajo existen otras características, el momento de giro desarrollado con carga parcial o plena carga del motor diésel no varía mucho con el número de revoluciones del motor. Debido a que el llenado es uniformemente bueno en casi para todo el intervalo de revoluciones, incluso a bajo régimen los momentos de giro producidos son relativamente grandes. El máximo número de revoluciones se limita por el retraso de encendido existente. El combustible del motor diésel ofrece menor peligro de incendio que el combustible del motor Otto. Los gases de escape de los motores diésel contienen mucho menos CO (monóxido de carbono) que de los motores Otto. [4]

En la Figura 1.5 se muestra el ciclo termodinámico que estos motores diésel cumplen:

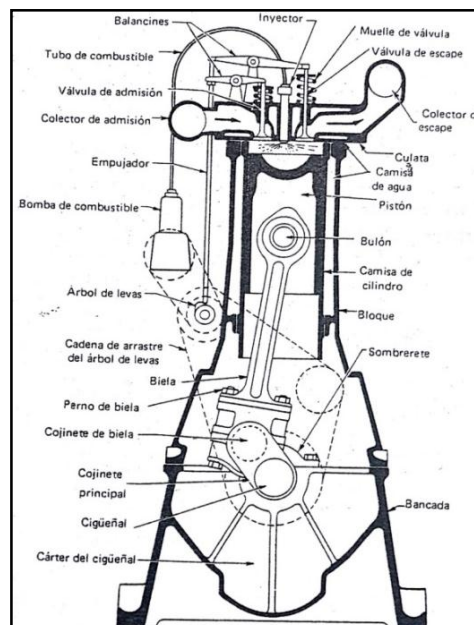


**Figura 1. 5. Procedimiento diésel; trabajo de cuatro tiempos.**

**Fuente: [5]**

### 1.4.3. Constitución básica de los motores diésel.

Debemos tener clara las partes más importantes que conforman un motor diésel, y poder entender de una mejor forma lo expuesto anteriormente sobre los tiempos de trabajo del mismo, reconociendo los elementos que hacen posible transformar la energía química en energía mecánica, como nos muestra la figura 1.6.



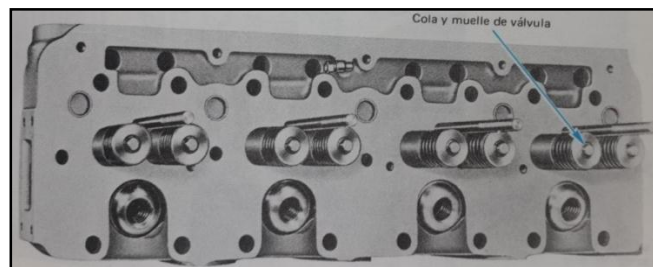
**Figura 1. 6. Vista de la parte superior de una culata mostrando colas y muelles de las válvulas. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**

Todo ocurre en los cilindros de los motores diésel, con el ingreso del combustible pulverizado a una alta presión, provocada por la bomba de inyección de combustible y se encuentra con el aire expuesto a una presión muy elevada y de gran temperatura provocada por el movimiento ascendente del pistón, dando como resultado la inflamación de la mezcla produciendo gases de alta temperatura y muy elevada presión, estos gases provocan el movimiento descendente del pistón y al mismo tiempo provoca el movimiento de las bielas que están unidas con una manivela al cigüeñal, esta fuerza ejercida sobre la manivela obliga al cigüeñal a girar sobre sus cojinetes logrando así dar el movimiento mecánico necesario para realizar un trabajo, de este modo se llega a transformar las energías.

#### a. Culata.

Es la que ayuda a tapar herméticamente los cilindros sin dejar escapar el aire comprimido y los gases quemados logrando confinar los gases durante su combustión y explosión, en la figura 1.7 se pueden apreciar las colas y los muelles de las válvulas.

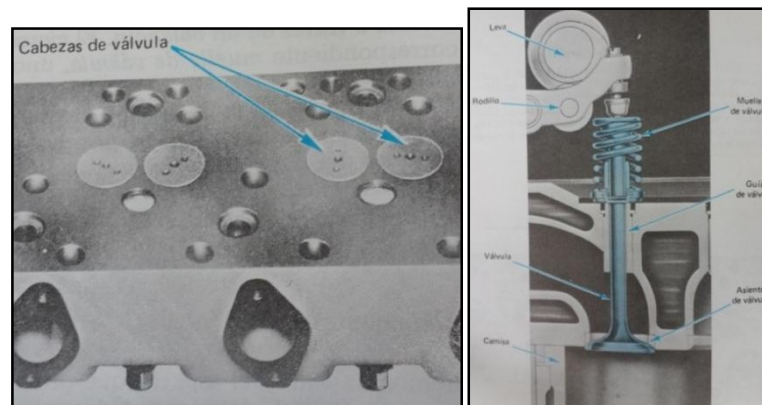


**Figura 1. 7. Vista de la parte superior de una culata mostrando colas y muelles de las válvulas. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**

#### b. Válvulas

Conocidas también como Lumbreras son elementos que permiten el ingreso del aire previamente purificado, y ayuda a evacuar los gases quemados dentro de la cámara de combustión, en la Figura 1.8 indica las cabezas de las válvulas.

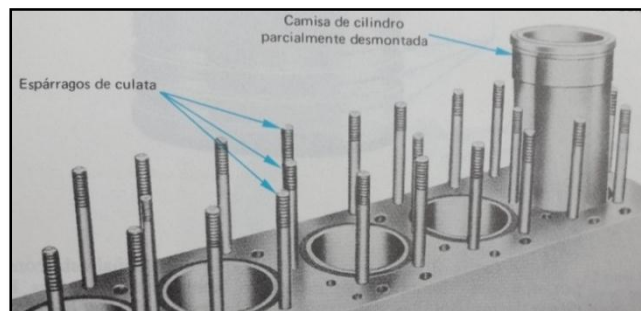


**Figura 1. 8. Vista de la parte inferior de una culata mostrando las cabezas de las válvulas. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**

### c. Bloque.

Es donde se encuentran las piezas firmemente centradas y unidas entre sí, en la Figura 1.9 se observa un cilindro parcialmente desmontado con sus espárragos de acoplamiento de la culata al bloque.



**Figura 1. 9. Bloque de un motor con sus camisas. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**

### d. Cilindros.

El bloque del motor diésel es robusto por tal razón necesita de camisas de cilindro, que posee una pestaña en su parte superior la cual le permite sujetarse al



bloque del motor, en la parte exterior e inferior consta de canales que le permiten que se alojen los anillos de caucho logrando una separación la cual es ocupada por el agua esto se observa en la Figura 1.10.

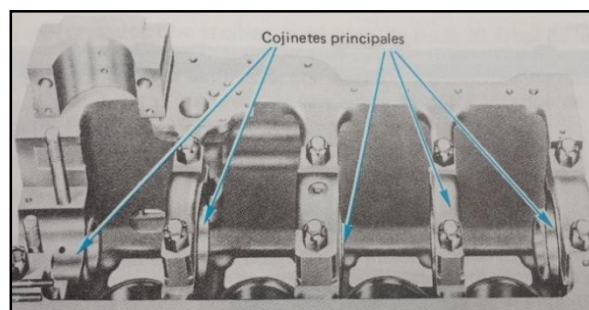


**Figura 1. 10. Camisa de cilindros. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**

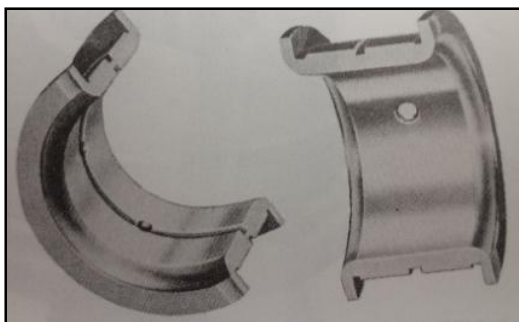
#### **e. Cojinetes.**

A continuación se tiene un bloque en sentido opuesto, logrando apreciar los cojinetes principales, y uno de ellos no dispone de su sombrerete, en la Figura 1.11 y Figura 1.12 se aprecian una pareja semi-casquillos de cojinete principal, donde va apoyado el cigüeñal y realiza el movimiento, son construidos de un material antifricción, los casquillos se asientan en los alojamientos de los cojinetes los que son desmontables para su reemplazo cuando este sea necesario.



**Figura 1. 11. Bloque contemplado boca abajo. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**



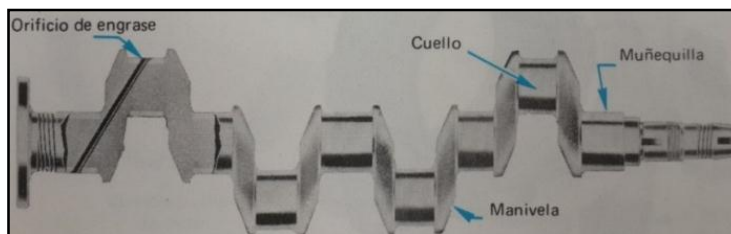
**Figura 1. 12. Casquillos de un cojinete principal. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**

#### **f. Cigüeñal**

Consta de muñequillas que le sirven como apoyo, existen dos clases de muñequillas, la primera es muñequillas de cojinetes principal (de bancada), y la segunda muñequilla de biela, suelen conocerlas como cuellos de biela, las muñequillas principales están situadas en la misma línea recta, y las segundas muñequillas están descentradas de acuerdo a las muñequillas principales y están sujetos por los brazos de manivela, a las cuales se les conoce como cigüeña y más corriente como manivelas.

Las manivelas sobresalen en distintas direcciones con el fin de espaciar adecuadamente los impulsos motrices de los distintos cilindros. En la Figura 1.13 hay que notar la lubricación desde la muñequilla principal hasta el cuello.

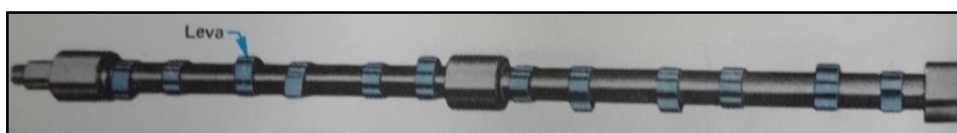


**Figura 1. 13. Cigüeñal. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**

### g. Árbol De Levas

Es accionada por el cigüeñal y este transmite el movimiento para accionar la bomba de combustible y abrir las válvulas. En la Figura 1.14 está el árbol de levas que es barra delgada y larga que posee una serie de deformaciones cuidadosamente conformados con el nombre de levas, y esta enlazado con el cigüeñal mediante engranajes o cadenas de transmisión y gira a la mitad de la velocidad que éste, las levas actúan sobre los empujadores y alzan las válvulas. [4]

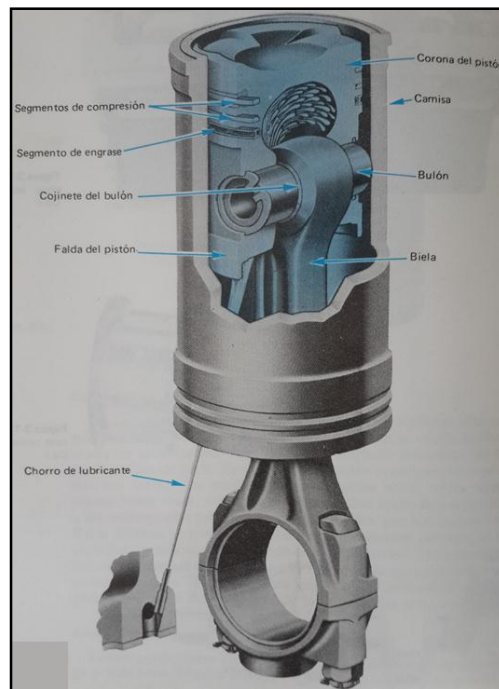


**Figura 1. 14. Árbol de levas. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**

### h. Conjunto de un pistón.

Es la agrupación de un pistón y biela que posee dos aros superiores que se les denomina segmentos de compresión, tiene la obligación de retener la presión de los gases por encima del pistón y mantenerla confinada. Un aro inferior denominado segmento de engrase, este cumple la acción de rasgar el exceso de lubricante que ingresa a las paredes del cilindro logrando el retorno del aceite al cárter del motor, si no se cumple esta acción los sobrantes de aceite se combustionarían con la mezcla en la cámara de combustión provocando la incineración del aceite y produciendo carbonilla. La Figura 1.15 muestra un chorro vertical de aceite que ayuda a enfriar la corona del pistón el cual se calienta por estar presente en la explosión de la mezcla del combustible, y también engrasa los cojinetes del bulón. Para este tipo de motores las paredes de los pistones son muy gruesas para soportar la presión de los gases y además trasmite el calor de la combustión de los gases a la corona.



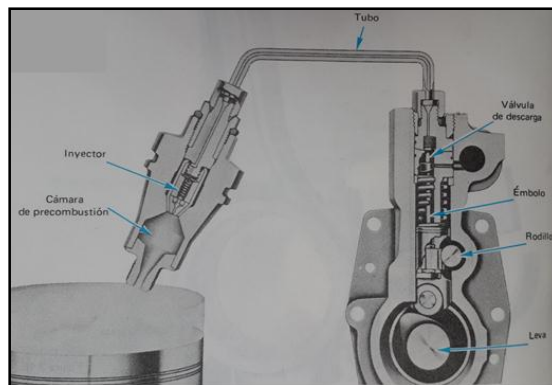
**Figura 1. 15. Pistón y biela con camisa. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**

### **i. Bomba De Inyección De Combustible**

Es la encargada de impulsar el combustible a una presión elevada al interior de los cilindros, las cuales están provistas de toberas de inyección que se encuentran en los inyectores logrando una pulverización del combustible, que muestra la Figura 1.16.

Las partes de la bomba son: la leva con su movimiento alza el rodillo, y al mismo tiempo se alza el émbolo, donde el mecanismo de regulación de combustible hace girar el émbolo controlando la cantidad de combustible necesario para su inyección. La válvula de descarga se encuentra situada por encima del émbolo.

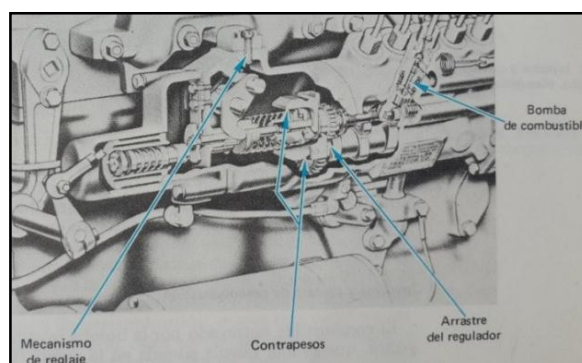


**Figura 1. 16. Bomba inyectora, tubo de combustión, inyector y cámara de pre-combustión. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**

#### **j. Regulador**

Es el que mantiene la velocidad constante del régimen del motor aun cuando varíe la carga se muestra en la figura 1.17, y trabaja de la siguiente manera: posee dos contrapesos que giran alrededor de un eje que se encuentra engranado al cigüeñal, el cual gira a una velocidad proporcional a la del motor. Cuando la velocidad aumenta los contrapesos se desplazan hacia el exterior alejándose del eje principal, este movimiento provocado es transmitido por un mecanismo articulado al mecanismo de mando de la bomba de inyección, de esta forma se da el ahorro de combustible inyectado y llevando al motor a su régimen normal.



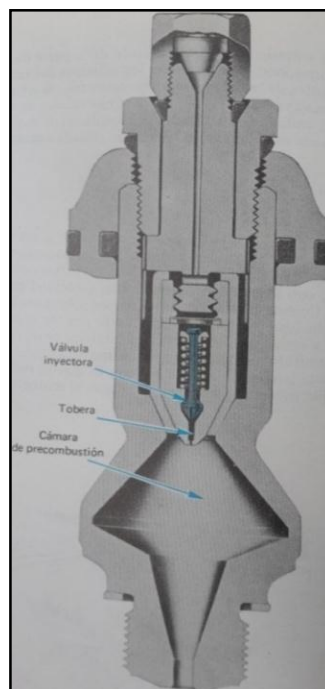
**Figura 1. 17. Sistema de regulador conectado al grupo de la bomba inyectora. (Caterpillar Tractor Co.)**

**Fuente: [4]**

### k. Inyector y cámara de pre combustión.

Una vez que la bomba inyectora ha entregado el combustible al inyector que funciona como válvula, y esta se encuentra en la culata tal como se ve en la Figura 1.18. Da comienzo a la inyección cuando la bomba ha creado una presión necesaria para que se abra dicha válvula, en el momento que alcanza las presiones deseadas, se lanza una porción de combustible por la tobera que se encuentra debajo de la válvula y sobre la cámara de pre-combustión, al cual ingresa el combustible en un chorro pulverizado.

Por tal razón el combustible se inflama parcialmente por las altas presiones y las altas temperaturas que se encuentra el aire, esta combustión parcial eleva la presión y la temperatura logrando entrar en contacto con la mezcla gasificada que penetra con gran fuerza en la cámara de combustión situada en la parte superior del pistón, donde recibe más aire, que al mezclarse íntimamente con ella completa la combustión del diésel.

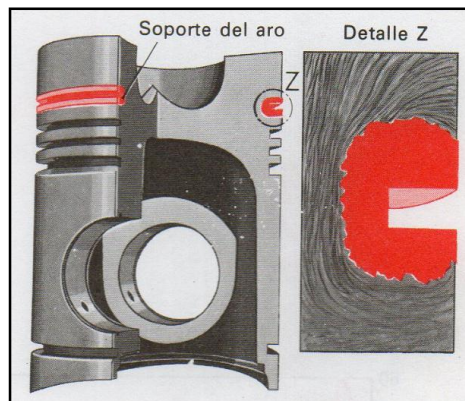


**Figura 1. 18. Inyector y cámara de pre-combustión.**

**Fuente: [4]**

## 1. Pistones.

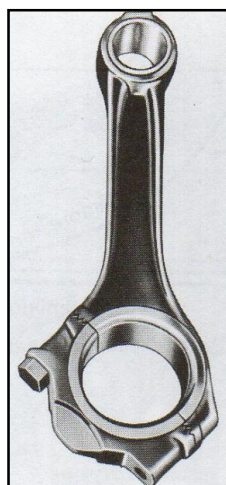
Los motores diésel están sometidos a altas compresiones, por lo tanto son más robustos y pesados, por lo cual los pistones se construyen auto-térmicos con la falda sin rebajos, y para disminución del juego de montaje se proveen de guarniciones de chapa de acero circulares o en forma de palanca tal como muestra la Figura 1.19.



**Figura 1. 19. Pistón con soporte de aro prensado.**

**Fuente: [5]**

Son de gran diámetro en los cojinetes porque los muñones del cigüeñal están contruidos con gran sección a causa de las grandes sollicitaciones a que están expuestos en la Figura 1.20.



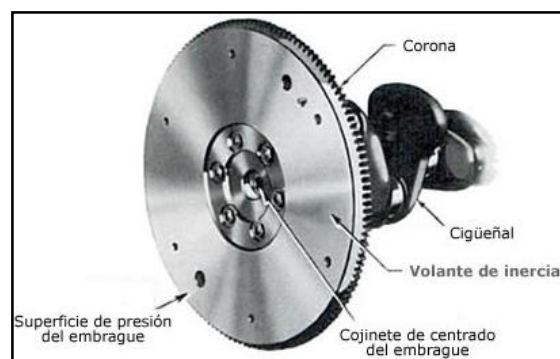
**Figura 1. 20. Biela con el pie dividido oblicuamente.**

**Fuente: [5]**

Los motores diésel con los sistemas de admisión y escape, ayudan de una mejor manera el funcionamiento del ingreso del aire a la cámara de combustión con el accionamiento de los pistones y válvulas, de la misma forma como los gases quemados son expulsados al exterior.

#### **m. Volante de inercia.**

Si el motor produce un exceso de potencia ésta es dirigida por el volante de inercia, el cual conserva esa energía para producir energía cinética, logrando ayudar a la reducción de velocidad, por otra parte ayuda a los tiempos de admisión, compresión, expansión, escape a no desmayar en sus cambios de tiempos como lo muestra la figura 1.21.



**Figura 1. 21. Volante motor.**

**Fuente: [6]**

#### **1.4.4. Sistema de admisión de aire.**

Este sistema es de gran importancia, permite que ingrese el aire necesario del ambiente, para que el combustible pueda quemarse. Para este proceso los motores diésel disponen de un conjunto de elementos:

##### **a. Conductos.**

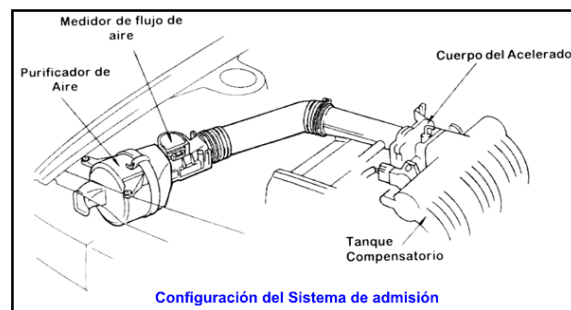
Los ductos deben ser lo más rectos y cortos posibles para evitar pérdidas en el momento de actuar la toma de aire, en las partes donde los conductos deben doblarse,



estos deben ser lo más amplio posibles entregando así el aire necesario para la combustión tal cual se ve en la figura 1.22.

### b. Depuradores o filtros de aire.

En la figura 1.22 muestra un depurador, como su nombre lo indica es un separador de impurezas, la cual impide que elementos externos ingresen a la cámara de admisión, y el aire ingrese de una forma limpia.



**Figura 1. 22. Sistema de admisión.**

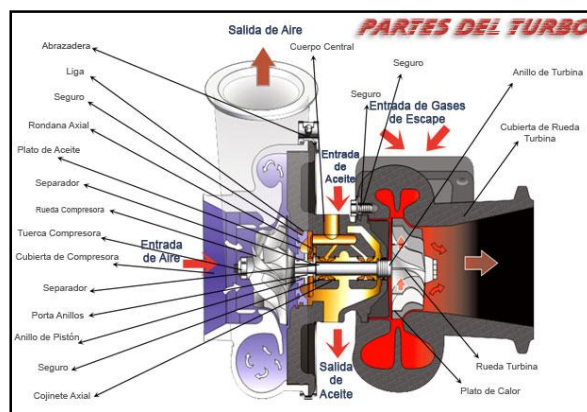
**Fuente: [7]**

### c. Sobrealimentación.

Es aumentar la cantidad de masa de aire que ingresa a los cilindros, esta debe ser mayor que la atmosfera. Los sobre alimentadores nos ayudan a elevar las presiones continuamente, y por ende nos permite un ahorro de combustible que los comparados con aspiración normal, y estás grandes cantidades de aire favorece la mezcla aire combustible. Para llegar a estas altas masas de aire se usa sopladores rotativos de desplazamiento forzado, conocimos mayormente como sopladores volumétricos rotativos o por sopladores centrífugos, el accionamiento de estos elementos pueden ser del mismo motor, de un generador independiente como un motor eléctrico, o por una turbina impulsada por los gases de escape. Los sopladores centrífugos poseen una cámara hermética que en su interior existen rodetes de gran velocidad dotados de aletas, y el aire que este elemento adquiere es lanzado radialmente por la fuerza

centrífuga, y la forma de su armazón que es tipo caracol, y pueden llegar a velocidades mayores de 4000 a 5000 rpm.

En los motores diésel se aprovecha esa gran cantidad de gases quemados producidos al momento de la expansión, los cuales son canalizados a una turbina que produce el movimiento circular, y este es acoplado en el mismo eje a un soplador centrífugo, en la figura 1.23 esta una maquina llamada turbo alimentador, la cual emplea las dos acciones al mismo tiempo, la de evacuar los gases por la turbina e inyectar aire por el soplador centrífugo.



**Figura 1. 23. Turbo Compresor.**

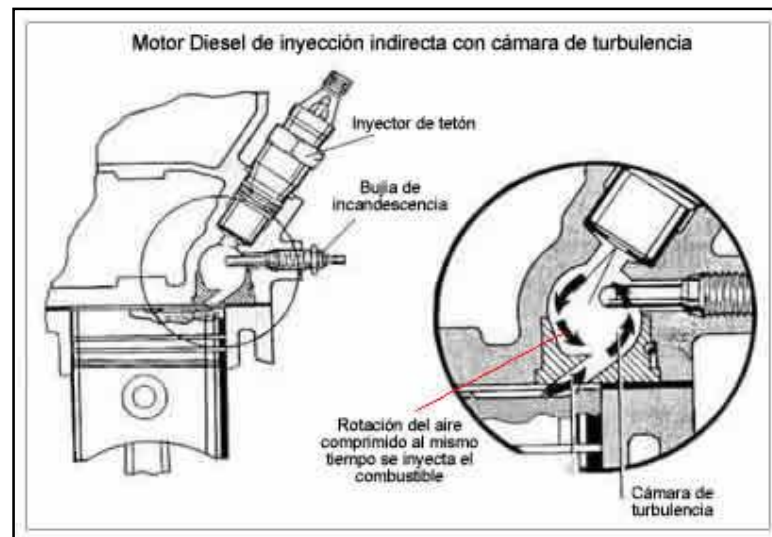
**Fuente: [8]**

#### **1.4.5. Sistema de inyección de combustible.**

Es una de las partes más importantes de los motores diésel, permite el ingreso del combustible a las cámaras de combustión, y para llevar a cabo este proceso necesita de las siguientes funciones:

- a) Dosificar la cantidad exacta de combustible que ha de ser inyectada.
- b) Sincronizar la inyección con el funcionamiento del motor.
- c) Regular la velocidad de inyección, o caudal de combustible.
- d) Pulverizar el combustible, o sea, dividirlo en partículas muy finas.
- e) Distribuir adecuadamente el combustible en la cámara de combustión. [5].

Es una dosificación exacta de combustible que debe tener cada cilindro del sistema, y pueda trabajar a una potencia uniforme, como lo demuestra la figura 1.24.



**Figura 1. 24. Inyección del combustible a la cámara de combustión.**

**Fuente: [9]**

#### **a. Sincronización.**

Es donde la inyección y la mezcla aire combustible sea en el momento adecuado del ciclo, logrando así la quema total de la mezcla aprovechando la potencia máxima que puede brindar y ahorrar combustible. Cuando el combustible es inyectado demasiado pronto, puede retrasarse el encendido, porque su combustible se acciona antes y el aire no llega a la temperatura adecuada, logrando una baja presión y demasiado ruido. Si el combustible es inyectado demasiado tarde, no lograra una expansión suficiente y se tendrá residuos de combustible que en las válvulas de escape todavía van a seguir prendidas, provocando una baja potencia, altos consumos de combustible, y humos en el escape.

Por tal razón es importante que la inyección de inicio sea en el momento adecuado, y este proceso se denomina regulación del avance de la inyección, o más conocida como puesta en fase de la bomba de inyección.

**b. Regulación de la velocidad de inyección.**

Se debe inyectar un caudal suficiente para lograr una mezcla óptima, y es similar a la puesta en fase, ya que tiene los mismos problemas si se inyecta bajo combustible o elevado combustible.

**c. Pulverización.**

Este proceso ayuda a expandir mejor el combustible acelerando la ignición, reduciendo las partículas y logrando una vaporización para que el oxígeno de una mezcla más homogénea, y pueda presentar el trabajo requerido.

**d. Distribución.**

Aquí la pulverización debe abarcar toda la cámara de combustión, para que todo el oxígeno presente sea aprovechado por el combustible, y no tener pérdidas de potencia que indica el fabricante.

**e. Cámara de combustión.**

Debe cumplir con algunas características esenciales, para que todas las funciones de vaporización, mezcla, y encendido del combustible, se den en un tiempo muy corto. Para este proceso el combustible pasa del estado líquido al vapor antes de quemarse, hay que tener en cuenta que el vapor debe convertirse en pequeñas partículas, las cuales deben mezclarse con las partículas calientes del aire que se está comprimiendo, y deben estar dispersas en toda la cámara para que se obtenga una combustión óptima, este proceso debe ser rápido ya que se manejan en tiempos de centésimas o milésimas de segundo.

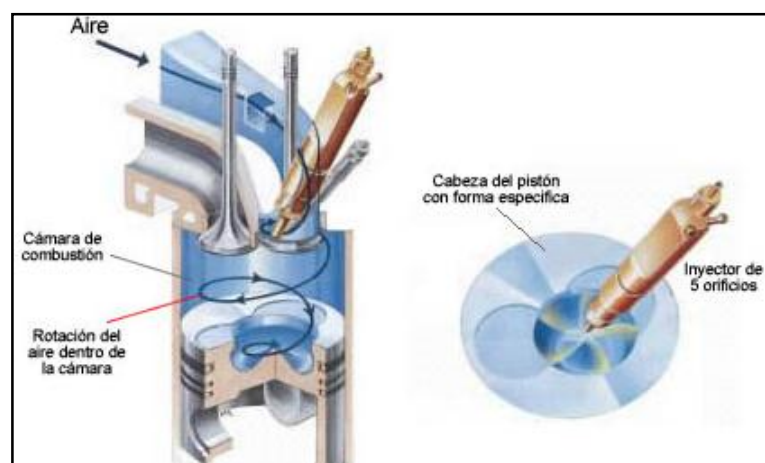
#### f. Proceso de combustión.

En un proceso ideal, el vapor se inflama a medida que va creciendo la combustión en la superficie de cada partícula degradada del combustible, y las etapas de vaporización, mezcla y de ignición va a seguir ocurriendo de una forma muy rápida y de forma uniforme, separada en toda la extensión posible de la cámara de combustión, esta velocidades proporcionadas por las presión, las partículas realizan un intercambio de calor y el vapor provocado se mezclan con las partículas de oxígeno más cercanas a las moléculas.

#### g. Oxígeno.

Las partículas de combustible vaporizado mientras consigan moléculas de oxígeno la combustión continuara, y da lugar a los gases quemados que indica que el oxígeno se va perdiendo. Por tal razón debe ser importante el volumen del aire y las velocidades de cada etapa deben ser más lentas para tener una combustión completa, caso contrario no se quemaría toda la mezcla y habrá presencia de pérdidas de potencia y rendimientos.

Todo estos pasos se lo simplifica en la figura 1.25, donde demuestra este trabajo.



**Figura 1. 25. Proceso de combustión en la cámara de combustión.**

**Fuente: [9]**



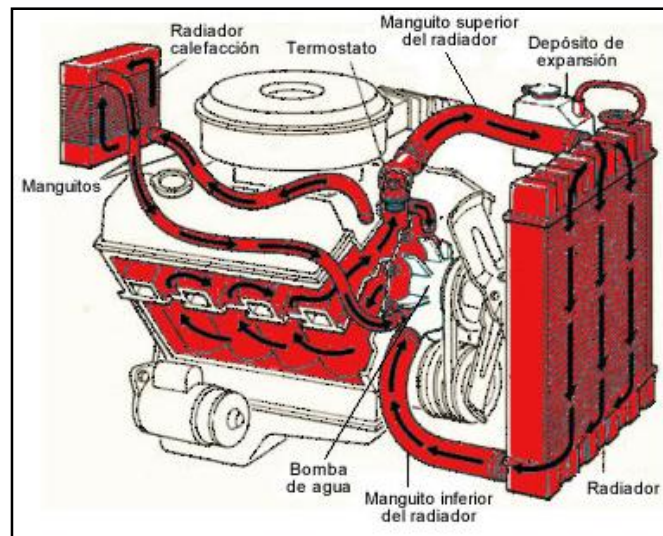
- b) La refrigeración de las superficies mediante la evacuación del calor por aceite que se suministra hacia ellas en exceso.
- c) El arrastre de las partículas debidas al desgaste desde los cojinetes y las holguras entre las superficies acopladas.

El sistema de lubricación cada vez con mayor frecuencia se utiliza también para extraer organizadamente el calor de las piezas que no están en contacto directo con el líquido refrigerante. La lubricación funciona con una bomba por lo general es de engranajes, toma el aceite del cárter, lo envía al filtro a una presión regulada, se distribuye a través de los ductos interiores y exteriores del motor a las partes móviles que van a lubricar y/o enfriar, y retorna al depósito o cárter del motor, para reiniciar el ciclo.

#### **1.4.7. Refrigeración.**

Con la ayuda del sistema de refrigeración se mantiene estable el estado térmico del motor en todo el diapasón de régimen de carga y velocidad y se asegura la temperatura más adecuada, con la cual se logra los índices económicos y energéticos óptimos. [11].

En la figura 1.27, se muestra el sistema de refrigeración, el cual consta de una bomba de circulación (hay sistemas que no la utilizan), un fluido refrigerante, por lo general agua o agua más producto químico para cambiar ciertas propiedades del agua pura, uno o más termostatos, un radiador o intercambiador de calor según el motor, un ventilador u otro medio de circulación de aire y conductos rígidos y flexibles para efectuar las conexiones de los componentes.



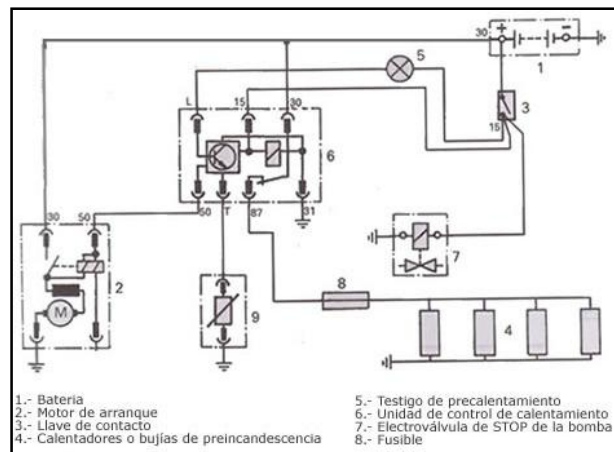
**Figura 1. 27. Esquema de refrigeración de un motor.**

**Fuente: [12]**

### **1.5. Sistema Eléctrico**

El motor a diésel por sus características de robustez, pasa por un inconveniente en el encendido que es el arranque, en su primer intento tiene que vencer la relación de compresión, que existe en la cámara de combustión y la alta viscosidad del diésel frío, por la cual su arranque debe ser más robusto, y poseer un sistema de precalentamiento con baterías de acumuladores de mayor energía, para su primer intento de puesta en marcha la cual obliga a tener un alternador de mayor capacidad de energía eléctrica. El sistema de arranque eléctrico utilizado en los motores diésel, puede usar dos baterías de 12V para suministrar la energía necesaria, las baterías suelen conectarse en paralelo para mantener 24V y aumentar el amperaje total, se utilizan cables de arranque de mayor diámetro para transportar el máximo amperaje, al tiempo que se mantiene baja la resistencia eléctrica como lo demuestra la figura 1.28.





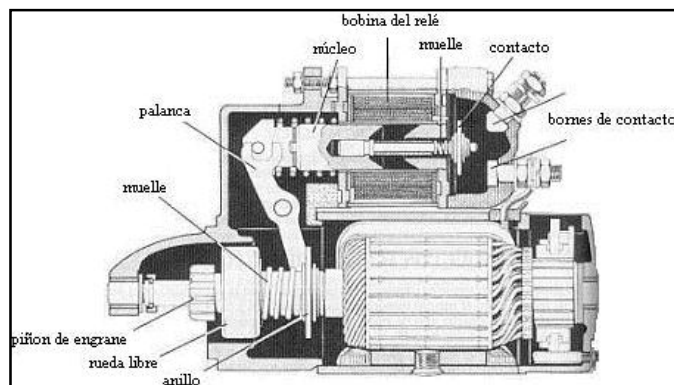
**Figura 1. 28. Sistema eléctrico con precalentamiento de un motor a diésel.**

**Fuente: [13]**

Se usan inducidos y arrollamientos de campo mayores para aumentar la potencia del motor de arranque, y se reduce la relación de transmisión entre el piñón de arrastre y la corona dentada del volante motor para reducir la carga de arranque, en algunos modelos, los fabricantes utilizan motores de arranque con reducción de piñones para disminuir los requerimientos de potencia y carga.

### 1.5.1. Motor de arranque eléctrico.

Es un elemento que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, y sus partes elementales son motor de arranque eléctrico, relé de engrane, y mecanismo de engrane como lo muestra figura 1.29.



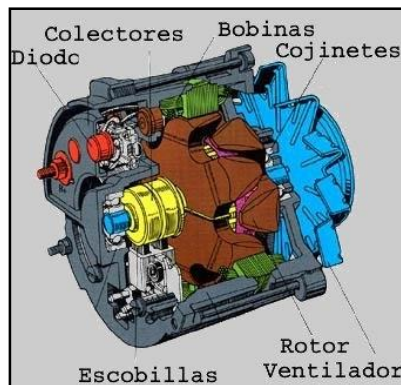
**Figura 1. 29. Motor de arranque.**

**Fuente: [14]**

### 1.5.2. Alternador.

Es el elemento del circuito eléctrico del automóvil que tiene como misión transformar la energía mecánica en energía eléctrica, proporcionando así un suministro eléctrico durante la marcha del vehículo, el alternador en un vehículo debe estar diseñado para proporcionar corriente eléctrica necesaria para la carga de la batería así como suministrar corriente a todos los demandantes eléctricos que lo requieran como se muestra en la figura 1.30, está compuesto por:

- a) **Polea:** Es la que recibe la fuerza mecánica a través de una correa, esta polea va enganchada al eje del alternador que mueve el rotor que hay en su interior y arrastra también al ventilador, situado en el interior.
- b) **Rotor (inductor):** es la parte móvil del alternador, está formada por un electroimán que recibe corriente desde el regulador a través de unos anillos rasantes situados en el eje. Este electroimán produce un campo magnético, ante el cual reaccionan las bobinas del estator (parte fija) produciendo la corriente eléctrica.
- c) **Regulador:** es el encargado de mantener una tensión máxima de salida del alternador de 14.5 voltios. A mayor rpm mayor campo magnético y a su vez se produce más voltaje, es por eso que a más revoluciones suministra menos corriente al rotor (inductor).
- d) **Estator (inducido):** Es la parte fija sobre la que se encuentra el bobinado trifásico. Este puede estar constituido en estrella o en triángulo.
- e) **Puente rectificador de diodos:** Es el elemento encargado de rectificar la corriente de salida del alternador (ya que esta es alterna) haciendo que ésta se convierta en continua y sea factible para el uso en el automóvil.



**Figura 1. 30. Partes del alternador.**

**Fuente: [15]**

### **1.6. Sistema bi-fuel.**

Es una innovadora tecnología que permite a los usuarios de motores diésel reducir substancialmente los costos operacionales, además de minorar las emisiones, esto acontece como resultado de la sustitución del combustible diésel por el gas metano.

Los motores convertidos con el sistema Bi-Fuel tienen un desempeño tan bueno como los motores a diésel en su forma original en factores como eficiencia, estabilidad y manejo de carga, una característica importante del sistema Bi-Fuel es su capacidad de pasar de un combustible a otro sin interrupción en el funcionamiento del motor manualmente como automáticamente, manteniendo su velocidad y carga.

Esta característica permite al usuario la flexibilidad de escoger entre el gas metano y diésel teniendo en consideración precio o disponibilidad de combustible, entre otras consideraciones operacionales, una característica igualmente importante del sistema de Bi-Fuel, es su capacidad de mantener los niveles de carga del motor, al operar en el modo gas entre los límites del motor, para operaciones por encima del límite programado, el motor está automáticamente colocado en un modo 100% diésel, evitando así la necesidad de sub dimensionar el motor.

El sistema Bi-Fuel utiliza, un control electrónico y un sistema de monitoreo de parámetros indispensables en el motor, y, el que permite que el sistema Bi-Fuel

active o desactive el modo gas de acuerdo con límites programados, la figura 1.31 muestra el kit Bi-fuel que permite realizar la conversión de combustibles de un motor diésel en motor dual.



**Figura 1. 31. Kit Bi-Fuel.**

**Fuente: [16]**

## **1.7. Bomba de agua.**

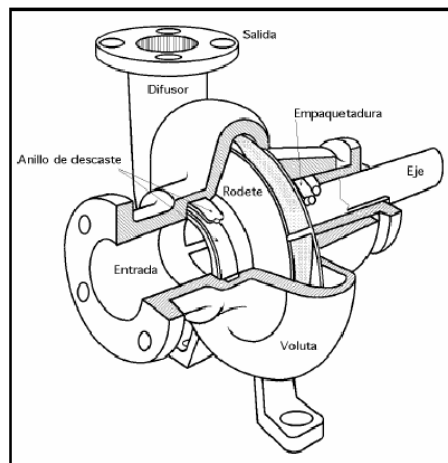
Una bomba de agua, debe entregar un caudal de agua a una presión necesaria para vencer la oposición que se presenta en el trayecto del circuito de distribución, y así poder cumplir con la demanda requerida, para el presente proyecto se requiere de una bomba de agua de tipo centrífugo.

### **1.7.1. Elementos De Una Bomba Centrífuga**

Los elementos constructivos que la conforman son:

- a) Una tubería de aspiración.**
- b) El impulsor o rodete,** Formado por una serie de álabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular. El rodete va unido solidariamente al

eje y es la parte móvil de la bomba la Figura 1.32 muestra las partes de una bomba centrífuga.



**Figura 1. 32. Partes de una bomba centrífuga.**

**Fuente: [17]**

- c) **Difusor**, el difusor junto con el rodete, están encerrados en una cámara, llamada carcasa o cuerpo de bomba. El difusor está formado por unos álabes fijos divergentes, que al incrementarse la sección de la carcasa, la velocidad del agua irá disminuyendo lo que contribuye a transformar la energía cinética en energía de presión, mejorando el rendimiento de la bomba.
- d) **Eje**, el eje de la bomba es una pieza en forma de barra de sección circular no uniforme que se fija rígidamente sobre el impulsor y le transmite la fuerza del elemento motor. Las bombas centrífugas para agua se clasifican atendiendo a la posición del eje en bombas de eje horizontal y bombas de eje vertical. [17]

## 1.8. Compresor de aire.

La práctica industrial moderna requiere, para múltiples usos, la compresión de gases y vapores. El accionamiento de herramientas neumáticas y mecanismos de potencia, el enfriamiento intenso y concentrado, la limpieza, etc. son aplicaciones corrientes que demandan aire comprimido. Otros gases deben ser comprimidos para usos médicos (O<sub>2</sub>), extinción de incendios (CO<sub>2</sub> y otros), soldadura (O<sub>2</sub>, argón,

acetileno, butano, etc.), domésticos (GLP). Por otra parte, los equipos de refrigeración requieren la compresión de vapores. [18]

Hay que tener en cuenta la presión y temperatura del gas a comprimir, estos pueden reaccionar al cambio de presión ya sea con la elevación de la temperatura y lo contrario la disminución del mismo, estos efectos pueden llegar incluso a la auto ignición del gas a comprimir.

Como se mencionó al inicio en las características de biogás la temperatura de auto ignición es de 650-750 °C, este valor es primordial para la compresión. En la figura 1.33 se muestra los valores de compresión de algunos gases.

<b>GAS</b>	<b><math>R_g</math> (m / °K)</b>
<i>Aire</i>	29.27
<i>CO<sub>2</sub></i>	19.27
<i>N<sub>2</sub></i>	30.26
<i>O<sub>2</sub></i>	26.50
<i>CH<sub>4</sub></i>	52.90
<i>NH<sub>3</sub></i>	49.79

**Figura 1. 33. Valor de compresibilidad de algunos gases.**

**Fuente: [18]**

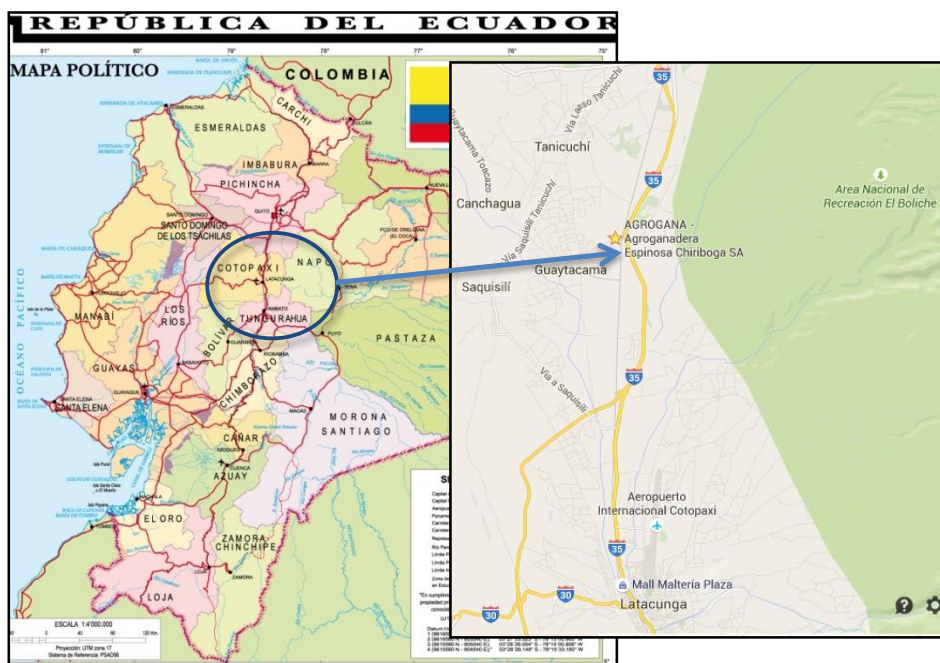
De acuerdo a la figura 1.33 el metano es compresible a la presión de 120 kpa sin ningún problema al equipo y al riesgo de las personas.

## CAPÍTULO II

### 2. DISEÑO DEL GRUPO DE BOMBEO.

#### 2.1. Generalidades.

El presente proyecto se encuentra ubicado en Ecuador, provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, Panamericana Norte Km 12 vía José Guango, Hacienda San Francisco, en la figura 2.1 se muestra la ubicación geográfica, el biodigestor de 50m<sup>3</sup>/h de biogás instalado en la hacienda San Francisco.



**Figura 2. 1. Ubicación Hda. San Francisco, Google Maps.**

**Fuente: [1]**

Para el cálculo de la producción actual de biogás se realizó una bitácora, utilizando el medidor de gas existente, obteniendo un promedio de biogás de 23 m<sup>3</sup>/h, en la tabla 2.1, se muestran los parámetros medidos en un periodo de 8 días.

Tabla 2. 1.

## Bitacora de producción de biogás en la hacienda san francisco

MEDIDOR DE GAS (VALOR REGISTRADO)	OBSERVACIÓN (DÍAS)	PRODUCCIÓN (M <sup>3</sup> )	PRODUCCIÓN DIARIA (M <sup>3</sup> /DÍA)	PRODUCCIÓN HORA (M <sup>3</sup> /H)
361251,70	1	582,99	582,99	24,29
361834,69	3	1523,73	507,91	21,16
363358,42	3	1475,33	491,78	20,49
364833,75	3	1674,09	558,03	23,25
366507,84	8	4515,26	564,41	23,52

Fuente: [19]

## 2.2. Esquema del biodigestor hacienda san francisco.

La planta de biodigestión, consta de los siguientes componentes:

- Tanque de mezcla.
- Fermentador de 1300 m<sup>3</sup>.
- Tanque de descarga.
- Lecho de secado de lodos.

La figura 2.2 muestra el esquema del biodigestor.

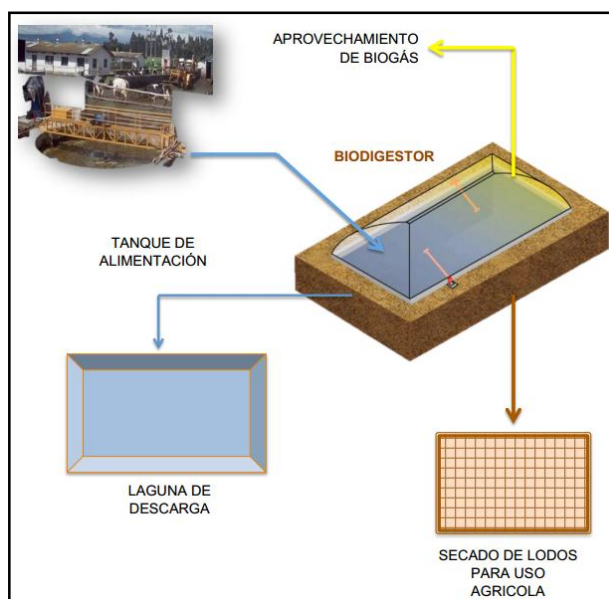


Figura 2. 2. Esquema de construcción del biodigestor.

Fuente: [20]



El biodigestor, tiene adherido en su contorno cuatro tanques, que permite ver el nivel de líquido que se encuentra en su interior, este tanque se encuentra empotrada una tubería de dos pulgadas de diámetro, que sale directamente del biodigestor, esta tubería será aprovechada posteriormente para la línea de biogás que alimentara al motor diésel, en la figura 2.3 se muestra el tanque con nivel de agua con su tubería.



**Figura 2. 3. Tanque de nivel de agua con su tubería de dos pulgadas.**

#### **2.2.1. Ubicación del área de trabajo.**

La zona que necesita de riego se encuentra en la parte posterior del biodigestor, debido a esto se instaló el grupo de bombeo cerca del canal de riego, además existe la ventaja de que el digestor se encuentra junto a este.



**Figura 2. 4. Área a intervenir para la instalación del proyecto.**

## 2.3. Dimensionamiento del grupo de bombeo.

### 2.3.1. Bomba de agua.

La hacienda San Francisco dispone de la Bomba Centrifuga Euerolínea IHM 8x40x2 PE de 50 HP a 1800 RPM, la cual tenía como propósito adaptarse a un motor eléctrico, con la propuesta presentada se cambió la idea, ahora se va usar con un motor a diésel. En el anexo A se detallan las partes.

### 2.3.2. Motor diésel.

El motor a diésel, se lo dimensiona a partir de la potencia de la bomba centrifuga de agua, hay que tener en cuenta la altura atmosférica, este factor incide directamente ante la potencia del motor, ya que baja el rendimiento, la tabla 2.2 muestra los porcentajes de este efecto.

**Tabla 2. 2.**

**Porcentaje de pérdida de oxígeno por altura msnm.**

1%	100 msnm
10%	1000 msnm
20%	2000 msnm
30%	3000 msnm
40%	4000 msnm

**Fuente: [21]**

En la tabla 2.3 se muestra la altura a la que se encuentra la parroquia José Guango con respecto al nivel mar.

**Tabla 2. 3.**

**Altura y área de la parroquia José Guango Bajo.**

Altura (msnm)	Área (ha)	Área %
2800-2900	451,9	25,84
2900-3000	1296,38	74,16
<b>Total.</b>	<b>1748,84</b>	<b>100</b>

**Fuente: [22]**

Mediante la ecuación 1, se calcula la potencia del motor:

$$HP_m = PB + PH + FS$$

**Ec. 1. Potencia del motor.**

- $HP_m$  = Potencia del motor.
- $PB$  = Potencia de la bomba.
- $PH$  = Potencia de pérdida de altura msnm.(3000 msnm)
- $FS$  = Porcentaje del factor de seguridad. (10%)

Reemplazando los datos en la ecuación se obtiene:

$$HP_m = 50 + (0.3 \times 50) + (0.1 \times 50)$$

$$HP_m = 70 \text{ HP}$$

La potencia aproximada es 70 HP, en el mercado se logró conseguir un motor de las siguientes características, como lo demuestra la tabla 2.4

**Tabla 2. 4.**

**Características motor diésel ISUZU ELF 250 TLD**

MOTOR	4BC2, DI I4 Diesel.
CILINDRAJE.	3268 cc
PS(Hp)	100
KW.	74
RPM.	3500
MODELO	ELF 250 Súper, TLD26/36/56, KT26/36/46.

**Fuente: [23]**

**2.4. Cálculo de la potencia requerida en la bomba IHM 8x40x2 PE**

Se tiene agua a 15 °C que fluye de manera estacionaria a través de dos ramales de tubería horizontal de plástico de 15 plg de diámetro interior y 150 metros de longitud cada una. El agua es impulsada mediante una bomba hidráulica de 50 hp

accionada por un motor de combustión interna y entrega 100 l/s de caudal a cada ramal de tubería.

#### 2.4.1. Cálculo de las pérdidas de presión en la tubería

Las propiedades del agua a 15 °C y una atmósfera de presión son las siguientes, las tablas se puede ver en el Anexo G1:

Densidad ( $\rho$ )	= 999,1 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad dinámica ( $\mu$ )	= 1,138 x 10 <sup>-3</sup> kg/ms

La velocidad promedio  $V_{\text{prom}}$  del agua en el interior de la tubería viene dado por:

$$V_{\text{prom}} = \frac{\dot{V}}{A_t} = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot D^2}$$

**Ec. 2. Velocidad promedio.**

Dónde:

$$\dot{V} = \text{Caudal de agua en la tubería} = 100 \text{ l/s} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_t = \text{Área transversal del interior de la tubería}$$

$$D = \text{Diámetro interior de la tubería} = 6 \text{ plg} = 0,152 \text{ m}$$

Reemplazando se tiene:

$$V_{\text{prom}} = \frac{4 \cdot 0,1 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 0,152^2 \text{ m}^2}$$

$$V_{\text{prom}} = 5,51 \text{ m/s}$$

A partir de la velocidad y las propiedades del agua a la temperatura de trabajo, se determina el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{\text{prom}} \cdot D}{\mu}$$

**Ec. 3. Numero de reynolds.**

$$\text{Re} = \frac{999,1 \text{ kg/m}^3 \cdot 5,51 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,152 \text{ m}}{1,138 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}$$

$$\text{Re} = 7,354 \cdot 10^5$$

Debido a que el número de Reynolds es mayor a 4000, el flujo es turbulento completamente desarrollado, por lo que, las pérdidas de presión  $h_l$  se obtienen de la ecuación 4:

$$h_l = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_{\text{prom}}^2}{2 \cdot g}$$

#### Ec. 4. Perdidas de presion.

Dónde:

$L$  = Longitud de un tramo de tubería = 150 m

$g$  = Aceleración de la gravedad

$f$  = Factor de fricción de Darcy-Weisbach (Anexo G2)

Reemplazando se tiene:

$$h_l = 0,0122 \cdot \frac{150 \text{ m}}{0,152 \text{ m}} \cdot \frac{5,51^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_l = 18,63 \text{ m}$$

El factor de fricción se obtiene del diagrama de Moody (Anexo G2) a partir del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0}{0,152} = 0$$

#### Ec. 5. Rugosidad relativa.

### 2.4.2. Cálculo de la potencia requerida en la bomba

La potencia que se requiere en la bomba hidráulica, para impulsar el agua a través de los dos ramales de tubería, viene dado por:

$$Pot_b = 2 \cdot (\dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot h_L)$$

**Ec. 6. Potencia de la bomba.**

$$Pot_b = 2 \cdot (0,1 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 999,1 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2 \cdot 18,63 \text{ m})$$

$$Pot_b = 36,45 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Pot_b = 36,45 \text{ kW} = 48,9 \text{ hp} \approx 50 \text{ hp}$$

### 2.5. Selección del sistema de transmisión por bandas.

Para transmitir el movimiento rotacional del motor de combustión interna a la bomba hidráulica, se utilizará un sistema de transmisión por bandas y poleas debido a que estas permiten cierto grado de desalineación entre ejes y una gran distancia entre centros.

La relación de velocidad en el sistema de transmisión viene dado en función de la velocidad de giro del motor de combustión interna y la velocidad de giro requerida en la bomba hidráulica:

$$i = \frac{\omega_{\text{mot}}}{\omega_{\text{bomb}}}$$

**Ec. 7. Relación de velocidad.**

Dónde:

$\omega_{\text{mot}}$  = Velocidad de giro del motor de combustión = 1800 rpm

$\omega_{\text{bomb}}$  = Velocidad de giro requerido en la bomba = 1500 rpm

$$i = \frac{1800 \text{ rpm}}{1500 \text{ rpm}} = 1,2$$

Del Anexo G3, se determina que para bombas hidráulicas accionadas mediante un motor de combustión interna de múltiples cilindros, que funcionan de forma intermitente, el factor de servicio es 1.1. Por lo tanto, la potencia de diseño es:

$$\text{Pot}_{\text{DIS}} = 1.1 \times 50 \text{ hp}$$

**Ec. 8. Potencia de diseño.**

$$\text{Pot}_{\text{DIS}} = 55 \text{ hp}$$

A partir del anexo G4 se determina, que para una potencia de diseño de 55 hp y una velocidad de entrada de 1800 rpm, el tipo de banda en V más adecuada es la 5V.

En base a la relación de velocidad requerida y los tamaños disponibles de poleas estándar para bandas 5V del anexo G5, se determina que la combinación de diámetros de poleas que garantiza la relación de velocidad requerida y un diseño compacto del sistema de transmisión es: 7,5 pulgadas y 9,0 pulgadas.

$$i = \frac{D_2}{D_1}$$

**Ec. 9. Relacion de velocidad.**

Dónde:

$D_1$  = Diámetro de paso de la polea del motor

$D_2$  = Diámetro de paso de la polea de la bomba

$$i = \frac{9,0}{7,5} = 1,2$$

En el Anexo G6 para una polea acanalada estándar 5V de 7.5 pulgadas e interpolando para una velocidad de 1800 rpm, se obtiene que la potencia básica por banda es 19,79 hp.

Además, en el anexo G7 se observa que para una relación de transmisión de 1,2, la potencia agregada es de 1.28 hp, por lo que la potencia específica total es:

$$\mathbf{Pot_{esp} = 19,79 \text{ hp} + 1,28 \text{ hp}}$$

**Ec. 10. Potencia específica.**

$$\mathbf{Pot_{esp} = 21,07 \text{ hp}}$$

En función del espacio disponible en el lugar de instalación del sistema de bombeo, se asume una distancia entre centros  $C = 50$  pulgadas, entonces, la longitud de banda requerida es:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C}$$

**Ec. 11. Longitud de banda.**

$$L = 2 \cdot 50 + \frac{\pi}{2}(9 + 7,5) + \frac{(9 - 7,5)^2}{4 \cdot 50}$$

$$\mathbf{L = 125,9 \text{ plg}}$$

En el anexo G8 se determina que, la banda 5V que tiene la longitud estándar más cercana a la calculada, es la 5V1250, cuya longitud es de 125 pulgadas.

El ángulo de la envolvente de la banda en la polea acanalada pequeña de 7.5 pulgadas de diámetro, es:

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \operatorname{sen}^{-1} \left( \frac{D_2 - D_1}{2C} \right)$$

**Ec. 12. Angulo de la envolvente.**

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \operatorname{sen}^{-1} \left( \frac{9 - 7,5}{2 \cdot 50} \right)$$

$$\mathbf{\theta_1 = 178,8^\circ}$$



Por lo tanto, el diseño cumple con el requerimiento de diseño que  $\theta_1 \geq 120^\circ$

Del Anexo G8 se obtiene que los factores de corrección por longitud de la banda y ángulo de la envolvente son respectivamente:  $C_L = 1.0$  y  $C_\theta = 0.998$ . Por lo tanto, la potencia corregida es:

$$\mathbf{Pot_{correg} = 1.0 \times 0.998 \times 21,07 \text{ hp}}$$

$$\mathbf{Pot_{correg} = 21,02 \text{ hp}}$$

El número mínimo de bandas requeridas en el sistema de transmisión es:

$$N_{\text{bandas}} = \frac{\mathbf{Pot_{DIS}}}{\mathbf{Pot_{correg}}}$$

**Ec. 13. Numero de bandas.**

$$N_{\text{bandas}} = \frac{55 \text{ hp}}{21,02 \text{ hp}} = \mathbf{2,6 \text{ bandas}}$$

Debido a que no se aprovecha la potencia total del motor de combustión interna (100 hp), se utilizan 4 bandas 5V.

## **2.6. Diseño de la estructura para la sujeción del motor a diésel.**

El motor como todo elemento que entrega torque, necesita una base donde apoyarse, la cual debe funcionar para acoplar dos equipos y entregar trabajo que sea requerido para el usuario.

Se diseñó una estructura, para que funcione como soporte del grupo de bombeo utilizando el software SOLID WORKS. En el anexo B se muestran los planos del diseño estructural. En la figura 2.5 se muestra el diseño terminado.

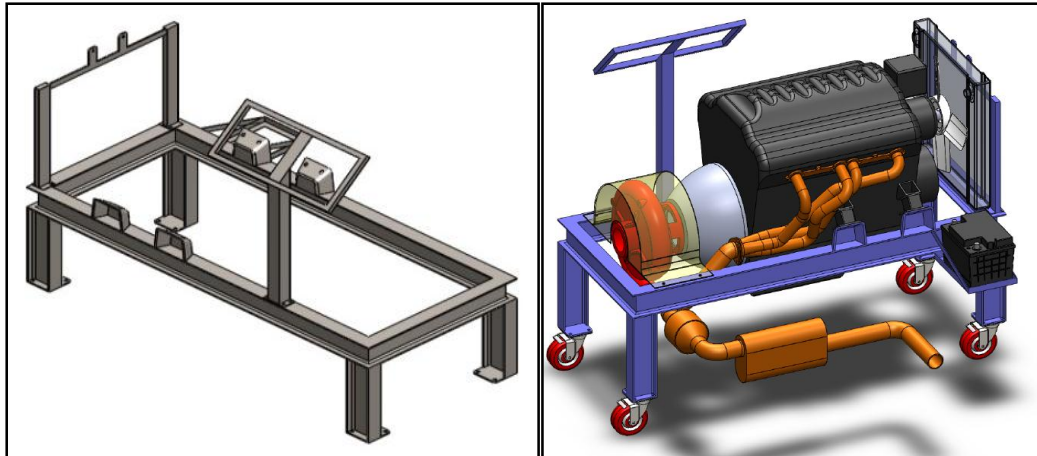


Figura 2. 5. Diseño estructural.

### 2.7. Selección del sistema “bi-fuel”.

Una vez analizado los requerimientos del reemplazo del biogás por diésel, se seleccionó el sistema CNG de la compañía LGC Gas Equipment, esta empresa es una de las pocas que ofrecen el kit completo para la instalación del sistema bi-fuel en motores diésel de baja potencia, por tanto, tuvo que ser importado desde china, ya que en el Ecuador no se pudo encontrar este tipo de sistema. En la figura 2.6 se puede observar el diagrama simplificado de conexión de los componentes del sistema bi-fuel en el motor diésel.

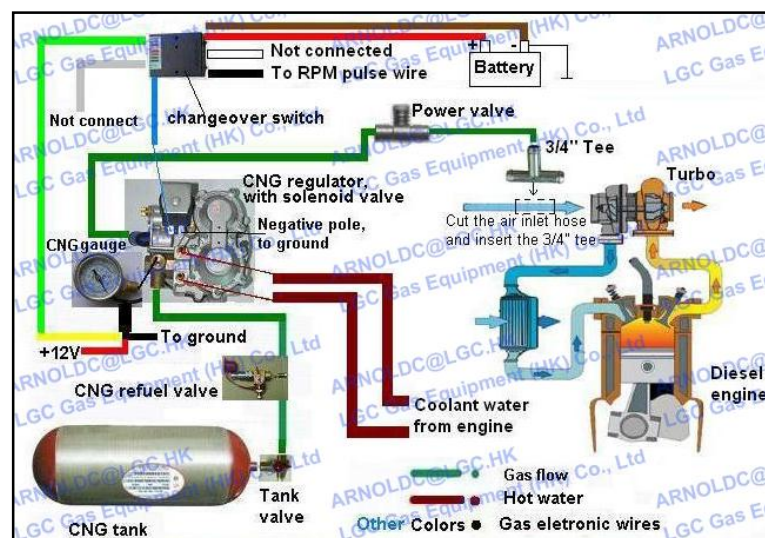


Figura 2. 6. Sistema de conversión diésel a Bi-Fuel.

Fuente: [16]

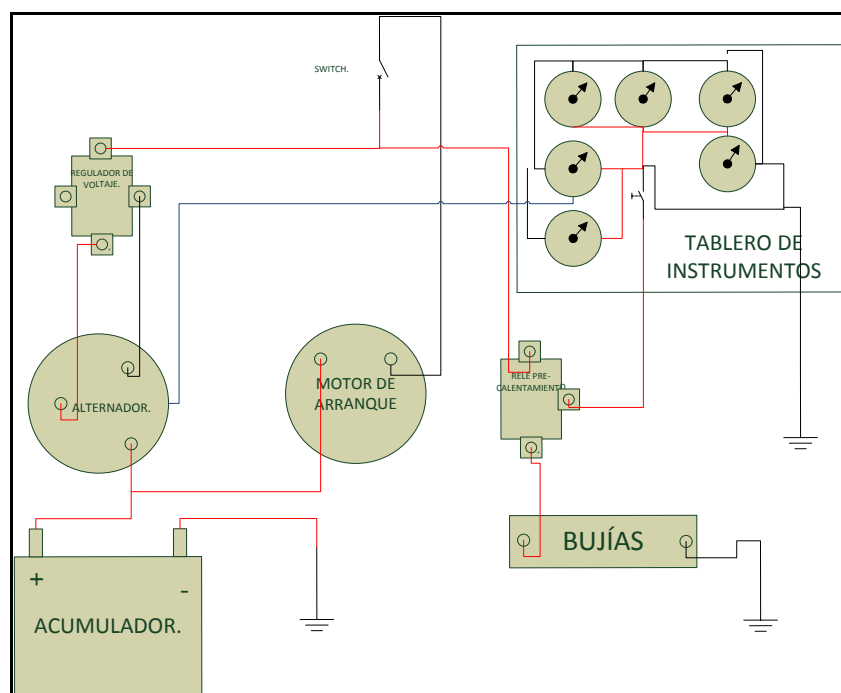
## 2.8. Sistema eléctrico del grupo de bombeo.

### 2.8.1. Acondicionamiento de un motor diésel para su funcionamiento como motor estacionario.

Para poder controlar los parámetros tanto eléctricos como mecánicos del motor, se diseñó un tablero que incluye:

- Sistema de encendido (arranque y pre calentamiento).
- Medidor de temperatura.
- Medidor de presión de aceite.
- Medidor de voltaje VCD.
- Tacómetro.
- Hodómetro.
- Control de inyección electrónica (EFI).

En la figura 2.7 se muestra el diagrama de conexión de los instrumentos que conforman el tablero.



**Figura 2. 7. Diagrama de conexión del tablero de instrumentos.**

### 2.8.2. Adaptación del sistema eléctrico del motor para la conexión del bi-fuel.

Debido a que el sistema bi-fuel funciona a 12 VCD y el motor funciona a 24 VCD se diseñó un regulador de voltaje que permita tener 12 VCD. En la figura 2.8 se muestra un circuito diseñado mediante el software MULTISIM.

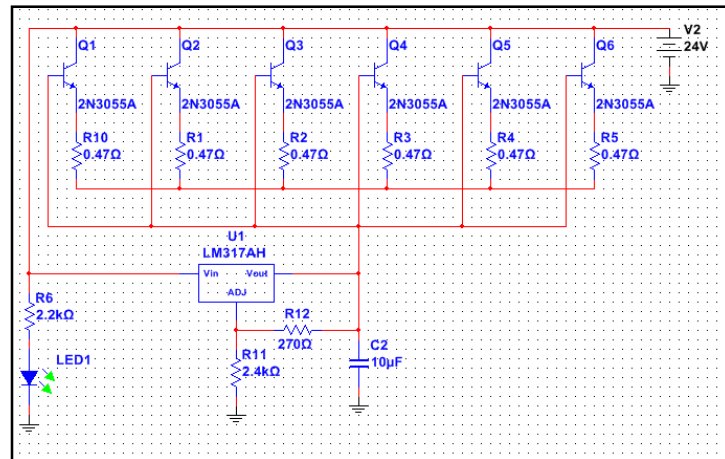


Figura 2. 8. Regulador de voltaje de 24 a 12 Vcd.

### 2.8.3. Circuito de conexión del sistema bi-fuel.

En la figura 2.9 se muestra el circuito eléctrico de conexión del sistema bi-fuel.

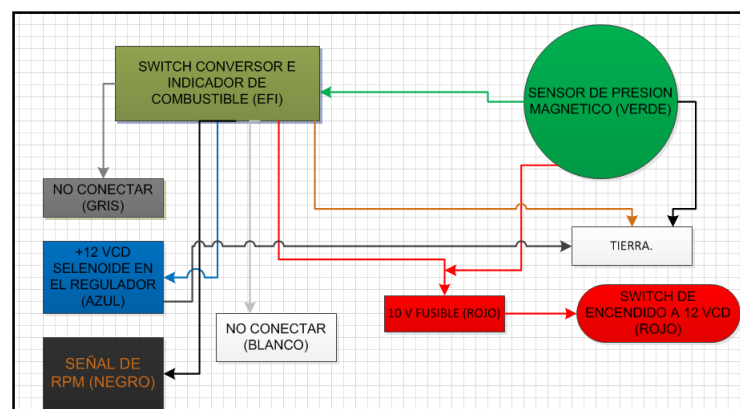


Figura 2. 9. Diagrama de bloques del circuito eléctrico con sus colores de cable.

Fuente: [16]

## 2.9. Diseño del tren de calibración de biogás para cumplir con los requerimientos del grupo de bombeo.

Para el diseño del tren de calibración de biogás, debemos partir de la cantidad máxima de ahorro de diésel o relación diésel-biogás en la cámara de combustión, para el cálculo del caudal de biogás.

Se determinó un ahorro de combustible del 30% de reemplazo del diésel, para poder sacar este consumo se realizó una tabla de comparación de consumo del combustible mediante los poderes caloríficos del biogás y el diésel. En la tabla 2.5 se muestra los valores de consumo del motor sin carga.

**Tabla 2. 5.**

**Consumo en diésel.**

CONSUMO EN DIÉSEL.		
RPM	% DE CARGA.	GALONES EN 8 HORAS
1700	75	3,6233
1300	50	2,8822
800	25	1,7372

En la tabla 2.6 se muestra los datos de la cromatografía del biogás tomada del biodigestor. Ver anexo C.

**Tabla 2. 6.**

**Cromatografía.**

COMPONENTE	CROMATOGRAFIA	
	% PESO	% MOLES
NITROGENO	9,22	8,82
METANO	32,10	53,72
CO <sub>2</sub>	56,71	34,51
AGUA	1,98	2,94
DENSIDAD RELATIVA	0,93	
PESO MOLECULAR PROM. (g/gmol)	26,78	
PODER CALORIFICO DEL GAS BTU/ft <sup>3</sup>	544,08	

**Fuente: [24]**

Con datos de consumo de combustible en función de potencia y el poder calorífico de diésel se encuentra una relación entre BTU consumidos en unidades

de tiempo (BTU/hora, BTU/día) en función de la potencia nominal del motor sin carga eso se presenta en la Tabla 2.7.

**Tabla 2. 7.**

**Consumo diésel en poder calorífico.**

<b>CONSUMO DE DIÉSEL EN PODER CALORÍFICO.</b>				
<b>% De Carga</b>	<b>Galones/hora</b>	<b>Galones/8horas</b>	<b>BTU/hora</b>	<b>BTU/8horas</b>
<b>75</b>	0,4529	3,6233	59782,8	478275,6
<b>50</b>	0,3602	2,8822	47546,4	380450,4
<b>25</b>	0,2171	1,7372	28657,2	229310,4

Si los BTU/hora para cubrir la energía necesaria de cierta carga en un grupo de bombeo que funciona con un motor totalmente a diésel se divide, bajo el supuesto, para este caso en particular, que se trabaja con un motor BI-FUEL en el cual el 30% de los BTU/hora son producidos por un cierto volumen de biogás y el 70% restante de BTU/hora son producidos por el combustible diésel, se tiene un flujo de biogás en función de la potencia de la bomba centrífuga como se muestra en la Tabla 2.8 y tabla 2.9.

**Tabla 2. 8.**

**Sistema motor dual diésel 70%.**

<b>SISTEMA MOTOR DUAL DIÉSEL 70%</b>				
<b>%</b>	<b>Galones/hora</b>	<b>Galones/8horas</b>	<b>BTU/hora</b>	<b>BTU/8horas</b>
<b>70</b>	0,317	2,5363	41847,84	334792,92
<b>60</b>	0,2521	2,0175	33282,48	266315,28
<b>50</b>	0,152	1,216	20060,04	160517,28

**Tabla 2. 9.**

**Sistema motor dual 30%.**

<b>SISTEMA MOTOR DUAL BIOGÁS 30%</b>				
<b>%</b>	<b>Galones/hora</b>	<b>Galones/8horas</b>	<b>lb/hora</b>	<b>lb/8horas</b>
<b>70</b>	0,1359	1,087	17934,84	143482,68
<b>60</b>	0,1081	0,8647	14263,92	114135,12
<b>50</b>	0,0651	0,5212	8597,16	68793,12

El flujo de gas se obtiene de una división entre los BTU/8horas del biogás dividido para el poder calorífico del biogás (BTU/lb) que se encuentra en la Tabla 2.10.

**Tabla 2. 10.****Datos iniciales.**

Consumo de diésel al 75%.	3,6233 Galones/8horas
Poder calorífico del diésel.	132000 BTU/gal
Poder calorífico del biogás.	12505.22 BTU/lb
Porcentaje de reemplazo de biogás por diésel.	30 %

Calculo del consumo del diésel en poder calorífico al 100% BTU/8h:

**consumo en poder calorifico = (consumo del diesel)X(poder calorifico diesel)**

**Ec. 14. Consumo poder calorifico.**

$$\text{consumo diesel poder calorifico 100\%} = 3,6233 \frac{\text{gal}}{8\text{h}} \times 132000 \frac{\text{BTU}}{\text{gal}}$$

$$478275,6 \frac{\text{BTU}}{8\text{h}}$$

Calculo de los BTU/8h producidos por el diésel al 100% de la carga con un sistema combinado de combustible 70% diésel y 30% de biogás.

$$\frac{\text{BTU}}{8\text{h}} \text{ de diesel al 100\% de consumo} = 478275,6 \frac{\text{BTU}}{8\text{h}} \times 0.7$$

$$334792,92 \frac{\text{BTU}}{8\text{h}}$$

Calculo de los BTU/8h producidos por el diésel al 100% de la carga con un sistema combinado de combustible 70% diésel y 30% de biogás

$$\frac{\text{BTU}}{8\text{h}} \text{ de biogás al 100\% de consumo} = 478275,6 \frac{\text{BTU}}{8\text{h}} \times 0.3$$

$$143482,68 \frac{\text{BTU}}{8\text{h}}$$

Calculo del flujo del biogás en ft<sup>3</sup>/8h al 100% de consumo del sistema combinado de combustible 70% diésel y 30% biogás.

$$\text{flujo del biogás} = \frac{\frac{\text{BTU}}{8\text{h}} \text{ diésel}}{\text{poder calorifico biogás.}}$$

**Ec. 15. Flujo de biogás.**

$$\text{flujo de biogás} = \frac{143482.68 \frac{\text{BTU}}{8\text{h}}}{544,08 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^3}}$$

$$263,716 \frac{\text{ft}^3}{8\text{h}}$$

$$\text{flujo de biogas} = 263,716 \frac{\text{ft}^3}{8\text{h}} \times \frac{1\text{m}^3}{35,3147\text{ft}^3}$$

$$\text{flujo de biogás} = 7,4676 \frac{\text{m}^3}{8\text{h}}$$

### 2.9.1. Línea de biogás.

Para lograr una línea de biogás se realiza el siguiente cálculo del diámetro de la tubería de PVC está basado en la ecuación de weymouth y se desprecia la posible caída de presión causada por los futuros instrumentos ubicados en la line de transporte de biogás.

$$Q = 2,61 \times 10^{-3} \times d^{2.667} \sqrt{\left[ \frac{P_2^2 - P_1^2}{SL} \right] \frac{288}{T}}$$

**Ec. 16. Ecuacion de Weymouth.**

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/h).

d= diámetro de tubería en (mm).

P<sub>1</sub>= Presión absoluta de salida. (Kg/cm<sup>2</sup>).



$P_2$  = Presión absoluta de llegada. (Kg/cm<sup>2</sup>).

S = Gravedad específica del gas.

L = Distancia (Km).

T = Temperatura (°K).

Despejando el diámetro de la ecuación 16. Se tiene:

$$d = \left[ \frac{Q\sqrt{SLT}}{2,61 \times 10^{-3} \sqrt{288(P_1^2 - P_2^2)}} \right]^{\frac{1}{2,667}}$$

**Ec. 17. Diametro de la tuberia.**

Para reemplazar los datos tenemos la tabla 2.11 que se encuentran detallado los elementos que se requieren para reemplazar en la ecuación 17.

**Tabla 2. 11.**

**Datos Técnicos De Reemplazo En Ecuación De Weymouth**

<b>Q</b>	1	m <sup>3</sup> /h
<b>S</b>	1,04	adimensional
<b>L</b>	0,018	Km
<b>T</b>	293,15	°K
<b>P<sub>1</sub></b>	1,2237	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>P<sub>2</sub></b>	1,03323	Kg/cm <sup>2</sup>

Reemplazando tenemos:

$$d = \left[ \frac{1\sqrt{(1,04)(0,018)(293,15)}}{2,61 \times 10^{-3} \sqrt{288(1,2237^2 - 1,03323^2)}} \right]^{\frac{1}{2,667}}$$

$$d = \left[ \frac{2,342598557}{0,0290408341} \right]^{\frac{1}{2,667}}$$

$$d = 5 \text{ mm}$$

Se sugirió colocar una tubería de diámetro de 90mm de cemento solvento EC de 0.80 Mpa de presión, para proyectos futuros que puedan formar parte de esta línea de biogás y de esta manera no existan conflictos con el uso del mismo, esta tubería se puede apreciar en el ANEXO F

### **2.9.2. Dimensionamiento del filtro de $H_2S$ .**

La eliminación de  $H_2S$  tiene algunos procesos entre ellos mencionamos el siguiente proceso seco de oxidación se utiliza para remover  $H_2S$  de una corriente de gas que puede convertirse en azufre u óxido de azufre. Este proceso se usa cuando el contenido de azufre del gas es relativamente bajo y se requiere una alta pureza. Algunos de estos métodos son:

- **Introducción de aire/hidrógeno dentro del sistema de biogás:** Este es un proceso simple y de bajo costo. No se necesitan químicos ni equipamientos especiales. Dependiendo de la temperatura, el tiempo de reacción y el lugar donde el aire se agrega, la concentración de  $H_2S$  se puede reducir en un 95% a menos de 50 ppm.
- **Adsorción usando óxido de hierro:** el  $H_2S$  reacciona con el óxido de hierro u óxidos para formar sulfuro de hierro. El biogás pasa a través de pelotitas de óxido de hierro, para remover el  $H_2S$ . Cuando las pelotitas se cubren completamente con sulfuro, son removidas desde el tubo para la regeneración del sulfuro. Este es un método simple pero para la regeneración se libera mucho calor. Además el polvo empacado contiene un componente tóxico y el método es sensible a biogás con altos contenidos de agua. [25].

### **2.9.3. Carácter toxico del $H_2S$**

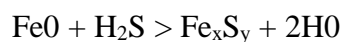
Respirar o tener contacto con el  $H_2S$  es muy peligroso, en concentración menor de 10 ppm no causa peligro a personas que trabajan con él durante ocho horas, en concentración de 50 ppm, aproximadamente, se pierde el olfato y causa dolor de

cabeza y mareo, en concentración de 100 ppm hace llorar, provoca estornudo y la pérdida del olfato, y puede ahogar si se tiene contacto con él durante una hora, en concentración de 200 ppm provoca ahogo, enseguida se irritan los ojos y la nariz, y en contacto con él durante una hora puede causar la muerte, en la concentración de 1000 ppm o más causa la muerte en minutos. La concentración máxima permitida de H<sub>2</sub>S en lugares de trabajo es de menos de 10 ppm. [26]

#### 2.9.4. Corrosión causa por el H<sub>2</sub>S

El H<sub>2</sub>S tiene carácter corrosivo, especialmente en las condiciones de alta temperatura y presión, puede corroer los equipos de metal, y cuando se quema produce gas SO<sub>2</sub>, aún más peligroso. Ejemplo: con acero, el nivel erosivo del H<sub>2</sub>S es 2,5 mm/año.

El desgaste que produce el H<sub>2</sub>S tiene origen en la reacción siguiente:



Cuando se quema, el H<sub>2</sub>S produce gas SO<sub>2</sub>, que también es un gas ácido fuerte con carácter corrosivo y tóxico para el sistema respiratorio; si tiene contacto con el agua forma el ácido H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, productor de la lluvia ácida. En muchos países se limita al mínimo la presencia del H<sub>2</sub>S en los productos comerciales gaseosos en un nivel menor o igual a 4 ppm. [27]

El filtro es un equipo indispensable para la remoción del H<sub>2</sub>S, en la ecuación 15 se calculó el flujo requerido para un reemplazo del 30% de biogás, al ser el volumen aproximadamente un metro cubico, se utilizaron cinco tanques de 200 litros de plástico herméticos conectados en paralelo. En la figura 2.10 se muestra el tanque a utilizarse.



**Figura 2. 10**Tanque de 200 litros de volumen.

**Fuente:** [28]

El medio filtrante escogido fue limalla de hierro debido a su fácil colocación y es muy utilizado para separar el ácido sulfhídrico, el biogás al pasar por las paredes de hierro este se adhiere y corroe las paredes, así se queda el  $H_2S$  en filtro. En la figura 2.11 se muestra la viruta utilizada.



**Figura 2. 11.** Viruta Frix 200 g referencia 7128

**Fuente:** [29]

## **2.10. Dimensionamiento del compresor.**

Para tener un valor aproximado del tipo de compresor a usar es necesario utilizar tablas que presentan los fabricantes, en este caso la tabla a usar es de la marca Parker que va a servir como referencia de la selección. En la figura 2.12 se muestra la tabla de la selección del tipo de compresor.

Caudal			Longitud										Compresor (Kw)
			164ft	328ft	492ft	984ft	1640ft	2460ft	3280ft	4265ft	5249ft	6561ft	
Nm³/h	NI/min	cfm	50m	100m	150m	300m	500m	750m	1000m	1300m	1600m	2000m	
10	167	6	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	25	25	25	1,5 - 7,5
30	500	18	16,5	16,5	16,5	25	25	25	25	25	25	40	
50	833	29	16,5	25	25	25	25	25	25	40	40	40	7,5 - 30
70	1167	41	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	
100	1667	59	25	25	25	40	40	40	40	40	40	63	
150	2500	88	25	40	40	40	40	40	40	63	63	63	
<b>250</b>	<b>4167</b>	<b>147</b>	40	40	40	<b>40</b>	63	63	63	63	63	63	
350	5833	206	40	40	40	63	63	63	63	63	63	76	30 - 75
500	8333	294	40	40	63	63	63	63	63	76	76	76	
750	12500	441	40	63	63	63	63	76	76	76	76	100	
1000	16667	589	63	63	63	63	63	76	76	100	100	100	75 - 315
1250	20833	736	63	63	63	63	63	100	100	100	100	100	
1500	25000	883	63	63	63	76	76	100	100	100	100	100*	
1750	29167	1030	63	63	76	76	76	100	100	100	100*	100*	
2000	33333	1177	63	76	76	76	100	100	100	100*	100*	100*	
2500	41667	1471	63	76	76	76	100	100*	100*	100*	100*	100*	
3000	50000	1766	76	76	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	> 315
3500	58333	2060	76	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
4000	66667	2354	76	100	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
4500	75000	2649	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
5000	83333	2943	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
5500	91667	3237	100	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
6000	100000	3531	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	

\* Pérdidas de carga >5 %

Figura 2. 12. Tabla de selección de compresor.

Fuente: [30]

El compresor a usar esta remarcado en rojo, donde la longitud de trabajo total es de 15 m, la presión máxima a usar 120 kpa.

De acuerdo a la tabla 2.12 se puede seleccionar un compresor de hasta 6 CFM para el trabajo requerido, en el mercado existe un compresor de hasta 5.1 CFM que es suficiente para trabajar con el proyecto, y el costo es moderado. En la figura 2.13 se muestra el compresor existente en el mercado.



Figura 2. 13. Compresor de aire marca Porten.

Fuente: [31]

Para tener una mejor apreciación la tabla 2.12, muestra las características del compresor Porten.

**Tabla 2. 12.**

**Datos técnico del compresor Porten.**

POTENCIA.	2 HP
CAPACIDAD DE TANQUE.	20 GALONES / 75 LITROS.
DISEÑO	VERTICAL
TIPO DE MECANISMO DE GIRO.	MOTOR ELÉCTRICO / TRANSMISIÓN DIRECTA.
PRESIÓN	125 PSI
CAUDAL.	5.1 cfm @ 40 psi / 4.1 cfm @ 90 psi.

**Fuente: [31]**

## CAPÍTULO III

### 3. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.

Una vez realizado el diseño y selección de los materiales necesarios para el sistema del grupo de bombeo a implementarse, se procederá en este capítulo a realizar la implementación y configuración de cada uno de los equipos involucrados en este proyecto.

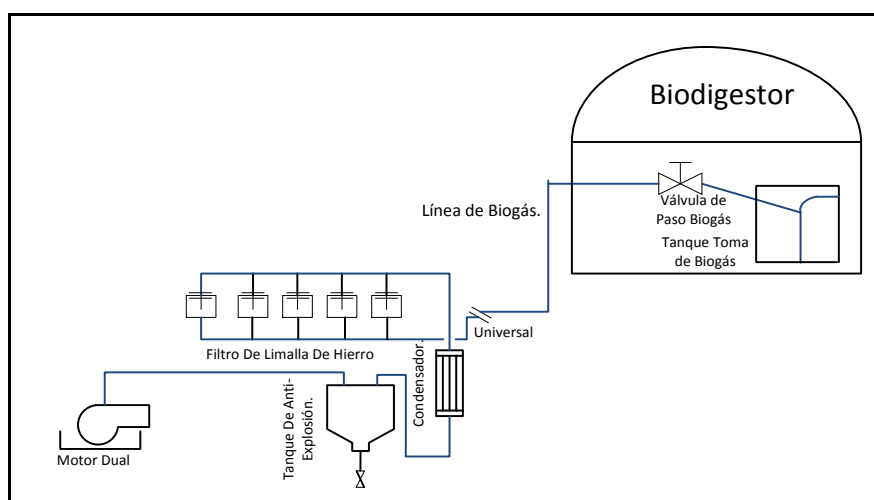
#### 3.1. Construcción y montaje del tren de calibración y el grupo de bombeo.

##### 3.1.1. Instalación de la línea de biogás para el tren de calibración.

Para realizar la instalación de línea de biogás se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

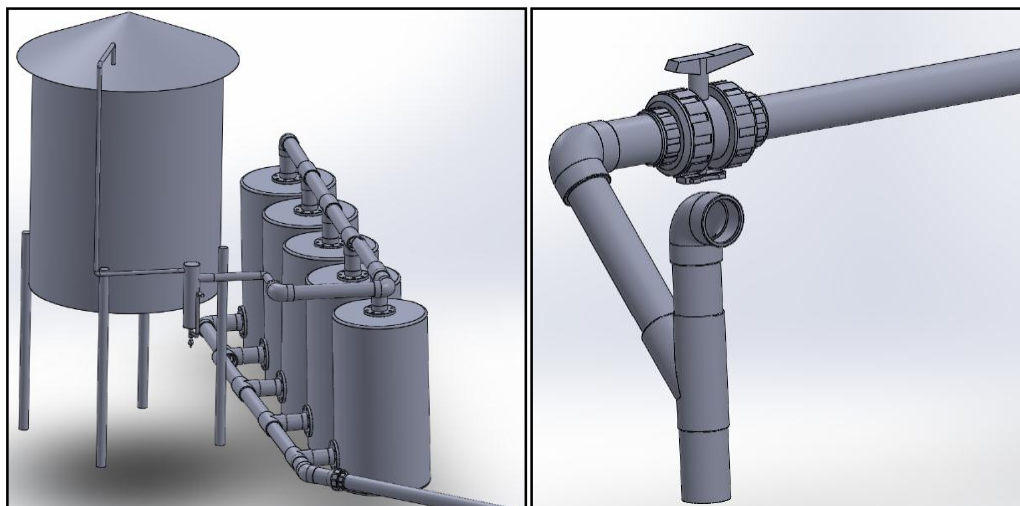
- Evitar que la tubería bloquee la libre circulación por el sitio.
- Evitar daños en la tubería por condiciones climáticas.
- Optimizar recursos.

En la figura 3.1 se muestra el esquema a seguirse para la conexión de la tubería.



**Figura 3. 1 Esquema del Tren de calibración.**

Para una mejor apreciación se usó el programa SOLID WORKS y se diseñó el esquema aproximado a seguir para la construcción. En la figura 3.2 muestra el diseño del tren de calibración.



**Figura 3. 2. Esquema tren de calibración Solid Works.**

En la figura 3.3 se muestra la conexión de la línea de biogás en el tanque de nivel del biodigestor.



**Figura 3. 3. Acople de la tubería.**

En el tren de calibración la tubería debe ir enterrada para evitar daños, en la figura 3.4, se muestra la línea lista para conectarse al filtro de biogás.





**Figura 3. 4. Línea de biogás.**

A continuación se abrió la válvula de paso del biogás, y se comprobó que éste circulaba sin ningún problema por la tubería instalada.

### **3.2. Montaje del filtro de H<sub>2</sub>S.**

En el área donde se colocaron los tanques de 200 litros se llevó a cabo una limpieza previa para su montaje.

Los tanques de plástico de 200 litros se conectaron en paralelo, teniendo la entrada y la salida de biogás.

Cabe recalcar que en la parte inferior se colocó un tubo en forma transversal y perforada para una mejor distribución del biogás por los tanques, en la figura 3.5 se muestra la tubería perforada e instalada.



**Figura 3. 5. Tubería perforada en la parte inferior.**

A continuación se introdujo la viruta de hierro dentro de los tanques, la mismas que fue previamente oxidada para una mejor reacción de filtrado. En la figura 3.6 se muestra el filtro terminado con su viruta en el interior.



**Figura 3. 6. Filtro de H<sub>2</sub>S terminado.**

### **3.3. Rehabilitación del separador de condensado.**

El biodigestor dispone de un separador de condensado, el cual se encontraba en mal estado, se lo limpio y se le puso en funcionamiento conectándolo a línea de biogás seguido del filtro de H<sub>2</sub>S. En la figura 3.7 se muestra la trampa de condensado conectado al filtro H<sub>2</sub>S.



**Figura 3. 7. Trampa de condensado rehabilitado.**

### 3.4. Rehabilitación del tanque de anti explosión.

De igual forma este tanque de anti explosión, se lo rehabilito por las malas condiciones que se encontraba, está fabricado en acero inoxidable, y está dimensionado para la carga de 50 m<sup>3</sup>/h.

En su interior dispone de una capa de 20 cm de alto de piedra pómez, una válvula con boya para el ingreso de agua, en su lateral dos tubos con una válvula de cebado conectados con una manguera entre sí para tener referencia del nivel de agua en el interior del mismo.

En su tapa tiene dos tubos de 2", uno de ellos mide 115 cm que llega al ras de la piedra pómez y es la entrada del biogás, la segunda esta al ras de la tapa y es la salida del biogás, en este caso se la suspendió, porque además cuenta con una tercera tubería de ½" pulgada la cual sirvió para conectar la tubería de PVC que llega al motor que se detalla más adelante. En la figura 3.8 se muestra el tanque anti explosión rehabilitado.



**Figura 3. 8. Tanque de anti explosión.**

### 3.5. Construcción del chasis del motor a diésel.

En el anexo, se muestra los planos del chasis que va a soportar el motor durante su trabajo de bombeo.



Se inició con los cortes de los materiales, a las medidas antes diseñadas.

Con la suelda eléctrica SMAW, se logró realizar las juntas entre materiales, como lo indica la figura 3.9 donde se puede ver, la estructura rectangular, y sus bases casi terminadas.



**Figura 3. 9. Soldado de las juntas de los materiales del chasis.**

Con la ayuda del motor se definió correctamente la medida de las bases de soporte del mismo, luego de terminado el proceso de ensamblaje se realizó un trabajo de pulido liberando así las impurezas y escorias producidas por el proceso de soldad. En la figura 3.10 se muestra la estructura lista.



**Figura 3. 10. Estructura del chasis con bases para el motor.**

A continuación se realizó la construcción del soporte de instrumentos, y el soporte del radiador. En la figura 3.11 se muestra el chasis listo para el proceso de pintura.



**Figura 3. 11. Chasis terminado con su radiador y soporte de instrumentos.**

### **3.6. Acondicionamiento del motor diésel.**

De acuerdo al diseño se construyó el tubo de escape y se lo monto. En la figura 3.12 se muestra el tubo de escape instalado.



**Figura 3. 12. Adaptación del tubo de escape.**

El tanque de combustible se calculó su volumen a las ocho horas de trabajo. En la ecuación 18 se encuentra el volumen requerido.

**volumen de consumo**

$$= \frac{\text{tiempo requerido x volumen de consumo de diesel}}{\text{tiempo consumo del diesel.}}$$

**Ec. 18. Volumen de consumo.**

$$\frac{480 \text{ min} \times 1 \text{ lt}}{35 \text{ min}}$$

13,7142 lt.

Cambiando de unidades se tiene:

**3,628 galones.**

Por motivos de tener reserva en el tanque, y para no estar día a día cargando el mismo, se construyó un tanque de 16,643 galones que da abasto para cuatro días de trabajo. En la figura 3.13 muestra su montaje.



**Figura 3. 13. Tanque de combustible.**

### **3.7. Conexión del tablero de instrumentos.**

El tablero de instrumentos se lo conecta de acuerdo al diseño realizado en la figura 2.7, 2.8, 2.9, se usó conductor #15 AWG flexible, que permite conectar en paralelo los instrumentos, salvo el de RPM que también se le conecta una salida al alternador, este varía de carga y las RPM es visualizada por el instrumento. En la figura 3.14 se muestra la conexión.





**Figura 3. 14. Conexión del tablero de instrumentos.**

### **3.8. Pintado del motor y chasis.**

Para tener una mejor presentación se procedió a pintar el motor y chasis, se usaron líquidos desengrasantes que permitieron remover la suciedad del motor.

Se lo pinto con pintura base y después se le dio el color azul eléctrico, y al chasis negro mate. En la figura 3.15 se muestra el motor listo para su adaptación.



**Figura 3. 15. Motor y chasis pintado.**

### **3.9. Cubierta del grupo de bombeo.**

El motor requiere resguardo de los eventos climático que soporta esta parte del país, para ello se construyó la cubierta de acuerdo a los planos que se encuentra en el Anexo D.

Para construir los pilares de la estructura, se realizó una mezcla de concreto, agua y arena, se fundió con el tubo de acero cuadrado, a continuación se soldó el tubo cuadrado en la parte superior de los postes para dar forma al nuevo cuarto de máquinas. En la figura 3.16 muestra las bases y el esqueleto listos.



**Figura 3. 16. Construcción de la estructura del cuarto de máquinas.**

A continuación se realizó el techado del mismo con hojas de zinc, para los laterales se usó malla electro soldada de 10 cm<sup>2</sup> de espacio entre sí. En la figura 3.17 se muestra el cuarto de máquinas lista con sus respectivas puertas de ingreso de personal, y la puerta de salida posterior, en caso de que se quiera retirar el motor de esta área.



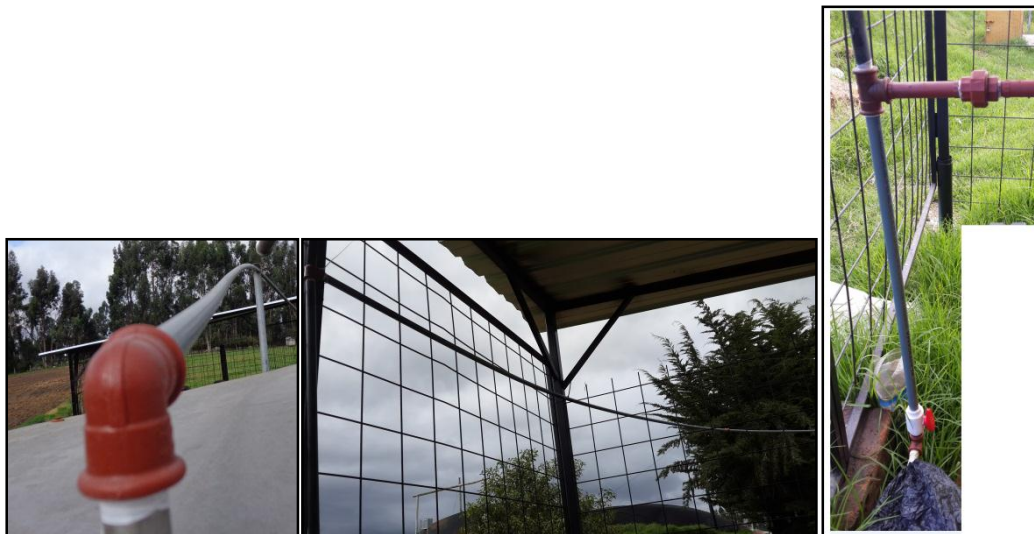
**Figura 3. 17. Cuarto me maquinas terminada.**

### **3.10. Conexión de tubería de pvc del tanque anti explosión al motor.**

Una vez listo el motor y el tren de calibración, se finaliza conectando la tubería de PVC, se usó tubería de ½” desde la tapa del tanque anti explosión hasta el cuarto de máquina y así poder adaptar el bi-fuel.



En la figura 3.18 se muestra la tubería lista con sus accesorios.



**Figura 3. 18. Adaptación del tanque anti-explosión a la casa de máquinas.**

### **3.11. Conexión de compresor a la línea de biogás.**

El fabricante del del kit bi-fuel recomienda una presión mínima de 120 Kpa de presión, para ellos se conectó el compresor a línea de biogás para cumplir con los requerimientos del bi-fuel. En la figura 3.19 se muestra la adaptación del compresor.



**Figura 3. 19. Adaptación del compresor.**

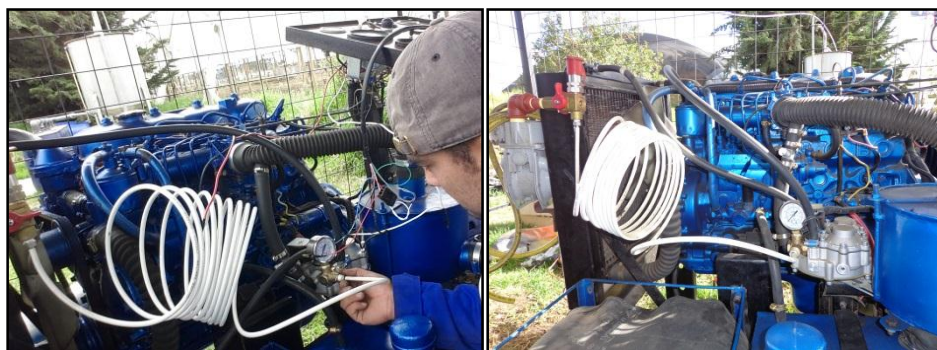
### 3.12. Conexión del bi-fuel.

El equipo bi-fuel es el más importante el cual va a permitir realizar la mezcla aire-biogás, se lo monto a lado del filtro de aire, por recomendaciones del fabricante. En la figura 3.20 se muestra el equipo montado en el chasis.



**Figura 3. 20. Montaje del bi-fuel al chasis.**

El anexo E muestra el paso a seguir para la adaptación del equipo bi-fuel al motor diésel. En la figura 3.21 se muestra el kit bi-fuel listo para realizar pruebas.



**Figura 3. 21. Conexión de accesorios al bi-fuel.**

## CAPÍTULO IV

### 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se da a conocer los resultados de las pruebas de campo obtenidos por el grupo de bombeo instalado en la hacienda San Francisco.

#### 4.1. Pruebas.

##### 4.1.1. Consumo de diésel.

El consumo se lo realizo en tres medidas distintas, el motor trabajo hasta 1500 RPM por motivos de seguridad, ya que estas pruebas se las realizo en vacío, más adelante se indicara los resultados obtenidos con la bomba en operación. En la tabla 4.1, 4.2, 4.3 se muestran los valores tomados sin carga.

**Tabla 4. 1.**

**Consumo de diésel.**

Tiempo (minutos).	Revoluciones.	Volumen (ml).
16	800	0,25
34	800	0,50
54	800	0,75
73	800	1 litro.

**Tabla 4. 2.**

**Consumo de diésel.**

Tiempo (minutos).	Revoluciones.	Volumen (ml).
10	1300	0,25
21	1300	0,50
32	1300	0,75
44	1300	1 litro.

**Tabla 4. 3.****Consumo de diésel.**

Tiempo (minutos).	Revoluciones.	Volumen (ml).
8	1700	0,25
17	1700	0,50
26	1700	0,75
35	1700	1 litro.

En la figura 4.1 se muestra como se obtuvo la muestra de consumo.

**Figura 4. 1 Toma de la muestra de consumo.****4.1.2. Funcionamiento como motor dual sin carga.**

Un motor diésel al trabajar con dos combustibles a la vez se lo denomina motor DUAL. Una vez puesta en marcha el kit bi-fuel se realizó la prueba de consumo. En la tabla 4.4, 4.5 se muestran los valores tomados.

**Tabla 4. 4.****Consumo en diésel.**

Tiempo (minutos).	Revoluciones.	Volumen (cc).
12	800	200
9,15	1100	200
7,23	1400	200

**Tabla 4. 5.****Consumo como motor dual a 43.51 PSI**

Tiempo (minutos).	Revoluciones.	Aumento de RPM	Volumen (cc).
20	800	1000	200
14	1100	1300	200
10	1400	1600	200

Como se puede observar las variaciones en consumo son considerables, se evidencia un reemplazo del 40% a una presión de 3 BARES del compresor de aire,  $\frac{1}{4}$  vuelta del caudal,  $\frac{1}{2}$  vuelta del flujo de biogás,  $\frac{3}{4}$  vuelta de las RPM del regulador en el bi-fuel.

Aquí el motor experimento una fuerte vibración, la revoluciones subieron un 10% y el humo en la salida del tubo de escape era muy azulado en grandes cantidades de lo usual, además el motor en un cierto tiempo experimento subidas y bajadas semejante a un onda sinusoidal. En la tabla 4.6, 4.7 se muestran los valores a menor presión.

**Tabla 4. 6.****Consumo en diésel.**

Tiempo (minutos).	Revoluciones.	Volumen (cc).
13	800	200
10	1100	200
7	1500	200

**Tabla 4. 7.****Consumo como motor dual a 25 PSI.**

Tiempo (minutos).	Revoluciones.	Aumento de RPM	Volumen (cc).
19	800	900	200
13	1100	1200	200
9	1500	1600	200

Se puede notar que el porcentaje de reemplazo bajo al 31.58% a 25 PSI de presión, el motor también disminuyo su vibración, los humos ya bajaron su tonalidad, y el humo igual bajo su volumen, su variación sinusoidal también bajo.

En la siguiente tabla 4.8, 4.9 se lo coloco a la presión recomendada por el fabricante para que pueda trabajar el bi-fuel.

**Tabla 4. 8.****Consumo en diésel.**

Tiempo (minutos).	Revoluciones.	Volumen (cc).
13	800	200
10	1100	200
7	1500	200

**Tabla 4. 9.****Consumo como motor dual a 120 Kpa (1.2 BAR)**

Tiempo (minutos).	Revoluciones.	Aumento de RPM	Volumen (cc).
17	800	900	200
13	1100	1150	200
9	1500	1630	200

El reemplazo fue del 23.53% a 1.20 Kpa, el motor trabajo en condiciones normales sin carga. La figura 4.2 muestra la toma de muestra del consumo del diésel sin carga.

**Figura 4. 2. Toma de la muestra de consumo del diésel sin carga****4.1.3. Funcionamiento como motor dual con carga.**

Una vez instalado el grupo de bombeo, el mismo impulso el agua para un abasto de cuatro aspersores de riego, logrando llegar al 75% del trabajo de la bomba, y sin saturar el trabajo mecánico del motor a diésel.

Los aspersores son rotados cada dos horas, para no tener el efecto de inundación sobre el pasto, de esta manera se cubre toda el área planificada que corresponde a



cuatro hectárea, al momento se encuentra creciendo el pasto que posteriormente será el alimento para el ganado. La tabla 4.10 muestra el consumo de diésel con carga.

**Tabla 4. 10.**

**Consumo de diésel con carga.**

Tiempo (minutos).	Revoluciones Motor.	Revoluciones Bomba	Volumen (cc).
2,03	1700	1500	200
480	1700	1500	47,290.64

Cuando entro a trabajar el Bi-fuel, su resultado fue notable. La tabla 4.11 muestra la diferencia de consumo.

**Tabla 4. 11.**

**Consumo del motor Dual con carga.**

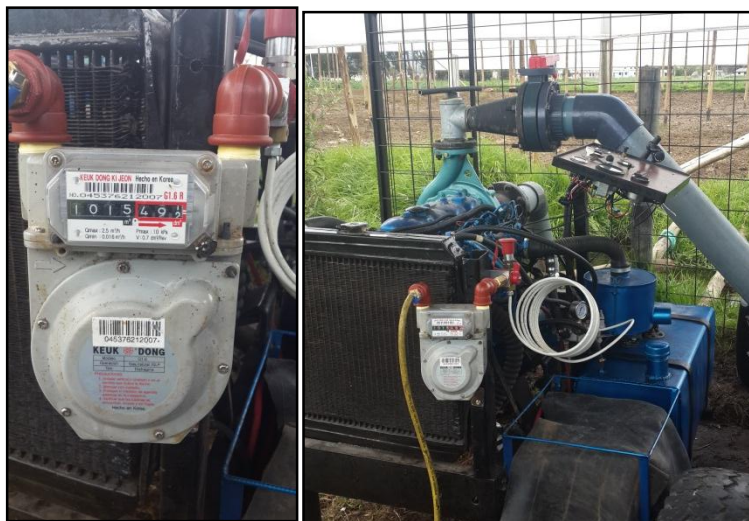
Tiempo (minutos).	Revoluciones.	Aumento de RPM	Volumen (cc).
2.58	1700	1800	200
480	1700	1800	38,400

Como se puede observar el ahorro es de aproximadamente del 27.3%, 2.4 galones de ahorro lo cual ratificamos con los cálculos antes realizados. La figura 4.3 muestra la prueba de consumo como motor dual.



**Figura 4. 3. Toma de muestra de consumo de motor dual.**

Para tener una mejor perspectiva se colocó un contador de gas natural y glp llamado GASÓMETRO, logrando marcar un consumo de un metro cubico por cada hora de operación del motor dual. La figura 4.4 muestra el gasómetro usado para contar el biogás utilizado.



**Figura 4. 4. Gasómetro instalado y contando el consumo de biogás.**

#### **4.2. Resultados.**

Los resultados de las pruebas realizadas en el grupo de bombeo, con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento del sistema así como también comprobar que se cumplan los requerimientos establecidos por la Hacienda San Francisco.

Las cromatografías realizadas antes y después del biodigestor dan a conocer el funcionamiento perfecto del filtro del biogás, los olores emanados por el biodigestor en una fugas de biogás realizada a propósito son muy fuertes similares al huevo podrido, no tiene sabor alguno, los mareos de cabeza son instantáneos. En la figura 4.5 se muestra la toma de la muestra del biogás tanto en biodigestor como en la salida del filtro de  $H_2S$ .





Muestra de biogás después del filtro



muestra de biogás en el biodigestor.

**Figura 4. 5. Toma de la muestra de biogás.**

Cabe recalcar que esta prueba se los realizo en días distintos, por la peligrosidad del biogás en las personas, y el tiempo de exposición no fue mayor a los 5 minutos. En la tabla 4.12 muestra la cromatografía del biogás que entrega el biodigestor.

**Tabla 4. 12.****Cromatografía del biogás que entrega el biodigestor.**

COMPONENTE	CROMATOGRAFÍA	
	% PESO	% MOLES
NITRÓGENO	5.46	5.26
METANO	31.14	52.41
CO <sub>2</sub>	59.49	36.49
AGUA	3.90	5.84
DENSIDAD RELATIVA	0,94	
PESO MOLECULAR PROM. (g/gmol)	26,99	
PODER CALORÍFICO DEL GAS BTU/ft <sup>3</sup>	12505.22	

Una fuga de biogás realizado a propósito después del filtro de biogás dio como resultado un olor similar a detergente, pero el mareo de cabeza fue instantáneo de esta manera se pudo evidenciar un funcionamiento correcto del filtro en la tabla 4.13 se muestra la cromatografía del biogás realizada después de pasar por el filtro de H<sub>2</sub>S que ratifica su funcionamiento. Para mejor detalle ver el Anexo C.

**Tabla 4. 13.****Cromatografía del biogás que entrega del filtro de H<sub>2</sub>S**

COMPONENTE	CROMATOGRAFÍA	
	% PESO	% MOLES
NITRÓGENO	7.72	6.56
METANO	45.63	67.14
CO <sub>2</sub>	44.27	23.74
AGUA	1.30	1.71
DENSIDAD RELATIVA	0,81	
PESO MOLECULAR PROM. (g/gmol)	23.36	
PODER CALORÍFICO DEL GAS BTU/m <sup>3</sup>	24347.8	

Los valores obtenidos en las cromatografías revelan un buen funcionamiento del filtro de H<sub>2</sub>S, en la tabla 4.14 se muestran los porcentajes de los valores del antes y después del filtro.

**Tabla 4. 14.****Porcentajes de efectividad.**

COMPONENTE	CROMATOGRAFIA
	% MOLES
NITROGENO	> <b>19.81%</b>
METANO	> <b>21.82%</b>
CO <sub>2</sub>	< <b>34.94%</b>
AGUA	< <b>70.72%</b>
DENSIDAD RELATIVA	0,81
PESO MOLECULAR PROM. (g/gmol)	23.36
PODER CALORIFICO DEL GAS BTU/m <sup>3</sup>	> 24347.8

Los porcentajes antes mencionados revelan un resultado muy interesante al pasar el biogás por el filtro de limallas de hierro, aumentando el metano y disminuyendo el agua.

El chasis es otro punto clave en el proyecto respondió muy bien a las cargas sometidas por el peso del motor con todos sus accesorios incluido el soporte de la bomba de agua con sus tuberías acopladas a la succión y descarga. En el Anexo B se detalla sus esfuerzos. En la figura 4.6 se muestra el proyecto terminado y el chasis cumpliendo con su función de soportar las cargas.



**Figura 4. 6. Chasis cumpliendo con las cargas sometidas.**

En las pruebas realizadas anteriormente se evidencio que los datos dimensionados estuvieron en lo correcto, el bi-fuel y el motor funcionan correctamente y el promedio del 30% de ahorro de combustible se logró de la mejor manera.

El kit bi-fuel también se lo probo con un motor diésel que disponía en sus sistema de un turbo alimentador, el motor trabajo en muy buenas condiciones y a los 90 PSI que entrega el compresor, con esto se pudo comprobar que el equipo funciona para los dos sistemas sin ningún problema, de esta manera el bi-fuel puede ser conectado en cualquier motor a diésel ya sea con aspiración directa o con un turbo alimentado.

La placa de electrónica de regulador de voltaje también cumplió con su funcionamiento, y la tarjeta electrónica del bi-fuel no tuvo problemas en su funcionamiento.

La tarjeta electrónica del bi-fuel se activa a las revoluciones que se desee, para este caso se activa a 1500 rpm, ya que la velocidad a trabajar es de 1800 RPM. En la figura 4.7 se muestra el regulador de velocidad de la tarjeta EFI.



**Figura 4. 7. Perilla de la regulación de la velocidad de activación del BI-FUEL.**

Un punto importante que se vio en las pruebas es que el tanque de anti explosión también funciona como un equipo de almacenaje de biogás, esto ocurre porque el compresor se accionada cada 15 minutos, esto permite tener más tiempo de residencia al biogás dentro del filtro.

La trampa de condensados cumple su función de retirar el agua del biogás, que también es ayudado por el tanque de anti explosión, mientras este se encuentra en reposo dentro del tanque.

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL DISEÑO IMPLEMENTADO.

#### 5.1. Análisis financiero.

La implementación de un nuevo sistema para la adaptación del biogás al motor diésel y utilizarlo como combustible en un grupo de bombeo, implica la inversión en el diseño y construcción de un sistema BI-FUEL el cual constará de: un tren de calibración para transportar el biogás, instrumentos de monitoreo, filtro de H<sub>2</sub>S.

Esta inversión tendrá un costo, este deberá ser justificado económicamente desde el ahorro de combustible que se conseguirá durante la vida del proyecto

##### 5.1.1. Lista de materiales usados.

Un método para obtener el costo es realizar un sumatorio de los precios reales promedio que se encuentran en el mercado.

La alimentación de biogás desde el biodigestor al filtro de H<sub>2</sub>S y luego al compresor llegando al BI-FUEL, es un factor importante que influye en el aspecto económico del proceso de transporte de biogás. En la tabla 5.1 se muestra la lista de materiales del chasis.

**Tabla 5. 1.**

#### **Materiales del chasis.**

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Acero estructural 5mm	5.8 m	40	232
Acero estructural 2mm	1.6 m	30	30
Plancha de 10mm	1 m <sup>2</sup>	80	80
Electrodos 60-11	6 lb	1.12	6.72
Discos de corte.	10	0.5	5
Discos de pulir.	10	0.75	7.5
Varilla 5mm	1 m	2	2
Tol de 2mm	45x35	2	2
Pernos	Toda medida	7.5	7.5

*CONTINÚA* →

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Alquiler de taller	1	197.28	100
Base de bomba de agua.	1	200	250
<b>TOTAL.</b>			<b>722.72</b>

Lo instrumentos necesitan de energía para su funcionamiento. En la tabla 5.2 se muestran la lista de los materiales eléctricos.

**Tabla 5. 2.**

**Materiales eléctricos.**

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Bi-fuel.	1	1000	1000
Automático	2	14	28
Reloj de temperatura	1	25	25
Reloj de RPM	1	80	80
Reloj de voltaje	1	20	20
Reloj de nivel de combustible	1	35	35
Reloj de aceite	1	28	28
Odómetro	1	45	45
Pulsador de fuerza.	1	3.5	3.5
Switch de encendido	1	20	20
Regulador de voltaje	1	30	30
Terminales	20	0.25	5
Terminales de batería.	6	0.50	3
Cable # 5 AWG batería.	2.5m	14	35
Cable # 15 AWG	20 m	0.5	10
Baterías	2	50	100
Cable # 12 gemelo compresor	15	0.25	3.75
<b>TOTAL.</b>			<b>1,471.25</b>

Para que el proyecto tenga funcionamiento se requiere de un motor diésel y de sus accesorios. En la tabla 5.3 se muestra el listado de materiales del motor y sus componentes.

**Tabla 5. 3.**

**Acondicionamiento del motor a diésel.**

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Motor Toyota.	1	2500	2500
Radiador.	1	150	150
Mangueras.	1	45	45
Abrazaderas.	4	0.25	1
Refrigerante.	1	4	4
Tanque de combustible	1	150	150
Tubo de escape.	1	150	150
Pintura motor y casa de maquinas	10 lt	5	50
Pistola de pintar.	1	25	25
Tiñer.	8 lt	1.25	10

*CONTINÚA* →

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Guaípe.	5	1	5
Chapas de motor.	1	45	45
Empaques	3	12	36
Puesta a punto del motor	1	50	50
Alquiler del taller automotriz	1	50	50
Transporte	1	200	200
Arreglo de brida	1	50	50
Total de pernos	1	20	20
Cable de choque	1	5	5
Tubo de presión 3 mm	2.5	10	25
Mando de cambio de velocidades.	1	12	12
<b>TOTAL.</b>			<b>3,583</b>

Para lograr tener un biogás en condiciones de trabajo se requiere de un filtro de H<sub>2</sub>S. En la tabla 5.4 se muestra la lista de materiales del filtro de H<sub>2</sub>S.

**Tabla 5. 4.**

**Materiales del filtro de H<sub>2</sub>S.**

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Adaptador de 2"	3	1.6	4.8
Ye 2"	1	4.66	4.66
Codo 45° 2"	1	1.7	1.7
Codo 90° 2"	1	1.6	1.6
Válvula 2"	1	14.67	14.67
Reducción de 3" a 2"	1	2	2
Tubo 2"	1	10.41	10.41
Codo 90° 3"	5	4.9	24.5
Codo 45° 3"	1	5.26	5.26
Te 3"	8	5.17	41.36
Universal 3"	1	38.5	38.5
Bridas 3"	10	9.5	95
Tubo 3"	5	19.79	98.95
Cemento solvente	1	14.48	14.48
Tanques plásticos	5	40	200
Viruta de acero lustre	200	108.29	108.29
Compresor	1	85.28	236.90
Malla electro soldada	3	43.75	131.25
Tubo cuadrado 2x2	7	24.11	168.75
Dipanel de 2.40 m	10	15.18	151.79
Gonces.3/4x3	4	1.79	7.14
Pernos	20	1.45	29
Bandas 60"	2	9.5	19
<b>TOTAL</b>			<b>1,410.01</b>

El agua requiere del equipo de bombeo para ser expulsada con gran fuerza. En la tabla 5.5 se muestra el listado de bombeo, succión y descarga.

**Tabla 5. 5.****Bombeo, succión y descarga.**

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Bomba 665 GPM @60 mts 50HP	1	2,375	2,375
Brida 3" Empate Volante Motor - Eje 2"	1	287.50	287.50
Polea Tipo B 4 Canales 7"	1	136.25	136.25
Polea Tipo B 4 Canales 9"	1	181.25	181.25
		<b>Total</b>	<b>2,980.25</b>
Válvula Pie PVC 160mm	1	245.88	245.88
Tubo E/C PVC 160mm x 0.63	1	44.49	44.49
Codo PVC 160mm x 90°	1	33.68	33.68
Brida PVC 160mm	1	33.23	33.23
Perno 5/8 x 3"	8	1.80	14.40
Excentrico B-B 4 x 6"	1	180	180
		<b>Total</b>	<b>518</b>
Brida HG 3"	1	50	50
Neplo HG 3"	1	15	15
Tee HG 3"	1	19.14	19.14
Tapón M HG 3"	1	4.14	4.14
Excentrico R-B 6 x 3"	1	180	180
Válvula Mariposa PVC 160mm	1	137.73	137.73
Brida PVC 160mm	1	33.23	33.23
Perno 5/8 x 6"	8	2.	16
Codo PVC 160mm x 45°	2	60	120
Válvula Check PVC 160mm	1	195.92	195.92
		<b>Total</b>	<b>771.16</b>

La inversión total del proyecto en materia prima directa (MPD) tiene un costo total que se muestra en la tabla 5.6.

**Tabla 5. 6.****Inversión total materia prima directa (MPD).**

TIPO DE INVERSIÓN	MONTO
MATERIALES DEL CHASIS.	722.72
MATERIALES ELÉCTRICOS.	1,471.25
ACONDICIONAMIENTO DEL MOTOR A DIÉSEL	3,583
MATERIALES DEL FILTRO DE H <sub>2</sub> H	1,410.01
BOMBEO	2,980.25
SUCCIÓN	518
DESCARGA	771.16
<b>TOTAL</b>	<b>11,456.39</b>

El proyecto requiere de personal humano para la construcción del grupo de bombeo. En la tabla 5.7 se muestra el pago de los trabajadores de la construcción del proyecto.



**Tabla 5. 7.****Mano de obra directa.**

MANO DE OBRA.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PORCENTAJE % MPD	MONTO
<b>Técnica</b>	Jefe de obra	1	10	1124.953
			<b>Subtotal</b>	<b>1124.953</b>
MANO DE OBRA.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO DE TRABAJO (8 HORAS)	MONTO
<b>No técnica</b>	Soldador	1	30	210
	Trabajador	1	17.70	354
			<b>subtotal</b>	<b>564</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>1688.953</b>

Luego de tener los datos necesarios se requiere de la inversión (INV) total. En la tabla 5.8 se muestra la inversión total.

**Tabla 5. 8.****Inversión total.**

GENERAL	INVERSIÓN TOTAL	PORCENTAJE INV. TOTAL
<b>MATERIA PRIMA DIRECTA</b>	11,456.39	87.1517
<b>MANO DE OBRA DIRECTA</b>	1,688.953	12.8483
<b>TOTAL</b>	<b>13,145.343</b>	<b>100</b>

Como todo proyecto requiere de un elemento necesario para su funcionamiento como el autoabastecimiento en este caso se requiere del servicio eléctrico para el accionamiento de un compresor y del diésel que requiere el motor de combustión interna, aquí se coloca el valor de consumo del diésel con el ahorro del 30% obtenido en las pruebas. En la tabla 5.9 se muestra estos valores.

**Tabla 5. 9.****Costo de autoabastecimiento.**

Equipo	Galones/8horas	Potencia hp	Tiempo de operación horas	Total kwh	Costo mensual	Costo semestral
Compresor		<b>2</b>	<b>5.33</b>	<b>1.657</b>	<b>31.79</b>	<b>190.76</b>
Consumo Diésel	<b>10.15</b>		<b>8</b>		<b>490.17</b>	<b>2,941.061</b>
					<b>TOTAL</b>	<b>3,131.821</b>

El proyecto necesita de un operador para su funcionamiento, por tal razón se incluye los valores a pagar. En la tabla 5.10 se indica el pago del operador.

**Tabla 5. 10.****Mano de obra del operador.**

Operador.	Aporte mensual al IEES (11.15%)	Salario mensual	Décimo tercero	Décimo cuarto	Sueldo semestral
1	39.47	2,117.4216	354	354	2,825.421
				<b>TOTAL</b>	<b>2,825.421</b>

En la tabla 5.11 se muestra la tabla de los costos totales operación.

**Tabla 5. 11.****Costos de operación.**

TIPO DE COSTO	TOTAL
Autoabastecimiento	3,131.821
Mano de obra del operador	2,825.421
<b>TOTAL</b>	<b>5,957.242</b>

La tabla 5.12 se muestra el ahorro de combustible realizado.

**Tabla 5. 12.****Ahorro de combustible.**

TIEMPO DE OPERACIÓN	INGRESO
<b>Diario</b>	3.799
<b>Mensual</b>	113.972
<b>Anual</b>	1367.664

**5.1.2. Flujo de caja.**

Es el cálculo que permitirá saber en qué tiempo se recupera la inversión y desde cuando inicia la ganancia del proyecto. En la tabla 5.12 se muestra la inversión total para la proyección de un año.

**Tabla 5. 13.****Inversión total para un año de proyecto.**

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Inversión total	13,145.343
Costos de operación.	5,957.242
<b>TOTAL</b>	<b>19,102.583</b>

La tasa de interés que se usa es la que indica el Banco Central Del Ecuador por su vocero el Banco Nacional Del Fomento. En la figura 5.1 se muestra la tabla del Banco Central Del Ecuador.

PARA EL PERIODO DE AGOSTO DE 2015	TASA DE INTERES
PASIVA REFERENCIAL:	5,55%
ACTIVA REFERENCIAL:	8,06%
LEGAL	8,06%
MAXIMA CONVENCIONAL	9,33%
TASA ACTIVA EFECTIVA MÁXIMA PARA EL SEGMENTO PRODUCTIVO CORPORATIVO	9,33%
TASA ACTIVA EFECTIVA MÁXIMA PARA EL SEGMENTO PRODUCTIVO EMPRESARIAL	10,21%
TASA ACTIVA EFECTIVA MÁXIMA PARA EL SEGMENTO PRODUCTIVO PYMES	11,83%


**Figura 5. 1. Tasa del Banco Central Del Ecuador.**

**Fuente: [32]**

La amortización es la reducción parcial de los montos de una deuda en un plazo determinado de tiempo. Considerando la inversión inicial de \$ 13,145.343, y un interés de producto empresarial de 10.21%, con la ayuda del software de Microsoft EXCEL se realizó el cálculo. En la tabla 5.13 se muestran la amortización de préstamos.

**Tabla 5. 14.**

**Cuadro de amortización de préstamos.**

 <b>CUADRO DE AMORTIZACIÓN DE PRÉSTAMOS</b>			
<b>importe</b>	<b>13.145,34</b>	<b>PAGOS TOTALES</b>	
<b>años</b>	<b>5</b>	PRINCIPAL	13.145,34
<b>comisión de apertura</b>	<b>0,00%</b>	INTERESES	4.026,42
<b>interés nominal</b>	<b>10,21%</b>	COMISIÓN	0,00
<b>periodo de pago</b>	<b>1</b>	<b>TOTAL</b>	<b>17.171,76</b>
<b>tipo amortización</b>	<b>2</b>		
<b>cuotas constantes</b>			
<b>coste efectivo</b>		<b>10,21%</b>	

años	cuota	intereses	amortización	amortizado	pendiente
0					13.145,34
1	3.971,21	1.342,14	2629,07	2.629,07	10.516,27
2	3.702,78	1.073,71	2629,07	5.258,14	7.887,21
3	3.434,35	805,28	2629,07	7.887,21	5.258,14
4	3.165,92	536,86	2629,07	10.516,27	2.629,07
5	2.897,50	268,43	2629,07	13.145,34	0,00

Realizando una hoja de cálculo en Excel se puede calcular el flujo de caja. En la tabla 5.15 se muestra estos valores.

**Tabla 5. 15.**  
**Flujo de caja.**

RUBROS	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
<b>INGRESOS:</b>	(13.145,34)					
AHORRO DEL SIÉSEL		113,97	113,97	113,97	113,97	113,97
<b>EGRESOS:</b>						
INTERES PRÉSTAMO (10,21%)		(1.342,14)	(1.073,71)	(805,28)	(536,86)	(268,43)
AMORTIZACIÓN DEUDA		(2.629,07)	(2.629,07)	(2.629,07)	(2.629,07)	(2.629,07)
COSTO DE OPERACIÓN		(5.957,24)	(5.957,24)	(5.957,24)	(5.957,24)	(5.957,24)
FLUJO DE CAJA	(13.145,34)	(9.814,48)	(9.546,05)	(9.277,62)	(9.009,20)	(8.740,77)

### 5.1.3. Cálculo del van, tir y tiempo de recuperación.

El Banco Central del Ecuador ha determinado la tasa de interés activa anual en un 10.21%. Este valor será la tasa de descuento para calcular el VAN, TIR y el Tiempo de Recuperación.

### 5.2. Calculo del valor actual neto (VAN)

Para evaluar el valor del dinero a través del tiempo se usa la técnica del cálculo de VAN, para poder aplicar este método se debe pasar el valor del dinero en un momento determinado a valor presente, si el valor presente neto es positivo el proyecto puede ser aceptado caso contrario el proyecto no es rentable.

En la ecuación 19 se muestra la forma de calcular el Van.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

### Ec. 19. Calculo del VAN

Dónde:

$V_t$  = Flujos de caja en cada periodo t.

$k$  = Tasa de interés.

$I_0$  = Inversión inicial.

$t$  = Periodo en años.

En la tabla 5.16 se muestra el cálculo del VAN.

**Tabla 5. 16.**

#### Calculo del VAN.

<b>TASA</b>	<b>10,21%</b>				
<b>AHORRO MENSUAL</b>	613,97				
<b>AHORRO ANUAL</b>	1.367,66				
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>	13.145,34				
<b>TASA MENSUAL</b>	0,85%				
<b>AÑOS</b>					
<b>0</b>	-13.145,34		VAN	22032,28	
<b>1</b>	9.814,48	ganancias	TIR	66,86%	ANUAL
<b>2</b>	9.546,05	ganancias	TR	24	MESES
<b>3</b>	9.277,62	ganancias			
<b>4</b>	9.009,20	ganancias			
<b>5</b>	8.740,77	ganancias			ES RENTABLE

En la tabla 5.16 se da un valor del VAN 2203.28, por tal razón el  $VAN > 0$  y el proyecto es rentable en un tiempo de consideración de 5 años.

#### 5.2.1. Calculo De La Tasa De Interés De Retorno (TIR)

Para la factibilidad del proyecto se requiere de la TIR, es decir indica el beneficio neto que proporciona la inversión en función de un porcentaje anual, igualando el valor actual de los costos y beneficios ( $VAN = 0$ ). En la ecuación 20 se muestra la fórmula de la VAN.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - l_0 = 0$$

**Ec. 20. Calculo de la TIR**

En la tabla 5.16 la TIR es de 66.86% anual, es mayor que la Tasa de Interés Activa, el proyecto es rentable y viable.

### 5.2.2. Tiempo de recuperación de la inversión. (TR)

Para tener un tiempo de recuperación de la inversión es necesario usar la ecuación 21 que se muestra a continuación de la inversión estadística.

$$I_0 = \frac{A}{i}((1 + i)^{-n})$$

**Ec. 21. Tiempo de retorno de la inversion.**

Dónde:

**A** = Ganancia mensual.

**i** = Tasa de interés mensual.

**I<sub>0</sub>** = Inversión inicial.

**n** = Número de meses de recuperación de la inversión.

Despejando n de la ecuación 21 tenemos la ecuación 22 que se muestra a continuación:

$$TR = n = - \frac{\ln\left(\frac{A - I_0 i}{A}\right)}{\ln(1 + i)}$$

**Ec. 22. Tiempo de recuperacion.**

En la tabla 5.16 antes mencionada indica que el TR obtenida es de 24 meses, este valor indica que la recuperación va ser temprana, y el proyecto en viable.

Para una mejor apreciación en la tabla 5.17 se encuentran todos los valores unificados para un análisis más completo.

**Tabla 5. 17.****Datos del VAN, TIR y TR.**

<b>Tasa de descuento (anual)</b>	<b>10,21%</b>
<b>Ahorro mensual:</b>	113.972
<b>Ahorro anual:</b>	1367.664
<b>Inversión inicial:</b>	13,145.343
<b>Periodo años</b>	<b>Flujo de fondos anuales</b>
<b>0</b>	-13.145,34
<b>1</b>	9.814,48
<b>2</b>	9.546,05
<b>3</b>	9.277,62
<b>4</b>	9.009,20
<b>5</b>	8.740,77
<b>Valor actual neto (VAN):</b>	2,203.28
<b>Tasa interna de retorno (TIR):</b>	66,86% anual
<b>Tiempo de recuperación (TR):</b>	24 Meses

**5.3. Análisis financiero.**

Con los cálculos realizados se puede notar que lo aplicados anteriormente son parámetros positivos y por ende son atractivos y viables, logrando recuperar la inversión en 24 meses, de esta manera el biogás si contribuye con la economía del grupo de bombeo ubicado en la Hacienda San Francisco.

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 6.1. Conclusiones.

- La cromatografía realizada en la Escuela Politécnica Nacional muestra un porcentaje en moles de 52,41% de Metano ( $\text{CH}_4$ ), 5,84% de Agua a estas condiciones se recibe el biogás del biodigestor de la Hacienda San Francisco.
- El modelo del tren de calibración se usó para el transporte del biogás y se calculó un diámetro de 5 mm en tubería de PVC, y el análisis permitió hacer uso de una tubería de Cementado Solvente EC de 90 mm de 0.80 Mpa, por sus propiedades de resistencia a las condiciones climáticas, presión, no se corroe con el  $\text{H}_2\text{S}$  y no dispone de poros que ocasionen la fuga del biogás.
- La investigación permitió usar la limalla de hierro como un componente purificador del ácido sulfhídrico por el método de adsorción que maneja pequeños volúmenes de trabajo, se construyó un filtro que tiene un volumen de 1  $\text{m}^3$  biogás en una hora.
- Los datos proporcionados del biodigestor son de 1 Mbar de presión a 20 °C, y puede entregar un volumen de hasta 23  $\text{m}^3$  por hora, del BI-FUEL el fabricante indica la presión requerida de trabajo mínima de 120 Kpa a temperatura ambiente de 20 °C, y el volumen dependerá del consumo del motor a diésel, para el proyecto es de un metro cubico por hora.
- El BI-FUEL permite inyectar el biogás hacia la cámara de combustión, por medio del múltiple de admisión del motor a diésel realizando una mezcla aire-biogás, con un porcentaje de mezcla de los combustibles 70% de diésel y el 30% de biogás logrando un ahorro de 2.4 galones cada 8 horas lo que significa \$113,97 mensuales y \$1367,66 anuales de ahorro.
- El condensador existente en la Hacienda San Francisco fue rehabilitado y funciona con normalidad, la cromatografía realizada al final del tren de calibración indica un valor en moles de 1.71% de agua reduciendo en 70.72%



- El tren de calibración hacia el motor tiene una presión de 120 Kpa (1.2 BAR) de presión regulada por un compresor de aire de 5 CFM, un volumen de consumo de 1 m<sup>3</sup> contado por el gasómetro y la temperatura de trabajo a 20°C.

## 6.2. Recomendaciones.

- Para tener un porcentaje mayor de reemplazo de hasta 70%, es necesario tener un motor a diésel con turbo alimentador incorporado.
- Tener un regulador de voltaje de 24 a 12 VCD si el equipo lo requiere.
- Se debe purgar el compresor cada ocho horas de trabajo por motivo de condensados y seguridad.
- Se debe leer detalladamente el manual de instalación y puesta a punto del Kit BI-FUEL para no tener problemas en el momento del arranque del motor a diésel.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Maps, «Hacienda San Francisco, Agrogana S.A.,» [En línea]. Available: <https://www.google.com.ec/maps/place/AGROGANA+-+Agroganadera+Espinosa+Chiriboga+S.A./@-0.8070015,-78.6192225,469m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x0000000000000000:0x9770780e99202364?hl=es-419>. [Último acceso: 27 enero 2014].
- [2] J. C. ALMEIDA, DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA SU APROVECHAMIENTO EN EL NUEVO CAMPUS DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA, Latacunga, 2013.
- [3] G. Moncayo, Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogas., Alemania: AQUALIMPIA BERATENDE INGENIEURE., 2011.
- [4] E. J. Kates, Motores Diesel y de Gas de Alta Compresión, Barcelona: REVERTE, S.A., 1982.
- [5] S. H. Gerschler, Tecnología del automovil, Barcelona (España): REVERTÉ, S. A., 1985.
- [6] A. A. L. Mecánica., «Elementos Móviles.,» [En línea]. Available: [www.aficionadosalamecanica.net/motor-elementos-moviles.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-elementos-moviles.htm). [Último acceso: 5 junio 2014].
- [7] E. M. Acosta, «Conocimiento Básico Del Automóvil.,» [En línea]. Available: [www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-22.html](http://www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-22.html). [Último acceso: 15 Junio 2014].
- [8] T. Max, «Partes Del Turbo.,» [En línea]. Available: <http://turbomax.blogdiario.com/categoria/turbocompresores>. [Último acceso: 2 julio 2014].
- [9] A. a. l. Mecanica., «Gestion A La Electronica Diesel.,» [En línea]. Available: [http://www.aficionadosalamecanica.net/gestion\\_electronica\\_diesel.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/gestion_electronica_diesel.htm). [Último acceso: 2 Julio 2014].

- [10] F. S. KAROL DAYANA CIFUENTES BECCA, «INSTITUCION EDUCATIVA NORMAL SUPERIOR SANTIAGO DE CALI,» 10 Marzo 2013. [En línea]. Available: [http://tecnologia2013pet.blogspot.com/2013/03/institucion-educativa-normal-superior\\_10.html](http://tecnologia2013pet.blogspot.com/2013/03/institucion-educativa-normal-superior_10.html). [Último acceso: 3 Julio 2014].
- [11] M. S. Jóvaj, MOTORES DE AUTOMOVIL., MOSCÚ: MIR, 1982.
- [12] D. meganeboy, «Aficionados a La Mecanica,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm>. [Último acceso: 25 Julio 2014].
- [13] D. meganeboy., «Aficionados a La Mecanica, Sistemas de ayuda de arranque para motores Diesel,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.aficionadosalamecanica.net/common-calentamiento.htm>. [Último acceso: 25 Julio 2014].
- [14] M. Á. V. Fernández, «Monografias.com,» [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos75/sistema-arranque-estructura-partes/sistema-arranque-estructura-partes2.shtml>. [Último acceso: 25 julio 2015].
- [15] Sabelotodo.org, «El Generador Del Automovil,» [En línea]. Available: <http://www.sabelotodo.org/automovil/generador.html>. [Último acceso: 1 Agosto 2014].
- [16] L. LGC Gas Equipment (HK) Co., «Kit BI-FUEL,» [En línea]. Available: [www.lgc.hk](http://www.lgc.hk). [Último acceso: 1 Agosto 2014].
- [17] Guillermo., «Bombas Centrífugas,» 6- *Bombas Centrífugas.*, pp. 137-174, 11/06/2012.
- [18] I. D. M. D. L. F. D. I. AMBIENTAL, «COMPRESORES,» 2010.
- [19] S. M. I. CHILUISA, SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE BIOGÁS PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO, LATACUNGA, 2015.
- [20] A. S.A, Interviewee, *Biodigestor.* [Entrevista]. 2010.
- [21] R. V. Scovino, «Condiciones atmosféricas y funcionamiento del motor,» [En

- línea]. Available: <http://www.automotriz.net/tecnica/motor-condiciones-atmosfericas.html>. [Último acceso: 15 Enero 2015].
- [22] icaota, «Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Jose Guango Bajo.,» p. 346, 2011.
- [23] Wikipedia, «Isuzu ELF,» [En línea]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Isuzu\\_Elf](https://en.wikipedia.org/wiki/Isuzu_Elf). [Último acceso: 27 Enero 2015].
- [24] E. P. Nacional, «Cromatografía BIOGAS,» Departamento De Ingeniería Química, Laboratorio de Analisis Instrumental., Quito, Ecuador., 2014.
- [25] E. G. b. E. A. C. c. Betzabet Morero a, *Biogás obtenido de la digestión anaeróbica de diferentes residuos orgánicos.*, Argentina, Santa Fe, 2009.
- [26] M. D. Piñón, «Eliminación del sulfuro de hidrógeno en el biogás,» 15 02 2009. [En línea]. Available: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia41/HTML/Articulo05.htm>. [Último acceso: 20 05 2015].
- [27] M. D. Piñón, «Miembro del Grupo Provincial de Biogás de Las Tunas,» [En línea]. Available: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia41/HTML/Articulo05.htm>. [Último acceso: 23 Marzo 2015].
- [28] clasipar.com, «COMPRO TAMBORES DE PLASTICO DE 200 LT,» [En línea]. Available: [http://clasipar.paraguay.com/compro\\_tambores\\_de\\_plastico\\_de\\_200\\_lt\\_\\_952462.html](http://clasipar.paraguay.com/compro_tambores_de_plastico_de_200_lt__952462.html). [Último acceso: 10 Marzo 2015].
- [29] T. P. Limpio, «Viruta Frix 200 g referencia 7128,» [En línea]. Available: <http://pisolimpio.com.co/viruta-200-gr/>. [Último acceso: 20 Marzo 2015].
- [30] P. H. E. SA, «PARKER,» [En línea]. Available: <http://www.parkertransair.com/jahia/Jahia/filiale/spain/lang/es/home/TechnicalCenter/SizingMethod>. [Último acceso: 1 Mayo 2015].
- [31] P. P. & TECHNOLOGY, «PORTEN,» [En línea]. Available: <http://www.portentools.com/secadores-aire.php>. [Último acceso: 05 Mayo 2015].

- [32] B. N. D. FOMENTO, «BANCO NACIONAL DEL FOMENTO,» 03 Agosto 2015. [En línea]. Available: [https://www.bnf.fin.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=53%3Atasas-del-banco-central&catid=20%3Atransparencia-de-informacion&Itemid=90&lang=es](https://www.bnf.fin.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=53%3Atasas-del-banco-central&catid=20%3Atransparencia-de-informacion&Itemid=90&lang=es). [Último acceso: 12 Agosto 2015].
- [33] L. Carrillo, «Vida y muerte de los microorganismos,» *Microbiología Agrícola*, p. 20, 2003.
- [34] «ISAT,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.biores.eu/docs/BIOGASFUNDAMENTALS/biogasdigestvoll.pdf>. [Último acceso: 6 11 2013].
- [35] E. d. C. R. Tecnológica, Diseño y Construcción de Biodigestores, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2008.
- [36] L. D. R. RODRÍGUEZ, 2004. [En línea]. Available: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0426t.pdf>. [Último acceso: Enero 2014].
- [37] G. Aroca, «Comparison on the removal of hydrogen sulfide in biotrickling filters inoculated with *Thiobacillus thioparus* and *Acidithiobacillus thiooxidans*,» *Electronic Journal of Biotechnology ISSN: 0717-3458*, 2007.
- [38] R. N. Arthur Kohl, Gas Purification, Houston - Texas: Gulf Publishing Company, 1997.
- [39] G. D. J. O. Perry RH, Manual del Ingeniero Químico, 2001.
- [40] M. R. Muños, Estudio y puesta en marcha de un sistema de eliminación de ácido sulfhídrico en una corriente de aire, mediante un biofiltro de escurrimiento con *Thiobacillus thioparus* inmovilizado en espuma de poliuretano, 2006.
- [41] Aqualimpia. [En línea]. Available: <http://www.aqualimpia.com/PDF/Tren-de-calibracion.pdf>. [Último acceso: 10 11 2013].
- [42] M. R. Muñoz, Vialidad de un Proceso para la Eliminación Conjunta de H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub> Contenido en Efluente Gaseoso, 2007.
- [43] Aqualimpia Engineering, Seitenkanalverdichter, Druck-und Vakuumbetrieb,

Side channel blowers and exhausters, Turbinas de canal lateral y aspiradores, Alemania.

- [44] Aqualimpia Engineering, Biodigestor San Francisco Agrogana, Latacunga, 2008.
- [45] ENNOX, «ennox biogas technology GmbH,» [En línea]. Available: [www.ennox.at](http://www.ennox.at). [Último acceso: 12 08 2013].
- [46] I. G. M. Romero, Dimensionamiento y Diseño y Construcción de Biodigestores y Plantas de Biogas, Alemania: Aqualimpia Beratende Ingenieure, 2011, p. 352.
- [47] P. Etcharren, Diseño de un sistema de biofiltración para la eliminación de la fábrica "Lubascher y Krausse", Temuco, Chile, 2005.
- [48] Y. A. Cengel, Termodinámica, México, 2011.
- [49] R. Mott, Mecánica de Fluidos, México, 2006.
- [50] L. G. LT87302, Instruction Manual Generator.
- [51] GRUNDFOS, GRUNDFOS CATÁLOGO CALEFACCIÓN, Madrid.
- [52] AQUALIMPIA, «GENERADORES A BIOGAS,» [En línea]. Available: [http://www.aqualimpia.com/Generadores\\_biogas.htm](http://www.aqualimpia.com/Generadores_biogas.htm).
- [53] V. ZAMBRANO IBUJÉS, AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LA HACIENDA SAN FRANCISCO PARA USO DE UN GENERADOR A BIOGÁS COMO SUSTITUTO PARCIAL DE ENERGÍA, LATACUNGA: TESIS, 2014.
- [54] Biomass Users Network,, Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass, San José, Costa Rica, 2002.

# **ANEXOS**



**ANEXO A.**

**BOMBA CENTRIFUGA**

**IHM IGNACIO GOMES**

**ANEXO B.**  
**CHASIS DEL MOTOR A**  
**DIÉSEL.**

**ANEXO C.**  
**CROMATOGRAFÍA**  
**REALIZADO POR LA**  
**ESCUELA POLITÉCNICA**  
**NACIONAL**

**ANEXO D.**  
**DISEÑO ESTRUCTURAL**  
**DEL CUARTO DE**  
**MAQUINAS.**

**ANEXO E.**  
**KIT BI-FUEL.**

**ANEXO F.**  
**SELECCIÓN DE TUBERÍA**  
**DE PVC PLASTIGAMA.**

**ANEXO G.**  
**SELECCIÓN DE LA**  
**POTENCIA DE LA**  
**BOMBA**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN.**

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por el señor Alex Javier Poma Sandoya bajo mi supervisión.

---

**ING. FREDDY SALAZAR  
DIRECTOR**

---

**ING. PABLO MENA  
CODIRECTOR**

---

**ING. KATYA TORRES  
DIRECTORA CARRERA**

---

**DR. RODRIGO VACA.  
SECRETARIO ACADÉMICO**