



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

**ESTUDIO COMPARATIVO Y DETECCIÓN DE DESPERFECTOS MECÁNICOS QUE
PRODUCEN ALTO CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA FLOTA DE MAQUINARIA DEL
INGENIO AZUCARERO SAN DIEGO, S. A**

Guillermo Josué Pineda Tobar

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, abril de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO COMPARATIVO Y DETECCIÓN DE DESPERFECTOS MECÁNICOS QUE
PRODUCEN ALTO CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA FLOTA DE MAQUINARIA DEL
INGENIO AZUCARERO SAN DIEGO, S. A**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

Guillermo Josué Pineda Tobar

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br Chritian Moisés de La Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ESTUDIO COMPARATIVO Y DETECCIÓN DE DESPERFECTOS MECÁNICOS QUE
PRODUCEN ALTO CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA FLOTA DE MAQUINARIA DEL
INGENIO AZUCARERO SAN DIEGO, S. A**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 18 de octubre de 2019.

Guillermo Josué Pineda Tobar



Guatemala, 31 de agosto de 2020
REF.EPS.DOC.31.08.20

Ingeniero
Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica, **GUILLERMO JOSUÉ PINEDA TOBAR, Registro Académico No. 201513787** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **ESTUDIO COMPARATIVO Y DETECCIÓN DE DESPERFECTOS MECÁNICOS QUE PRODUCEN ALTO CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA FLOTA DE MAQUINARIA DEL INGENIO AZUCARERO SAN DIEGO, S. A.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



NISZ/ns

Guatemala, 09 de septiembre de 2020
REF.EPS.D.131.09.2020

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO Y DETECCIÓN DE DESPERFECTOS MECÁNICOS QUE PRODUCEN ALTO CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA FLOTA DE MAQUINARIA DEL INGENIO AZUCARERO SAN DIEGO, S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Guillermo Josué Pineda Tobar** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



OAH/ra



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Edificio T-7, Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica
Teléfono directo: (502) 2418-9133
<http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/>
Correo electrónico: emecanica@ing.usac.edu.gt

Guatemala, 13 de abril de 2021

REF

Ingeniero
Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Morales Baiza:

Por este medio atentamente le informo que procedí a revisar el informe final titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO Y DETECCIÓN DE DESPERFECTOS MECÁNICOS QUE PRODUCEN ALTO CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA FLOTA DE MAQUINARIA DEL INGENIO AZUCARERO SAN DIEGO, S. A.** del estudiante universitario de la escuela de ingeniería mecánica, Guillermo Josué Pineda Tobar, CUI 2982315140101, Reg. Académico 201513787

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Herbert S. Figueroa A.
Ingeniero Mecánico
Col. 10108

Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.156.2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO Y DETECCIÓN DE DESPERFECTOS MECÁNICOS QUE PRODUCEN ALTO CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA FLOTA DE MAQUINARIA DEL INGENIO AZUCARERO SAN DIEGO, S. A.** del estudiante **Guillermo Josué Pineda Tobar, CUI 2982315140101**, Reg. Académico **201513787** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

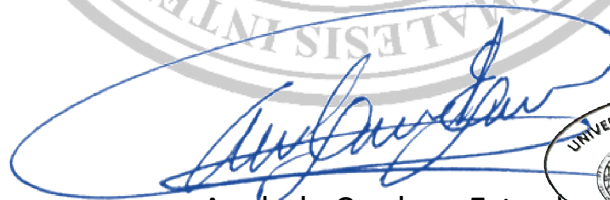
Guatemala, noviembre de 2020

/aej

DTG. 154.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO Y DETECCIÓN DE DESPERFECTOS MECÁNICOS QUE PRODUCEN ALTO CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA FLOTA DE MAQUINARIA DEL INGENIO AZUCARERO SAN DIEGO, S. A**, presentado por el estudiante universitario: **Guillermo Josué Pineda Tobar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, abril de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Porque sin él nada en esta vida sería posible, por darme salud y brindarme la fuerza necesaria para poder cumplir mis metas.
- Mis padres** Luis Pineda (q. e. p. d.) y Elvia Tobar, por brindarme la vida, por su amor, paciencia, apoyo, comprensión, motivación. Por darme todo lo necesario para cumplir esta meta, gracias por todo. Los amo.
- Mis hermanos** Luis, Max y David Pineda, por su fe en mi persona, por sus enseñanzas y apoyo en los momentos duros, los quiero.
- Mi familia** Mis abuelos, tíos y primos, por ser parte importante de mi vida, los quiero.
- Mi novia** Julia Barrera, por llegar a mi vida y darme su apoyo en momentos críticos; por compartir conmigo en los buenos y malos tiempos, te amo.
- Mis amigos** José Puac, Rodvin Ical, Kevin Santizo y Emilio Girón, por su amistad, por ser parte importante de mi infancia y de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el alma mater que me brindó la oportunidad de formarme como un profesional.
Facultad de Ingeniería	Por formarme como profesional.
Ingenio San Diego	Por brindarme la oportunidad de realizar el ejercicio profesional supervisado en sus instalaciones.
Área de taller del ingenio San Diego	Por el apoyo, consejos y compañerismo mostrado en el trayecto de mi proyecto.
Ing. Carlos Chicojay	Por su valioso tiempo dedicado a la asesoría de mi proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación e historia	1
1.1.2. Misión	1
1.1.3. Visión.....	2
1.1.4. Valores	2
1.1.5. Política de gestión	2
1.1.6. Organigrama.....	3
1.2. Descripción del problema	4
1.2.1. Desglose de maquinaria	5
1.3. Control de combustible	6
1.3.1. Gestión de control de combustible.....	6
1.4. Control de combustible actual	7
1.4.1. Análisis de datos.....	8
1.4.1.1. Eficiencia media de la maquinaria	9
1.4.1.2. Tendencia de consumo de combustible.....	9

	1.4.1.3.	Control de rendimiento de combustible	11
	1.4.2.	Aforo de maquinaria	12
	1.4.2.1.	Procedimiento de un aforo	12
	1.4.3.	Hermetizado de la maquinaria automotriz	15
1.5.		Motores de combustión interna (MCI)	16
	1.5.1.	Componentes básicos de un MCI	17
	1.5.2.	¿Cómo funciona un MCI?.....	18
	1.5.3.	Clasificación de los MCI	20
	1.5.3.1.	Según el proceso de combustión	20
1.6.		Sistema de inyección de combustible diésel	21
	1.6.1.	Etapa de baja presión	22
	1.6.2.	Etapa de alta presión	23
1.7.		Gestión ambiental	24
	1.7.1.	Normativa de Estados Unidos	24
	1.7.2.	Normativas Europeas.....	25
1.8.		Emisiones diésel (ED).....	26
	1.8.1.	Transformaciones atmosféricas de las ED	28
	1.8.1.1.	Fase gaseosa.....	29
	1.8.1.2.	Fase particulada.....	31
	1.8.2.	Efectos adversos en la salud humana.....	32
2.		FASE TECNICO PROFESIONAL	35
	2.1.	Desarrollo del plan de control de combustible.....	35
	2.1.1.	Análisis FODA	35
	2.1.2.	Estudio comparativo	36
	2.1.2.1.	Eficiencia media de combustible	40
	2.1.2.2.	Tendencia de consumo de combustible	42

	2.1.2.3.	Análisis de la tendencia de consumo de combustible.....	43
2.1.3.		Clasificación de la maquinaria automotriz por consumo de combustible	47
	2.1.3.1.	Maquinaria automotriz que presenta alto consumo de combustible debido a desperfectos mecánicos	48
2.1.4.		Metodología para la localización de desperfectos mecánicos.....	59
	2.1.4.1.	Revisión del historial de mantenimiento preventivo y correctivo	59
	2.1.4.2.	Revisión del estado actual del equipo	60
	2.1.4.3.	Uso de tecnología.....	60
	2.1.4.4.	Comunicación con el operador	61
2.1.5.		Principales desperfectos mecánicos productores de alto consumo de combustible	61
2.1.6.		Lista de inspección	62
2.1.7.		Proyección de costos ahorrados.....	64
2.2.		Análisis del impacto ambiental generado por un alto consumo de combustible	69
	2.2.1.	Desarrollo del análisis del impacto ambiental generado por un alto consumo de combustible	70
		2.2.1.1. Metodología del análisis	70
	2.2.2.	Comparación de resultados con normativas EPA y Europeas.....	73
	2.2.3.	Resultado del análisis del impacto ambiental generado por un alto consumo de combustible	73

3.	FASE DE DOCENCIA.....	75
3.1.	Desarrollo del plan de capacitación	75
3.1.1.	Estrategia	75
3.1.2.	Objetivos	76
3.1.3.	Metas.....	76
3.1.4.	Matriz de capacitación.....	76
	CONCLUSIONES.....	79
	RECOMENDACIONES	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama	3
2.	Ejemplo de tendencia de consumo para Hrs.....	10
3.	Ejemplo de tendencia de consumo para Km.....	11
4.	Puntos débiles en el sistema de alimentación de combustible.....	15
5.	Hermetizado del Tractor 33095	16
6.	Elementos básicos del MCI.....	17
7.	Procesos básicos de un MCI.....	19
8.	Esquema de combustión de motores de encendido provocado.....	20
9.	Esquema de combustión de motores de encendido por compresión ...	21
10.	Sistema de inyección de combustible	23
11.	Tendencias de consumo de combustible de la motobomba 29060 en los periodos 17-18 y 18-19.....	43
12.	Ejemplo de robo de recursos reflejado en la tendencia de consumo de combustible	44
13.	Ejemplo de desperfecto mecánico reflejado en la tendencia de consumo de combustible.....	45
14.	Ejemplo de mala operación reflejado en la tendencia de consumo de combustible	46
15.	Clasificación de la maquinaria automotriz por consumo de combustible	48
16.	Tendencia de consumo del motor estacionario 29074.....	50
17.	Motor estacionario 29074.....	50
18.	Tendencia de consumo del motor estacionario 29080.....	51

19.	Motor estacionario 29080	51
20.	Tendencia de consumo del motor estacionario 29083.....	52
21.	Motor estacionario 29083	52
22.	Tendencia de consumo del motor estacionario 29088.....	53
23.	Motor estacionario 29088	53
24.	Tendencia de consumo del motor estacionario 29336.....	54
25.	Motor estacionario 29336	54
26.	Tendencia de consumo del motor estacionario 77014	55
27.	Motor estacionario 77014	55
28.	Tendencia de consumo del motor estacionario 77015.....	56
29.	Motor estacionario 77015	56
30.	Tendencia de consumo del motor estacionario 77016.....	57
31.	Motor estacionario 77016	57
32.	Tendencia de consumo del Cabezal 46071	58
33.	Cabezal 46071	58
34.	Tendencia de desperfectos mecánicos en los periodos de zafra 17- 18 y 18-19.....	62
35.	Analizador Bacharach Fyrite Insight Plus	69
36.	Analizador Bocharach, lectura 1	71
37.	Analizador Bocharach, lectura 2	71
38.	Analizador Bocharach, lectura 3	72
39.	Presentación de capacitación al Gerente de Taller.....	78

TABLAS

I.	Clasificación de maquinaria	5
II.	Elementos básicos del MCI.....	18
III.	Normativa EPA para MCI estacionarios diésel.....	25
IV.	Normativa europea para MCI diésel y peso mayor a 3 500 kg.....	26
V.	Principales compuestos tóxicos de las ED.....	27
VI.	Principales compuestos gaseosos de las ED.....	29
VII.	Datos de zafra 18-19 de la motobomba 29060	37
VIII.	Datos de zafra 17-18 de la motobomba 29060	38
IX.	Eficiencia media de combustible de la motobomba 29060 en el periodo18-19.....	41
X.	Eficiencia media de combustible de la motobomba 29060 en el periodo 17-18.....	41
XI.	Equipos con alto consumo de combustible debido a desperfectos mecánicos	49
XII.	Listado de inspección al sistema de alimentación de combustible.....	63
XIII.	Eficiencia en Gal/Hrs. del motor estacionario 29074.....	64
XIV.	Eficiencias ubicadas fuera del rango aceptado del motor estacionario 29074.....	66
XV.	Costo ahorrado por maquinaria en un periodo de zafra promedio	68
XVI.	Lecturas de monóxido de carbono presente en las ED.....	72
XVII.	Matriz de capacitación para el área de taller.....	77

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
EPA	Agencia de Protección Ambiental
Hp	Caballo de fuerza
CCT	Centro de Control de Taller
CC	Centro de costo (código de identificación vehicular)
E	Eficiencia media de la maquinaria
ED	Emisiones diésel
EPS	Ejercicio Profesional Supervisado
gal	Galones
g	Gramo
hrs	Horas
ISDSA	Ingenio San Diego, S. A.
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía
Km	Kilómetros
kW	Kilowatt
CO	Monóxido de carbono
ME	Motor estacionario
MCI	Motores de combustión interna
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
PMI	Punto muerto inferior
PMS	Punto muerto superior
Q	Quetzales
RPM	Revoluciones por minuto

UE

Unión Europea

GLOSARIO

Aforo	Consiste en medir el volumen de fluido que pasa en un determinado tiempo.
Hermético	Que cierra perfectamente de modo que no deja pasar el aire ni el líquido.
Horómetro	Dispositivo que registra el número de horas en que un motor o un equipo ha funcionado.
Máquina automotriz	Vehículo especial autopropulsado, de dos o más ejes, concebido y construido para efectuar servicios determinados.
Motor estacionario	Motor cuyo marco de trabajo es no desplazarse, normalmente no se usa para propulsar un vehículo sino para mover máquinas fijas como un generador, una bomba o una herramienta de trabajo.
Odómetro	Dispositivo utilizado para poder medir la distancia que es recorrida por un vehículo.
Repostar	Reponer provisiones, pertrechos o combustibles.
Zafra	Es la temporada en la cual se cosecha la caña para la producción de azúcar, energía y alcohol.

RESUMEN

El presente trabajo es el informe del proyecto del ejercicio profesional supervisado (EPS) realizado en el ingenio azucarero San Diego, S. A., específicamente en el área de control de combustible, área que tiene como función el aprovechar de la forma más rentable cada galón de combustible, contribuyendo a la economía del ingenio, al ahorro energético y a la mejora de la conservación del medio ambiente.

Se describen algunos conceptos importantes e indispensables para el correcto entendimiento del ejercicio profesional supervisado realizado, por ejemplo: motores de combustión interna, principios del sistema de combustible diésel, control de combustible, gestión de combustible, toxicidad del monóxido de carbono, entre otros.

Se presentan los pasos a cumplir para el diseño de un plan de disminución de desperfectos mecánicos que producen alto consumo de combustible en una flota de vehículos, con el fin de mejorar la planificación anual del presupuesto estimado para el área de taller.

Además, en esa misma línea de ideas, se describen los pasos a seguir para la adecuada capacitación de los técnicos con respecto a nuevos seguimientos o procedimientos a realizarse con el objetivo de obtener personas preparadas y con conocimiento con relación al sistema de combustible.

Por último, se desarrolló un estudio de los principales efectos ambientales que se generan al tener un alto consumo de combustible, determinándolo por medio de los desechos más esenciales arrojados en los gases de escape.

OBJETIVOS

General

Mejorar el control de combustible por medio de un estudio comparativo y la detección de desperfectos mecánicos.

Específicos

1. Elaborar un plan para la localización y disminución de desperfectos mecánicos que provocan el alto consumo de combustible.
2. Realizar un análisis de impacto ambiental y daños al ser humano que provoca el alto consumo de combustible.
3. Capacitar a supervisores y técnicos acerca del seguimiento y proceso correcto de verificación del sistema de alimentación de combustible.

INTRODUCCIÓN

Una industria o empresa que posee una flota de vehículos con un número exorbitante se ve obligada a tener estándares y controles adecuados para la correcta gestión de esta. El ingenio San Diego, S. A. es una de ellas, contando con un total de 1 154 máquinas automotrices, de estas 434 son alimentadas por diésel o gasolina.

Actualmente, se está consumiendo un aproximado de 1 200 000 galones de combustible por año, dato que representa un 60 % del presupuesto total anual que se maneja en el área de taller del ingenio San Diego, S. A.; esta es una razón importante para llevar a cabo un adecuado control de combustible.

En este momento, se tiene un estimado que las causas que generan un alto consumo de combustible se encuentran divididas por tres principales razones, las cuales son con un aproximado de un 80 %, se encuentra la mala operación por parte de los operadores de maquinaria, seguidamente se tiene la extracción de combustible por parte del personal del ingenio con un aproximado del 10 %, y, por último, se encuentran los desperfectos mecánicos estimados en el complemento del 100 %.

El ingenio San Diego, S. A. ha podido llegar al consumo de combustible que tiene actualmente gracias a procedimientos y seguimientos establecidos con anterioridad. Sin embargo, estos procedimientos se encuentran basados en su mayoría, en la mala operación por parte de los operadores y en la extracción de combustible por parte del personal; siendo estas las dos razones principales del alto consumo de combustible descrito anteriormente.

Se considera que, por medio de una mejora en el control de combustible enfocada en los desperfectos mecánicos, es posible optimizar el gasto de consumo de combustible que se tiene hoy en día. Motivo por el cual se diseñó este proyecto.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la empresa

A continuación, se da a conocer la descripción general de la empresa.

1.1.1. Ubicación e historia

San Diego, S.A. es una empresa líder en producción de azúcar y energía con base en Guatemala y con más de 130 años de operación. Posee una capacidad de molienda de 2,5 millones de toneladas de caña de azúcar, produciendo más de 250 mil toneladas de azúcar al año para el mercado local y exportación alrededor del mundo. Cuenta con capacidad de producir 148 MW de energía eléctrica para el mercado regional. San Diego, además, actúa en el mercado de bienes raíces.

La familia San Diego llega a integrar más de 5 000 colaboradores que con un firme compromiso con la calidad, la mejora continua de los procesos y la optimización de recursos busca a diario alcanzar mayores niveles de productividad, contribuyendo al crecimiento integral de la empresa y de Guatemala. El centro de operaciones de San Diego, S.A. se encuentra ubicado en el kilómetro 70,5 carretera antigua al Puerto San José, Masagua, Escuintla.

1.1.2. Misión

San Diego, S.A. es un grupo empresarial guatemalteco, guiados por principios claros, que transformamos la caña de azúcar en productos energéticos

que proporcionan bienestar. Con un equipo profesional, buscamos y desarrollamos oportunidades de crecimiento integral y alta rentabilidad. Generamos un mejor nivel de vida para todos los miembros de la organización y confirmamos nuestro compromiso por un mejor país.

1.1.3. Visión

San Diego, S.A. busca ubicarse dentro de los tres ingenios más eficientes y de más bajos costos de la región centroamericana.

1.1.4. Valores

El código de ética de San Diego, S.A. es denominado VIRTUS: Valores, Integridad, Respeto, Trabajo, Unidad y Solidaridad, resume la conducta que San Diego espera de cada uno de sus colaboradores. Nuestros valores facilitan el desarrollo personal, familiar y empresarial.

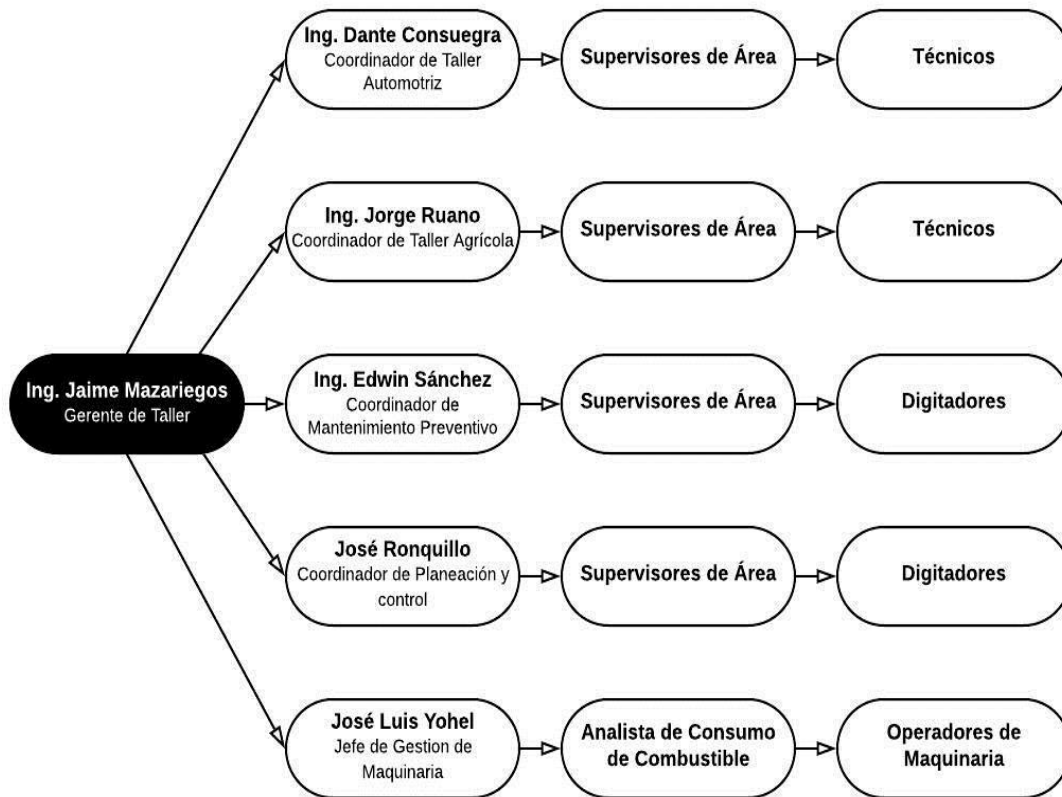
1.1.5. Política de gestión

El ingenio San Diego produce azúcar inocua y energía con calidad, cumpliendo estándares internacionales, requisitos legales y de nuestros clientes. Mejorando continuamente los niveles de productividad y optimizando los recursos disponibles, manteniendo condiciones seguras de trabajo y cuidados al medio ambiente.

1.1.6. Organigrama

A continuación, se presenta la forma que está organizado el área de taller del ISDSA:

Figura 1. Organigrama



Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

1.2. Descripción del problema

El área de taller del ingenio azucarero San Diego, S. A. ha tenido un constante proceso de mejora y expansión en la mayoría de las áreas actuales que lo componen, dentro de estas áreas encontramos la de control de combustible el cual es muy importante tenga un progreso constante debido a la cantidad de máquinas que se tienen en la flota. Actualmente, se cuenta un total de 1 154 máquinas, siendo de estas un total de 434 máquinas automotrices impulsadas por medio de un motor de combustión interna. La cantidad de combustible que se está consumiendo es de aproximadamente 1 200 000 galones anuales.

El área de taller maneja un presupuesto anual del cual es utilizado un aproximado del 60 % únicamente en consumo de combustible, por lo que es de suma importancia ubicar los equipos con alta demanda de combustible. Se sabe que la mayoría de los casos de alto consumo de combustible son por motivos operacionales o robo de recursos, pero el resto de ellos son por desperfectos mecánicos, los cuales no han sido identificados.

Al realizar un estudio comparativo y detección de desperfectos mecánicos tiene como objetivo ubicar los equipos que se encuentran fuera de rango de consumo de combustible debido a inconvenientes mecánicos, además de brindar las posibles causas que ocasionan este efecto. Dada las causas que provocan el consumo excesivo de combustible se facilitan los procedimientos para la obtención del óptimo funcionamiento de la maquinaria.

1.2.1. Desglose de maquinaria

A continuación, se presenta la clasificación actual de la maquinaria automotriz.

Tabla I. Clasificación de maquinaria

Clasificación de maquinaria automotriz	
Maquinaria agrícola	
Alzadoras	15
Tractores	100
SUBTOTAL	115
Vehículos pesados	
Buses	6
Camiones	52
SUBTOTAL	58
Vehículos pesados (cañeros)	
Camiones	15
SUBTOTAL	15
Vehículos livianos	
Microbuses	2
Pick-Ups	80
Camionetas	2
Motos	69
SUBTOTAL	153
Maquinaria pesada	
Cargadores frontales	8
Montacargas	3
Tractor de oruga	2
Motoniveladoras	2
Retroexcavadoras	1
Excavadoras	1
Gruas	3
SUBTOTAL	20
Equipo de riego	
Motobombas	73
SUBTOTAL	73
TOTAL	434

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

1.3. Control de combustible

Todo tipo de control de combustible tiene como objetivo la disminución del uso de combustible y energía, por consiguiente, se busca la disminución de costos para las empresas y la disminución de gases contaminantes que afectan el bienestar humano. Éste se logra por medio de normas, procedimientos y reglas establecidas conforme al beneficio de cada industria, o bien, conforme a estatutos establecidos por gobiernos o entidades encargadas de la conservación del medio ambiente.

La base para el establecimiento de un adecuado sistema de control de combustible en flotas de vehículos es el preciso conocimiento de los consumos de carburante de cada vehículo. Cuanto mayor sea la precisión y detalle con que se lleve a cabo el control de combustible y su consumo, mayor será la eficiencia energética de la flota.

1.3.1. Gestión de control de combustible

Se entiende por gestión de combustible al diseño y la puesta en práctica de un sistema de control, supervisión y de seguimiento del consumo de carburante global e individualizado de los vehículos de una flota de transporte. La gestión del combustible permite aprovechar de la manera más rentable cada litro de combustible adquirido, contribuye con ello no solo a la economía de la empresa, sino también al ahorro energético y a la mejora de la conservación del medio ambiente. Una adecuada gestión del combustible está además ligada a:

- Una adecuada planificación de rutas y de vehículos.
- La utilización de las técnicas de conducción eficiente.
- Un correcto mantenimiento de los vehículos.

El establecimiento de un adecuado sistema de gestión del combustible dará lugar a un ahorro de carburante, por tanto, a una mayor eficiencia energética en la realización de sus servicios, a través de dos vías:

- Mejorar la eficiencia de cada vehículo, a través del control y seguimiento individualizado de los mismos, así como del establecimiento de programas de formación a los conductores en las técnicas de conducción eficiente.
- A través del establecimiento de un sistema global de control y seguimiento del consumo de carburante de la flota; de la programación de las rutas y de la asignación adecuada a las mismas de los vehículos, en función de sus características y consumos. Se logrará, además, un ahorro de carburante, por tanto, una mayor eficiencia energética para el conjunto de la flota.

La contribución de los costes de carburante respecto a los costes totales de operación varía según la naturaleza de la flota. Por un lado, para una flota de vehículos pequeños que habitualmente realizan bajos kilometrajes anuales, esta proporción puede suponer algo más del 5 % del total. Sin embargo, en el otro extremo, para una flota de vehículos de gran tonelaje y largo recorrido, la proporción puede alcanzar hasta el 30 % del coste total.

1.4. Control de combustible actual

El procedimiento de control de combustible empieza desde cada repostaje que se realiza en los centros de despacho de combustible, actualmente se cuentan con tres tipos de centros de despacho:

- Gasolineras: se encuentran fijas en posiciones estratégicas donde el tránsito de la maquinaria automotriz es elevado, por ejemplo, el ISDSA. Por lo regular, repostan vehículos livianos, pesados y motocicletas, pero cuentan con la capacidad de repostar la mayor parte de maquinaria automotriz.
- Unidades móviles: son camiones cisterna cargados de combustible, generalmente son enviados a posiciones donde se complica el abastecimiento de combustible de la maquinaria agrícola, por lo cual el jefe de gestión de maquinaria asigna un recorrido estratégico con el fin de abarcar la mayor parte posible de maquinaria.
- Talleres móviles: es una mezcla de las anteriores descripciones debido a que son camiones cisterna que son enviados a posiciones estratégicas, con la diferencia que estas se quedan fijas en un solo punto.

A pesar de ser distintos, estos tres centros de despacho tienen los mismos objetivos, el abastecimiento de la maquinaria automotriz y la toma de datos en el repostaje. La toma de datos en el repostaje es el inicio del control de combustible, en esta se graba el centro de costo de la maquinaria, fecha, hora, cantidad, tipo de combustible repostado y el horómetro o kilometraje de la maquinaria. Toda la información captada en los centros de despacho es enviada y almacenada en un servidor cibernético.

1.4.1. Análisis de datos

El análisis de datos inicia desde la verificación de la tabulación de datos que se realiza en el repostaje, debido a que el factor de error humano está presente desde el inicio de este proceso. Los delegados de esta tarea son los digitadores,

los cuales descargan la información almacenada en los servidores cibernéticos y la examinan. Estos verifican que las lecturas y cantidades tabuladas posean concordancia; de encontrar anomalías en la información, el digitador notifica al jefe de gestión de maquinaria informándole de lo acontecido.

En cuanto se tiene información precisa, los datos se transmiten al analista de consumo de combustible, quien es el encargado de generar reportes que implican tres puntos importantes:

1.4.1.1. Eficiencia media de la maquinaria

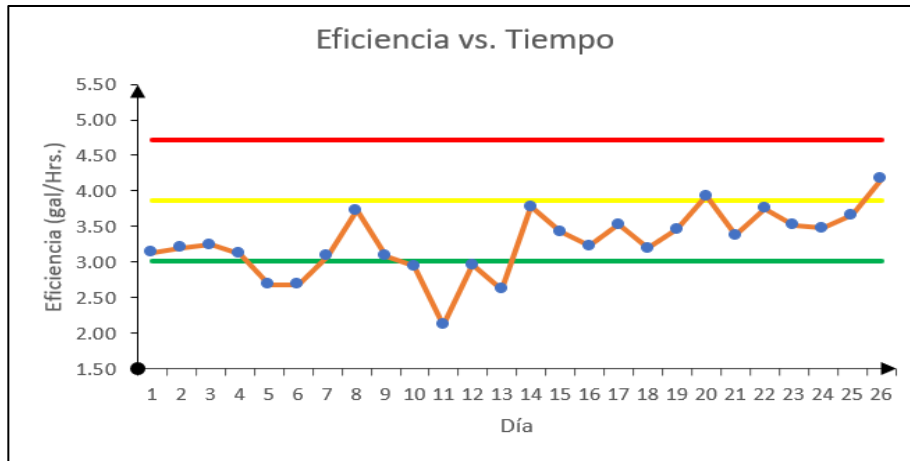
Es el parámetro de comparación entre los equipos para determinar el buen uso del combustible, se calcula por medio de la cantidad de combustible utilizado, entre las horas trabajadas de la maquinaria, o bien, los kilómetros desplazados de la maquinaria, entre la cantidad de combustible utilizado.

$$E = \frac{gls}{Hrs.} \text{ o } \frac{Km.}{gls}$$

1.4.1.2. Tendencia de consumo de combustible

Es el rango adecuado de combustible utilizado en cada hora o kilómetro trabajado por maquinaria, este se obtiene por medio de una gráfica de eficiencia media contra el tiempo.

Figura 2. **Ejemplo de tendencia de consumo para horas**



Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Como se puede observar en la figura 2, se tienen tres líneas horizontales, estas definen el rango adecuado de consumo de combustible de la máquina automotriz, existen tres posibles lecturas de la tendencia:

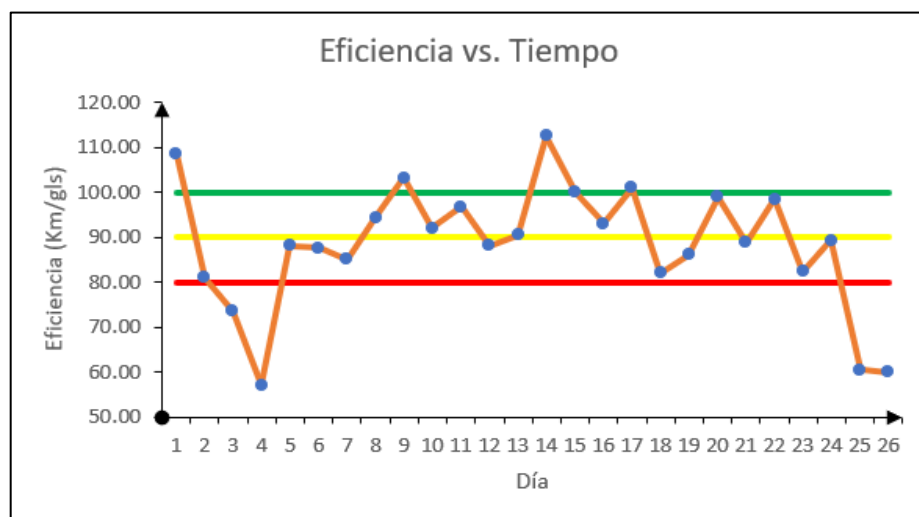
- Por debajo del límite inferior: indica que el consumo de combustible de la máquina automotriz está siendo excelente.
- Entre el límite inferior y superior: indica que el consumo de combustible de la máquina automotriz está siendo óptimo, o bien en un rango aceptable.
- Por arriba del límite superior: indica que el consumo de combustible está siendo deficiente.

En caso de que la lectura sea de kilómetros en vez de horas, la gráfica se lee de distinta forma.

- Por arriba del límite superior: indica que el consumo de combustible de la máquina automotriz está siendo excelente.

- Entre el límite inferior y superior: Indica que el consumo de combustible de la máquina automotriz está siendo óptimo, o bien en un rango aceptable.
- Por abajo del límite inferior: indica que el consumo de combustible está siendo deficiente.

Figura 3. **Ejemplo de tendencia de consumo para Km**



Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

1.4.1.3. **Control de rendimiento de combustible**

Es el estudio realizado para la evaluación de costos de operación y rendimiento por cada hora o kilómetro laborada. Implica el cálculo de la tarifa de operación de cada máquina automotriz, se calcula a partir del consumo de combustible, gastos en repuestos, mantenimiento, entre otros. Es un cálculo extenso el cual está bajo el cargo del coordinador y planeación del control, siendo este un tema mayormente administrativo.

1.4.2. Aforo de maquinaria

Un aforo consiste en medir el volumen de fluido que pasa en un determinado tiempo. En este caso el fluido utilizado es el combustible, los aforos tienen como objetivo determinar los rangos óptimos de consumo de combustible en las máquinas automotrices.

El aforar es un proceso vital en un control de combustible debido a que por medio de los aforos se determina los límites superiores e inferiores que encontramos en la gráfica de tendencia de combustible, es decir, son la base para determinar una medida comparativa a la cual se debe apegar las tendencias de consumo de combustible de las maquinarias automotrices.

Cabe resaltar que las medidas comparativas se determinan de forma individual basada en un aforo realizado en la misma máquina. Esto con el fin de obtener un rango comparativo adecuado que se base a las condiciones en las cuales opera la máquina automotriz y con ello obtener un mejor control de combustible.

1.4.2.1. Procedimiento de un aforo

Para realizar un aforo a una máquina automotriz se debe de definir con anticipación la labor que realizará y las condiciones climáticas a las cuales estará operando la máquina, esto con el fin de no alterar el rango de consumo de combustible obtenido en el aforo, ya que, de variar la labor o condiciones climáticas, también cambiará el consumo de combustible.

Previo a realizar el aforo se debe evaluar que la máquina automotriz a aforarse se encuentre en óptimas condiciones, es decir, sin fugas, sin

desperfectos mecánicos, ni otros inconvenientes que puedan alterar el rendimiento de consumo de combustible de la máquina. Además, el operario debe ser experimentado y debe apegarse a un manejo restricto por las normas de operación.

Actualmente, se realizan dos procedimientos distintos de aforo, los cuales dependen del tipo de maquinaria automotriz:

- Para maquinaria agrícola o pesada:
 - Se ubica el nivel en el cual se encuentra el combustible en el tanque de combustible y se marca como punto de referencia para el aforo.
 - Se procede a utilizar la máquina automotriz por una hora en las condiciones de trabajo y labor asignada previamente.
 - Cumplida la hora de trabajo se procede a llenar el tanque de combustible hasta el punto de referencia, tomándose en cuenta la cantidad de combustible repostada.
 - Esta cantidad es utilizada para obtener la media de consumo de combustible de la máquina aforada.

- Para vehículos livianos, pesados y motocicletas:
 - Se debe tomar el kilometraje exacto en el cual la máquina repostará, estableciéndose esta lectura como el kilometraje de punto de partida.
 - Se reposta combustible a la máquina llegando al punto máximo admitido de combustible.
 - Se procede a recorrer 100 Km. en las condiciones habituales de operación.

- Recorridos los 100 Km., se procede a llenar el tanque de combustible hasta el punto máximo admitido de combustible, tomando en cuenta la cantidad de combustible repostado.
- Esta cantidad es utilizada para obtener la media de consumo de combustible de la máquina aforada.

Se repite el proceso de aforo por al menos tres veces; ingresando los datos obtenidos a la siguiente ecuación, podemos obtener la media de consumo de combustible:

$$M = \frac{Af_1 + Af_2 + Af_3 + \dots + Af_n}{n}$$

Donde:

- M = Media de consumo de combustible.
- Af = Aforo.
- n = Número de aforos.

Además, para calcular los límites superiores e inferiores de las tendencias de consumo de combustible, ingresamos los datos a las siguientes ecuaciones:

$$L_s = M + 2 \left(\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Af_i - M)^2} \right) \quad L_i = M - 2 \left(\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Af_i - M)^2} \right)$$

Donde:

- L_s = Límite superior
- L_i = Límite inferior

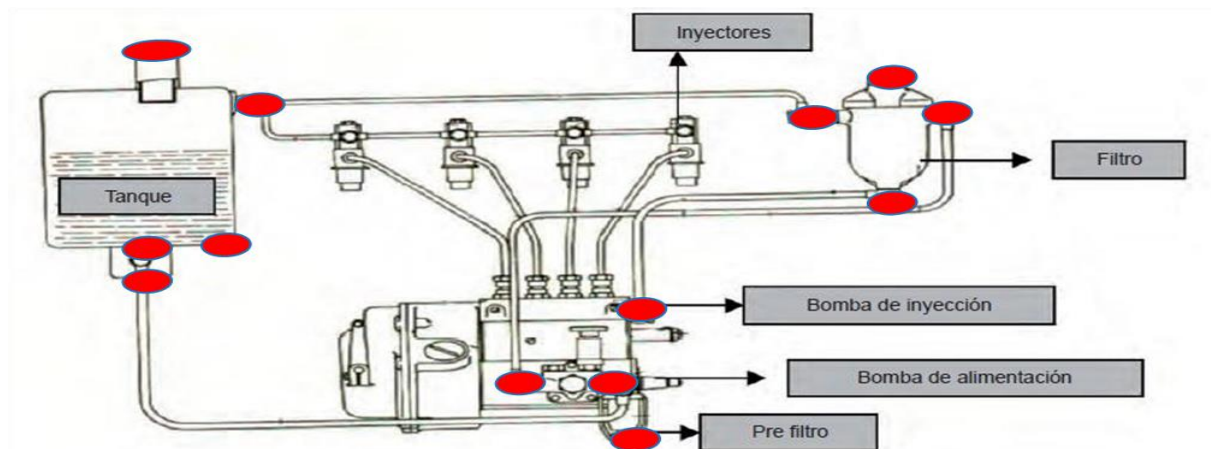
- M = Media de consumo de combustible
- Af = Aforo
- n = Número de aforos.

1.4.3. Hermetizado de la maquinaria automotriz

Hermetizar tiene como significado el hacer que algo quede cerrado de manera hermética. El hermetizar el sistema de alimentación de combustible de la maquinaria automotriz tiene como objetivo evitar el robo de recursos por parte del personal del ISDSA.

Este es un procedimiento realizado en cada máquina de la flota, el cual consiste en identificar puntos débiles de robo en el sistema de alimentación de combustible, se refiere a puntos débiles a aquellos lugares donde el personal puede acceder a ellos y sustraer combustible sin mayores inconvenientes. A continuación, en la figura 4 se muestra un esquema de puntos débiles en el sistema de alimentación de combustible.

Figura 4. **Puntos débiles en el sistema de alimentación de combustible**

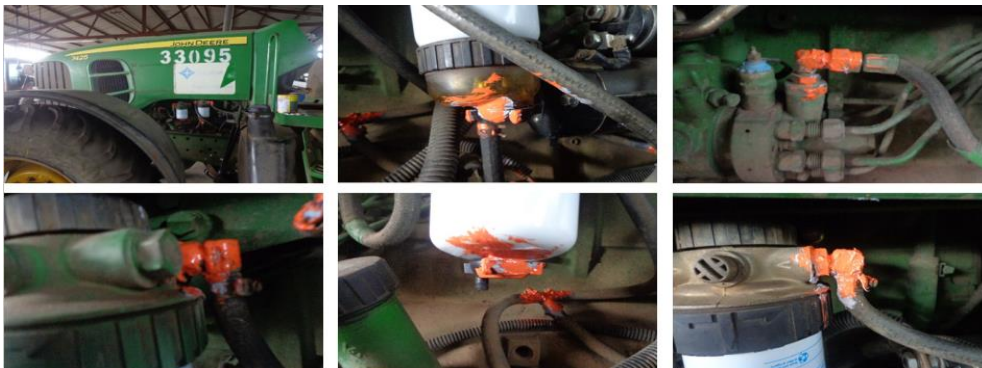


Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Para hermetizar una flota de maquinaria es necesario tener una pintura adhesiva de un color específico y único, en el caso del ISDSA se tiene un código de color con el cual se identifica. Esta pintura es vertida en cada uno de los puntos débiles de la maquinaria automotriz, con el objetivo de crear una indicación de cuando el sistema es quebrantado.

Este procedimiento se realiza una vez por año en el periodo de reparación, con ello se ha logrado disminuir de forma considerable la extracción de recursos por parte del personal.

Figura 5. **Hermetizado del tractor 33095**



Fuente: elaboración propia, área de taller del ingenio azucarero San Diego, S. A.

1.5. **Motores de combustión interna (MCI)**

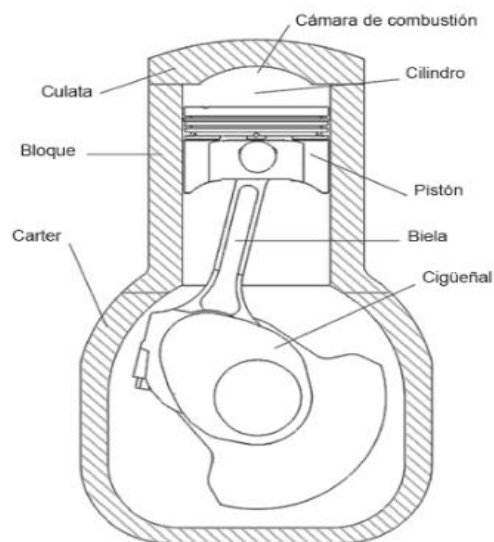
“Un MCI es un conjunto de elementos mecánicos que permiten obtener energía mecánica a partir del estado térmico de un fluido de trabajo que se ha generado en su propio seno por un proceso de combustión”¹. Esta es una característica que las diferencia de otras máquinas que realizan su combustión de manera externa.

¹ ROVIRA, Antonio; DOMINGUEZ, Marta. *Motores de combustión interna*. p. 22.

1.5.1. Componentes básicos de un MCI

A continuación, se presenta la tabla II que describe brevemente los componentes básicos que forman un MCI, y la figura 6 muestra un esquema principal de los mismos.

Figura 6. Elementos básicos del MCI



Fuente: ROVIRA, Antonio; DOMINGUEZ, Marta. *Motores de combustión interna*. p. 22.

Tabla II. **Elementos básicos del MCI**

Pistón	Elemento con movimiento rectilíneo alternativo. Es el embolo del mecanismo biela-manivela y aumenta o disminuye el volumen del cilindro.
Biela	Elemento que, junto con la manivela, convierte el movimiento lineal del pistón en el rotativo del cigüeñal.
Cigüeñal	Elemento rotativo del motor. En él se integra la manivela del mecanismo.
Cilindro	Es el volumen que aloja el fluido de trabajo.
Cámara de combustión	Es el volumen que queda por encima del pistón al finalizar la compresión y donde básicamente tiene lugar la combustión de la mezcla.
Culata	Elemento que constituye el cerramiento superior de los cilindros.
Bloque	Elemento que contiene los cilindros.
Carter	Cierre inferior del motor. Contiene el aceite para la lubricación.

Fuente: ROVIRA, Antonio; DOMINGUEZ, Marta. *Motores de combustión interna*. p 23.

1.5.2. ¿Cómo funciona un MCI?

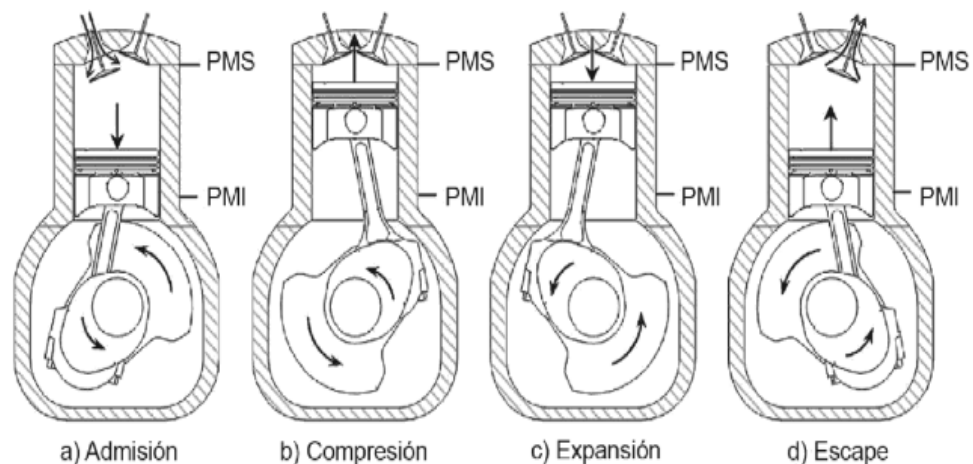
“El motor, durante su funcionamiento, realiza una serie de procesos que se repiten periódicamente y constituyen un ciclo termodinámico abierto (este no puede ser cerrado por tratarse de un motor de combustión interna). Los cinco procesos básicos que componen un ciclo termodinámico abierto de un MCI son:

- Admisión: proceso en el que tiene lugar la entrada del fluido de trabajo (mezcla aire-combustible).
- Compresión: proceso fundamental donde se incrementa el rendimiento termodinámico del motor.
- Combustión: mecanismo de reacciones química globalmente muy exotérmicas mediante las cuales se genera el estado térmico del fluido de trabajo (alta presión y temperatura).

- **Expansión:** proceso responsable de la producción de trabajo. En él los gases producto de la combustión se expanden y desplazan al pistón, aumentando el volumen del cilindro. Dicha variación de volumen es la responsable de la producción de trabajo. La presión ejercida por los gases sobre el pistón se transforma, por equilibrio de fuerzas, en el par motor en el eje del cigüeñal.
- **Escape:** proceso en el que se desalojan los gases producto de la combustión para que se pueda proceder a un nuevo proceso de admisión².

Junto con los procesos básicos mencionados anteriormente se tienen procesos secundarios, de los cuales los más importantes son: la formación de la mezcla, la ignición, la lubricación y la refrigeración.

Figura 7. **Procesos básicos de un MCI**



Fuente: ROVIRA, Antonio; DOMINGUEZ, Marta. *Motores de combustión interna*. p 26.

² ROVIRA, Antonio; DOMINGUEZ, Marta. *Motores de combustión interna*. p. 25.

1.5.3. Clasificación de los MCI

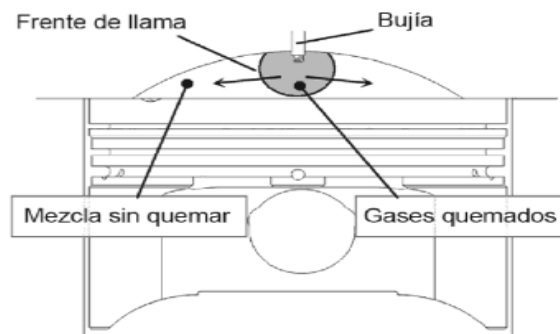
Actualmente, se encuentran cinco formas de clasificar los MCI: según el proceso de combustión, según el modo de realizar el ciclo, según el tipo de refrigeración, según la presión de admisión y según el número y disposición de los cilindros. Por fines prácticos, solamente se enfocará en la clasificación según el proceso de combustión.

1.5.3.1. Según el proceso de combustión

- Motores de encendido provocado: también reciben el nombre de motores de encendido por chispa o motores de ciclo Otto. En este tipo de motores se tiene una combustión inducida por un agente externo.

En estos motores al final del proceso de compresión se dispone de una mezcla de aire-combustible homogénea. La combustión se produce mediante la inflamación de la mezcla, que se propaga mediante un frente de llama y la ignición o encendido se consigue mediante un agente externo como puede ser el salto de una chispa.

Figura 8. **Esquema de combustión de motores de encendido provocado**

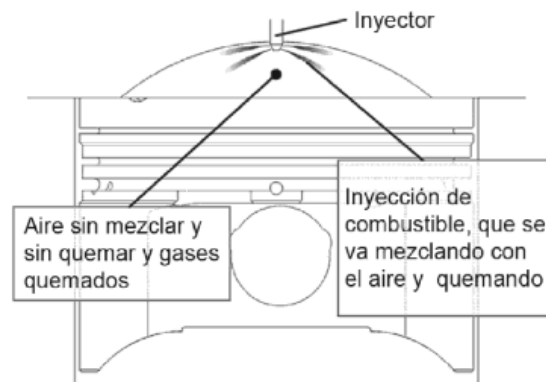


Fuente: ROVIRA, Antonio; DOMINGUEZ, Marta. *Motores de combustión interna*. p 25.

- Motores de encendido por compresión: usualmente reciben también el nombre de motores diésel o motores de ciclo diésel.

En este tipo de motores, el fluido que se comprime es aire y el combustible se inyecta en la cámara, una vez finalizado el proceso de compresión. La ignición se produce por la autoinflamación de parte del combustible inyectado. El resto del combustible se quema mediante combustión por difusión que es simultánea a la propia inyección. Las condiciones que se deben alcanzar en el proceso de compresión serán aquellas que aseguren la autoinflamación de la mezcla.

Figura 9. **Esquema de combustión de motores de encendido por compresión**



Fuente: ROVIRA, Antonio; DOMINGUEZ, Marta *Motores de combustión interna*. p. 26.

1.6. Sistema de inyección de combustible diésel

“La función del sistema de inyección es de suministrar el combustible al motor”³. Esta se compone de una etapa de baja presión y otra de alta; la etapa de baja presión se encarga de transportar el combustible desde el depósito hasta

³ CASTILLEJO, Alejandro. *Sistemas de Inyección en Motores Diésel*. p. 26.

la etapa de alta presión, además, tiene la función de filtrar el combustible. La etapa de alta presión se encarga de generar la presión de inyección requerida.

1.6.1. Etapa de baja presión

“La función de la etapa de baja presión es almacenar y filtrar el combustible requerido y abastecer de éste a la etapa de alta presión”⁴. Además, se encarga del retorno del combustible sobrante al depósito de combustible. A continuación, se presentan los componentes esenciales del sistema:

- Depósito de combustible: éste debe ser resistente a la corrosión, debe ir separado del motor para prever la ignición del combustible en caso de accidente y tiene como función el almacenar el combustible.
- Líneas de transporte: compuestos por tubos de metal, flexibles e ignífugos tienen como función el conducir el combustible.
- Filtro de combustible: su función es garantizar un nivel de pureza del combustible que evite daños en el sistema de inyección; el sistema completo de filtrado consta de filtro preliminar, filtro principal, separador de humedad, precalentador de combustible y una bomba manual para purgar.
- Bomba de prealimentación: puede ser una bomba eléctrica o de accionamiento mecánico. ésta aspira el combustible del depósito a través del filtro y lo envía por el circuito de baja presión, pasando por el filtro principal hasta la bomba de alta presión.

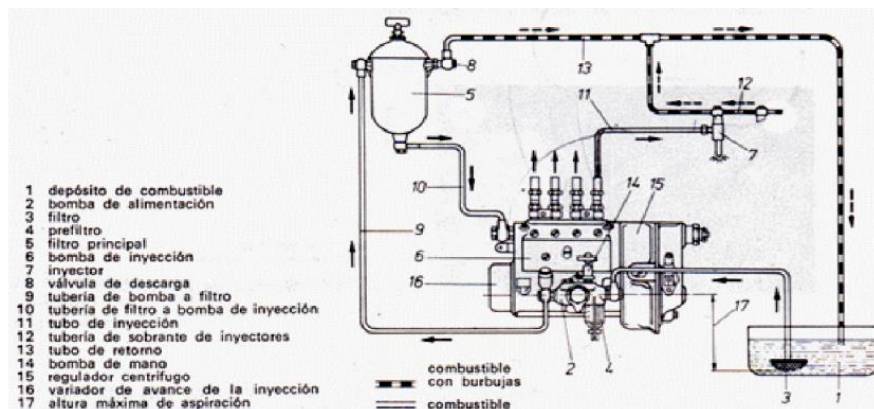
⁴ CASTILLEJO, Alejandro. *Sistemas de Inyección en Motores Diésel*. p. 26.

1.6.2. Etapa de alta presión

En esta etapa “se inyecta la cantidad adecuada de combustible a alta presión dentro de la cámara de combustión en el momento adecuado”⁵. Existen varios tipos de sistemas de inyección en los cuales las variantes principales son la bomba de inyección o los inyectores, básicamente la diferencia principal entre los sistemas de inyección es la forma de ser controlados o actuados los inyectores o bombas, además de las presiones con las cuales trabajan. A continuación, se presentan los componentes esenciales del sistema:

- Inyectores: elementos encargados de conducir y pulverizar el combustible, la boquilla del inyector deja pasar el combustible cuando se alcanza una determinada presión de apertura, y se cierra cuando la presión cae por debajo de este valor. Estos pueden ser controlados o accionados ya sea mecánica, electrónica o hidráulicamente.
- Bomba de inyección: encargada de dar al combustible la presión adecuada.

Figura 10. Sistema de inyección de combustible



Fuente: CASTILLEJO, Alejandro. *Sistemas de Inyección en Motores Diésel*. p.32.

⁵ CASTILLEJO, Alejandro. *Sistemas de Inyección en Motores Diésel*. p. 31.

1.7. Gestión ambiental

“Los problemas que ha generado la contaminación ambiental en la actualidad han obligado a la sociedad a tomar acciones orientadas a la mitigación o atenuación de lo que les da origen”⁶. Los MCI no están exentos de estas acciones, siendo las emisiones un tema particularmente tratado por ser el producto de la combustión producida en los motores al generar la energía para producir el movimiento. Estos MCI, que la mayoría emplea como combustible gasolina o diésel, emiten al ambiente diversos gases que alteran la composición natural.

Como parte de los esfuerzos por disminuir los efectos negativos de las emisiones de los motores, internacionalmente se han promulgado distintas estrategias que repercuten en las tecnologías aplicables para la conversión más eficiente de la energía. Han surgido dos normativas remarcables a nivel mundial por la regulación de las emisiones.

1.7.1. Normativa de Estados Unidos

“El primero en establecer medidas para mitigar la contaminación generada por los MCI fue Estados Unidos. En 1963, promulgó el Acta del Aire Limpio, que ordenó adoptar estándares de control de la calidad del aire a nivel mundial. Como consecuencia de esta ley, la Agencia de Protección Ambiental (EPA), desarrolló y estableció normas para proteger la salud de la población expuesta a los

⁶ FLORES Oscar, FABELA Manuel, BLAKE Carlos, VÁZQUEZ David y HERNÁNDEZ Ricardo, Instituto Mexicano del Transporte. *Regulación De Emisiones Contaminantes De Los Motores De Combustión Interna*. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=396&IdBoletin=149#:~:text=Estos%20motores%20de%20combustión%20interna,del%20aire%20en%20el%20ambiente.>

contaminantes presentes en el aire atmosférico”⁷. La designación de la normativa varía para el tipo de MCI a analizar. A continuación, se presenta la parte de interés de la normativa EPA para MCI estacionarios encendidos por compresión.

Tabla III. **Normativa EPA para MCI estacionarios diésel**

Potencia nominal	Nivel	Año	NOx (g/kw h)	PM (g/kw h)	CO (g/kw h)
75 ≤ kw < 130	1	97-02	9,2	0,30	5,0
	2	03-06	-	0,30	5,0
	3	07-11	-	0,02	5,0
	4	12-14	0,4	0,02	5,0
130 ≤ kw < 225	1	96-02	9,2	0,54	11,4
	2	03-05	-	0,20	3,5
	3	06-10	-	0,20	3,5
	4	11-14	0,4	0,02	3,5

Fuente: EPA, *Nonroad Compression-Ignition Engines: Exhaust Emission Standards*.

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P100OA05.pdf>. Consulta: 25 de marzo de 2020.

1.7.2. Normativas europeas

La Unión Europea (UE), emitió en 1970 su primera directiva (70/220/CEE) en la cual se detallan las medidas a tomar contra la contaminación del aire por gases. Todos los estados miembros de la Comunidad Económica Europea (CEE) adoptaron esta directiva desde 1971. La Agencia Europea del Medio Ambiente ha seguido las tendencias de los Estados Unidos, aunque con desfase en la aplicación de normas de emisión. Con una política similar, las normas de

⁷ FLORES Oscar, FABELA Manuel, BLAKE Carlos, VÁZQUEZ David y HERNÁNDEZ Ricardo, Instituto Mexicano del Transporte. *Regulación De Emisiones Contaminantes De Los Motores De Combustión Interna*. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=396&IdBoletin=149#:~:text=Estos%20motores%20de%20combustión%20interna,del%20aire%20en%20el%20ambiente.>

emisión se definen en una serie de directivas de la Unión Europea con implantación progresiva, cada vez mayormente restrictivas

A continuación, se presenta una tabla que resume las normativas europeas aplicadas para MCI diésel y peso mayor a 3 500 kg, el resumen es debido a que cada normativa (euro 0, I, II, III, IV, V, VI) se encuentra en un artículo distinto.

Tabla IV. **Normativa europea para MCI diésel y peso mayor a 3 500 kg**

Etapa	Fecha	Límite de emisiones g/kWh			
		CO	NOx	HC	PM
Euro 0	1988-1992	12,3	15,8	2,60	-
Euro I	1992-1995	4,9	9,0	1,23	0,40
Euro II	1995-1999	4,0	7,0	1,10	0,15
Euro III	1999-2005	2,1	5,0	0,66	0,10
Euro IV	2005-2008	1,5	3,5	0,46	0,02
Euro V	2008-2012	1,5	2,0	0,46	0,02
Euro VI	2013	1,5	0,5	0,13	0,009

Fuente: Eur-lex. *Normativa europea sobre emisiones*,
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0683:FIN:ES:PDF>.
 Consulta 25 de marzo de 2020.

1.8. Emisiones diésel (ED)

“Las ED constituyen una mezcla compleja de miles de sustancias orgánicas e inorgánicas en forma de gases y de finas partículas (compuestas por materiales sólidos y líquidos). Muchos de los constituyentes individuales de las emisiones diésel están sin identificar y la composición varía dependiendo del tipo de motor, condiciones de

funcionamiento, combustible, aceite lubricante y del sistema de control de las emisiones”⁸.

Las principales sustancias de las emisiones diésel están expuestas en la tabla V y se hallan catalogadas la mayoría de ellas como contaminantes atmosféricos con diversos efectos tóxicos, mutágenos y cancerígenos.

Tabla V. Principales compuestos tóxicos de las ED

Acetaldehído	Dibutiphthalato
Acroleína	Dioxinas y dibenzofuranos
Anilina	Etilbenceno
Antimonio	Fenol
Arsénico	Fosforo
Benceno	Manganeso
Berilio	Níquel
Bifenilo	Naftaleno
Cadmio	Nitrobifenilo
Cloruros	Plomo inorgánico
Clorobenceno	Propionaldehido
Cromio	Selenio
Cobalto	Stireno
Creosol	Tolueno
Cianuro	Xilenos

Fuente: FERRÍS, Josep. *Autobuses escolares y motores diésel*. p. 132.

La composición de las ED es similar cualitativamente a las producidas por los motores de gasolina, pero presentan diferencias cuantitativas importantes. La mayor relación aire/combustible produce una combustión más completa a

⁸ FERRÍS, Josep. *Autobuses escolares y motores diésel: contaminación atmosférica, exposición pediátrica y efectos adversos en la salud humana*. http://pehsu.org/az/pdf/bus_diesel.pdf.

mayores temperaturas con menores concentraciones de monóxido de carbono e hidrocarburos. Sin embargo, generan mayores niveles de óxidos de nitrógeno, partículas y compuestos sulfurosos.

Las ED están constituidas por compuestos químicos en fase gaseosa y particulada, cada una de las cuales contiene centenares de sustancias diferentes. La porción de gas o fase de vapor contiene primariamente dinitrógeno (N₂), dióxígeno (O₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x). La porción particulada, también conocida como hollín, está compuesta principalmente de carbono elemental y sustancias orgánicas.

1.8.1. Transformaciones atmosféricas de las ED

“Los innumerables constituyentes orgánicos e inorgánicos de las ED en las fases de gas y particulada, los más reactivos, en presencia de los reactantes apropiados, sufren transformaciones rápidas, presentan vidas medias cortas y afectan a las áreas locales de emisión. Contrariamente, los compuestos más estables permanecen durante mucho tiempo y pueden ser transportados a largas distancias”⁹.

A continuación, se describe brevemente los principales procesos de transformación en las fases gaseosas y particuladas donde se generan las sustancias que afectan adversamente a la salud humana.

⁹ FERRÍS, Josep. *Autobuses escolares y motores diésel: contaminación atmosférica, exposición pediátrica y efectos adversos en la salud humana*. http://pehsu.org/az/pdf/bus_diesel.pdf.

1.8.1.1. Fase gaseosa

La fase gaseosa de las ED “contiene compuestos orgánicos e inorgánicos que experimentan transformaciones físicas y químicas atmosféricas dependiendo de la abundancia de los reactantes y de factores meteorológicos como la velocidad y dirección del viento, radiación solar, humedad, temperatura y precipitaciones. Reaccionan con los siguientes factores:

- Luz solar durante las horas del día.
- Radical hidroxílico (OH), durante las horas del día.
- Ozono (O₃), durante el día y la noche.
- Radical hidroxiperoxídico (HO₂), típicamente en las horas de atardecer/anochecer”¹⁰.

Tabla VI. Principales compuestos gaseosos de las ED

Compuesto	Producto reacción atmosférica	Impacto biológico
CO ₂	-	Cambio climático global
CO	-	Bloqueo oxigenación.
NO _x	Ácido nítrico, ozono troposférico	Lluvia acida y toxicidad respiratoria.
SO ₂	Ácido sulfúrico	Lluvia acida e irritación respiratoria
Alkanos y alkenos	Aldehídos, alquilnitratos, cetonas	Irritación respiratoria, mutágenos y carcinógenos.

Fuente: FERRÍS, Josep. *Autobuses escolares y motores diésel*. p. 134.

¹⁰ FERRÍS, Josep. *Autobuses escolares y motores diésel: contaminación atmosférica, exposición pediátrica y efectos adversos en la salud humana*. http://pehsu.org/az/pdf/bus_diesel.pdf.

En la fase gaseosa de las ED encontramos el monóxido de carbono, compuesto químico que será analizado en la fase técnico-profesional, por ende, se profundizo más en este compuesto.

1.8.1.1.1. Monóxido de carbono

“El monóxido de carbono (CO) es un constituyente natural de la atmosfera y un contaminante cuando está presente por encima de las concentraciones normales de fondo. Además, lo identifica el ser incoloro y altamente toxico en proporciones elevadas”¹¹.

La concentración atmosférica global de monóxido de carbono es de aproximadamente 0,1 ppm, lo que corresponde a una cantidad total en la atmosfera terrestre de aproximadamente 500 millones de toneladas métricas de CO con un tiempo medio de resistencia que va de 36 a 110 días

Todo material combustible rico en carbono necesita oxígeno para quemarse, cuando la cantidad de oxígeno es insuficiente la combustión es incompleta y por tanto se forma el monóxido de carbono, razón por la cual los MCI desafinados emiten altos niveles de monóxido de carbono. Debido a las emisiones de monóxido de carbono de los MCI, los niveles más altos de este gas toxico tienden a ocurrir en las áreas urbanas congestionadas, en momentos en que está expuesto el mayor número de personas, como en las horas pico. En esas ocasiones, los niveles de monóxido de carbono en la atmosfera han llegado a alcanzar concentraciones de 50-100 ppm, muy peligrosas para la salud humana.

¹¹ NOVELLI. *Introducción a la Química Ambiental*, p. 22.

La medición del monóxido de carbono en los gases de combustión es una herramienta muy confiable para determinar qué tan eficiente se está combustionando un combustible. Al tener una combustión más eficiente, más limpia, se produce menos gas contaminante (CO). Del mismo modo, al tener una combustión más eficiente se consume menos combustible.

1.8.1.2. Fase particulada

La fase particulada de las ED “contiene fundamentalmente carbono elemental y orgánico y pequeños cúmulos de sulfatos, nitratos, metales, agua y compuestos no identificados. El carbono elemental constituye el 50-75 % del total, dependiendo de la antigüedad del motor, deterioro/desgaste, potencia, características del combustible y condiciones de la conducción. El carbono elemental es inerte a la degradación y transformación atmosférica. El contenido de carbono orgánico oscila entre el 19-43 % dependiendo de los mismos factores que el elemental. En estas reacciones intervienen los siguientes factores:

- Luz solar durante las horas del día.
- Ozono (O₃) durante el día y la noche.
- Nitrato (NO₃) y pentóxido de dinitrógeno (N₂O₅) durante las horas nocturnas”¹².

¹² FERRÍS, Josep. *Autobuses escolares y motores diésel: contaminación atmosférica, exposición pediátrica y efectos adversos en la salud humana*. http://pehsu.org/az/pdf/bus_diesel.pdf.

1.8.2. Efectos adversos en la salud humana

“Los estudios humanos para analizar los efectos adversos de las ED en la salud son extremadamente difíciles de realizar e interpretar por las siguientes razones:

- Complejidad química intrínseca de las ED.
- Variabilidad en las concentraciones de cada sustancia emitida en función del tipo de motor, antigüedad, funcionamiento real, desgaste, deterioro, puesta a punto, carburante, aceite lubricante, condiciones geográficas de la conducción, grado de aceleración, entre otros.
- Grados diversos de transformación atmosférica dependiendo de las condiciones meteorológicas subyacentes.
- Inexistencia de componentes específicos de las ED, ya que todos ellos también son generados y emitidos por multitud de otros focos contaminantes antropogénicos.
- Las diferentes susceptibilidades individuales para metabolizar (neutralizar, bloquear, detoxificar y eliminar) cada sustancia química de las ED. Las insuficientes determinación y cuantificación, cuando es posible, de los numerosos factores confundidores que influyen, modifican y determinan cada efecto o resultado específico en la salud humana”¹³.

Las evidencias científicas obtenidas en estudios humanos y en animales indican que las exposiciones agudas o a corto plazo a las ED en altas concentraciones pueden inducir irritación ocular, nasal y faríngea, así como

¹³ FERRÍS, Josep. *Autobuses escolares y motores diésel: contaminación atmosférica, exposición pediátrica y efectos adversos en la salud humana*. http://pehsu.org/az/pdf/bus_diesel.pdf.

respuestas inflamatorias en las vías respiratoria y pulmonar. También producen efectos alérgicos e inmunológicos.

La exposición aguda, además de las irritaciones descritas previamente (conjuntivitis, rinitis y faringitis), también ocasiona otros síntomas respiratorios (tos, expectoración, disfonía, entre otros.) y neurofisiológicos como cefalalgia, mareos, náuseas, vómitos y parestesias de las extremidades. Estos síntomas han sido descritos tanto en trabajadores como en estudios clínicos de humanos expuestos de forma aguda a altas concentraciones de las ED.

Por otro lado, tenemos las exposiciones graves o a largo plazo que producen efectos crónicos en el ser humano como es el cáncer, los principales estudios epidemiológicos se han realizado en poblaciones profesionalmente expuestas, según el tipo de tarea dentro de cada industria y con acumulaciones basadas en la duración del trabajo o en la edad. Entre las 25 publicaciones mejor documentadas se observa un incremento, aunque no siempre estadísticamente significativo, del riesgo de cáncer pulmonar. Los profesionales más expuestos fueron los trabajadores ferroviarios, conductores de camiones de gran tonelaje, operarios de maquinaria pesada y otros conductores de equipos diésel, siendo el riesgo mayor cuando se superan los 20 años de exposición laboral.

Además del cáncer pulmonar, existen sospechas de que otros tumores, especialmente carcinomas de laringe, páncreas, vejiga urinaria y riñón, puedan estar asociados a la exposición a ED.

2. FASE TECNICO PROFESIONAL

2.1. Desarrollo del plan de control de combustible

Actualmente el ISDSA posee un control de combustible enfocado principalmente en la mala operación y robo de recursos por parte del personal, este se lleva a cabo por medio del área de control de combustible y gestión de maquinaria, con el apoyo del software TT1000 se consigue almacenar datos, graficar tendencias de consumo de combustible, generar alertas de alto consumo en base a las tendencias de consumo de combustible, entre otras funciones. Este software en complemento con otros, logra captar datos con los cuales se pueden calcular indicadores del consumo de combustible.

Para poder mejorar el control de combustible con éxito es necesario realizar un fortalecimiento de éste, motivo por el cual se realizó un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del sistema de control de combustible manejado en la actualidad, con el objetivo de mejorar las debilidades del actual sistema y con ello disminuir las amenazas que este puede presentar, aprovechando las fortalezas y oportunidades que este presenta.

2.1.1. Análisis FODA

- Fortalezas
 - Deseo de mejora
 - Seguimiento de gastos
 - Apoyo de gerencia
 - Optimización de recursos

- Oportunidades
 - Capacitación
 - Mejora continua
 - Ampliación del área
 - Control de combustible más estricto

- Debilidades
 - Insuficiente control de combustible.
 - Falta de seguimiento de todos los casos de alto consumo de combustible.
 - Insuficiente personal.

- Amenazas
 - Falta de seguimiento de procedimientos por parte de los técnicos.
 - Insuficiente presupuesto.

2.1.2. Estudio comparativo

El realizar un estudio comparativo tiene como objetivo ubicar los equipos que se encuentran fuera del rango adecuado de consumo de combustible, para así poder determinar la probable causa del inconveniente.

Para realizar un estudio comparativo es imprescindible poseer una base de datos anterior, la cual permitirá comparar datos actuales de consumo de combustible. Gracias al actual control de combustible y al software TT1000 se poseen datos de las zafas 17-18 y 18-19, los cuales fueron brindados por el ISDSA. Esta base de datos fue trasladada al software *Excel Plus 2016* con el cual se trabajó.

Tabla VII. Datos de zafra 18-19 de la motobomba 29060

C.C.	Fecha	Lectura	Tipo	Galones	Hrs	Periodo
29060	28/11/18	3 458	Diésel	83,69	32,00	18-19
29060	30/11/18	3 474	Diésel	49,51	16,00	18-19
29060	04/12/18	3 530	Diésel	116,87	55,80	18-19
29060	09/12/18	3 586	Diésel	176,82	56,20	18-19
29060	11/12/18	3 620	Diésel	108,77	34,00	18-19
29060	13/12/18	3 657	Diésel	138,03	37,00	18-19
29060	17/12/18	3 699	Diésel	169,47	42,00	18-19
29060	21/12/18	3 740	Diésel	163,20	41,00	18-19
29060	23/12/18	3 765	Diésel	80,29	25,00	18-19
29060	25/12/18	3 789	Diésel	101,67	24,00	18-19
29060	27/12/18	3 810	Diésel	45,59	21,00	18-19
29060	29/12/18	3 829	Diésel	84,75	19,00	18-19
29060	31/12/18	3 852	Diésel	68,03	23,00	18-19
29060	05/01/19	3 902	Diésel	181,89	50,00	18-19
29060	10/01/19	3 948	Diésel	166,28	46,00	18-19
29060	14/01/19	3 990	Diésel	148,14	42,00	18-19
29060	18/01/19	4 042	Diésel	164,17	52,00	18-19
29060	22/01/19	4 085	Diésel	147,13	43,00	18-19
29060	25/01/19	4 125	Diésel	138,99	40,00	18-19
29060	28/01/19	4 180	Diésel	150,00	55,00	18-19
29060	31/01/19	4 221	Diésel	145,91	41,00	18-19
29060	03/02/19	4 253	Diésel	93,24	32,00	18-19
29060	06/02/19	4 300	Diésel	155,76	47,00	18-19
29060	10/02/19	4 348	Diésel	173,12	48,00	18-19
29060	13/02/19	4 392	Diésel	163,28	44,00	18-19
29060	16/02/19	4 424	Diésel	96,28	32,00	18-19
29060	18/02/19	4 437	Diésel	33,06	13,00	18-19
29060	21/02/19	4 490	Diésel	178,02	53,00	18-19
29060	23/02/19	4 525	Diésel	75,70	35,00	18-19
29060	25/02/19	4 558	Diésel	93,80	32,50	18-19
29060	27/02/19	4 573	Diésel	71,34	15,50	18-19
29060	01/03/19	4 609	Diésel	109,40	36,00	18-19
29060	04/03/19	4 656	Diésel	136,72	47,00	18-19
29060	06/03/19	4 695	Diésel	131,81	39,00	18-19
29060	08/03/19	4 715	Diésel	54,05	20,00	18-19

Continuación de la tabla VII.

29060	12/03/19	4 766	Diésel	150,32	51,00	18-19
29060	16/03/19	4 785	Diésel	51,84	19,00	18-19
29060	19/03/19	4 822	Diésel	128,01	37,00	18-19
29060	23/03/19	4 877	Diésel	182,92	55,00	18-19
29060	26/03/19	4 930	Diésel	159,60	53,00	18-19
29060	29/03/19	4 967	Diésel	100,29	37,00	18-19
29060	31/03/19	4 990	Diésel	66,84	23,00	18-19
29060	02/04/19	5 008	Diésel	51,48	18,00	18-19
29060	04/04/19	5 046	Diésel	112,78	38,00	18-19
29060	07/04/19	5 066	Diésel	65,01	20,00	18-19
29060	09/04/19	5 105	Diésel	114,12	39,00	18-19
29060	11/04/19	5 123	Diésel	63,16	18,00	18-19
29060	13/04/19	5 152	Diésel	87,14	29,00	18-19
29060	15/04/19	5 179	Diésel	85,65	27,00	18-19
29060	18/04/19	5 221	Diésel	122,50	42,00	18-19
29060	21/04/19	5 253	Diésel	72,60	32,00	18-19
29060	24/04/19	5 293	Diésel	111,54	40,00	18-19
29060	26/04/19	5 300	Diésel	21,24	7,00	18-19
29060	28/04/19	5 336	Diésel	117,21	36,00	18-19
29060	30/04/19	5 373	Diésel	112,67	37,00	18-19

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Tabla VIII. **Datos de zafra 17-18 de la motobomba 29060**

C.C.	Fecha	Lectura	Tipo	Galones	Hrs	Periodo
29060	29/11/17	1 371	Diésel	176,42	47,00	17-18
29060	02/12/17	1 401	Diésel	78,01	30,00	17-18
29060	05/12/17	1 446	Diésel	134,94	45,00	17-18
29060	08/12/17	1 501	Diésel	143,52	55,00	17-18
29060	13/12/17	1 552	Diésel	184,76	51,00	17-18
29060	16/12/17	1 598	Diésel	132,87	46,00	17-18
29060	18/12/17	1 640	Diésel	122,68	42,00	17-18
29060	20/12/17	1 668	Diésel	84	28,00	17-18
29060	22/12/17	1 675	Diésel	33,18	7,00	17-18

Continuación de la tabla VIII.

29060	24/12/17	1 716	Diésel	122,72	41,00	17-18
29060	26/12/17	1 734	Diésel	48,53	18,00	17-18
29060	30/12/17	1 790	Diésel	172,12	56,00	17-18
29060	02/01/18	1 821	Diésel	89,18	31,00	17-18
29060	04/01/18	1 863	Diésel	123,07	42,00	17-18
29060	06/01/18	1 900	Diésel	104,27	37,00	17-18
29060	08/01/18	1 927	Diésel	65,13	27,00	17-18
29060	10/01/18	1 970	Diésel	125,21	43,00	17-18
29060	12/01/18	1 994	Diésel	69,28	24,00	17-18
29060	14/01/18	2 012	Diésel	47,6	18,00	17-18
29060	20/01/18	2 058	Diésel	159,23	46,00	17-18
29060	23/01/18	2 101	Diésel	141,68	43,00	17-18
29060	25/01/18	2 117	Diésel	44,69	16,00	17-18
29060	30/01/18	2 168	Diésel	165,48	51,00	17-18
29060	02/02/18	2 215	Diésel	148,92	47,00	17-18
29060	04/02/18	2 233	Diésel	59,85	18,00	17-18
29060	07/02/18	2 270	Diésel	116,55	37,00	17-18
29060	10/02/18	2 321	Diésel	183,48	51,00	17-18
29060	12/02/18	2 349	Diésel	99,56	28,00	17-18
29060	14/02/18	2 382	Diésel	113,27	33,00	17-18
29060	17/02/18	2 420	Diésel	105	38,00	17-18
29060	20/02/18	2 466	Diésel	143,09	46,00	17-18
29060	22/02/18	2 504	Diésel	111,83	38,00	17-18
29060	24/02/18	2 539	Diésel	122,52	35,00	17-18
29060	26/02/18	2 574	Diésel	124,23	35,00	17-18
29060	28/02/18	2 611	Diésel	118,61	37,00	17-18
29060	02/03/18	2 637	Diésel	82,99	26,00	17-18
29060	04/03/18	2 669	Diésel	101,27	32,00	17-18
29060	08/03/18	2 721	Diésel	159,78	52,00	17-18
29060	11/03/18	2 753	Diésel	129,7	32,00	17-18
29060	13/03/18	2 802	Diésel	180	49,00	17-18
29060	17/03/18	2 853	Diésel	200,01	51,00	17-18
29060	20/03/18	2 891	Diésel	125,18	37,50	17-18
29060	25/03/18	2 935	Diésel	162,64	44,50	17-18
29060	28/03/18	2 985	Diésel	176,54	50,00	17-18
29060	30/03/18	3 024	Diésel	134,9	39,00	17-18

Continuación de la tabla VIII.

29060	01/04/18	3 054	Diésel	100,28	30,00	17-18
29060	04/04/18	3 107	Diésel	165,17	53,00	17-18
29060	06/04/18	3 132	Diésel	113,93	25,00	17-18
29060	09/04/18	3 176	Diésel	157,76	44,00	17-18
29060	12/04/18	3 201	Diésel	118	25,00	17-18
29060	14/04/18	3 242	Diésel	143,57	41,00	17-18
29060	17/04/18	3 296	Diésel	165,56	54,00	17-18
29060	23/04/18	3 352	Diésel	167,45	56,00	17-18

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Eficiencia media de combustible

De los datos de las tablas VII y VIII se tomaron las columnas de galones y Hrs. correspondientes a su misma fecha para el cálculo de la eficiencia media de combustible de la motobomba 29060. A continuación, se muestra el cálculo de la eficiencia correspondiente a la fecha 28/11/2018 para el periodo de zafra 18-19.

$$E = \frac{gal}{hrs} = \frac{83,69gal}{32hrs} = 2,62 \frac{gal}{hrs}$$

De esta forma, se obtuvo un total de 55 eficiencias medias de combustible para el periodo de zafra 18-19 y 53 eficiencias medias de combustible para el periodo de zafra 17-18.

Tabla IX. **Eficiencia media de combustible de la motobomba 29060 en el periodo 18-19**

	Fecha	E		Fecha	E		Fecha	E
1	28/11/2018	2,62	12	29/12/2018	4,46	23	06/02/2019	3,31
2	30/11/2018	3,09	13	31/12/2018	2,96	24	10/02/2019	3,61
3	04/12/2018	2,09	14	05/01/2019	3,64	25	13/02/2019	3,71
4	09/12/2018	3,15	15	10/01/2019	3,61	26	16/02/2019	3,01
5	11/12/2018	3,20	16	14/01/2019	3,53	27	18/02/2019	2,54
6	13/12/2018	3,73	17	18/01/2019	3,16	28	21/02/2019	3,36
7	17/12/2018	4,04	18	22/01/2019	3,42	29	23/02/2019	2,16
8	21/12/2018	3,98	19	25/01/2019	3,47	30	25/02/2019	2,89
9	23/12/2018	3,21	20	28/01/2019	2,73	31	27/02/2019	4,60
10	25/12/2018	4,24	21	31/01/2019	3,56	32	01/03/2019	3,04
11	27/12/2018	2,17	22	03/02/2019	2,91	33	04/03/2019	2,91
34	06/03/2019	3,38	40	26/03/2019	3,01	46	09/04/2019	2,93
35	08/03/2019	2,70	41	29/03/2019	2,71	47	11/04/2019	3,51
36	12/03/2019	2,95	42	31/03/2019	2,91	48	13/04/2019	3,00
37	16/03/2019	2,73	43	02/04/2019	2,86	49	15/04/2019	3,17
38	19/03/2019	3,46	44	04/04/2019	2,97	50	18/04/2019	2,92
39	23/03/2019	3,33	45	07/04/2019	3,25	51	21/04/2019	2,27
52	24/04/2019	2,79	54	28/04/2019	3,26			
53	26/04/2019	3,03	55	30/04/2019	3,05			

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Tabla X. **Eficiencia media de combustible de la motobomba 29060 en el periodo 17-18**

	Fecha	E		Fecha	E		Fecha	E
1	29/11/2017	3,75	15	06/01/2018	2,82	29	14/02/2018	3,43
2	02/12/2017	2,6	16	08/01/2018	2,41	30	17/02/2018	2,76
3	05/12/2017	3	17	10/01/2018	2,91	31	20/02/2018	3,11
4	08/12/2017	2,61	18	12/01/2018	2,89	32	22/02/2018	2,94
5	13/12/2017	3,62	19	14/01/2018	2,64	33	24/02/2018	3,5
6	16/12/2017	2,89	20	20/01/2018	3,46	34	26/02/2018	3,55

Continuación de la tabla X.

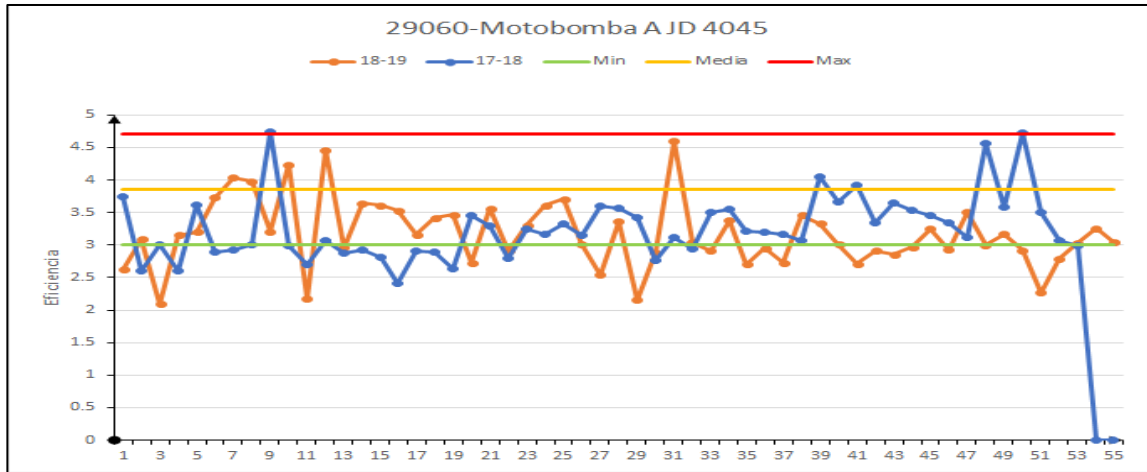
7	18/12/2017	2,92	21	23/01/2018	3,29	35	28/02/2018	3,21
8	20/12/2017	3	22	25/01/2018	2,79	36	02/03/2018	3,19
9	22/12/2017	4,74	23	30/01/2018	3,24	37	04/03/2018	3,16
10	24/12/2017	2,99	24	02/02/2018	3,17	38	08/03/2018	3,07
11	26/12/2017	2,7	25	04/02/2018	3,33	39	11/03/2018	4,05
12	30/12/2017	3,07	26	07/02/2018	3,15	40	13/03/2018	3,67
13	02/01/2018	2,88	27	10/02/2018	3,6	41	17/03/2018	3,92
14	04/01/2018	2,93	28	12/02/2018	3,56	42	20/03/2018	3,34
43	25/03/2018	3,65	47	04/04/2018	3,12	51	14/04/2018	3,5
44	28/03/2018	3,53	48	06/04/2018	4,56	52	17/04/2018	3,07
45	30/03/2018	3,46	49	09/04/2018	3,59	53	23/04/2018	2,99
46	01/04/2018	3,34	50	12/04/2018	4,72			

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

2.1.2.1. Tendencia de consumo de combustible

De los datos de las tablas IX y X se tomaron las columnas de fecha y eficiencia media de combustible para realizar una gráfica de tendencia de consumo de combustible por periodo, la cual posee en el eje horizontal el tiempo y en el eje vertical la eficiencia media de combustible. A continuación, se presenta la gráfica de tendencias de consumo de combustible correspondientes a la motobomba 29060 en los periodos de zafra 17-18 y 18-19.

Figura 11. **Tendencias de consumo de combustible de la motobomba 29060 en los periodos 17-18 y 18-19**



Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Por medio de esta gráfica de consumo de combustible podemos determinar si la máquina se encuentra en un rango adecuado de consumo de combustible, además, de poder comparar el rendimiento de consumo de combustible que obtuvo en ambos periodos.

2.1.2.2. Análisis de la tendencia de consumo de combustible

En la figura 11 se puede observar que la motobomba 29060 presenta una tendencia de consumo de combustible adecuada, alcanzando en algunos puntos un consumo mínimo de combustible por hora laborada. Además, podemos concluir, por medio de la comparación de la tendencia de combustible del periodo 17-18 y la del periodo 18-19, que la motobomba mantiene su eficiencia de consumo de combustible, incluso llegándola a mejorar en algunos puntos, lo cual

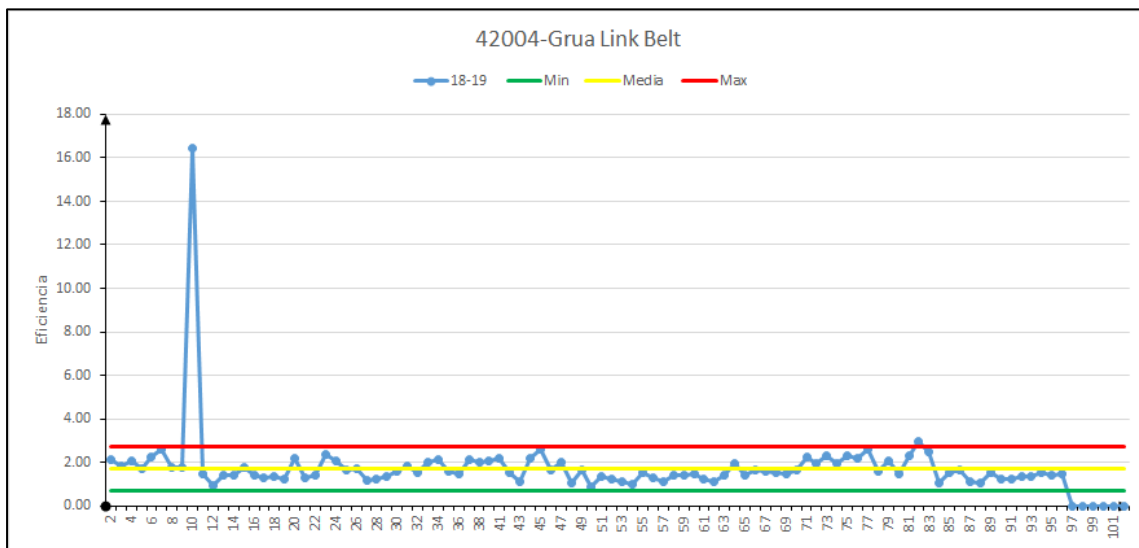
nos indica que se encuentra laborando en óptimas condiciones, además de ser operada de una forma correcta.

Cuando la tendencia de consumo de combustible se encuentra alterada, esta misma nos puede brindar información importante sobre el posible inconveniente de la máquina automotriz, como puede ser:

- Robo de recursos por parte del personal.
- Desperfectos mecánicos en la máquina automotriz.
- Mala operación de la máquina automotriz.

Cada situación expuesta presenta una tendencia de consumo de combustible distinta y con características específicas. A continuación, se presentará un ejemplo de una gráfica de tendencia de consumo de combustible por cada situación.

Figura 12. Ejemplo de robo de recursos reflejado en la tendencia de consumo de combustible

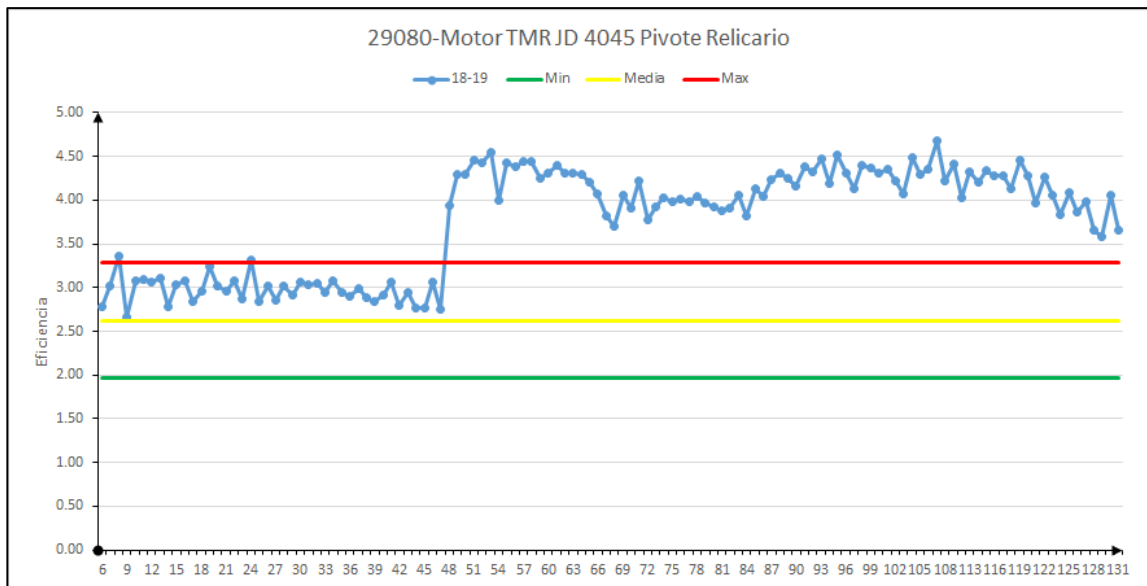


Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

En la figura 12 observamos la tendencia de consumo de combustible de la grúa Link Belt 42004 en el periodo de zafra 18-19, la cual presenta una alteración repentina en su tendencia de consumo de combustible, esta alteración o pico es asociada a un robo de recursos por parte del personal.

La razón de esta conclusión se debe a que la alteración es de forma brusca y no concuerda con el patrón que presenta a lo largo de toda la tendencia de consumo de combustible. Por tanto, la máquina automotriz repostó la misma cantidad de combustible habitual, y realizó menos horas laboradas de lo común, reflejando así una clara extracción de combustible.

Figura 13. Ejemplo de desperfecto mecánico reflejado en la tendencia de consumo de combustible



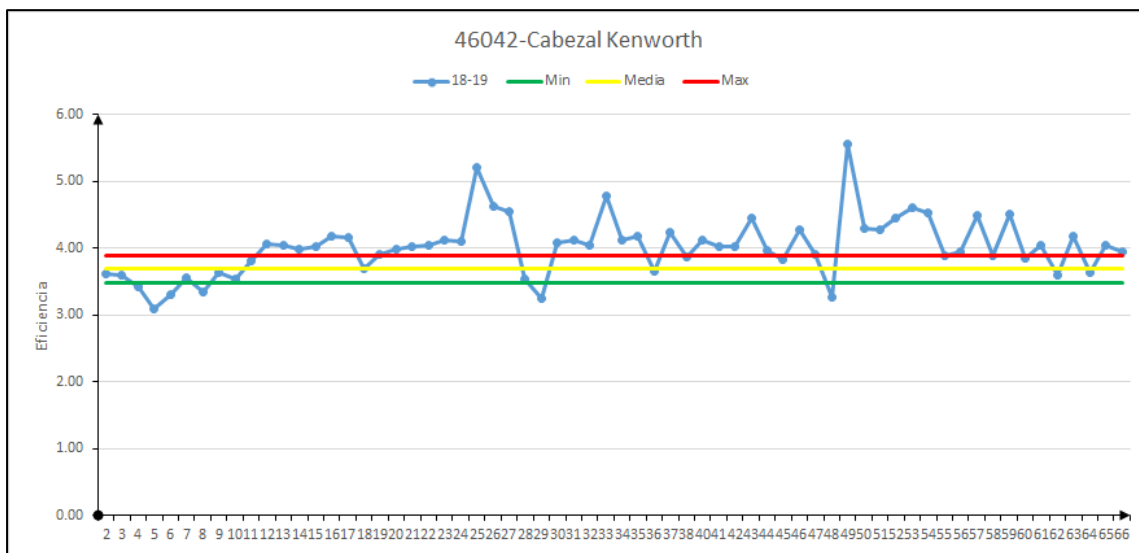
Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

En la figura 13 observamos la tendencia de consumo de combustible del motor estacionario JD 29080. La característica principal de esta tendencia de

consumo es que, la máquina sostiene hasta cierto punto un comportamiento normal de consumo, llegando a un punto de la gráfica en la cual se ve elevada de forma continua, dejando con ello un excesivo consumo de combustible.

Es de suma importancia cerciorarse que, durante el tiempo laborado de la maquinaria no exista un cambio repentino de labor o bien un robo de recursos, de lo contrario se verá reflejado de forma similar que un desperfecto mecánico.

Figura 14. **Ejemplo de mala operación reflejado en la tendencia de consumo de combustible**



Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

En la figura 14 observamos la tendencia de consumo de combustible del cabezal Kenworth 46042 en el periodo de zafra 18-19. La característica principal de esta gráfica de tendencia de consumo es que presenta alteraciones variadas a lo largo de toda la gráfica, en la cual existen puntos donde el consumo es adecuado y puntos donde el consumo es excesivo. Estas variaciones son asociadas con manejos inadecuados por parte de los operadores, como puede

ser: conducción a alta velocidad, revoluciones excesivas en el motor, uso inapropiado del aire acondicionado, entre otros.

Es importante verificar que no haya un intermitente robo de recursos, de lo contrario se verá reflejado de forma similar que una mala operación.

2.1.3. Clasificación de la maquinaria automotriz por consumo de combustible

Es de suma importancia conocer cuál de los actuales grupos de maquinaria automotriz está presentando un mayor consumo de combustible, esto con el objetivo de prestar mayor atención a la maquinaria automotriz que se encuentra en dicho grupo.

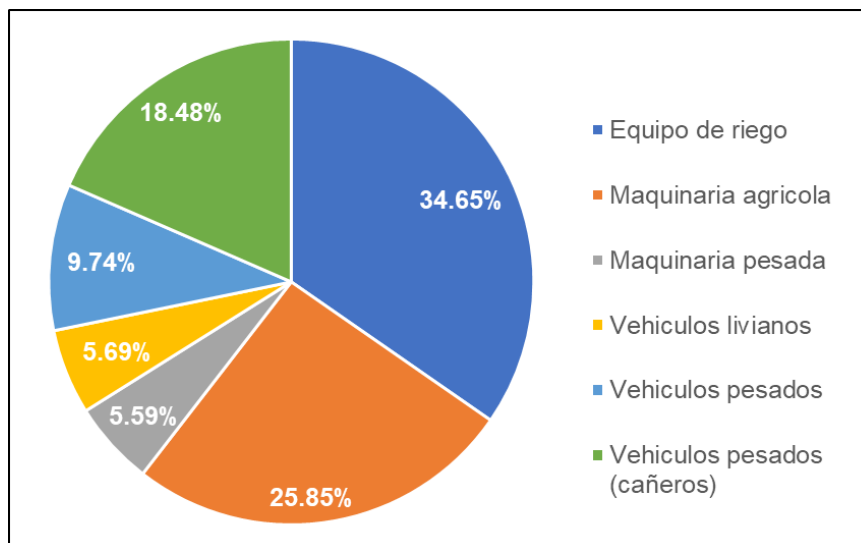
Actualmente, se está consumiendo un promedio de 1 200,000 gal de combustible anuales, los cuales son distribuidos en seis grupos distintos de maquinaria automotriz mencionados en la tabla I. Se tomaron los datos recolectados del actual sistema de control de combustible TT1000 y se trabajó en *Excel Plus 2016*.

Por medio del uso de tablas y graficas dinámicas, se calculó la cantidad total de gal de combustible consumidos en el periodo de zafra 18-19, dato que fue la base para el cálculo de los porcentajes de combustible consumido por cada grupo de maquinaria automotriz. A continuación, se presenta una gráfica circular donde se observan los grupos ordenados de mayor a menor consumo de combustible:

- Equipo de riego, con un 34,65 %
- Maquinaria agrícola, con un 25,85 %

- Vehículos pesados cañeros, con un 18,48 %
- Vehículos pesados, con un 9,74 %
- Vehículos livianos, con un 5,69 %
- Maquinaria pesada, con un 5,59 %

Figura 15. **Clasificación de la maquinaria automotriz por consumo de combustible**



Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

2.1.3.1. **Maquinaria automotriz con alto consumo de combustible por desperfectos mecánicos**

Por medio de Excel Plus 2016 fue posible realizar un estudio comparativo de manera individual a cada una de las 434 máquinas automotrices. La cantidad de máquinas automotrices que presentan alto consumo de combustible es bastante considerable, se estima un 30 % del total de equipos, este porcentaje contiene los tres factores principales de alto consumo de combustible. Este

listado fue filtrado a manera de encontrar los equipos que poseen alto consumo solamente por razones mecánicas.

La filtración se llevó a cabo por medio de un análisis de tendencia de consumo de combustible, seleccionando únicamente las gráficas de tendencia de consumo que poseían la misma directriz o similitud con la figura 13, dando como resultado un total de nueve equipos con alto consumo de combustible debido a desperfectos mecánicos, de los cuales ocho son motores estacionarios y el restante es un cabezal. Estos equipos son identificados con los siguientes centros de costo (C.C).

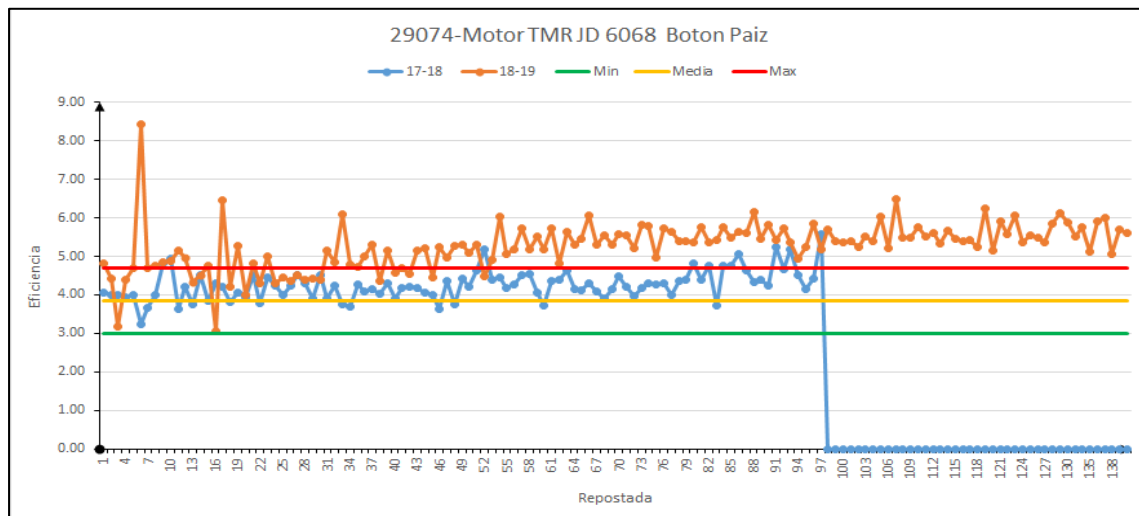
Tabla XI. **Equipos con alto consumo de combustible debido a desperfectos mecánicos**

No.	Equipo	Centro de costo (C.C.)
1	Motor estacionario	29074
2	Motor estacionario	29080
3	Motor estacionario	29083
4	Motor estacionario	29088
5	Motor estacionario	29336
6	Motor estacionario	77014
7	Motor estacionario	77015
8	Motor estacionario	77016
9	Cabezal	46071

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Como se puede observar, el 88,89 % de los equipos con alto consumo de combustible pertenecen a la división de equipos de riego, y el complemento a vehículos pesados, dato que se ve reflejado en la figura 15 donde predominan estas dos divisiones de los equipos. A continuación, se presentan las tendencias de consumo de combustible de los nueve equipos mencionados anteriormente:

Figura 16. **Tendencia de consumo del motor estacionario 29074**



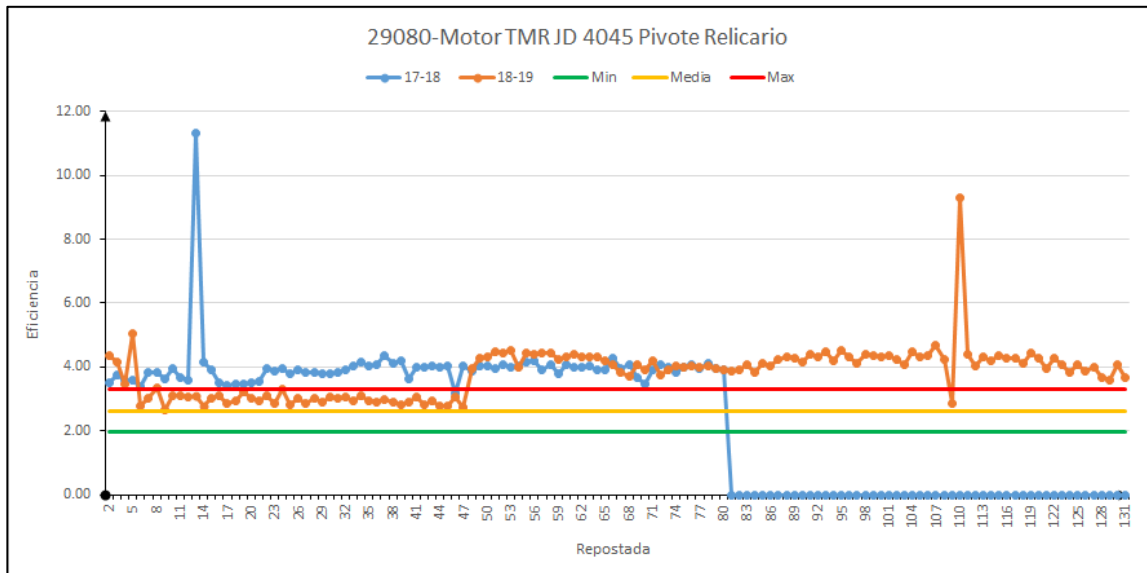
Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Figura 17. **Motor estacionario 29074**



Fuente: Área de parqueo de maquinaria, Ingenio azucarero San Diego S.A. ISDSA.

Figura 18. **Tendencia de consumo del motor estacionario 29080**



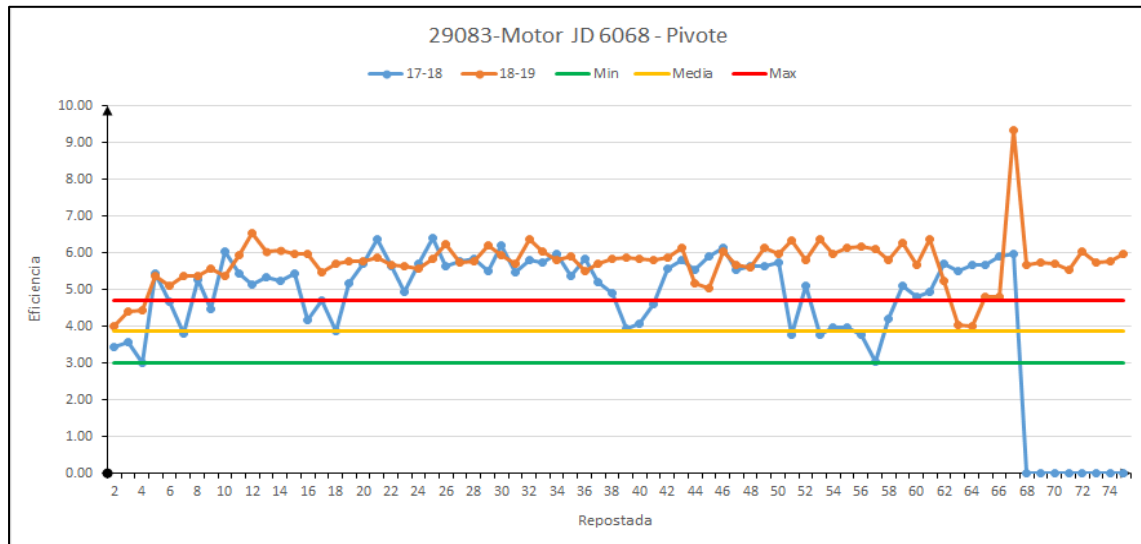
Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Figura 19. **Motor estacionario 29080**



Fuente: elaboración propia, área de riego, Ingenio Azucarero San Diego S.A, ISDSA.

Figura 20. **Tendencia de consumo del motor estacionario 29083**



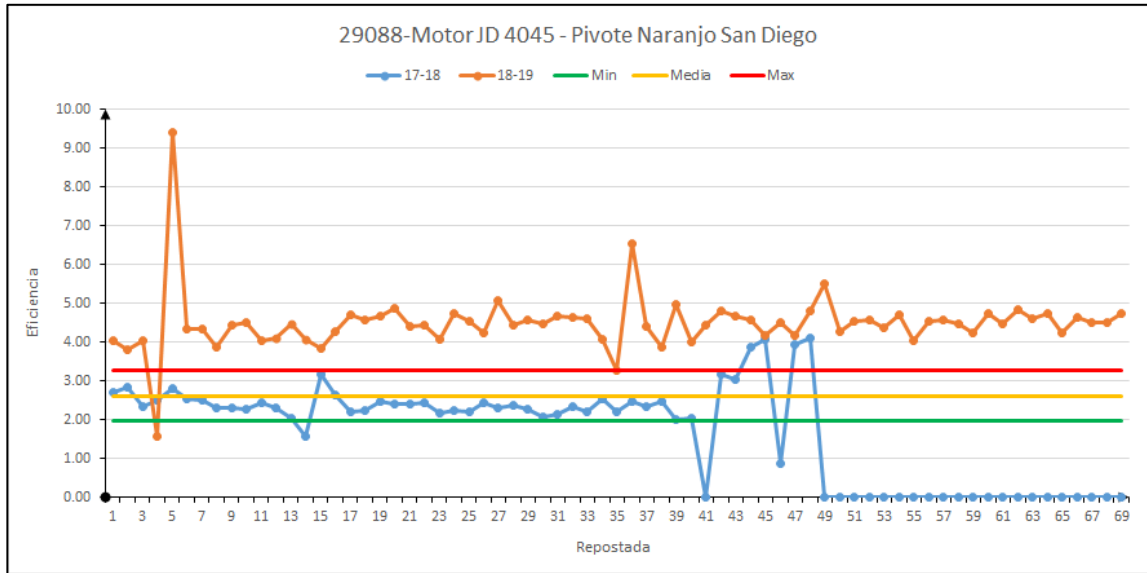
Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Figura 21. **Motor estacionario 29083**



Fuente: elaboración propia, área de campo, Ingenio San Diego S.A, ISDSA.

Figura 22. **Tendencia de consumo del motor estacionario 29088**



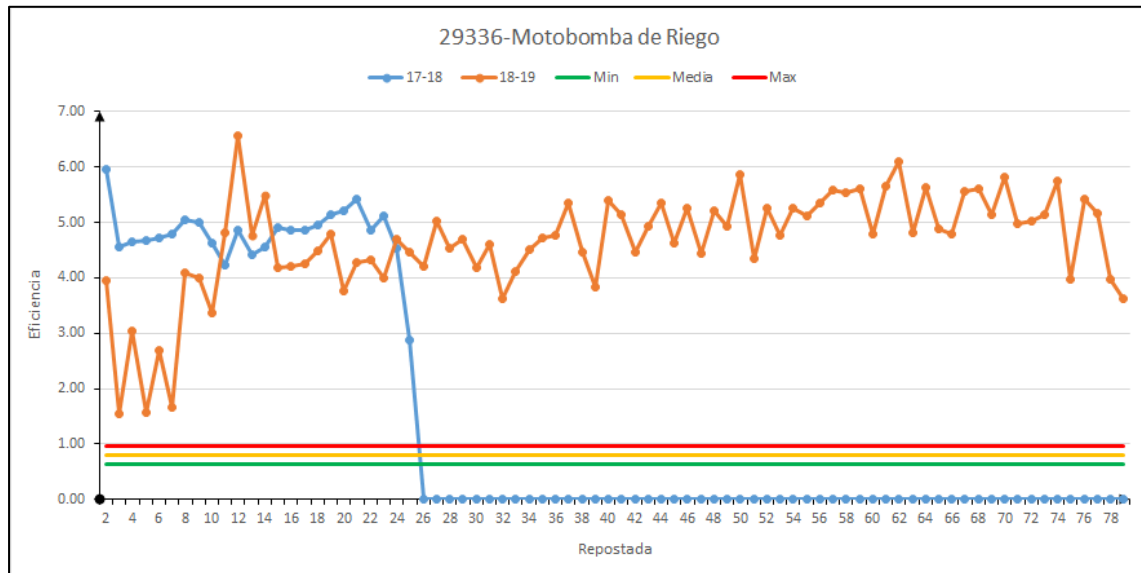
Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Figura 23. **Motor estacionario 29088**



Fuente: elaboración propia, área de parqueo de maquinaria, Ingenio San Diego S. A. ISDSA.

Figura 24. **Tendencia de consumo del motor estacionario 29336**



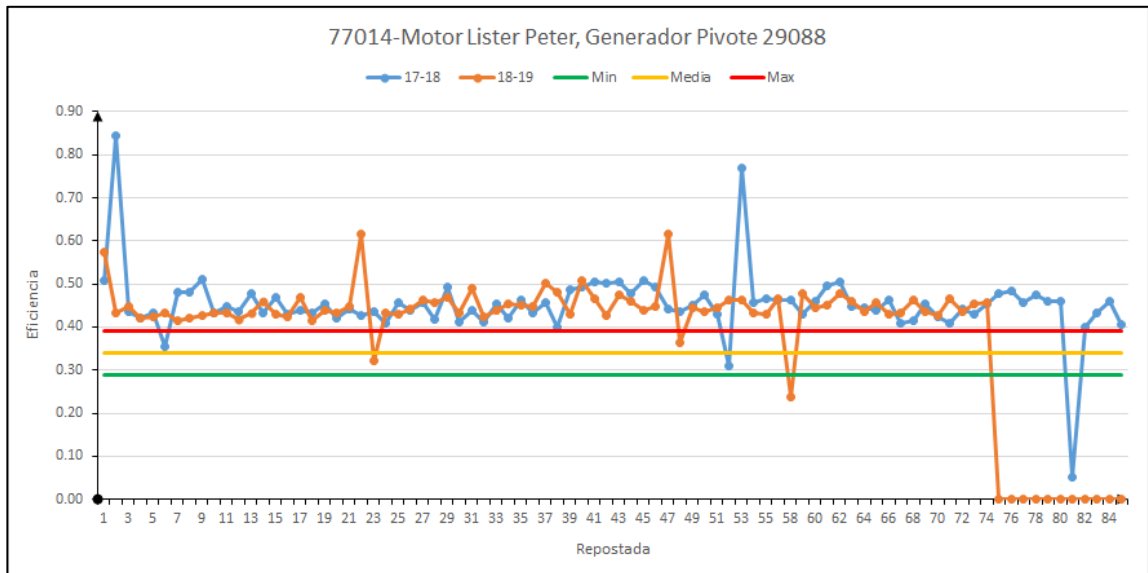
Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Figura 25. **Motor estacionario 29336**



Fuente: elaboración propia, área de parqueo de maquinaria, Ingenio San Diego S.A. ISDSA.

Figura 26. **Tendencia de consumo del motor estacionario 77014**



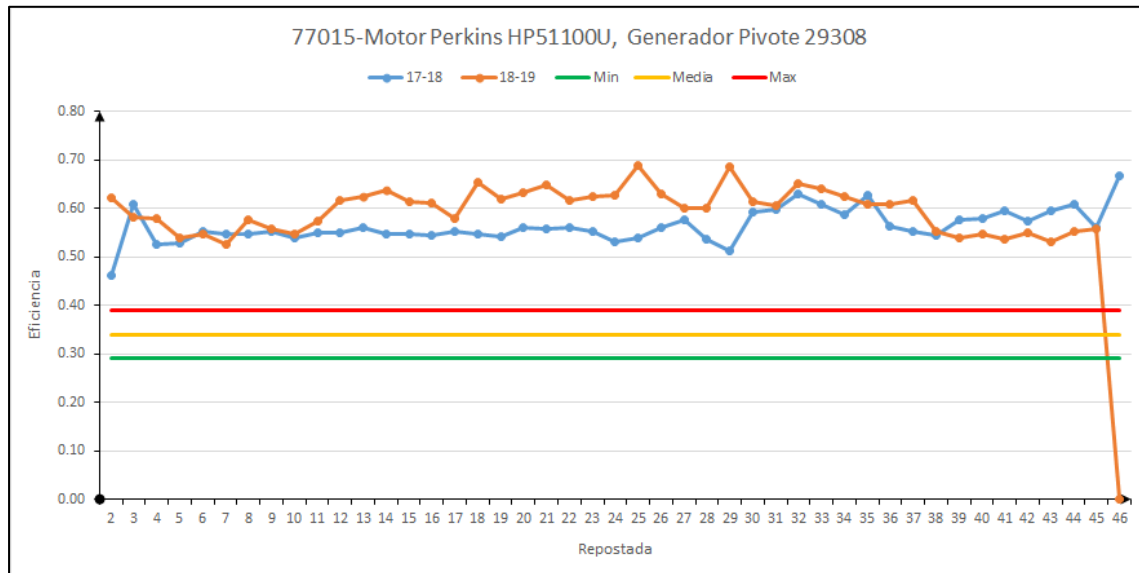
Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Figura 27. **Motor estacionario 77014**



Fuente: elaboración propia, área de riego, Ingenio San Diego S.A. ISDSA.

Figura 28. **Tendencia de consumo del motor estacionario 77015**



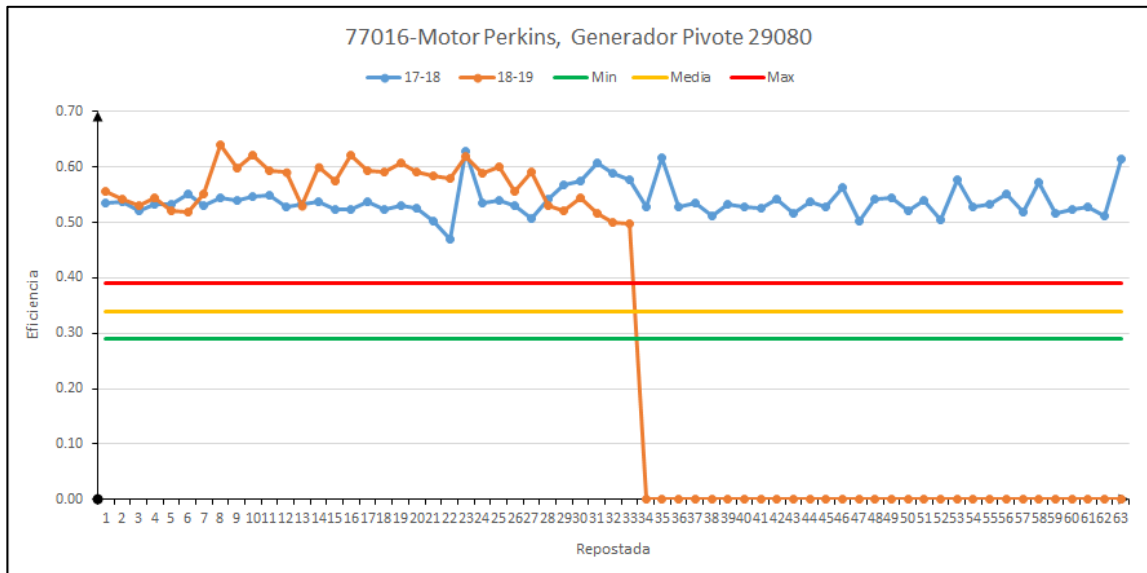
Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Figura 29. **Motor estacionario 77015**



Fuente: elaboración propia, área de taller, Ingenio San Diego S.A. ISDSA.

Figura 30. **Tendencia de consumo del motor estacionario 77016**



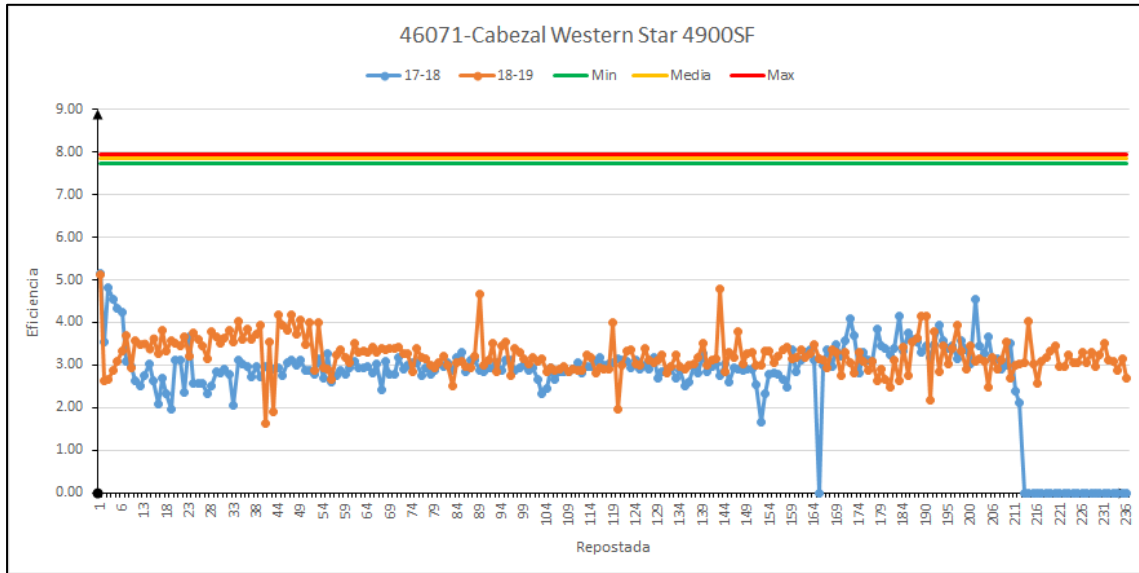
Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Figura 31. **Motor estacionario 77016**



Fuente: elaboración propia, área de taller, Ingenio San Diego S.A. ISDSA.

Figura 32. **Tendencia de consumo del Cabezal 46071**



Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Figura 33. **Cabezal 46071**



Fuente: elaboración propia, área de parqueo de maquinaria, Ingenio San Diego S.A. ISDSA.

2.1.4. Metodología para la localización de desperfectos mecánicos

Por medio del seguimiento de cada uno de los equipos, además, de la implementación de la constante revisión del sistema de alimentación de combustible, se logró detectar algunas de las causas principales causantes del alto consumo de combustible. El procedimiento realizado para la detección se describe a continuación.

2.1.4.1. Revisión del historial de mantenimiento preventivo y correctivo

Es importante conocer qué puntos del equipo se han trabajado con anterioridad. Esto nos puede conllevar a localizar trabajos mal realizados, fugas, repuestos defectuosos, entre otras situaciones. Además, nos indica piezas mecánicas que no han sido remplazadas al haber cumplido su tiempo de vida estimado.

Por ello, es trascendental que exista en el taller un área asignada al control y organización de trabajos en la maquinaria automotriz. En este caso se tuvo el apoyo del área de centro de control de taller (C.C.T.) brindando acceso completo al historial de mantenimiento de los periodos remotos de zafra, ubicado en el sistema SQL propio del ISDSA.

En este historial se buscaron cambios de repuestos influyentes en el funcionamiento del sistema de combustible, reparaciones considerables, diagnósticos y soluciones brindadas en antiguas reparaciones.

2.1.4.2. Revisión del estado actual del equipo

Se debe verificar si se está cumpliendo con las condiciones de trabajo adecuado para el correcto funcionamiento del equipo, además de la constante revisión de las variables de una máquina, es decir, presión de aceite, revoluciones, temperatura, niveles, entre otras. Cabe resaltar que de ser posible se debe tomar de forma manual estas variables y compararlas con las lecturas dadas por el tablero, esto con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento de este.

Además, es de suma importancia verificar las calibraciones de los principales componentes mecánicos influyentes en el sistema de combustible, como puede ser bomba de inyección de combustible, válvulas, entre otros; y compararlos con los establecidos por el fabricante.

2.1.4.3. Uso de tecnología

Gracias al actual nivel de tecnología que dispone la maquinaria, se puede lograr identificar inconvenientes mecánicos, eléctricos o electrónicos mediante el uso de escáneres sofisticados, brindando información sobre problemas específicos que puedan presentarse, o bien, lecturas de las variables en tiempo real.

Una de las desventajas de esta es que no se encuentra disponible en toda la maquinaria automotriz que se posee actualmente, debido a la antigüedad de algunas máquinas, o bien, falta de herramienta adecuada.

2.1.4.4. Comunicación con el operador

Una fuente muy importante de información y recopilación de síntomas es el operador de la máquina, debido a que conoce el funcionamiento normal de la maquinaria logrando detectar o identificar cuando se presentan vibraciones anómalas, humo u olores extraños, explosiones inusuales, o bien, sistemas de alerta en la máquina. Por medio de estos síntomas se puede llegar a realizar pruebas específicas y así realizar un correcto diagnóstico y por ende una buena reparación de un desperfecto mecánico en la maquinaria.

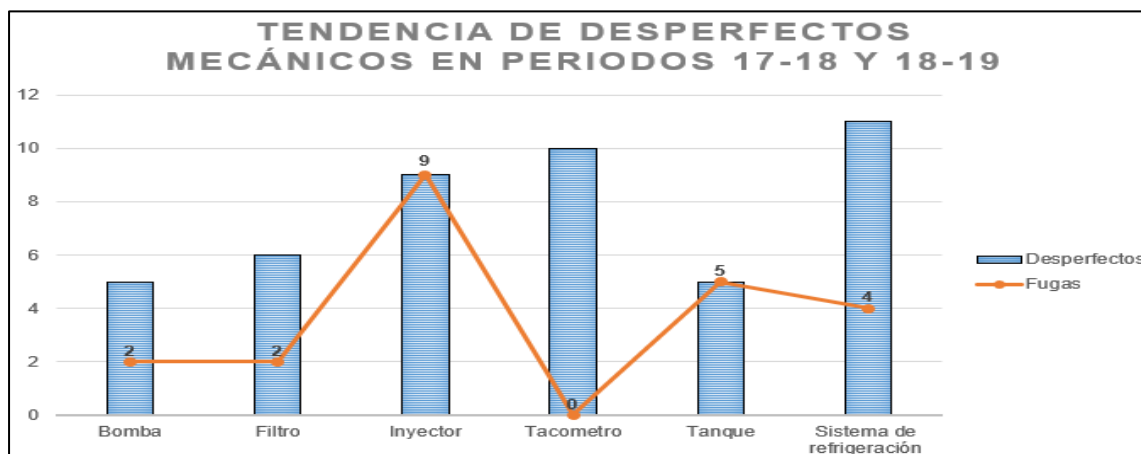
2.1.5. Principales desperfectos mecánicos productores de alto consumo de combustible

Ubicando los equipos que presentan alto consumo de combustible por desperfectos mecánicos y empleando la metodología para la localización de fallas mencionada anteriormente, se realizó un estudio de los principales desperfectos mecánicos que afectan directa o indirectamente al sistema de alimentación de combustible. Esto con el objetivo de localizar las principales fallas responsables de alto consumo de combustible en la maquinaria.

Se obtuvo una cantidad considerable de información gracias a la base de datos de mantenimientos correctivos pertinentes a los periodos de zafra 17-18 y 18-19, la cual fue brindada por el área de centro de control de taller, (C.C.T.), además, se utilizó un escáner para la inspección del estado actual de la maquinaria. Recopilada esta información, se realizó una gráfica donde se presentan los principales desperfectos mecánicos contra la repetitividad de estos, asimismo, se agregó una línea que representa el número de fugas presentadas por ese tipo de falla mecánica. A continuación, se presenta la gráfica de

tendencia de desperfectos mecánicos presentados en los periodos de zafra 17-18 y 18-19.

Figura 34. **Tendencia de desperfectos mecánicos en los periodos de zafra 17-18 y 18-19**



Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.


2.1.6. Lista de inspección

Es importante mantener en óptimas condiciones de funcionamiento todo aspecto mecánico de una máquina automotriz, incluyendo al sistema de alimentación de combustible, por esta razón y con el objetivo de la detección y disminución de desperfectos, se realizó una lista de chequeo diseñada para ejecutarse una vez por año en el periodo de reparación de maquinaria, específicamente en la reparación general realizada a toda maquinaria automotriz.

El motivo del período con que se realizará esta lista es debido a que en época de zafra (la cual abarca desde principios de noviembre, hasta mediados de mayo) se dificulta el realizar un mantenimiento detallado, razón por la cual se tiene un periodo específico de reparación general de maquinaria.

En ella se colocaron los puntos vitales encontrados en el estudio de detección de fallas mecánicas mencionado con anterioridad, además de las variables que influyen en el correcto funcionamiento de este sistema. Está diseñado principalmente para motores estacionarios, pero puede ser aplicado a cualquier otra máquina automotriz que funcione por medio del ciclo diésel. A continuación, se presenta el listado de inspección al sistema de combustible.

Tabla XII. Listado de inspección al sistema de alimentación de combustible

	Inspección del sistema de alimentación de combustible	Pág. 1/1 Ver: 1.0		
Supervisor: _____ Técnico: _____ Fecha: _____ Centro de costo: _____ Hrs/Km: _____				
Tanque de combustible	Si	No	N/A	Observaciones
Presenta fugas o golpes.				
El flotador esta realizando su trabajo.				
El cableado se encuentra en buen estado.				
Las mangueras se encuentran agrietadas.				
Abrazaderas debidamente apretadas.				
Filtro de tanque obstruido.				
Suciedad dentro del tanque.				
Tapon en buen estado.				
Puntos criticos de robo hermetizados.				
Corrosión por lado dentro y fuera.				
Bomba de transferencia	Si	No	N/A	Observaciones
Adecuada presión.				
Adecuada succión.				
Calibración adecuada.				
Correcto aprete a su base.				
Limpia y fuera de suciedad.				
Bomba de inyección	Si	No	N/A	Observaciones
Adecuada presión sin carga.				
Adecuada presión con carga.				
Adecuada succión.				
Prueba de eficiencia de la bomba.				
Calibración adecuada.				
Correcto aprete a su base.				
Limpia y fuera de suciedad.				
Presenta fugas o golpes.				
Mangueras y tuberías debidamente apretadas.				
Válvula de retorno en funcionamiento.				
Diafragma de gobernador lubricado.				
Filtros	Si	No	N/A	Observaciones
Filtro de tanque sin obstrucción.				
Prefiltro de combustible sin obstrucción.				
Filtro principal sin obstrucción.				
Filtro de aire libre de polvo.				
Suciedad dentro del tanque.				
Separador de humedad libre y sin sedimento.				
Válvula de descarga al tanque funcionando.				
Bomba de purga en funcionamiento.				
Sistema purgado.				
Otros	Si	No	N/A	Observaciones
Presencia de vibraciones anormales.				
Presencia de olores extraños.				
Presencia de humo anormal.				
Funcionamiento del sistema EGR.				
Funcionamiento normal de ventilador del motor.				
Indicadores del tablero funcionando.				
Valores				
Revoluciones en ralenti.				
Temperatura con y sin carga.				
Temperatura de trabajo y en frio.				
Presión de aceite.				
Vacio del motor.				
Compresiones del motor.				

Firma supervisor

Firma técnico

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

2.1.7. Proyección de costos ahorrados

Se realizó un estudio de costos, en el cual se indica el porcentaje de presupuesto ahorrado por periodo de zafra, esto suponiendo, se logre alcanzar al menos el máximo consumo admitido en las nueve máquinas automotrices identificadas con consumo excesivo de combustible por desperfectos mecánicos.

Por medio de la base de datos correspondientes al periodo de zafra 18-19 antes mencionado en el estudio comparativo, de igual forma se trasladó dicha base de datos al software Excel Plus 2016, donde se realizaron los cálculos para la obtención de los costos ahorrados.

Fue necesario obtener la eficiencia de estas nueve máquinas automotrices expresadas como la división de los galones entre los kilómetros u horas laboradas. Para el motor estacionario 29074 se obtuvieron un total de 140 eficiencias correspondientes a 140 fechas para el periodo de zafra 18-19, a continuación, se muestran las eficiencias en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Eficiencia en Gal/Hrs. del motor estacionario 29074**

No.	E	No.	E	No.	E	No.	E	No.	E
1	4,81	31	5,16	62	4,82	93	5,36	124	5,36
2	4,42	32	4,86	63	5,65	94	4,94	125	5,56
3	3,18	33	6,10	64	5,29	95	5,23	126	5,49
4	4,39	34	4,80	65	5,45	96	5,84	127	5,36
5	4,69	35	4,74	66	6,05	97	5,18	128	5,86
6	8,42	36	5,01	67	5,31	98	5,70	129	6,12
7	4,71	37	5,32	68	5,54	99	5,38	130	5,87
8	4,76	38	4,35	69	5,32	100	5,37	131	2,38
9	4,85	39	5,16	70	5,59	101	5,39	132	0,00
10	4,89	40	4,56	71	5,54	102	5,24	133	5,52

Continuación de la tabla XIII.

11	5,16	41	4,68	72	5,22	103	5,51	134	5,76
12	4,96	42	4,55	73	5,82	104	5,40	135	5,14
13	4,32	43	5,17	74	5,78	105	6,03	136	5,90
14	4,52	44	5,21	75	4,97	106	5,22	137	6,01
15	4,75	45	4,45	76	5,74	107	6,48	138	5,07
16	3,04	46	5,24	77	5,63	108	5,50	139	5,71
17	6,47	47	4,98	78	5,39	109	5,48	140	5,62
18	4,22	48	5,27	79	5,39	110	5,75		
19	5,27	49	5,31	80	5,37	111	5,51		
20	3,99	50	5,09	81	5,77	112	5,60		
21	0,01	51	5,29	82	5,38	113	5,33		
22	4,30	52	4,49	83	5,44	114	5,68		
23	4,99	53	4,92	84	5,75	115	5,46		
24	4,32	54	6,03	85	5,50	116	5,39		
25	4,47	55	5,05	86	5,64	117	5,42		
26	4,37	56	5,17	87	5,60	118	5,25		
27	4,51	57	5,72	88	6,14	119	6,25		
28	4,41	58	5,20	89	5,47	120	5,14		
29	4,41	59	5,52	90	5,81	121	5,93		
30	4,40	60	5,17	91	5,43	122	5,59		
31	5,16	61	5,73	92	5,73	123	6,07		

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Una vez ubicadas las eficiencias en gal/hrs. se procedió a encontrar las eficiencias posicionadas fuera del parámetro adecuado de consumo, esto se realizó utilizando el límite superior ubicado en la gráfica de tendencia de consumo de combustible para el motor estacionario 29 074 (figura 16), como se puede observar, el valor de este límite es igual a 4,71 gal/ hrs.

La diferencia entre cada una de las eficiencias con el límite superior nos muestra la posición de ese punto en la gráfica, es decir, si esta diferencia es

mayor a cero nos indica que ese punto de la gráfica se encuentra por encima de lo aceptado, por el contrario, si esta diferencia es menor a cero nos indica que la posición de ese punto se encuentra dentro del rango aceptado. A continuación, se muestra el cálculo para la eficiencia número 1 y 2.

$$E_1 - 4,71 = 4,81 - 4,71 = 0,1 \quad \text{y} \quad E_2 - 4,71 = 4,42 - 4,71 = -0,29$$

Como se puede observar, esta operación nos da un resultado positivo y un negativo, indicándonos que los resultados positivos se encuentran fuera del rango aceptado de consumo, por tanto, se realizó esta operación en las 140 eficiencias dando como resultado un total de 114 puntos fuera del rango aceptado.

Además de indicarnos la posición del punto, esta diferencia nos indica qué tan alejado se encuentra el punto del límite superior, es decir, mientras mayor es el resultado de la diferencia, más alejado se encuentra el punto del límite superior de consumo. A continuación, se muestra el resultado de la diferencia obtenida en los 114 puntos de la tendencia.

Tabla XIV. **Eficiencias ubicadas fuera del rango aceptado del motor estacionario 29074**

No.	E	No.	E	No.	E	No.	E
1	0,10	54	0,34	84	0,79	114	0,75
6	3,71	55	0,46	85	0,93	115	0,68
7	0,05	56	1,01	86	0,89	116	0,71
8	0,14	57	0,49	87	1,43	117	0,54
9	0,18	58	0,81	88	0,76	118	1,54
10	0,45	59	0,46	89	1,10	119	0,43
11	0,25	60	1,02	90	0,72	120	1,22
14	0,04	61	0,11	91	1,02	121	0,88

Continuación de la tabla XIV.

16	1,76	62	0,94	92	0,65	122	1,36
18	0,56	63	0,58	93	0,23	123	0,65
20	0,10	64	0,74	94	0,52	124	0,85
22	0,28	65	1,34	95	1,13	125	0,78
30	0,45	66	0,60	96	0,47	126	0,65
31	0,15	67	0,83	97	0,99	127	1,15
32	1,39	68	0,61	98	0,67	128	1,41
33	0,09	69	0,88	99	0,66	129	1,16
34	0,03	70	0,83	100	0,68	132	0,81
35	0,30	71	0,51	101	0,53	133	1,05
36	0,61	72	1,11	102	0,80	134	0,43
38	0,45	73	1,07	103	0,69	135	1,19
42	0,46	74	0,26	104	1,32	136	1,30
43	0,50	75	1,03	105	0,51	137	0,36
45	0,53	76	0,92	106	1,77	138	1,00
46	0,27	77	0,68	107	0,79	139	0,91
47	0,56	78	0,68	108	0,77		
48	0,60	79	0,66	109	1,04		
49	0,38	80	1,06	110	0,80		
50	0,58	81	0,67	111	0,89		
52	0,21	82	0,73	112	0,62		
53	1,32	83	1,04	113	0,97		

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Seguidamente, se realizó un promedio de estos 114 datos obteniendo un resultado de 0,753227 gal/hrs, lo cual indica que se está gastando un promedio de 0,753227 gal más de lo normal por cada hora laborada con este ME. Actualmente, el ISDSA tiene un convenio con una aseguradora, el cual consiste en comprar el galón de diésel a un precio estándar, no importando si este se da a la baja o al alza. Para el periodo de zafra 18-19 se estipuló un precio de galón de diésel por Q 18,75, dato que será relevante para el cálculo de costos

ahorrados. Hoy en día los ME laboran en promedio 16 horas diarias, teniendo estos datos y realizando una serie de multiplicadores podemos obtener el costo ahorrado por periodo de zafra de esta máquina automotriz. A continuación, se muestra el cálculo de costos ahorrados para el motor estacionario 29 074.

$$0,753227 \frac{gls}{hrs.} * 18,75 \frac{Q}{gls} * 16 \frac{hrs}{dia} * 182 \frac{dia}{zafra} = 41\ 126,19 \frac{Q}{zafra}$$

Este mismo procedimiento fue realizado en cada una de las 9 máquinas automotrices con alto consumo de combustible por desperfectos mecánicos, lo cual, sumándolo arroja un resultado de Q 640 044,43 ahorrados por cada zafra. Cabe mencionar que este se da si y solo si se logra minimizar el consumo de estas máquinas al menos al máximo establecido por el área de control de combustible. A continuación, se muestra el desglose de costos ahorrados por maquinaria automotriz en la tabla XV.

Tabla XV. **Costo ahorrado por maquinaria en un periodo de zafra promedio**

No.	Equipo	CC	Ahorro
1	Motor estacionario	29074	Q 41 126,19
2	Motor estacionario	29080	Q 50 091,67
3	Motor estacionario	29083	Q 61 899,36
4	Motor estacionario	29088	Q 69 367,11
5	Motor estacionario	29336	Q 300 885,09
6	Motor estacionario	77014	Q 4 411,97
7	Motor estacionario	77015	Q 12 804,60
8	Motor estacionario	77016	Q 9 761,16
9	Cabezal	46071	Q 89 697,25
Total			Q 640 044,40

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Actualmente, el ISDSA posee un presupuesto de Q 92 000 000,00 anuales asignados al área de taller, de ser posible minimizar los consumos excesivos de combustible debido a desperfectos mecánicos al máximo estipulado, se estaría ahorrando Q 640 044,40 por periodo de zafra, dato que representa un 0,70 % del presupuesto total.

2.2. Análisis del impacto ambiental generado por un alto consumo de combustible

Para realizar este tipo de análisis es necesario apoyarse en herramientas de análisis, ya sea de aceite o de emisiones diésel. El ISDSA brindó la oportunidad de utilizar un analizador de combustión, emisión y gases, de marca Bacharach y línea Fyrite Insight Plus, el cual fue usado para medir los niveles de partículas por millón (ppm) de monóxido de carbono presentes en las emisiones diésel.

Figura 35. **Analizador Bacharach Fyrite Insight Plus**



Fuente: Bacharach. *Analizador Bacharach Fyrite Insight Plus*.
www.mybacharach.com/product-view/fyrite-insight-plus/?ref=138.

Consulta: 20 de marzo de 2020.

2.2.1. Desarrollo del análisis del impacto ambiental generado por un alto consumo de combustible

Por motivos económicos, fue posible colocar la herramienta Bocharach, únicamente, en una máquina automotriz, razón por la cual se inclinó en elegir el equipo que presenta mayor uso y consumo de combustible. En la figura 16 se observa el comportamiento del motor estacionario 29074, teniendo un total de 140 repostadas y una eficiencia de consumo bastante baja. Por estos motivos fue la máquina elegida para realizar esta evaluación. Cabe resaltar que este motor estacionario es un motor John Deere serie 6068TJ32, el cual entrega una potencia nominal de 133 kW (178HP).

2.2.1.1. Metodología del análisis

Se programó realizar lecturas cada lunes de febrero durante tres semanas, esto debido a que el motor estacionario se encuentra laborando en su estacionamiento de trabajo debido al periodo de zafra, por lo tanto, se tiene una lectura del día lunes 2, 9 y 16 de febrero.

El análisis debe ser realizado con el motor estacionario a ciertas revoluciones por minuto, es decir, se realizó la evaluación con el motor acelerado a 1 600 RPM tratando de mantener estas lo más constante posible para así tener unas lecturas similares. El motivo por el cual se realizó a 1 600 RPM es debido a que son las revoluciones a las cuales estos motores se encuentran laborando en el ISDSA. A continuación, se presentan las imágenes de las lecturas tomadas con la herramienta Bocharach.

Figura 36. **Analizador Bocharach, lectura 1**



Fuente: elaboración propia, área de taller, Ingenio San Diego S.A. ISDSA.

Figura 37. **Analizador Bocharach, lectura 2**



Fuente: elaboración propia, área de taller, Ingenio San Diego S.A. ISDSA.

Figura 38. **Analizador Bocharach, lectura 3**



Fuente: elaboración propia, área de taller, Ingenio San Diego S.A. ISDSA.

En las figuras 27, 28 y 29 se aprecia la interfaz de lectura del analizador Bocharach, de las variables mostradas será de nuestro interés la lectura del monóxido de carbono (CO) emitido, esto debido a que será la variable analizada con respecto a los daños ambientales y al ser humano que esta realiza. A continuación, se presenta la tabla XVI con las lecturas tomadas por el Bocharach de monóxido de carbono presente en las emisiones diésel.

Tabla XVI. **Lecturas de monóxido de carbono presente en las ED**

Lectura	Fecha	Partes por millón (CO)	g/kW h (CO)	g/hp h (CO)
1	02/02/2020	373	2,54	1,87
2	09/02/2020	302	2,09	1,54
3	16/02/2020	342	2,35	1,73
Promedio		339	2,33	1,71

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

2.2.2. Comparación de resultados con normativas EPA y europeas

Como se puede observar en la tabla XVI, se tuvo un promedio de 339 partes por millón de CO, 2.33 gramos de CO por kilowatt-hora y 1,71 gramos de CO por caballo de fuerza-hora. En tanto a las normas EPA (tabla III), el resultado de emisiones de CO es admisible, esto debido a que según esta normativa para este tipo de MCI se permite hasta 3,5 gramos de CO por kilowatt-hora, ya que es un motor de 133 kW y modelo 2003.

En la misma línea de ideas, para las normas europeas (tabla IV) el resultado de emisiones de CO es inadmisibles, debido a que según esta normativa para este tipo de MCI se permite hasta 1,5 gramos de CO por kilowatt-hora. Debido a que actualmente en Guatemala no se tienen estándares específicos para la comparación de resultados, se apejó a las normativas más estrictas, es decir, las normativas europeas para la realización del análisis.

2.2.3. Resultado del análisis del impacto ambiental generado por un alto consumo de combustible

A grandes rasgos, la motobomba 29074 está produciendo un promedio de 2,33 gramos de CO por kilowatt-hora, este dato en comparación con la normativa europea se encuentra 0,83 gramos de CO por kilowatt-hora por encima, es decir, se está produciendo un aproximado de 0,83 gramos de CO de más por cada hora de labor de este equipo, tomando en cuenta que trabaja aproximadamente por 16 horas al día, se tiene un estimado de 13,28 gramos de CO de más por cada día de trabajo, los cuales se están yendo directamente al medio ambiente.

Realizando una serie de multiplicadores se pudo obtener cuanto CO se está produciendo de más por cada periodo de zafra trabajado por este motor estacionario.

$$0,83 \frac{g}{hr} * 16 \frac{hr}{dia} * 182 \frac{dia}{zafra} = 2\ 416,96 \frac{g}{zafra}$$

En conclusión, se tienen 2,42 kg de CO generados de más por cada zafra, es un 55,33 % de CO por arriba de la normativa europea, el cual es dañino para la salud humana como se explicó anteriormente.

3. FASE DE DOCENCIA

Esta fase fue realizada con el objetivo de hacer llegar la importancia de la mejora del alto consumo de combustible, transmitiendo el mensaje por medio de apoyo didáctico, exposiciones y evaluaciones. Este tema abarca al personal desde técnicos mecánicos, hasta gerentes y supervisores, esto debido a que los inconvenientes se dan en la maquinaria automotriz revisada y laborada por técnicos mecánicos y operadores, pero estos se ven reflejados en los costos analizados por áreas de gerencia.

3.1. Desarrollo del plan de capacitación

Para realizar una adecuada capacitación es necesario saber el nivel actual de conocimiento que posee el personal del área de taller, razón por la cual se planeó realizar evaluaciones antes, durante y después de las capacitaciones, con el objetivo de conocer el avance obtenido con las mismas.

3.1.1. Estrategia

Comprendiendo el nivel de conocimiento por parte de los técnicos mecánicos acerca del alto consumo de combustible por desperfectos mecánicos, se pudo realizar una capacitación enfocada en puntos de fortalecimiento, competencias requeridas y conocimientos técnicos que faciliten la mejor comprensión y absorción del tema.

3.1.2. Objetivos

Encontrar técnicos con conocimientos de los principales desperfectos mecánicos que producen alto consumo de combustible, además, de sus posibles soluciones y causas. De esta manera, comprender la razón por la cual es importante realizar de la mejor forma los nuevos procedimientos. Asimismo, tener analistas de tendencias de consumo de combustible con capacidades de identificar y dar seguimiento a casos de alto consumo de combustible por desperfectos mecánicos.

3.1.3. Metas

Se logrará alcanzar:

- Disminución de fallas mecánicas que producen alto consumo de combustible.
- Tener claros los pasos y procedimientos establecidos.
- Técnicos mecánicos capacitados y con conocimiento del tema.
- Hacer llegar el mensaje a jefaturas.
- Conocimientos de los inconvenientes y como afecta al presupuesto del taller.

3.1.4. Matriz de capacitación

Una matriz de capacitación permite realizar un almacenamiento de información para medir cambios en los conocimientos y habilidades adquiridos del personal por medio de las capacitaciones. También es utilizada para medir la eficacia de los programas de capacitación.

Esta matriz va enfocada en fraccionar de manera correcta los conocimientos a transmitir, es decir, asignar la información al grupo de personal indicado, formando una capacitación completa al adjuntar cada parte de la matriz de capacitación.

Tabla XVII. **Matriz de capacitación para el área de taller**

Plaza	Capacitación	Participantes
Técnicos mecánicos	Importancia del sistema de alimentación de combustible y puntos de lista de inspección	25
Digitadores y analistas	Identificación de desperfectos mecánicos por medio de tendencias de combustible.	3
Gerencias y supervisores	Impacto e importancia del control de combustible por desperfectos mecánicos	5

Fuente: elaboración propia, empleando información de ISDSA.

Figura 39. **Presentación de capacitación al Gerente de Taller**



Fuente: elaboración propia, Oficina de Gerencia, Ingenio San Diego S.A. ISDSA.

CONCLUSIONES

1. Con una correcta gestión y control de combustible se logra localizar dentro de una flota, las máquinas automotrices que poseen desperfectos mecánicos productores de alto consumo de combustible por medio de sus tendencias de consumo. Previo a ello, deben estar calculadas de forma apropiada las medias de consumo, además, tener sumo cuidado de cumplir las restricciones establecidas.
2. Al presentarse un alto consumo de combustible en una máquina automotriz conlleva a tener mayor porcentaje de monóxido de carbono en las emisiones de escape y con ello un mayor impacto ambiental.
3. Poseer una matriz de capacitación orientada al desarrollo de conocimientos establecidos para cada puesto de trabajo, ya que tiene un impacto positivo en el control y gestión de combustible. Se contará con personal especializado y capacitado enfocado directamente a sus áreas de trabajo.

RECOMENDACIONES

1. No cambiar condiciones de trabajo, tipo de labor y operario de las máquinas automotrices en la mayor forma posible. Con el objetivo de poseer una tendencia de consumo de combustible estable, así mismo, datos precisos de la misma.
2. Realizar supervisiones de mantenimiento con el fin de observar que se estén cumpliendo los incisos establecidos en la lista de chequeo, de esta forma, saber que se tienen equipos en condiciones óptimas de trabajo.
3. Renovar las máquinas automotrices que mayor consumo presentan o bien, por su antigüedad. Para ello se tendrá equipo con una tendencia de consumo menor, además de poseer equipos con mejor tecnología.
4. Continuar con el reforzamiento de concientización a los técnicos de mantenimiento y personal acerca de la importancia del tema de consumo de combustible.
5. Dar el mayor seguimiento posible por parte del área de control de combustible a las máquinas que presentan alto consumo de combustible actualmente.
6. Implementar un control de emisión de gases de escape, realizando pruebas periódicas de emisiones a los equipos que mayor consumo de combustible presentan.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bacharach, Inc. n.d. *Fyrite® Insight® Plus Hand-Held Combustion Analyzer* | *Bacharach, Inc.* [en línea]. <<https://www.mybacharach.com/product-view/fyrite-insight-plus/?ref=138>>. [Consulta: 7 abril 2020].
2. CASTILLEJO, Alejandro. *Sistemas de Inyección en Motores Diésel*. Licenciatura. Universidad de Sevilla, Dep. de Ingeniería Energética, Grupo de Máquinas y Motores Térmicos. 2014. 117 p.
3. Eur-lex.europa.eu. *REGLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO*. [en línea]. <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0683:FIN:ES:PDF>>. [Consulta: 7 abril 2020].
4. FERRÍS, Josep. *Autobuses escolares y motores diésel: contaminación atmosférica, exposición pediátrica y efectos adversos en la salud humana*. Revista Española de Pediatría. [en línea]. <http://pehsu.org/az/pdf/bus_diesel.pdf>. [Consulta: 7 abril 2020].
5. FLORES Oscar; FABELA Manuel; BLAKE Carlos; VÁZQUEZ David; HERNÁNDEZ Ricardo. *Regulación De Emisiones Contaminantes De Los Motores De Combustión Interna*. [en línea]. <<https://imt.mx/resumenboletines.html?IdArticulo=396&IdBoletin=149#:~:text=Estos%20motores%20de%20combustión%20interna,d el%20aire%20en%20el%20ambiente.>> [Consulta: 7 abril 2020].

6. IDAE. *Guía Para La Gestión Del Combustible En Las Flotas De Transporte Por Carretera*. Madrid: Centro de Publicaciones, Ministerio de Fomento. 2006. 75 p.
7. LUBRIZOL. *Estándares De Emisión De La Unión Europea - Lubrizol*. [en línea]. <<https://espanol.lubrizol.com/Lubricant-and-Fuel-Additives/Engine-Oil-Additives/ACEA/Reference-Material/Emissions-Standards>>. [Consulta: 7 abril 2020].
8. Nepis.epa.gov. *Nonroad Compression-Ignition Engines: Exhaust Emission Standards*. [en línea]. <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P100OA05.pdf>>. [Consulta: 7 abril 2020].
9. NOVELLI. *Introducción a la Química Ambiental/ Introduction To Environmental Chemistry*. 1a ed. México, D.F.: Reverte Editorial Sa. 2003. 309 p.
10. ROVIRA, DOMÍNGUEZ, Marta. *Motores De Combustión Interna*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid: 2015. 409 p.