



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE INGENIERIAS APLICADAS Y
DESARROLLO INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Determinar el Factor de Emisión de CO₂ del Motor Diésel
Cummins 6BT 5.9 L en base al Consumo de Combustible**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autor: Córdova Rodríguez, Jostin Manuel

Tutor: Gómez Berrezueta, Manuel Fernando

GUAYAQUIL
2026

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo Manuel Fernando Gómez Berrezueta, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Determinar el Factor de Emisión de CO₂ del Motor Diésel Cummins 6BT 5.9 L en base al Consumo de Combustible realizado por Jostin Manuel Córdova Rodríguez ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Manuel Fernando Gómez Berrezueta

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Jostin Manuel Córdova Rodríguez declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.

Autor: Jostin Manuel Córdova Rodríguez

C.I.: 0931677397

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, quienes han sido un pilar fundamental de apoyo en mi vida, por los valores que me inculcaron y por cada esfuerzo realizado para alcanzar mis metas. Este logro es de ustedes.

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a mis padres por el apoyo incondicional, por cada mensaje de motivación y por cada uno de los consejos compartidos.

Un especial agradecimiento a mi familia por compartir sus experiencias, consejos y enseñanzas.

Índice de contenido

Carátula	I
Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de autoría y cesión de derechos.....	III
Dedicatoria	IV
Agradecimiento.....	V
Índice de contenido	VI
Índice de figuras	X
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo I	5
Antecedentes	5
1.1 Tema	5
1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema	5
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i>	5
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	6
1.2.3 <i>Sistematización del problema</i>	6
1.3 Objetivos de la investigación	6
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	6
1.4 Justificación y delimitación de la investigación	7
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	7
1.4.2 <i>Justificación metodológica</i>	8
1.4.3 <i>Justificación práctica</i>	8
1.4.4 <i>Delimitación temporal</i>	8
1.4.5 <i>Delimitación geográfica</i>	8
1.4.6 <i>Delimitación del contenido</i>	8

Capítulo II	10
Marco referencial	10
2.1 Marco teórico.....	10
2.2 Conceptos preliminares	10
2.2.1 Factores de emisión en combustión estacionaria.....	11
2.2.2 Factores metodología Bottom-Up en motores estacionarios.....	11
2.2.3 Variabilidad de factores de emisión en motores Diésel industriales	12
2.3 Marco teórico.....	12
2.3.1 Combustión en motores Diésel	12
2.3.2 Densidad del combustible Diésel	13
2.3.3 Fracción másica de carbono del combustible.....	14
2.3.4 Combustión completa e incompleta.....	14
2.3.5 Consumo de combustible en motor Cummins 6BT	14
2.3.6 Condiciones operativas reales en camaroneras	15
2.3.7 Tipos de contaminantes emitidos	15
2.3.8 Factor de emisión	16
2.3.9 Medición de combustible por diferencia de volúmenes	17
2.3.10 Inventario de emisiones tipo Bottom-Up	17
2.3.11 Factor de emisión basada en el contenido de carbono en el combustible	18
2.3.12 Ventajas de inventario de emisiones tipo Bottom-Up.....	18
2.3.13 Motor Cummins 6BT.....	19
2.3.14 Características funcionales del motor Cummins 6BT 5.9 l.....	19
2.3.15 Emisiones de CO₂.....	20
Capítulo III	21
Metodología.....	21
3.1 Enfoque metodológico	21
3.2 Diseño de investigación	21
3.3 Variables de estudio	22

3.4	Equipos y materiales	23
3.5	Procedimiento experimental	23
3.5.1	<i>Etapas 1: registro de condiciones del Cummins 6BT</i>	23
3.5.2	<i>Etapas 2: medición del consumo de combustible</i>	23
3.5.3	<i>Etapas 3: determinación de factor de emisión de CO₂</i>	25
3.5.4	<i>Etapas 4: cálculo de emisiones de dióxido de carbono</i>	26
3.5.5	<i>Etapas 5: estimaciones anuales de dióxido de carbono</i>	26
3.5.6	<i>Etapas 6: tratamiento y análisis de datos</i>	27
3.5.7	<i>Etapas 7: consideraciones de seguridad.....</i>	27
	Capítulo IV	28
	Determinación análisis de factor de emisión de dióxido de carbono en motor	
	Cummins 6BT bajo condiciones reales de operación.....	28
4.1	Características funcionales del motor Cummins 6BT relacionadas al consumo de combustible.....	28
4.2	Análisis del consumo de combustible.....	29
4.3	Análisis de las emisiones de CO₂	30
4.4	Influencia de las RPM sobre el consumo de combustible	31
4.5	Influencia de las horas de operación.....	32
4.6	Análisis del cambio de densidad del combustible	33
4.7	Análisis de las emisiones anuales de CO₂	33
4.8	Comparación de resultados obtenidos con valores de referencia de IPCC	33
4.9	Discusión de resultados	34
	Conclusiones	35
	Recomendaciones	36
	Referencias	37

Índice de tablas

Tabla 1 Variables de estudio	22
Tabla 2 Registro de datos de consumo de combustible	25

Índice de figuras

Figura 1 Combustión Diésel	10
Figura 2 Motor Cummins 6BT	19
Figura 3 Tanque de combustible.....	24
Figura 4 Consumo diario de combustible.....	29
Figura 5 Emisiones de CO ₂	30
Figura 6 RPM vs consumo de combustible.....	31
Figura 7 Horas de operación vs consumo de combustible	32

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Creación de dióxido de carbono.....	13
Ecuación 2: Factor de emisión.....	17
Ecuación 3: Diferencia de volúmenes.....	17
Ecuación 4: Emisiones de dióxido de carbono.....	18
Ecuación 5: Componentes de factor de emisión.....	18
Ecuación 6: Combustible consumido por el motor.....	25
Ecuación 7: Reemplazo de datos en factor de emisión.....	26
Ecuación 8: Cálculo de emisiones de dióxido de carbono.....	27
Ecuación 9: Emisiones promedio.....	27
Ecuación 10: Emisiones promedio por día.....	28
Ecuación 11: Emisiones estimadas por año.....	28
Ecuación 12: Consumo total de combustible.....	30
Ecuación 13: Consumo de combustible promedio.....	30

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo determinar el factor de emisión del dióxido de carbono proveniente del motor Cummins 6BT que se encuentra operando dentro de la camaronera CALIPSO SA. La metodología empleada fue el de determinar el factor de emisión a partir de la densidad del combustible, el contenido másico de carbono y la relación estequiométrica de entre el carbono y dióxido de carbono, así mismo se lo realizó mediante las directrices de la IPCC. Posteriormente se registraron los datos durante siete días de operación normal frente a los diferentes requerimientos de agua en la camaronera. En base a la recolección de estos datos se calcularon las emisiones de CO₂. Los resultados permitieron obtener un factor de emisión de 2.68 kg CO₂/l donde también se pudo evidenciar que el consumo de combustible y las emisiones se encuentran directamente relacionadas. Se concluye que el consumo de combustible es la variable que tiene mayor incidencia en las emisiones de CO₂ por lo que la optimización de las condiciones de operación puede contribuir en la disminución de gases.

Palabras clave: consumo de combustible, emisiones.

Abstract

The present investigation aimed to determine the emission factor of carbon dioxide from the Cummins 6BT engine operating within the shrimp factory CALIPSO SA. The methodology used was to determine the emission factor from the fuel density, the mass content of carbon and the stoichiometric ratio between carbon and carbon dioxide, also done using IPCC guidelines. Subsequently, the data were recorded during seven days of normal operation against the different water requirements in the shrimp plant. Based on the collection of these data, CO emissions were calculated. The results yielded an emission factor of 2.68 kg CO /l where it was also possible to show that fuel consumption and emissions are directly related. It is concluded that fuel consumption is the variable that has the greatest impact on CO emissions, so the optimization of operating conditions can contribute to the reduction of gases.

Keywords: fuel consumption, emissions.

Introducción

El incremento de los diferentes gases de escape provenientes de los diversos generadores, motores de combustión interna representa una de las problemáticas actuales ya que tiene una amplia relación con los cambios climáticos que se dan en todos los países y como el aire presente en la atmosfera se va deteriorando.

Donde dentro de las emisiones el CO_2 es el principal gas generado por los motores de combustión interna. En el sector industrial y acuícola se usan los motores de combustión interna para bombear agua, es decir, mover agua de un lugar a otro, dentro de las camaroneras para oxigenar el agua para criaderos de camarones o para generación de energía todo esto debido a su versatilidad y confiabilidad.

Pero en muchas ocasiones no se dispone de información técnica específica sobre los gases contaminantes que emite el motor.

La presente investigación surge para dar respuesta a la necesidad de determinar el factor de emisión de CO_2 para el motor Cummins, el problema se centra debido a que no existe una información técnica específica que permita relacionar el consumo de combustible bajo las condiciones de trabajo a lo largo del día en la camaronera CALIPSO en referencia con las emisiones de reales de dióxido de carbono.

Debido a la limitante es que no se puede tener un inventario de gases y por ende un plan de acción para regularizar y bajar las emisiones de gases.

Es por ello por lo que para dar respuesta a la problemática se va a analizar el comportamiento operativo del motor Cummins 6BT, identificar las variables conforme al consumo de combustible y calcular las emisiones de dióxido de carbono.

De esta manera la investigación permite reducir la incertidumbre asociado al uso de factores de emisiones genéricos o estandarizados que no tienen en consideración las condiciones de operación del motor, el estado de este o inclusive la calidad del combustible fósil.

Los resultados obtenidos permiten cumplir con los objetivos planteados para la investigación, ya que se logró determinar el factor de emisión de CO_2 . Así mismo se identificó

los factores que influyen directamente en el consumo de combustible y por ende en las emisiones, dentro de estos factores se tienen las RPM del motor y las horas de trabajo del motor.

Durante el desarrollo de la investigación se cuenta con facilidades como toma de datos operativos del motor y los registros de consumo de combustible utilizados en la camaronera. Estas condiciones permitieron el análisis de las variables estudiadas, sin embargo, en el registro de datos se registraron algunas limitantes como la ausencia de datos históricos detallados y la imposibilidad de contar con un equipo de medición de combustible directa, por lo que fue necesario emplear metodologías de estimación basadas en factores de emisión reconocidas.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema

Determinar el factor de emisión de CO₂ del motor diésel Cummins 6BT 5.9 L en base al consumo de combustible.

1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema

Los motores diésel estacionarios usados en actividades productivas, como los sistemas de bombeo y aireación en camaroneras, consumen cantidades significativas de combustible fósil, generando emisiones directas de dióxido de carbono (CO₂), principal gas de efecto invernadero asociado al cambio climático.

Sin embargo, en la camaronera CALIPSO S.A. no se dispone de un factor de emisión específico que relacione el consumo real de diésel del motor Cummins 6BT 5.9 L con la cantidad de CO₂ emitido bajo sus condiciones operativas reales, lo que limita la precisión de cualquier inventario de emisiones y dificulta la gestión ambiental basada en datos técnicos propios.

1.2.1 Planteamiento del problema

La combustión de combustible diésel en motores de encendido por compresión genera dióxido de carbono (CO₂), el principal gas de efecto invernadero asociado al cambio climático antropogénico. En aplicaciones estacionarias e industriales, como los motores de bombeo y generación eléctrica, la cuantificación precisa de estas emisiones es crítica para la gestión ambiental y el desarrollo sostenible. Sin embargo, en el sector productivo acuícola, como en la camaronera CALIPSO S.A., existe un vacío de conocimiento técnico sobre los factores de emisión reales de CO₂ asociados a motores diésel específicos, lo que limita la evaluación de su impacto ambiental y la posibilidad de implementar medidas de mitigación efectivas.

Estudios previos han demostrado que las emisiones de CO₂ dependen de factores como la composición del combustible y la carga del motor, lo cual puede variar entre

condiciones de operación reales y datos genéricos predeterminados en inventarios de emisiones (Velasco et al., 2021).

A nivel internacional, la literatura científica señala que la combustión de diésel es responsable de emisiones significativas de gases contaminantes y GEI en aplicaciones estacionarias y móviles, reforzando la necesidad de cuantificar y validar factores de emisión específicos para cada motor y condición operativa (Babamohammadi et al., 2025).

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo determinar con precisión el factor de emisión de CO₂ del motor diésel Cummins 6BT 5.9 L utilizado en la camaronera CALIPSO S.A., a partir del consumo real de combustible bajo sus condiciones operativas, para mejorar la exactitud del inventario de emisiones de la empresa?

1.2.3 Sistematización del problema

- ¿Cuál es el consumo real de diésel del motor Cummins 6BT 5.9 L en condiciones normales de operación?
- ¿Qué factor de emisión de CO₂ se obtiene a partir de ese consumo real?
- ¿Cómo se compara este factor con los valores genéricos establecidos por el IPCC para combustión diésel?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Determinar el factor de emisión de CO₂ del motor diésel Cummins 6BT 5.9 L mediante el consumo real de combustible.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las características funcionales del motor Cummins que influyen en el consumo de combustible.
- Medir el consumo de combustible diésel del motor Cummins 6BT 5.9 L bajo condiciones operativas reales.

- Estimar las emisiones de CO₂ con los datos basados en el consumo real de combustible del motor.

1.4 Justificación y delimitación de la investigación

La emisión de CO₂ en motores diésel es una función directa del consumo de combustible y de la eficiencia de combustión. La caracterización cuantitativa mediante un factor de emisión específico permite:

- Evaluar con precisión el impacto ambiental de operaciones productivas, superando el uso de factores genéricos que no consideran características del motor ni condiciones de operación reales.
- Apoyar sistemas de gestión ambiental e inventarios de emisiones corporativas, facilitando estrategias de reducción y cumplimiento de normativas ambientales.
- Orientar decisiones técnico-mecánicas sobre el mantenimiento preventivo y optimización de motores diésel, conectando el rendimiento automotriz con los impactos ambientales operacionales.

Además, estudios comparativos de emisiones han demostrado que incluso dentro de motores de combustión interna existe variación significativa en las emisiones de CO₂ según el tipo de combustible y régimen de operación, lo que refuerza la necesidad de un enfoque específico para cada caso de estudio.

1.4.1 Justificación teórica

La teoría de inventarios de emisiones establece que las emisiones de CO₂ pueden estimarse mediante la relación entre datos de actividad y factores de emisión (IPCC, 2006). Sin embargo, estos factores suelen ser genéricos y no consideran variaciones propias del diseño, estado mecánico y régimen de operación de motores específicos, por lo que determinar un factor ajustado a un motor real aporta conocimiento aplicado al campo de la ingeniería automotriz y ambiental.

1.4.2 Justificación metodológica

El estudio aplica el enfoque micro recomendado para fuentes fijas de combustión, utilizando datos reales de consumo de combustible para calcular un factor de emisión propio, metodología validada en inventarios de emisiones industriales y reportada en literatura científica indexada.

1.4.3 Justificación práctica

Permite evaluar el motor desde el punto de vista de:

- Consumo
- Emisión
- Eficiencia mecánica.

El resultado permite a la camaronera contar con un valor técnico propio para estimar sus emisiones de CO₂, facilitando la gestión ambiental, el control del consumo de combustible y la toma de decisiones orientadas a la eficiencia energética y mitigación de impactos.

1.4.4 Delimitación temporal

El proyecto se efectúa desde mayo de 2026 a agosto de 2026.

1.4.5 Delimitación geográfica

El proyecto se desarrolla en la provincia del Guayas, en la camaronera CALIPSO S.A.

1.4.6 Delimitación del contenido

La presente investigación se delimita al análisis técnico del factor de emisión de dióxido de carbono generado exclusivamente por el motor diésel Cummins 6BT 5.9 L utilizado en la camaronera de la provincia del Guayas, considerando únicamente las emisiones directas derivadas de la combustión del diésel.

El estudio se enfoca al cálculo del factor de emisión a partir del consumo real de combustible registrado en un periodo operativo determinado, bajo condiciones normales de funcionamiento del motor. No se incluyen en el análisis otros gases contaminantes como NO_x, CO o material particulado, ni otras fuentes emisoras presentes en la camaronera, tampoco se contemplan mediciones experimentales en chimenea o modelaciones atmosféricas.

Metodológicamente, el alcance se limita a la aplicación de un enfoque de inventario tipo bottom-up basado en datos de actividad y factores de emisión, con el propósito de obtener un valor específico y aplicable al contexto operativo evaluado.

Capítulo II

Marco referencial

2.1 Marco teórico

En el marco teórico del proyecto para el determinar el factor de emisión de CO_2 del motor Diésel Cummins 6BT 5.9 L y se fundamenta en los principios de la combustión en motores diésel, la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero y la aplicación de factores de emisión en inventarios ambientales.

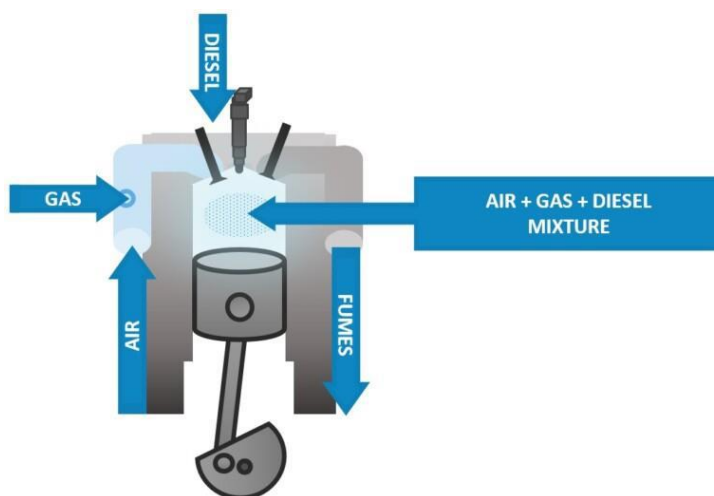
Los motores de encendido por compresión transforman la energía química del combustible en energía mecánica mediante procesos de combustión que liberan dióxido de carbono (CO_2) como principal producto gaseoso derivado de la oxidación del carbono presente en el diésel.

2.2 Conceptos preliminares

Para el desarrollo del estudio es necesario comprender ciertos conceptos básicos que sustentan el análisis. La combustión diésel es un proceso de oxidación del combustible en un motor de encendido por compresión, donde el carbono contenido en el diésel reacciona con el oxígeno produciendo principalmente dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua y energía térmica como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Combustión Diésel



Fuente: (Ławrynkowicz, 2023)

El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero generado por la combustión de combustibles fósiles y su cuantificación es fundamental en estudios de impacto ambiental. Asimismo, el consumo de combustible constituye el dato de actividad clave para estimar emisiones cuando no se dispone de mediciones directas, mientras que el factor de emisión es el coeficiente que permite convertir ese consumo en una cantidad estimada de contaminante emitido.

Finalmente, un inventario de emisiones es la herramienta metodológica que organiza y cuantifica dichas emisiones dentro de un periodo y fuente definidos (IPCC, 2006).

2.2.1 Factores de emisión en combustión estacionaria

Los factores de emisión constituyen herramientas fundamentales para la cuantificación indirecta de emisiones de gases de efecto invernadero en fuentes de combustión estacionaria.

En motores diésel utilizados para generación eléctrica, bombeo o procesos industriales, la estimación de emisiones de CO₂ se realiza comúnmente mediante la multiplicación del consumo de combustible por un factor de emisión estandarizado, el cual depende del contenido de carbono del combustible y de su poder calorífico inferior.

De acuerdo con las directrices del IPCC (IPCC, 2006), los factores de emisión para combustibles fósiles pueden expresarse en kg CO₂/TJ o kg CO₂/L y representan valores promedio derivados de estudios experimentales internacionales. Sin embargo, investigaciones publicadas en Atmospheric Environment y Journal of Cleaner Production indican que la variabilidad tecnológica, la eficiencia de combustión y las condiciones operativas específicas pueden generar desviaciones respecto a los factores genéricos, lo que resalta la importancia de determinar factores ajustados a motores específicos (Haque et al., 2019).

2.2.2 Factores metodología Bottom-Up en motores estacionarios

El enfoque metodológico bottom-up es ampliamente utilizado en la elaboración de inventarios de emisiones en fuentes fijas industriales, especialmente cuando no se dispone de sistemas de monitoreo continuo.

Este método parte de datos reales de actividad (consumo de combustible, horas de operación, potencia) y aplica factores de emisión para estimar las emisiones totales. Estudios comparativos en motores estacionarios diésel han demostrado que el uso de datos específicos de consumo reduce la incertidumbre en comparación con metodologías top-down, que emplean datos agregados sectoriales (Zhang, 2007).

La literatura científica indexada en Elsevier destaca que, para motores industriales, el cálculo basado en consumo energético permite obtener resultados técnicamente confiables y reproducibles en contextos productivos (European Environment Agency EEA, 2023).

2.2.3 Variabilidad de factores de emisión en motores Diésel industriales

Diversos estudios experimentales han evidenciado que los factores de emisión de CO₂ en motores diésel estacionarios pueden variar según parámetros como carga del motor, eficiencia volumétrica, estado de mantenimiento y calidad del combustible.

Investigaciones publicadas en Fuel y Energy Conversion and Management (Saghafifar et al., 2019) reportan que, aunque el CO₂ depende principalmente del contenido de carbono del combustible, la eficiencia de combustión y el rendimiento térmico influyen en la relación entre energía útil generada y combustible consumido, afectando indirectamente la intensidad de emisiones por unidad de trabajo producido (Sahinoglu & Uslu, 2013).

Por esta razón, la determinación de un factor de emisión específico para motores estacionarios en aplicaciones industriales permite mejorar la precisión del inventario y fortalecer la gestión ambiental corporativa.

2.3 Marco teórico

2.3.1 Combustión en motores Diésel

La combustión en motores diésel se basa en el principio de encendido por compresión, donde el aire es comprimido a alta presión y temperatura antes de la inyección del combustible.

El uso de los motores Diésel son ampliamente utilizados dentro de algunas industrias como transporte, agricultura, acuicultura debido a que tienen una mayor confiabilidad frente a motores eléctricos, ya sea por soportar condiciones adversas o por superar largas jornadas

de trabajo. Sin embargo, el uso de estos motores implica la creación de gases contaminantes es por ello por lo que se trabaja en la mejora de la eficiencia de mencionados motores, así mismo se estudia el impacto de los motores a combustión (Méndez et al., 2020).

Dentro de los trabajos para mejorar la eficiencia de estos motores se puede encontrar una mejora en el sistema de admisión con turbos de geometría variable, sistemas de distribución avanzados y métodos de recuperación del calor residual, todo ello con el objetivo de reducir el consumo de combustible y por ende la reducción de las emisiones de gases contaminantes (Allmägi, 2024).

Adicional en el análisis de los gases de escape influye directamente la calidad del combustible utilizado, es decir, si existe un combustible con bastante contenido de azufre o su índice de cetano es bajo provoca una combustión incompleta y por ende una mayor emisión de gases de efecto invernadero (Cedeño, 2025).

Este proceso genera una combustión más eficiente en comparación con motores de encendido por chispa, pero igualmente produce emisiones de CO₂ proporcionales al contenido de carbono del combustible. En términos químicos, la oxidación del carbono puede representarse como se muestra en la ecuación 1:



Por tanto, la cantidad de CO₂ emitida depende directamente de la cantidad de diésel consumido y de su composición química. Este principio es la base para la estimación indirecta de emisiones mediante factores de emisión.

2.3.2 Densidad del combustible Diésel

Para el estudio de este proyecto es necesario conocer algunas propiedades del combustible Diésel y sobre todo conocer la densidad del combustible en Ecuador. Los valores de la densidad se encuentran entre 0.82 y 0.85 kg/l. Y bien una mayor densidad puede llevar a una mayor viscosidad por lo que puede llevar a un tipo de combustión deficiente afectando el rendimiento del motor así como sus emisiones (Trujillo, 2019).

2.3.3 Fracción másica de carbono del combustible

De la misma manera para calcular el factor de emisión es importante saber la fracción másica de carbono del Diésel, que según (IPCC, 2006) es de 74 100 kg CO₂/TJ que realizando la conversión se puede entender como 0.869 kg C/kg combustible, es decir, que por cada kilogramo de Diésel contiene un aproximado de 0.869 kilogramos de carbono.

2.3.4 Combustión completa e incompleta

Como se menciona anteriormente para que exista la combustión hay una relación entre el combustible y el oxígeno, dependiendo si se llega a una mezcla estequiométrica se pueden obtener una combustión completa o incompleta.

La combustión completa se entiende como la cantidad necesario de oxígeno para que el combustible diésel se oxide totalmente, de esta combustión se obtiene dióxido de carbono, vapor de agua y energía térmica. Adicional en este tipo de combustión se aprovecha mejor la energía teniendo una mayor eficiencia térmica y generando menos residuos contaminantes (Lafayette, 2026).

Por otro lado la combustión incompleta se presenta cuando la cantidad de oxígeno es insuficiente para oxidar el combustible dentro de la cámara de combustión, este problema sucede cuando se inyecta demasiado combustible o por fallas en el sistemas de inyección. Producto de este proceso se generan gases como monóxido de carbono, hollín e hidrocarburos no combustionado.

2.3.5 Consumo de combustible en motor Cummins 6BT

El consumo de combustible está relacionado con la carga a la que está sometido el motor, es decir, cuando se requiere o se necesita una mayor demanda de energía se necesita una mayor inyección de combustible.

La cantidad de combustible consumida depende del régimen de revolución, el estado mecánico de los componentes y de la calidad del combustible (Heywood, 2018).

El consumo de combustible suele expresarse en (L/h), que relaciona la masa de combustible sobre el tiempo de operación del motor. La metodología Bottom-Up recomienda

utilizar datos reales de actividad con el objetivo de reducir la incertidumbre del cálculo del factor de emisión.

2.3.6 Condiciones operativas reales en camaroneras

En las condiciones operativas se refiere a las circunstancias bajo el cual trabaja el equipo. A diferencia de un motor en banco de pruebas o dinamómetro que las variables son controladas y estandarizada. La presente investigación trata de obtener datos reales de consumo y por ende se tiene presente las condiciones operativas del equipo.

Dentro de los factores que afectan el consumo de combustible es la carga del motor, ya que la inyección de combustible está directamente relacionada con el trabajo necesario o potencia requerida en el momento.

Cuando en el sistema de bombeo demanda movilizar grandes cantidades de volúmenes de agua, el motor incrementa el suministro de combustible para ganar mayor potencia, siendo este uno de los parámetros importantes para el factor de emisión .

Otro factor importante y obtiene gran importancia en el análisis de los gases del motor Cummins, son las condiciones ambientales debido a que trabaja en una camaronera donde la temperatura ambiente, humedad relativa y presión atmosférica influyen en el llenado de aire en la cámara de combustión, donde se puede presentar una combustión incompleta y no ser aprovechada todo el combustible inyectado.

Aunque el motor Cummins cuenta con un sistema de admisión y posee un turbocargador que llena de mejor manera de aire la cámara, las condiciones ambientales pueden afectar levemente el rendimiento y por ende el consumo de combustible (Reif, 2014).

2.3.7 Tipos de contaminantes emitidos

Los motores de combustión diésel generan gases contaminantes dependiendo de factores como: la relación estequiométrica, la temperatura a la que se combustiona, la eficiencia del motor y de la calidad del combustible (European Environment Agency EEA, 2023). Entre los principales contaminantes se encuentran el dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos no quemados y el material particulado.

- **Dióxido de carbono:** Es principal gas contaminante que se genera después de la combustión cuando el carbono presente en el combustible reacciona con el oxígeno presente en el aire en la cama de combustión. La cantidad de este gas está directamente relacionado con el consumo de combustible.
- **Monóxido de carbono:** Este se produce producto de la combustión incompleta antes mencionada, este gas es letal para el humano porque bloquea el oxígeno en la sangre, además con la presencia elevada de este gas indica mala eficiencia del motor.
- **Óxido de nitrógeno:** Se conforma principalmente de óxido nítrico y dióxido de nitrógeno. Estos gases se producen cuando durante la combustión se alcanzan temperaturas elevadas. Siento este gas el más regulado porque provoca lluvia ácida, problemas respiratorios y smog.
- **Hidrocarburos no quemados:** Se trata de pequeñas cantidades de combustibles que no logran quemarse y esto se debe por trabajar a bajas temperaturas, o falla de inyectores al tener una mala atomización del combustible. Este gas contribuye en la creación del ozono troposférico y smog.
- **Material particulado:** Se encuentra formado por pequeñas partículas sólidas y residuos de hollín que se generan cuando existe una combustión incompleta. Este material particulado es uno de los contaminantes más característicos de los motores diésel siendo visible como un humo negro.

2.3.8 Factor de emisión

El factor de emisión es una constante que relaciona una actividad generadora (por ejemplo, litros de diésel consumidos) con la cantidad de contaminante emitido (kg de CO₂). Matemáticamente se expresa como se muestra en la ecuación 2:

$$FE = \frac{Emisiones}{Actividad} \quad (2)$$

En motores diésel, el factor de emisión puede expresarse en kg CO₂/L de combustible o kg CO₂/TJ de energía. Los valores de referencia internacionales permiten estimaciones

generales; sin embargo, la determinación de un factor específico para un motor en condiciones reales mejora la precisión del inventario.

2.3.9 Medición de combustible por diferencia de volúmenes

Este método es ampliamente utilizado para determinar consumos de combustible en motores estacionarios o también conocido como balance de inventario, se caracteriza por no usar equipos de medición como caudalímetro o algún sistema electrónico que pueden encarecer el desarrollo de la investigación.

Este dato es sumamente importante para el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono debido a que el consumo de combustible debe ser directo para cumplir con las directrices del IPCC (Nunige, 2018).

Y se puede calcular de la siguiente manera como se muestra en la ecuación 3:

$$VC = V_i - V_f \quad (3)$$

Donde:

- VC : Es el valor consumido de combustible por el motor
- V_i : Es el volumen inicial de combustible
- V_f : Es el volumen final de combustible

2.3.10 Inventario de emisiones tipo Bottom-Up

El enfoque bottom-up consiste en estimar emisiones a partir de datos específicos de consumo en cada fuente individual. Este método es recomendado para fuentes fijas industriales cuando no se dispone de monitoreo continuo. Se basa en la ecuación 4:

$$E_{CO_2} = DA \times FE \quad (4)$$

Donde:

- E_{CO_2} = Emisiones de CO_2
- DA = Dato de actividad (litros consumidos)
- FE = Factor de emisión

2.3.11 Factor de emisión basada en el contenido de carbono en el combustible

Para el cálculo del factor de emisión basando en el contenido de carbono en el Diésel se puede estimar con ayuda de la relación estequiométrica entre el carbono y el dióxido de carbono. La relación se puede entender como 44/12 que corresponde a la razón del peso molecular del CO₂ y el peso atómico del carbono (IPCC, 2006). A ellos se le añade la densidad del combustible y su factor másico de carbono.

Con los datos antes mencionados es que se puede estimar el factor de emisión como se muestra en la ecuación 5:

$$FE_{CO_2} = \rho * fc * \frac{44}{12} \quad (5)$$

Donde:

ρ : Es la densidad del combustible Diésel (kg CO₂ / l)

fc : Es la fracción másica de carbono en el combustible (kg/l)

$\frac{44}{12}$: Es la relación molecular de convertir C a CO₂ (kg CO₂/kg C)

2.3.12 Ventajas de inventario de emisiones tipo Bottom-Up

Una de las grandes ventajas del método Bottom-Up es el hecho de que usa datos específicos, es decir, extrae los datos directamente motor emisor por lo que se puede traducir que el cálculo de emisiones se desarrolla con datos exactos y no datos estandarizados (IPCC, 2006).

Además, la importancia de desarrollar factores de emisión por cada tecnología o motor, ya que los datos genéricos pueden no representar las condiciones reales de operación, debido a que los motores en la actividad agrícola se pueden usar para diferentes actividades, ciclos de trabajo, etc.

Por lo que mientras más detalladas o se usen los datos reales del motor, menor será la incertidumbre y por ende mejor precisión de los gases contaminantes se va a obtener (IPCC, 2006).

2.3.13 Motor Cummins 6BT

Desde su debut en 1984, el Cummins 6BT de 5.9L se ha ganado una reputación legendaria por su confiabilidad y versatilidad. Este motor diésel de seis cilindros en línea de 5.9 litros, que genera entre 160 y 215 caballos de fuerza y hasta 440 lb-pie de torque como se observa en la figura 2.

Figura 2

Motor Cummins 6BT



2.3.14 Características funcionales del motor Cummins 6BT 5.9 l

Este motor presenta diversas características funcionales que pueden influir en el consumo de combustible y por ende en las emisiones de gases. Dentro de las características se puede encontrar el sistema de combustión, la cilindrada, el régimen de operación del motor y sistema de inyección.

Dentro del sistema de inyección se encuentra una bomba de inyección mecánica P7100, que cumple la función de suministrar y atomizar el diésel dentro de la cámara de combustión. Este componente es de vital importancia porque a mejor atomización permite una mezcla homogénea dentro de la cámara y un mejor aprovechamiento energético, es decir, se obtiene una combustión completa (Teal, 2025).

Otra característica funcional es la relación de compresión que en este motor es de 17.5:1, lo cual ayuda al combustible a la autoignición sin necesidad de una bujía o chispa como en los motores a gasolina, aunque este método aumenta la eficiencia térmica y el

aprovechamiento de la energía química que se encuentra en el combustible, la generación de los gases de emisión sigue presente y tiene relación con la carga operativa (Engine Specs, 2026).

El sistema de sobrealimentación es un punto importante para la presente investigación, ya que el turbocompresor aprovecha los gases de escape a través de una turbina que mediante un eje hace girar la rueda compresora que se encarga de incrementar la masa de aire dentro de la cámara de combustión y de esta manera permite una combustión más eficiente.

Generalmente este sistema de bombeo emplea bombas centrífugas con ayuda de un motor diésel, las cuales trabajan con grandes caudales y una altura dinámica baja ya que su objetivo principal es de desplazar volúmenes de agua. Estos motores tienen la capacidad de operar con caudales entre 500 – 1000 l/s y una altura dinámica entre dos y siete metros. Y estos datos se los puede alcanzar dependiendo a las RPM que está trabajando el motor siendo el mínimo de RPM entre 1600 hasta 2100 RPM.

La variable más relevante es el régimen de operación, el motor Cummins está diseñado para un uso prolongado. Los factores como carga, velocidad de rotación y demanda influyen directamente en el consumo de combustible y afectan a la eficiencia de combustible. Es por ello por lo que la metodología a usar en la presente investigación es Bottom-Up, que permite el cálculo del factor de emisión basado en las condiciones de trabajo del motor.

2.3.15 Emisiones de CO₂

Las emisiones de dióxido de carbono o CO₂ son emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles y la fabricación de cemento; incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, así como la quema de gas.

Las emisiones se refieren a la liberación de gases de efecto invernadero y/o sus precursores a la atmósfera en un área y período de tiempo específicos.

Las emisiones de CO₂ son directamente proporcional al consumo de combustible es por ello por lo que en la búsqueda de eficiencia energética se desarrollan tecnologías como

HHO, los cuales reportan una reducción en el consumo de combustible y por ende en las emisiones (Estrella et al., 2025).

Capítulo III

Metodología

La investigación se desarrolla con el objetivo de determinar el factor de emisión de CO₂ del motor Cummins 6BT que se encuentra en la camaronera CALIPSO SA, se realiza este cálculo mediante el registro del consumo de combustible tras la operación del equipo en las condiciones de trabajo normales. Se realiza el estudio mediante la metodología Bottom Up que se basa en la recolección de datos reales de operación del motor, consumos de combustible y estimación de gases.

3.1 Enfoque metodológico

La presente investigación tendrá un enfoque cuantitativo debido a que se recopilarán datos reales de consumos de combustible y con ello calcular las emisiones de dióxido de carbono que el motor a investigar produce. Gracias al estudio permitirá determinar un factor de emisión acorde a las condiciones de operación y el consumo de combustible en la camaronera.

3.2 Diseño de investigación

La investigación se puede definir como experimental debido a que se registraron los datos como consumo de combustible, velocidad de giro del motor (RPM) y tiempo de operación. Los datos se obtienen durante la operación normal del motor en la camaronera CALIPSO SA. Así mismo se puede catalogar como descriptiva debido a que se podrá caracterizar el comportamiento de del consumo de combustible y emisiones generadas en base a los diferentes operaciones del motor que se requiera en los diferentes momentos.

3.3 Variables de estudio

Para la presente investigación tiene variables dependientes como el factor de emisión de dióxido de carbono y las emisiones de dióxido de carbono, dentro de las variables independientes se tiene el consumo de combustible dado en las unidades de (l/h), la velocidad de giro del motor dado en (RPM) y el tiempo de funcionamiento dado en (h). El análisis de la variables de esta investigación se presentan en la tabla 1.

Tabla 1

Variables de estudio

Ítem	Variable	Tipo	Definición operacional	Unidad	Uso en el análisis
1	Consumo de combustible	Independiente	Diferencia entre volumen inicial y final.	l/h	Identificar el factor de emisión en base al consumo que se tiene en la operación del motor.
2	Régimen de giro	Independiente	Velocidad angular promedio durante la operación.	RPM	Cálculo de factor de emisión en base a las RPM del motor.
3	Tiempo	Independiente	Tiempo de operación.	h	Cálculo de factor de emisión en conjunto con el consumo de combustible y las RPM del motor.
4	Emisión de dióxido de carbono	Dependiente	Masa total de dióxido de carbono producido durante la operación.	kg	Estimar de manera cuantitativa el impacto ambiental con referencia al

				consumo de combustible
			Cantidad de CO ₂ emitido	Determinar el
			por unidad de combustible consumido	factor de emisión para comprarlo con valores predeterminados
5	Factor de emisión	Dependiente		kg CO ₂ /l

Nota. En la tabla se presenta las variables que se consideran en el cálculo de del factor de emisión.

3.4 Equipos y materiales

Para el desarrollo de la investigación serán necesarios los siguientes equipos y elementos de medición.

- Motor Cummins 6BT de 5.9 l.
- Tacómetro analógico que registra las RPM y se encuentra directamente conectado al motor.
- Cronómetro para registrar las horas de operación.
- Recipiente graduado para la medición del combustible consumido.

3.5 Procedimiento experimental

3.5.1 Etapa 1: registro de condiciones del Cummins 6BT

En esta etapa se registra las condiciones normales de funcionamiento del motor, adicional se realiza una inspección de nivel de aceite y filtros de aire en buen estado. Se registran datos de RPM, horas de funcionamiento del motor antes de la prueba y combustible disponible para la prueba.

3.5.2 Etapa 2: medición del consumo de combustible

Para la prueba se va a registrar las RPM promedio del motor durante el día de funcionamiento, tomando en cuenta que, durante la operación aunque las RPM son constante puede variar dependiendo del trabajo que se requiere en el determinado momento.

Además, se va a registrar el consumo total en el día y se realiza el consumo promedio por hora tomando en cuenta las horas de operación del motor.

Normalmente dentro de las camaroneras se usan los tanques de combustible como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Tanque de combustible



Para la prueba se registraron los datos de 7 días de operación que contempla las diferentes condiciones y por ende diferentes regímenes de giro por lo que se puede estimar un factor de emisión más aterrizado al motor Cummins. Para la medición del combustible se llena el tanque de combustible para posterior de la jornada de trabajo se mide el nivel de combustible y la diferencia de los volúmenes sería el consumo. Se puede estimar el consumo como se muestra en la ecuación 6:

$$VC = V_i - V_f \quad (6)$$

Donde:

- VC : Es el valor consumido de combustible por el motor

- V_i : Es el volumen inicial de combustible
- V_f : Es el volumen final de combustible

A continuación, se presentan los datos registrados donde se puede encontrar RPM del motor, las horas de trabajo del motor y los litros consumidos por jornada. Gracias a estos datos se va a poder realizar los cálculos de las emisiones del motor Cummins. Se realiza el registro de datos de siete días para tener diferentes escenarios de consumo como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Registro de datos de consumo de combustible

Día	Horas de operación (h)	RPM promedio	Consumo diario (l)	Consumo promedio (l/h)
1	8	1600	82	10.25
2	8.5	1650	91	10.71
3	9	1700	104	11.56
4	7.5	1500	72	9.6
5	10	1800	136	13.6
6	8	1600	84	10.5
7	9.5	1750	119	12.53

Nota. En la tabla se presenta los datos necesarios para calcular el factor de emisión del motor Cummins

3.5.3 Etapa 3: determinación de factor de emisión de CO_2

Una vez registrado los consumos de combustible bajo diferentes condiciones de trabajo se procede a calcular el factor de emisión mediante la metodología del contenido de carbono como se estudió en los capítulos anteriores tomando datos como la densidad del Diésel, el factor másico del carbono donde reemplazamos valores como se muestra en la ecuación 7:

$$FE_{CO_2} = 0.84 * 0.869 * \frac{44}{12} \quad (7)$$

$$FE_{CO_2} = 2.68 \text{ kg}_{CO_2} / l$$

Para el desarrollo de la investigación se utilizan valores de referencia de (IPCC) como de la norma (INEN) para determinar el factor con las condiciones que se encuentran en el país, eso lo indica el (IPCC) en el nivel metodológico nivel 2 donde estudia las emisiones de gases en base a los factores de emisión que se encuentra en el territorio donde se realiza la prueba, esos datos incluye la densidad del combustible y el factor másico del carbono que se pueden encontrar el capítulo 2.

3.5.4 Etapa 4: cálculo de emisiones de dióxido de carbono

Después de calcular el factor de emisión en base al contenido de carbono del combustible y teniendo los consumos de combustible se procede a calcular las emisiones de dióxido de carbono que genera el motor Cummins.

Las emisiones del motor se calculan mediante la siguiente ecuación 8:

$$E_{CO_2} = DA \times FE \quad (8)$$

$$E_{CO_2} = 82 * 2.68$$

$$E_{CO_2} = 219.76 \text{ kg } CO_2$$

Donde:

- E_{CO_2} : Son las emisiones de dióxido de carbono.
- DA : Se refiere al consumo de combustible en la jornada de trabajo.
- FE : Es el factor de emisión calculado en la etapa 3.

Para el ejemplo se realiza el cálculo con el consumo de combustible del primer día de trabajo que fue de 82 litros, adicional se multiplica por el factor de emisión de 2.68 kg de dióxido de carbono por cada litro de Diésel consumido.

3.5.5 Etapa 5: estimaciones anuales de dióxido de carbono

Con el propósito de analizar las emisiones de gases y el impacto ambiental se realizan las estimaciones de manera anual en base al consumo promedio por día de operación. Donde en las siete jornadas se obtuvo un consumo promedio de 263.41 kg CO_2 y se lo obtuvo mediante la ecuación 9:

$$Emisiones_{promedio} = \frac{219.76+243.88+278.72+192.96+364.48+225.12+318.92}{7} \quad (9)$$

$$Emisiones_{promedio} = 263.41 \text{ kg} \frac{CO^2}{\text{día}}$$

Todos los valores utilizados en el cálculo se los puede obtener en la etapa 4 del capítulo 3. Los datos expuestos en la fórmula corresponden a los valores de emisiones de dióxido de carbono emitidos por los días de operación que se registró.

Para realizar la conversión de las emisiones de kilogramos a toneladas para analizar de una manera más universal se lo realiza mediante la ecuación 10:

$$Emisiones_{promedio} = \frac{263.41}{1000} = 0.263 \text{ t } CO^2/\text{día} \quad (10)$$

Para hacer la estimación anual se deben considerar los días de para del motor ya sea por lo que no necesita debido a diversos factores como: mantenimientos preventivos, correctivos o días asuetos. Es por ello por lo que para la estimación anual se considera trescientos días de trabajo y se lo calcula mediante la ecuación 11:

$$Emisiones = 0.263 \times 300 \text{ días} \quad (11)$$

$$Emisiones = 79.03 \text{ t } CO^2/\text{año}$$

3.5.6 Etapa 6: tratamiento y análisis de datos

Se registran los datos de consumo de combustible, se calculan las emisiones de dióxido de carbono por cada día registrado con ayuda del factor de emisión previamente calculado.

Interpretación de datos sobre las emisiones de dióxido de carbono para ello se elaboraron gráficos que permiten visualizar comparativas de consumo de combustible con referencia a las emisiones. Los resultados obtenidos sirven para el análisis en el capítulo siguiente donde se evalúan las emisiones bajo condiciones reales de trabajo.

3.5.7 Etapa 7: consideraciones de seguridad

Revisión técnica antes y después de las pruebas de consumo para evitar algún daño en el motor Cummins. Además, no se altera las calibraciones originales del motor de fábrica para evitar lecturas erróneas.

Capítulo IV

Determinación análisis de factor de emisión de dióxido de carbono en motor

Cummins 6BT bajo condiciones reales de operación

En el capítulo se presentan los resultados luego del registro por siete días de datos sobre el consumo de combustible bajo condiciones reales de operación del motor Cummins 6BT, así mismo se presente las emisiones y el factor de emisión del dióxido de carbono. El análisis permite evaluar el comportamiento del motor bajo diferentes condiciones de trabajo así como su impacto nocivo con el medio ambiente.

4.1 Características funcionales del motor Cummins 6BT relacionadas al consumo de combustible

El motor de estudio para este proyecto se encuentra acoplado a un sistema de bombeo de agua donde su función principal es suministrar potencia mecánica para que la bomba hidráulica pueda transportar, distribuir agua a las diferentes piscinas de la camaronera CALIPSO SA.

La potencia o régimen requerido del motor depende directamente de las necesidades de la camaronera, es decir, cuando se requiere mantener elevador caudales de circulación, movilizar mayor cantidad de volúmenes de agua la demanda aumenta y por ende como quedó registrado en la toma de datos el consumo también se ve afectado.

Ahora como se ve en el día cinco de operación que fue el de mayor consumo con un valor 136 litros se debe a que el régimen de giro promedio fue mayor, esto se debe a la diferencia de altura entre el punto de captación y de descarga, además que a medida que a mayor distancia de deslizamiento se generan pérdidas por válvulas, fricción en tuberías lo que conlleva a un mayor consumo.

Por lo tanto dentro de las características funcionales no solo afectan la alimentación del motor, los elementos internos o el sistema de inyección, sino que también influye las

operaciones o el trabajo que se requiere en la camaronera, por lo que el consumo de combustible es directamente proporcional a la demanda.

4.2 Análisis del consumo de combustible

A partir de los datos registrados como se observa en la tabla 2, donde se puede encontrar, RPM, consumo de combustible y las horas de operación se puede determinar el consumo de combustible total durante los siete días de operación mediante la ecuación 12:

$$CC = 82 + 91 + 104 + 72 + 136 + 84 + 119 \quad (12)$$

$$CC = 688 \text{ l}$$

Donde el consumo promedio se calcula mediante la ecuación 13:

$$CC_{promedio} = \frac{688 \text{ l}}{7 \text{ días}} \quad (13)$$

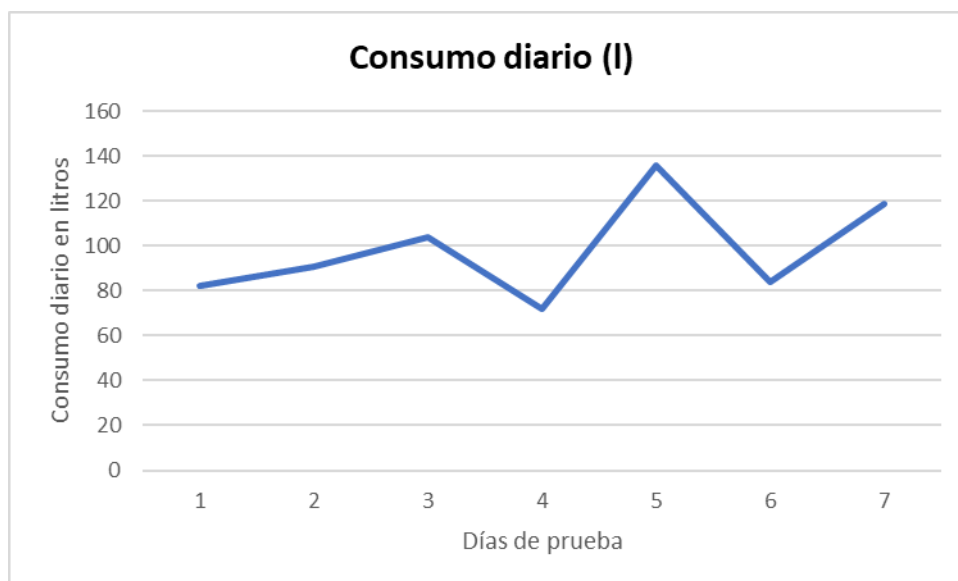
$$CC_{promedio} = 98.29 \text{ l/día}$$

Como se observa en la tabla hay diferencias de consumos entre los siete días por lo que se puede demostrar el que el motor no trabaja bajo la misma carga, sino que responde a las necesidades de la camaronera.

El menor consumo horario se lo pudo obtener en el día cuatro con un valor de 9.6 l/h mientras que el mayor consumo horario se lo alcanzó el quinto día donde se puede inferir que el consumo de combustible no se puede determinar solo por un mayor número de horas sino también por el régimen de operación del motor como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Consumo diario de combustible



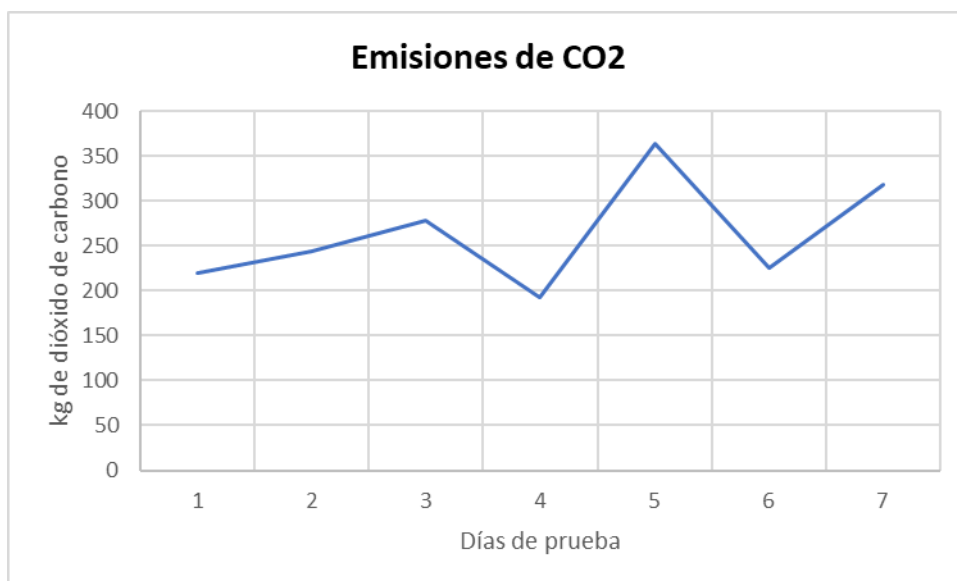
Adicional en el primer y en el sexto día de registro de datos, se tiene las mismas horas de operación y el motor estuvo trabajando bajo las mismas RPM pero se tiene una pequeña diferencia en el consumo de combustible de dos litros que esto se puede justificar debido a la condición del agua o el recorrido que tuvo que realizar el agua hasta llegar al punto de descarga donde se confirma que aunque las RPM sean similares, el consumo de combustible puede verse afectado dependiendo de factores o condiciones de la camaronera.

4.3 Análisis de las emisiones de CO₂

Las emisiones de dióxido de carbono se presentan con el mismo comportamiento que el consumo de combustible como se muestra en la figura 5, esto es debido a que el factor de emisión es constante para los cálculos ya que depende directamente de las propiedades del combustible. Adicional se puede observar como en el día cuatro presenta su cantidad más baja de dióxido de carbono con 192.96 kg de dióxido de carbono por 72 litros de Diésel consumidos.

Figura 5

Emisiones de CO₂



En términos globales las emisiones de dióxido de carbono fueron de 843.84 kg, este dato permite dimensionar la magnitud de gases contaminantes generados por un solo motor de bombeo de agua, lo que incentiva por opciones menos contaminantes sin que la actividad operacional de la camaronera de se vea afectada.

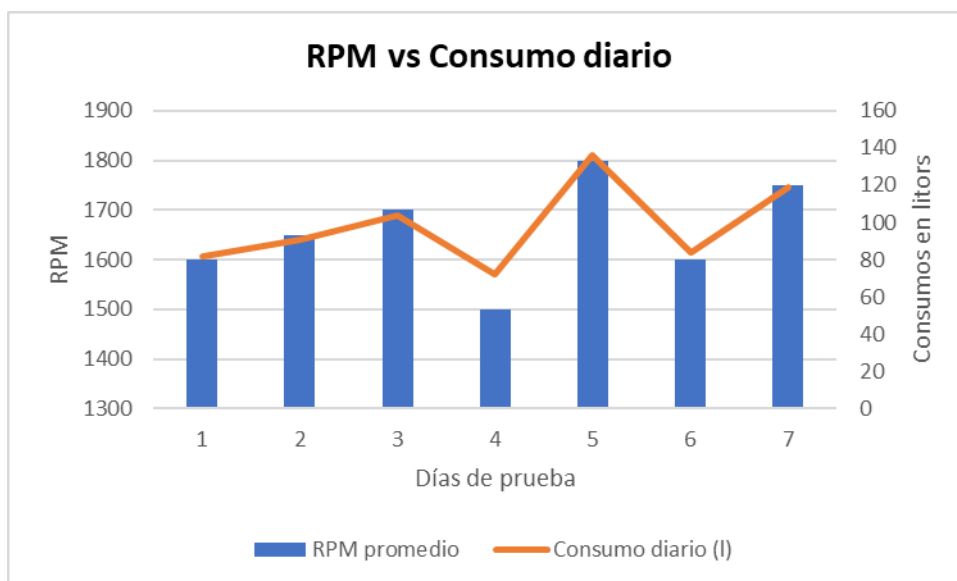
4.4 Influencia de las RPM sobre el consumo de combustible

Se muestra como hay una relación directa entre las RPM del motor con el consumo de combustible, es decir, a medida que se necesita un régimen de giro elevado también se necesita una mayor inyección de combustible. Y aun así los consumos pueden verse afectados por factores ajenas al combustible o al motor, puede tener relación con las funcionalidades y operaciones que se necesitan en un día.

Por ejemplo en el primer día y en el sexto se puede ver como el régimen de giro en ambos días es igual, sin embargo, el consumo de combustible es ligeramente superior en el sexto día, se puede inferir a condiciones como desplazamiento de agua a las diferentes área de las camaroneras o densidad del agua en el tiempo de bombeo o alguna restricción en el sistema de bombeo como se observa en la figura 6.

Figura 6

RPM vs consumo de combustible

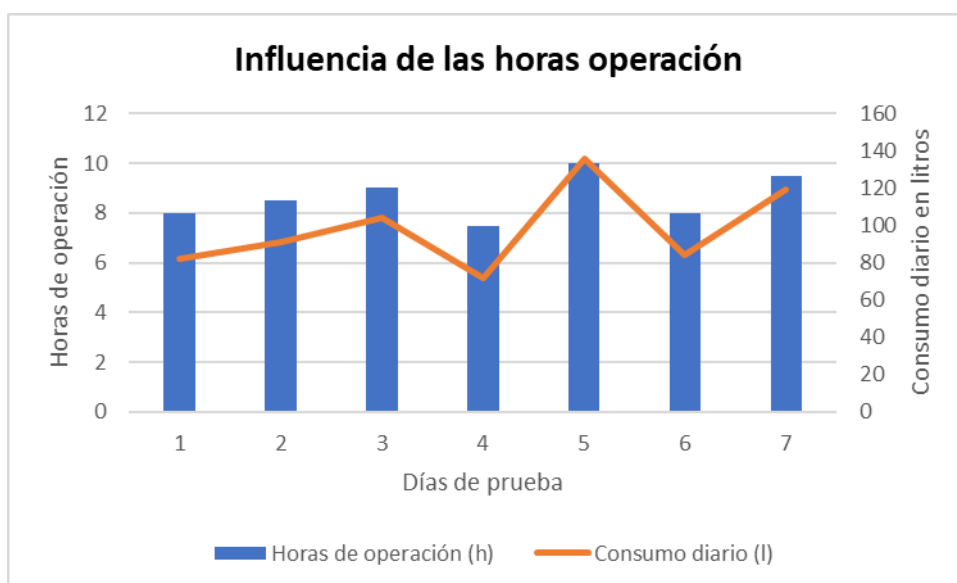


4.5 Influencia de las horas de operación

Las horas de operación no es el único factor que influye en el consumo de combustible, como se describió en los puntos anteriores el régimen de operación también influye directamente ya que a más RPM se requiere mayor inyección. Pero el tiempo de operación es un factor clave ya que a más extensa la jornada de operación del motor también hay un mayor consumo como se observa en la figura 7.

Figura 7

Horas de operación vs consumo de combustible



4.6 Análisis del cambio de densidad del combustible

Si la densidad del combustible a utilizar para la prueba tiende a aumentar va a tener un impacto en el factor de emisión debido a que si la densidad aumenta eso conlleva que el combustible tiene más contenido de carbono y por ende va a generar mayor cantidad gases de CO₂.

4.7 Análisis de las emisiones anuales de CO₂

Con los resultados obtenidos se concluyen que aunque se analizan las emisiones de dióxido de carbono por día de trabajo pueden llegar a ser aceptables y con impacto bajo para el medio ambiente, pero si se analiza bajo un escenario continuo de trabajo de trecientos días puede llegar a emitir aproximadamente 79 toneladas de dióxido de carbono por año por lo que nace la importancia de desarrollar sistemas de bombeo que sean más eficientes con el objetivo de reducir el consumo de combustible y por ende las emisiones de gases.

Así mismo este análisis permite comprender el aporte potencial de un motor dentro de trabajos que se realizan en una camaronera, de igual manera hay que comprender que en las camaroneras el trabajo de bombeo se realiza por algunos motores debido a las distancias de desplazamientos de agua, debido a los volúmenes de agua necesarios, etc. Con este análisis se refuerza la necesidad de implementar sistemas de bombeo más eficientes o el desarrollo de nuevas tecnologías que contribuyan con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

4.8 Comparación de resultados obtenidos con valores de referencia de IPCC

En la presente investigación se calculó el factor de emisión en base a valores obtenido de literatura como la densidad del combustible utilizado, el contenido másico de carbono y la relación estequiométrica dando un factor de emisión bastante similar al factor genérico dado por el IPCC, es por ello por lo que los valores de emisión de CO₂ no difieren tanto con los datos genéricos, sin embargo, de los resultados obtenidos se conoció los valores reales de dióxido de carbono que genera el motor Cummins 6BT realizando tareas de bombeo de agua, deslizamiento de volúmenes de agua en las diferentes piscinas de la camaronera CALIPSO.

4.9 Discusión de resultados

Gracias a los resultados obtenidos se puede afirmar que tanto las emisiones como el factor de emisión de dióxido de carbono está directamente relacionado con el consumo de combustible como se registró en los siete días, sin embargo, el consumo no es el único factor a analizar ya que depende del trabajo mecánico que se requiera en ese momento para el sistema de bombeo de agua en la camaronera.

Durante el registro de datos durante los siete días, se obtuvieron los siguientes datos como el consumo total que fue de 688 litros de Diésel, de los cuales estos generaron 1843.84 kilogramos de dióxido de carbono. El consumo promedio fue de 98.29 litros de combustible por día con unas emisiones de 263.41 kilogramos de dióxido de carbono. Estos datos son importantes para tener un inventario de gases de contaminación para buscar la optimización de recursos.

Durante la semana se mostró que los días con mayor consumo de combustible y con emisiones de CO₂ son los días donde se requiere de más revoluciones del motor o donde se tuvo que extender la jornada de trabajo. El día que más refleja esta situación él es quinto día donde se obtuvo un consumo de 136 litros porque se tuvo 10 horas de trabajo con una velocidad de giro del motor de 1800 RPM.

Desde el punto de vista energético, el incremento del consumo de combustible está relacionado con los trabajos que se requiera en la camaronera, es decir, el volumen de cantidad de agua que necesita ser desplazado o la distancia hasta el punto de descarga por lo que para una reducción de emisiones también depende del diseño del sistema de bombeo.

Conclusiones

Las características funcionales del motor se centran específicamente en la necesidad en el sistema de bombeo; es decir, cuanto requiere la camaronera de caudal de agua y a que altura debe llegar para cumplir con los requerimientos. En el cuarto día donde el motor trabajó a 1500 RPM es porque tuvo que proveer de un caudal de aproximadamente de 600 l/s, caso contrario cuando tuvo que suplir un caudal aproximado 800 l/s que trabajó a 1800 RPM por lo que conlleva un consumo de combustible elevado, esto se puede observar en la tabla 2 y en el análisis de consumo de combustible frente a las RPM.

El consumo de combustible que se registra durante las jornadas de trabajo presenta variaciones debido a cambios de régimen de operación del motor, las horas de trabajo en el día como se observa en la tabla 2 y sobre las condiciones de trabajo en el sistema de bombeo evidenciando como influye la carga de trabajo sobre la demanda energética del sistema, es decir, en el cuarto día se registró un consumo 72 litros de diésel esto debido que el motor solo trabajo por siete horas y media, también trabajo a 1500 RPM que se puede considerar como RPM bajo. El consumo total de combustible durante los siete días de operación fue de 688 litros de diésel.

La metodología que se aplica durante el proyecto permitía calcular las emisiones de CO₂ del motor Cummins 6BT bajo condiciones reales de operación en la camaronera CALIPSO como se muestra en la figura 5, en el quinto día de registro de datos así como se obtuvo un mayor consumo también se obtuvo una mayor emisión de gases con 364.48 kg de dióxido de carbono cuando se consumen 136 litros calculándose entre el múltiplo del factor de emisión que fue de 2.68 kg de dióxido de carbono con los litros de diésel consumidos. Proporcionando información que sirve como base para futuras estrategias de control de combustible y reducción de emisiones.

Recomendaciones

Implementar registros de monitoreo en conjunto con las RPM del motor, caudal bombeado y la altura dinámica total durante la operación del sistema. Con el fin de identificar el punto donde la bomba hidráulica opere con una mayor eficiencia, de esta manera se evite que el motor trabaje a RPM elevadas por lo que va a reducir el consumo de combustible y por ende la reducción de emisiones gases de efecto invernadero.

Registrar de forma simultáneo otros datos como consumo horario de combustible, presión de descarga y nivel de agua en las piscinas, esto con el objetivo de establecer indicadores sobre el desempeño energético del sistema de bombeo. Este seguimiento ayuda a identificar cuando hay un incremento de combustible anormal debido a obstrucciones en la tubería o desgaste de la bomba.

Utilizar el factor de emisión obtenido en la presente investigación a un registro periódico de consumo de combustible y emisión y emisiones de dióxido de carbono de la camaronera, esto se realiza con el objetivo de comparar el desempeño ambiental en diferentes periodos de operación, evaluar mejoras en el diseño de sistema de bombeo y tener un historial que sirva para elaborar estrategias para reducir el consumo de combustible.

Referencias

- Allmägi, R. (2024). *Comprehensive review of innovation in piston engine and low temperature combustion technologies*. Transport: <https://doi.org/10.3846/transport.2024.21333>
- Babamohammadi, S., Birss, A., Pouran, H., Pandhal, J., & Borhani, T. (2025). *Emission control and carbon capture from diesel generators and engines: A decade-long perspective, Carbon Capture Science & Technology, Volume 14*. Science Direct: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772656825000193?utm_source=
- Cedeño Samaniego, M. (2025). *Análisis del Desempeño de un Motor de Ciclo Otto con Inyección Modificada para Etanol E-85*. Repositorio Digital UIDE: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/8435>
- Engine Specs. (2026). *Cummins 6BT*. Engine Specs: https://www.engine-specs.net/cummins/6bt.html?utm_source=
- Estrella, M., Vivar , V., Delgado, A., & Gomez, F. (2025). *Effect of Oxyhydrogen Gas (HHO) Addition on Fuel Consumption of M2 Category Vehicle by Road Tests*. Springer Nature Link: Effect of Oxyhydrogen Gas (HHO) Addition on Fuel Consumption of M2 Category Vehicle by Road Tests
- European Environment Agency EEA. (2023). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023*. European Environment Agency: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>
- Haque, A., Chowdhury, R., Islam, S., Islam, F., & Rahman, H. (2019). *Evaluating the conventional mixing grades of demolished tiles aggregate concrete and mortar for sustainable use, Journal of Cleaner Production, Volume 213*. Science Direct: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.202>
- Heywood, J. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals, 2nd Edition*. Acces Engineering: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260116106>

- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Vol. 2 Energy*. IPCC:
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>
- IPCC. (2006). *Methodological choice and identification of key categories Chapter 4*. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_4_Ch4_MethodChoice.pdf
- IPCC. (2006). *Mobile Combustion Chapter 3*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories:
https://planning.lacity.gov/eir/8150Sunset/References/4.E.%20Greenhouse%20Gas%20Emissions/GHG.27_IPCC%20National%20GHG%20Inventories.pdf?utm_source=
- Lafayette, C. (2026). *Major types of diesel engines*. Britannica:
<https://www.britannica.com/technology/diesel-engine/Major-types-of-diesel-engines>
- Ławrynkowicz, B. (2023). *Motor diésel: ¿cómo funciona? ¿Cómo se construye? ¿Puede funcionar con gas?* Fuel Fusion: <https://fuelfusion.pl/es/motor-diesel-como-funciona-como-se-construye-puede-funcionar-con-gas/>
- Méndez, P., Gomez, M., & Llerena, A. (2020). *Análisis de la viabilidad para la implementación de vehículo eléctrico que preste servicio de taxi en la ciudad de Cuenca*. Revistas UIDE: <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/1612>
- Nunige, O. (2018). *Evaluación y comparación de métodos de medición consumo de combustible para laboratorio y ruta en un vehículo liviano*. Universidad Tecnológica de Pereira: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2f121664-83f4-48db-bfee-bdc78508589a/content>
- Reif, K. (2014). *Diesel Engine Management*. Bosch Professional Automotive Information: https://evirtual.insteclrg.edu.ec/pluginfile.php/70252/mod_resource/content/1/%28Bosch%20Professional%20Automotive%20Information%29%20Konrad%20Reif%20%28eds.%29%20-%20Diesel%20Engine%20Management_%20Systems%20and%20Components-Springer%20Vieweg%20%282014%2

- Saghafifar, M., Omar, A., Mohammadi, K., Alashkar, A., & Gadalla, M. (2019). *A review of unconventional bottoming cycles for waste heat recovery: Part I – Analysis, design, and optimization* Volume 198. Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890418311488>
- Sahinoglu, E., & Uslu, T. (2013). *Use of ultrasonic emulsification in oil agglomeration for coal cleaning*, *Fuel*, Volume 113 Pages 719-725. Science Direct: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.06.046>
- Teal, L. (2025). *5.9 Cummins 6BT Turbodiesel (12 Valve)*. Diesel Hub: dieselhub.com/cummins/5.9-cummins-6bt.html?utm_source=
- Trujillo, E. (2019). *Evaluación de las emisiones de gases de escape de un motor encendido por compresión utilizando mezclas de diésel, biodiésel supercrítico y óxido de cerio*. Repositorio EPN: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20174/1/CD%209635.pdf>
- Velasco, R., Perez, O., Pereira, M., & Bolaños, A. (2021). *Análisis comparativo de emisiones de CO₂ de un motor empleando diésel y biodiésel*. *Revista de investigación agraria y ambiental*: <https://doi.org/10.22490/21456453.3603>
- Zhang, Q. (2007). *NO_x emission trends for China, 1995–2004: The view from the ground and the view from space*, *J. Geophys. Res.*, 112, D22306. *Advancing Earth And Space Sciences*: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2007JD008684>