



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE LOS GASES DE
COMBUSTIÓN DE UNA CAMIONETA NISSAN FUNCIONANDO
CON GASOLINA Y GAS NATURAL AL NIVEL DEL MAR

TESIS

PRESENTADA POR:

FERNANDO JOSE FLORES SANTOS

JULIO MACHACA MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2024



FERNANDO JOSE/JULIO FLORES SANTOS/MACHA... ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UNA CAMIONETA NISSAN FUNCIONANDO CON GASOLIN...

 Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trrcoid::8254-416593297

Fecha de entrega

16 dic 2024, 12:02 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 dic 2024, 12:17 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UNA CAMIONETA NISSAN FUNCIONANDO CON GASOLIN...pdf

Tamaño de archivo

4.9 MB

117 Páginas

17,394 Palabras

94,603 Caracteres





14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

LEONIDAS VILCA CALLATA
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
GP N° 63276

M.Sc. Felipe Chambi Chamblé
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACION
EPIIME





DEDICATORIA

A mis padres, mi familia, que me apoyaron en mi educación y crecimiento profesional, que confiaron en mi persona y en mis deseos de superación, es por ellos lo que soy ahora y a la Universidad Nacional del Altiplano por acogerme y formarme para mejorarme profesionalmente.

FERNANDO JOSE FLORES SANTOS



DEDICATORIA

A mis padres Damaso Machaca y Norma Mamani, quienes siempre me apoyaron en mi etapa formativa, desde mi niñez hasta la etapa universitaria, cultivando los valores y el carácter para tener la humanidad ante la vida, inculcando la empatía ante la sociedad, agradecer también a mis hermanas y hermano que siempre me apoyaron y estuvieron dándome mucha fortaleza con su apoyo.

JULIO MACHACA MAMANI



AGRADECIMIENTOS

Agradecer al universo, a nuestro creador por brindarnos la sabiduría, agradecer a mis docentes de mi alma mater siendo la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO, por compartir todas sus experiencias y conocimientos durante el transcurso de mi vida universitaria, guiándome hacia la competitividad en el ámbito académico, laboral y empresarial.

A mis jurados y asesor que me guiaron para realizar de la mejor manera el presente Trabajo y a su arduo trabajo.

A mis compañeros y amigos que he logrado conocer y compartir conocimientos, experiencias, momentos de compartir, agradezco su apoyo y su compañerismo, seguiremos creciendo juntos.

FERNANDO JOSE FLORES SANTOS

JULIO MACHACA MAMANI



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.2. JUSTIFICACIÓN	21
1.3. HIPÓTESIS DEL TRABAJO.....	22
1.4. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	22
1.5. OBJETIVO GENERAL	23
1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO	24



2.2. MARCO TEÓRICO	30
2.2.1. Combustión	30
2.2.1.1. Combustible	30
2.2.1.2. Comburente	30
2.2.1.3. Análisis de combustibles.....	31
2.2.1.4. Procesos de combustión	31
2.2.2. Combustión con aire	34
2.2.2.1. Composición del aire atmosférico.....	35
2.2.2.2. Combustión ideal con aire.....	35
2.2.2.3. Combustión ideal con exceso de aire	36
2.2.3. Combustión real	37
2.2.3.1. Combustión con deficiencia de aire	37
2.2.3.2. Combustión real con exceso de aire.....	38
2.2.3.3. Análisis de los productos de la combustión	38
2.2.3.4. Cálculos que permite realizar el análisis de productos	38
2.2.3.5. Poder calorífico	39
2.2.4. Combustibles.....	40
2.2.4.1. Combustibles fósiles	40
2.2.4.2. Carbón y derivados	41
2.2.4.3. El petróleo y sus derivados	42
2.2.5. La gasolina	43
2.2.5.1. Gasolina superplus	46
2.2.6. El gas natural.....	49
2.2.6.1. Composición del gas natural	52
2.2.6.2. Características del gas natural.....	53



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES	56
3.1.1. Materiales para el análisis de gases de la combustión	56
3.1.1.1. Módulo de experimentación: Camioneta Nissan	57
3.1.1.2. Analizador de gases empleado en los ensayos experimentales. 61	
3.1.1.2.1. Características del analizador de gases Brain Bee AGS-68861	
3.2. MÉTODOS	65
3.2.1. Método para realizar el análisis de gases de combustión.....	65
3.2.2. Método para calcular los parámetros de la combustión de los gases de combustión	72
3.2.2.1. Método para determinar la relación aire-combustible real ($R_{a/c}$).....	76
3.2.2.2. Método para determinar la relación aire-combustible teórica ($r_{a/c}$).....	78
3.2.2.3. Método para determinar el porcentaje de exceso de aire	79
3.2.2.4. Método para calcular la pérdida de energía o calor por combustión incompleta (E_{pci}).....	80
3.2.2.5. Método para determinar las partes por millón de HC (hidrocarburos no quemados).....	81

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS	82
4.1.1. Resultados experimentales de los gases de la combustión de la camioneta Nissan.....	82



4.1.2.	Resultados de los cálculos de los parámetros del análisis de gases de escape utilizando gasolina.....	85
4.1.2.1.	Determinación de la relación aire-combustible real ($R_{a/c}$).....	85
4.1.2.2.	Determinación de la relación aire-combustible teórica ($r_{a/c}$)	87
4.1.2.3.	Determinación del porcentaje de exceso de aire.....	88
4.1.2.4.	Determinación de la pérdida de energía por combustión incompleta (E_{pci}).....	89
4.1.2.5.	Determinación de las partes por millón (ppm) de HC (hidrocarburos no quemados).....	89
4.1.3.	Resultados de los cálculos de los parámetros del análisis de gases de escape utilizando gas natural vehicular (GNV)	90
4.1.3.1.	Determinación de la relación aire-combustible real ($R_{a/c}$).....	90
4.1.3.2.	Determinación de la relación aire-combustible teórica ($r_{a/c}$)	93
4.1.3.3.	Determinación del porcentaje de exceso de aire.....	94
4.1.3.4.	Determinación de la pérdida de energía por combustión incompleta (E_{pci}).....	94
4.1.3.5.	Determinación de las partes por millón (ppm) de HC (hidrocarburos no quemados).....	95
4.1.4.	Resumen del cuadro de parámetros de la gasolina y gas natural vehicular.....	96
4.2.	DISCUSIÓN	97
V.	CONCLUSIONES.....	100
VI.	RECOMENDACIONES	102
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXOS.....		106



Área: Mecánica

Tema: Análisis Termodinámico

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de diciembre de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Fracciones del petróleo	42
Tabla 2 Características fisicoquímicas de la gasolina.....	43
Tabla 3 Especificaciones técnicas de la gasolina.....	48
Tabla 4 Composición del gas natural de Camisea	52
Tabla 5 Especificaciones técnicas del Nissan Qashqai	58
Tabla 6 Especificaciones técnicas del Brain Bee AGS-688	64
Tabla 7 Cuadro de parámetros de la gasolina y gas natural vehicular	96



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Elementos de la combustión	32
Figura 2 Cadena de suministro de gas natural – proyecto camisea	50
Figura 3 Mapa conceptual del gas natural	51
Figura 4 Composición del gas natural	52
Figura 5 Aplicaciones del gas natural	54
Figura 6 Producción del gas natural en el Perú.....	54
Figura 7 Matriz energética en el Perú	55
Figura 8 Camioneta Nissan Qashqai empleada en los ensayos experimentales (1) 59	59
Figura 9 Camioneta Nissan Qashqai empleada en los ensayos experimentales (2) 59	59
Figura 10 Camioneta Nissan durante los ensayos (1).....	60
Figura 11 Camioneta Nissan durante los ensayos (2).....	60
Figura 12 Analizador de gases de combustión Brain Bee AGS-688 (1)	63
Figura 13 Analizador de gases de combustión Brain Bee AGS-688 (2)	63
Figura 14 Vista anterior del Brain Bee AGS-688	66
Figura 15 Vista posterior del Brain Bee AGS-688	67
Figura 16 Menu 01-Analizador de Gases	67
Figura 17 Sonda de medición de gases de escape.....	68
Figura 18 Proceso de Calentamiento del Analizador.....	69
Figura 19 Prueba de Estanqueidad del Analizador	69
Figura 20 Modo AUTOCERO del Analizador	70
Figura 21 TEST HC del analizador	71
Figura 22 Analizador de gases de escape Brain Bee AGS-688	83
Figura 23 Camioneta Nissan AJQ-537	84



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Analizador de gases Brain Bee AGS-688.....	107
ANEXO 2 Camioneta Nissan Qashqal placa AJQ537	108
ANEXO 3 Vouchers de datos experimentales del análisis de gases de escape utilizando gasolina Premium 95 octanos.....	109
ANEXO 4 Vauchers de datos experimentales del análisis de gases de escape utilizando gas natural vehicular (GNV).	110
ANEXO 5 Especificaciones técnicas de la gasolina premium	111
ANEXO 6 Especificaciones técnicas del gas natural vehicular (GNV).....	112
ANEXO 7 Normas legales sobre límites máximos permisibles para vehículos en circulación	113
ANEXO 8 Sonda para el análisis de gases de escape.....	114
ANEXO 9 Vistas de la pantalla del analizador de gases Brain Bee AGS-688	115
ANEXO 10 Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	116
ANEXO 11 Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional....	117



ACRÓNIMOS

GNV:	Gas natural vehicular
NOx:	Óxidos nitrosos
ppm:	partes por millón
GNC:	Gas natural comprimido
MEP:	Motor encendido provocado
mssm:	metros sobre el nivel del mar
RPM:	Revoluciones por minuto
UNI-DEM:	Universidad Nacional de Ingeniería – Departamento de Energía Mecánica
MTBE:	Metil Tert Butil Eter
MON:	Motor Octane Number
RON:	Research Octane Number
ASTM:	American Society for Testing and Materials
SAE:	Society of Automotive Engineers
Petroperú:	Petróleos del Perú
OSINERGMIN:	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
BTU:	British Thermal Unit
HC:	Hidrocarburos no quemados



RESUMEN

La Autoridad de Transporte Urbano (ATU) del Ministerio de Transportes detectó que en Lima y Callao el sector automotor produce el 58% de la contaminación del aire y que un vehículo con 20 años de antigüedad contamina 53 veces más que uno nuevo. En ese contexto en el objetivo de la investigación de tipo aplicada o experimental se realizó un análisis termodinámico experimental de los gases de la combustión de una camioneta Nissan funcionando con gasolina y gas natural vehicular al nivel del mar. La metodología empleada fue el ensayo técnico experimental del análisis termodinámico de los gases de combustión de un motor Otto con un Analizador de gases Brain Bee AG5-688 de controles de emisiones de gases de escape. Los resultados obtenidos de porcentajes en volumen de CO, CO₂, O₂ y HCl estuvieron en los rangos técnicos recomendados para gasolina y gas natural vehicular con factores Lambda próximos a 1. Se concluye que las combustiones tendieron a ser estequiométricas con proporciones de aire y combustible necesarios para combustiones óptimas de la gasolina y gas natural vehicular, que se validó por los cálculos de las relaciones aire-combustible real y teórica, los que se usaron para los cálculos de los porcentajes de exceso de aire fueron menores de 10% porque las proporciones de aire y combustible fueron las necesarias. Los límites máximos permitidos por normas son de 4,5% para el CO y de 200 ppm para HC, nuestros resultados fueron mucho menores para gasolina y GNV; 0,25% y 0,16% para CO; 73 ppm y 13 ppm para HC, concluyéndose que las reacciones químicas de combustión fueron eficientes y que el uso del GNV es una alternativa viable para mejorar la calidad del aire ambiental por ser menos contaminante que la gasolina y además es 40% más económico.

Palabras clave: Análisis termodinámico, combustión, gasolina, gas natural, aire, gases escape, cambio climático.



ABSTRACT

The Urban Transport Authority (ATU) of the Ministry of Transport found that in Lima and Callao the automotive sector produces 58% of air pollution and that a 20-year-old vehicle pollutes 53 times more than a new one. In this context, as part of the applied or experimental research, an experimental thermodynamic analysis of the combustion gases of a Nissan pickup truck running on gasoline and vehicular natural gas at sea level was carried out. The methodology used was the experimental technical test of the thermodynamic analysis of the combustion gases of an Otto engine with a Brain Bee AG5-688 gas analyzer for exhaust gas emission controls. The results obtained for volume percentages of CO, CO₂, O₂ and HCl were within the technical ranges recommended for gasoline and natural gas for vehicles with Lambda factors close to 1. It is concluded that combustion tended to be stoichiometric with proportions of air and fuel necessary for optimal combustion of gasoline and natural gas for vehicles, which was validated by calculations of the actual and theoretical air-fuel ratios, which were used for the calculations of the excess air percentages were less than 10% because the proportions of air and fuel were necessary. The maximum limits allowed by standards are 4.5% for CO and 200 ppm for HC, our results were much lower for gasoline and CNG; 0.25% and 0.16% for CO; 73 ppm and 13 ppm for HC, concluding that the chemical combustion reactions were efficient and that the use of CNG is a viable alternative to improve ambient air quality because it is less polluting than gasoline and is also 40% more economical.

Key words: Thermodynamic analysis, combustion, gasoline, natural gas, air, exhaust gases, climate change.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la coyuntura actual mundial, en todas las ciudades de los países los problemas que se han producido por la contaminación del medio ambiente, han motivado e incluso obligado a la sociedad a tomar medidas con el objetivo de atenuar o mitigar este problema importante enfocando en las causas que las han generado. En este sentido el transporte más específico los diferentes tipos de vehículos no están libres de estas medidas, constituyendo las emisiones de gases de la combustión de los motores de combustión interna un tema de particular importancia al generar la energía necesaria para lograr el movimiento de los diferentes vehículos. Estos motores que en su mayoría utilizan como combustible Diesel o gasolina producen emisiones de gases al medio ambiente que causan la alteración de su composición natural y con lo cual contribuyen a las reacciones tanto químicas como físicas que producen el deterioro del nivel de la calidad del aire en el medio ambiente. Dada la importancia de este problema en la coyuntura mundial de cambio climático los esfuerzos para mitigar y disminuir los efectos dañinos producidas por la emisión de los gases tóxicos de la combustión de los motores, mundialmente se han promulgado normas ecológicas con estrategias diferentes que influyen en tecnologías nuevas que se aplican para la transformación más óptima de la energía, una norma importante es el tema de la regulación de emisiones de gases de combustión que dan origen a productos dañinos para la salud que producen la contaminación y la alteración del medio ambiente; en ese sentido el diesel para automóviles debe contener a lo más 15 ppm (partes por millón) y la gasolina tiene el mismo límite restrictivo.

En ese contexto, es importante contribuir con la mitigación de este problema de contaminación del medio ambiente, las investigaciones se están realizando en diferentes



áreas con respecto a los vehículos para transporte, desde vehículos eléctricos, vehículos que funcionan con energía solar, vehículos con energía híbrida para su funcionamiento, etc.; en nuestro país para mitigar la contaminación por la disponibilidad del gas natural que es una energía más limpia que el diesel y la gasolina se está utilizando en vehículos en algunas regiones, principalmente en Lima, con una perspectiva a corto plazo el gas natural en otras regiones como la región Puno, por lo que es importante la realización de investigaciones experimentales que contribuyan con el conocimiento tecnológico de la combustión de la gasolina y el gas natural a través de un análisis termodinámico de los gases de combustión de estos dos combustibles utilizados como fuente de energía en vehículos.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad el cambio climático producido por el calentamiento global de la tierra se genera en gran medida por la contaminación debido a la combustión de combustibles cuyo origen son los fósiles, principalmente los derivados del petróleo como la gasolina y el gas natural. Los motores de combustión interna emiten al ambiente diferentes clases de gases y también partículas que causan la contaminación del medio ambiente, los gases que se emiten en gran cantidad son el dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), varios óxidos nitrosos (NO_x), productos orgánicos que son volátiles, macropartículas, compuestos de plomo y dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno en cantidades pequeñas y; como consecuencia del alto nivel de industrialización de la economía en todos los países del mundo como en el Perú el sector económico de transportes es el responsable directo en un orden del 30% al 90% del total de la emisión de los gases que contaminan el medio ambiente por el tráfico vehicular que se genera en todas las ciudades del mundo. La razón de esta contaminación es que los combustibles diesel y gasolina tienen impurezas que en las cámaras de combustión de los



motores no se queman totalmente y por la gran compresión se transforman en NO_x , SO_2 , CO , CO_2 y H_2O ; si el combustible se quemara totalmente y no tuviera impurezas las emisiones solo serían anhídrido carbónico que no es tóxico, oxígeno y agua. Los motores a gasolina contaminan a la atmósfera con CO_2 , CO , hidrocarburos no quemados y NO_x ; el CO_2 en porcentajes significativos en el aire empeora su calidad y por lo tanto afecta la salud humana, el CO tiene la capacidad de llegar a la sangre por las vías respiratorias donde se mezcla con la hemoglobina y la consecuencia es que las funciones del organismo humano disminuyen para transportar el oxígeno por todo el cuerpo humano, las partículas nocivas de los gases de combustión producen gran cantidad de muertes prematuras y disfunciones en el sistema respiratorio causantes del asma y mal desarrollo de la capacidad de los pulmones en los niños. En este contexto es importante que se realicen investigaciones en la temática del análisis termodinámico de los gases de la combustión de la gasolina y el gas natural combustibles que se están usando en los vehículos como fuente de energía en el país, principalmente en la capital Lima cuyo objetivo es reemplazar la gasolina y el diesel por el gas natural, que es una energía más limpia porque con respecto a las partículas finas y el óxido de azufre tiene disminuciones próximas al 100% y de un nivel de reducción de 75% en emisiones de óxidos de nitrógeno y de 30% a 50% de CO_2 con respecto a las emisiones de un vehículo funcionando con diesel y es más, es un combustible de bajo costo económico y tiene un impacto ambiental positivo en cuanto a la calidad del aire ambiental y la salud pública. En ese sentido el aporte de nuestro proyecto de investigación es contribuir con conocimientos experimentales sobre el análisis termodinámico de los gases de combustión de la gasolina y el gas natural en un vehículo, con la perspectiva que a corto plazo se utilizó el gas natural en reemplazo de la gasolina en la región Puno, por las ventajas competitivas técnicas y económicas que presenta, por lo que en el planteamiento del problema de nuestra investigación nos



formulamos las siguientes preguntas que fueron las guías que nos permitieron lograr los objetivos propuestos:

- ¿Es posible realizar el análisis de los gases de la combustión de una camioneta Nissan funcionando con gasolinas y gas natural al nivel del mar?
- ¿Es posible calcular la relación aire-combustible teórico y real, el porcentaje de exceso de aire, la pérdida de energía y las partes por millón de HC en los gases de combustión?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo del proyecto se justifica en principio porque el país tiene grandes reservas de gas natural en Camisea, el cual por gaseoductos está llegando a Lima, donde se está utilizando para consumo doméstico, y para consumo de vehículos por ser una energía limpia que no contamina el ambiente y es mucho más económica para la población peruana, cuya perspectiva a corto plazo debe replicarse en otras ciudades del país; para lo cual es importante los conocimientos de ingeniería respecto a esta tecnología del gas natural, lo cual en la coyuntura actual no se tiene ni se difunde los conocimientos técnicos teóricos exactos y necesarios para el uso de esta energía alternativa limpia, conocimientos que solo se generan a través de proyectos de investigación experimentales como el que se pretende desarrollar, cuyos fundamentos justifican la ejecución del proyecto.

Académicamente se justifica el desarrollo de la tesis porque servirá de marco referencial para la realización de investigaciones similares para reforzar la investigación formativa experimental en los temas de análisis termodinámico de la combustión de muchas máquinas en el área de Ingeniería Mecánica.



La investigación se justifica porque servirá para un análisis comparativo experimental del funcionamiento mecánico termodinámico y ambiental de motores funcionando con gasolina y gas natural.

Una justificación importante es el ahorro económico de un 60% por el uso del gas natural vehicular en reemplazo de la gasolina, constituyendo significativo ahorro para los transportistas y otras actividades económicas lo que generaría nuevos empleos y la implementación de infraestructura para la utilización del gas natural en diferentes ciudades como Puno.

Desde el punto de vista del problema actual de cambio climático en el mundo por la contaminación del medio ambiente por los productos de los gases de combustión de los vehículos, la investigación se justifica porque el uso de gas natural en los vehículos contribuirá a mitigar la contaminación del medio ambiente, genera menor cantidad de emisiones contaminantes, con un aproximado de 97% menos de monóxido de carbono y como una referencia importante el uso de gas natural en 10 años en Lima, evitó que lleguen al medio ambiente 50 millones de toneladas del dióxido de carbono (CO_2) principal gas invernadero que produce el calentamiento global.

1.3. HIPÓTESIS DEL TRABAJO

- Hay una diferencia significativa en el análisis termodinámico de los gases de combustión de una camioneta Nissan funcionado con gasolina y gas natural al nivel del mar.

1.4. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El análisis termodinámico de los gases de escape de la camioneta Nissan es mejor cuando funciona con gas natural que con gasolina al nivel del mar.



- Se puede realizar el cálculo de la relación aire-combustible teórico y real, el porcentaje de exceso de aire, la pérdida de energía y las partes por millón de partículas contaminantes de HC en los gases de combustión.

1.5. OBJETIVO GENERAL

- Realizar el análisis termodinámico, experimental de los gases de la combustión de una camioneta Nissan funcionando con gasolina y gas natural al nivel del mar.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el análisis de los gases de la combustión de una camioneta Nissan funcionando con gasolina y gas natural al nivel del mar.
- Los cálculos de relación aire-combustible real y teórico, porcentaje de exceso de aire, pérdida de energía y partes por millón de HC en los gases de combustión son más eficientes cuando funciona con gas natural que con gasolina al nivel del mar.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

López (2019) señala que el objetivo de la investigación está enmarcado en la conversión de los vehículos a que funcionen con gas natural estableciendo en forma ordenada los procedimientos, controles a efectuar antes y después de la conversión, para establecer los efectos que producen en los diferentes sistemas del vehículo; la metodología estuvo basada en visitas a talleres donde se realiza la conversión en la ciudad de Lima, para tener una visión del trabajo mecánico a realizar y; también se investigó en publicaciones técnicas referente al tema, como normas y legislación actual que establezca lo que se permita y qué no en la conversión; las empresas dedicadas a la conversión como a las que usan gas natural tienen en el futuro una factibilidad asegurada.

Barrio (2014) menciona que en el proyecto desarrollado en la Universidad de Cantabria tiene el objetivo de adaptar un coche de gasolina a gas natural comprimido, utilizando la metodología de estudiar instalaciones diversas en la mecánica que se adapten al cambio referente a sistemas mecánicos y eléctricos, considerando la legislación actual del país, también se efectuó un análisis térmico del motor funcionando con gas natural comprimido y finalmente se concluyó que el término del montaje, instalación y puesta a punto del sistema de conversión, el vehículo funcionó en forma correcta y tiene confiabilidad mecánica, económicamente la opción de cambio es interesante, el costo por kilómetro recorrido es menor en un auto a gas natural comprimido que a gasolina.

Núñez (2018) establece que el objetivo de la investigación experimental es efectuar un estudio sobre las emisiones de gases que contaminan el ambiente que emiten



los autos a gasolina en el campus de la Universidad Técnica de Ambato y los resultados se compararon con las normas nacionales vigentes, determinándose el porcentaje de vehículos que cumplen con los límites permitidos por ley. La metodología está basada en la norma NTE INEN 2004-2017 referente a emisiones de CO y partículas por millón de HC, considerando otros gases contaminantes como el CO₂ y O₂, en base a la antigüedad del vehículo; determinándose en los resultados que los vehículos del 2018 que utilizan gasolina super son los menos contaminantes y que el 76% de vehículos muestra usan gasolina extra.

García (2018) señala que en la investigación el objetivo fue realizar la evaluación de la factibilidad de abastecer con gas natural comprimido la provincia de Palpa, la metodología empleada fue el análisis de datos estadísticos de posibles usuarios de Ica, el cálculo proyectado de usuarios posibles de Ica y Palpa, obteniéndose de los usuarios de electricidad a través de 103 hogares, demostrándose en los resultados la factibilidad técnica y económica de abastecer Palpa con gas natural comprimido; la solución propuesta implica la intervención del Ministerio de energía y Minas y la Municipalidad de Palpa.

Moreno (2022) menciona que en nuestro país para la conversión a gas en un vehículo se requieren los siguientes requisitos: Certificación del Kit de conversión y cumplir las normas técnicas, realizar la revisión técnica vehicular, la instalación del kit debe ser realizada por profesionales, tener la documentación técnica vehicular necesaria; además de las consideraciones técnicas de que el taller de conversión tenga certificación legal, se verifique el sistema de seguridad, se verifique el sistema de emisiones, mantenimiento regular del vehículo y el uso de gas autorizado del gas natural vehicular (GNV).



Aldana et al (2022) señala que en el Perú en la actualidad importa combustible para el sector transporte, en el mundo el gas natural es una alternativa al diésel por ser más económico y no contamina el ambiente porque no emite gases invernaderos, mejorando el nivel de salud de los pobladores; el objetivo de la tesis es proponer modificar la matriz de la energía en el país al usar el gas natural por el diésel en el transporte de pasajeros, se define la metodología consistente en analizar una muestra que representa un fenómeno en base al criterio de Pareto. En base a los resultados se concluyó que la sustitución del diésel por gas natural en los vehículos de transporte para pasajeros es técnica y desde el punto de vista económico factible.

Aranda et al (2021) menciona que el objetivo del laboratorio es conocer los procesos para obtener un análisis de gases eficiente, en los resultados obtenidos experimentalmente es determinar los porcentajes de los gases de escape empleando el instrumento denominado analizador de gases, las conclusiones son que los equipos deben tener exceso de aire para su buena operación, en una combustión óptima se necesita calor, oxígeno, combustible y reacción en cadena y, que la contaminación es alta si la combustión es incompleta y con mayor consumo de combustible y disminución de la vida útil del equipo.

Aragón y Rivas (2021) señala que el objetivo de la tesis es implementar un módulo analizador de gases de combustión portátil marca Kimo Kigez 310 Pro para el laboratorio de termofluidos de la Universidad Católica de Santa María para ensayos de los estudiantes, la metodología del analizador es analizar el comportamiento de los gases producto de la combustión para mejorar su eficiencia, en los resultados se obtendrán mediciones del porcentaje de CO y CO₂, los que concluirán en cálculos de la eficiencia de la combustión de diversas máquinas y la implementación del módulo portátil del analizador y la elaboración de guías de laboratorio respectivas.



Macas et al. (2021) menciona que el objetivo de la investigación es la explicación de la relación aire combustible empleando la comprensión del concepto del aire y del concepto de combustible para obtener conocimientos para efectuar cálculos sobre la combustión mediante balances de sus reacciones, con la metodología empleada se obtuvieron resultados que explicaron las conclusiones respecto al aire combustible, los conceptos de aire teórico, combustión y se realizaron cálculos de calor de combustión, balances de reacciones para determinar las entalpías de cada reacción.

Machado et al. (2020) señala que en la investigación desarrollada el objetivo fue determinar qué efecto tiene la composición que tiene el gas natural comprimido sobre HC, CO y NO_x para comparar los límites establecidos por normas. Para la metodología se empleó un banco de pruebas para motores y se analizó los gases de escape a 1500, 2000 y 2500 RPM, empleando cinco muestras de combustible analizadas con cromatógrafo. Los resultados determinaron que la composición del GNC influye en la concentración de los contaminantes, pero no hay relación específica entre dichos aspectos. Los niveles de HC, CO y NO_x no superan las normas nacionales ni internacionales.

Clavijo et al. (2018) menciona que el trabajo de investigación se efectuó para establecer el porcentaje de CO y de hidrocarburos que no se quemaron (HC) producidos por la combustión de vehículos a gasolina en el Cantón la Maná, se trabajó en la metodología con 196 vehículos de la provincia de Cotopaxi, utilizando un equipo AVL DITEST Gas 1000 bajo la norma técnica ecuatoriana INEN 2203 y con la norma INEN 2204 se establecieron los contaminantes CO y HC en los resultados se determinó que el 82,65% de vehículos cumplen con CO y el 17,35% no cumplen, respecto a HC el 72,44% cumplen mientras que el 27,56% no cumplen.



Velazco et al. (2014) señala que la altitud, es decir más específicamente la presión atmosférica influye en los procesos de combustión, afectando la presión y temperatura de la atmósfera y sobre parámetros como la temperatura de llama, velocidad de combustión y velocidad de deflagración, la altitud determina que se tiene criterios para los procesos de combustión se considera variaciones de presiones atmosféricas, su influencia en las propiedades de combustibles y del aire, la presión atmosférica decrece debido al menor peso de la columna de aire y que la densidad del aire disminuye, lo que determina que la reacción de combustión tienda a ser más lenta y que al flujo de energía sea menor en el quemador.

López (2018) menciona que la altitud respecto al mar influye en el funcionamiento de un motor de combustión interna Otto, si se conoce el porqué de la disminución de la potencia, se anula las restricciones en admisión y el escape obteniendo aumento de la potencia en altitudes importantes; se estima que un motor disminuye aproximadamente 10% por 1 Km de altitud debido a que la densidad del aire tiene una tendencia a disminuir, el propósito de la investigación es estudiar los efectos que se producen por el decremento de la presión atmosférica en la altura y su relación con la pérdida de potencia de un motor Otto y su afectación sobre el consumo de combustible y, se propone solución para contrarrestar la disminución de potencia por menor oxígeno por unidad de aire no afectando el funcionamiento del motor.

Yepes (2023) señala que en la investigación para un motor atmosférico se concluye que si la presión atmosférica es menor o si se aumenta la temperatura ambiental y humedad relativa se producirá disminuciones del oxígeno en el aire para la combustión interna, el efecto es mayor en un motor atmosférico que en un motor turbo alimentado. Se recomienda que por cada 100 de altitud un motor atmosférico pierde 1,2% de potencia



y para un turboalimentado la pérdida solo es de 0,8% y, si la temperatura crece 10°C, las pérdidas de potencia para los motores son del orden de 3,5% y 5,4% respectivamente.

López (2019) señala que para funcionar un motor de combustión interna requiere una mezcla de aire-combustible precisa, la que en condiciones ambientales normales es simple, pero lo cual no ocurre en condiciones de altitud o temperaturas mayores que afectan el funcionamiento eficiente del motor. El combustible en una reacción química se oxida en forma rápida, donde el oxígeno es el comburente y al aumentar la temperatura el carbono reacciona con el oxígeno generando una explosión; en altitudes mayores es menor la concentración del aire, la concentración del oxígeno es constante (21%), en consecuencia, en altitudes hay menos aire y lógicamente menor presión atmosférica.

Arrojo et al. (2021) menciona que en la investigación desarrollada en el Ecuador el propósito es estudiar la influencia de la altitud en la generación de gases tóxicos en la combustión de un motor de encendido provocado (MEP), en muchos países la topografía determina variadas altitudes, se analizaron los gases de ciudades situadas entre 2000 a 3000 m.s.n.m. a diferentes revoluciones por minuto (ralenti, 2000, 3500 y 4500 RPM) evaluándose el monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos no quemados. De los resultados se concluyeron que las RPM son determinantes en la formación de CO y HC, al aumentar las RPM el % de monóxido de carbono crece y HC disminuye; pero el dióxido de carbono es importante y tienden a disminuir al decrecer la presión atmosférica.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Combustión

La termodinámica es importante en la práctica y aplicación de la Ingeniería en las industrias de carácter extractivas o también de transformación; en todas las industrias es importante la realización del balance de los materiales, de la misma manera la energía química que se libera a la energía que se absorbe. (Cruz y Postigo, 2021).

La combustión es una oxidación violenta de una sustancia seguida de una transformación de energía química en energía molecular y un aumento significativo de la temperatura de los reactantes con emisión de luz. (Cruz y Postigo, 2021).

2.2.1.1. Combustible

Los combustibles son sustancias que en presencia del elemento oxígeno se queman con suma facilidad, como el carbón, leña, hidrógeno, etc.

2.2.1.2. Comburente

El comburente lo constituye la sustancia que genera o activa la combustión como el oxígeno.

Los tres elementos fundamentales para que se produzca la combustión son:

- Combustible
- Comburente



- La temperatura necesaria para la combustión

2.2.1.3. Análisis de combustibles

El análisis se puede realizar de dos maneras:

- a) **Análisis gravimétrico**, a través del cual se especifica los porcentajes de los diferentes elementos químicos que constituyen el combustible, el análisis gravimétrico de un gas de una destilación del petróleo es: 68.58% C, 14,94% O₂ y 16,48% H₂.
- b) **Análisis volumétrico**, a través del cual se especifica los porcentajes en volumen de los compuestos que constituyen el combustible, se emplea en combustibles en estado gaseoso. Para un gas de una destilación del petróleo: 10% CO₂; 22% H₂; 5% CO, 28% CH₄, 12% C₂H₄; 6% C₂H₆; 7% C₃H₆ y 10% C₃H₈.

2.2.1.4. Procesos de combustión

Algunos conceptos previos y básicos son:

a) Ecuación de reacción

Es una ecuación cuantitativa de las sustancias presentes en la reacción:



b) Reactivos

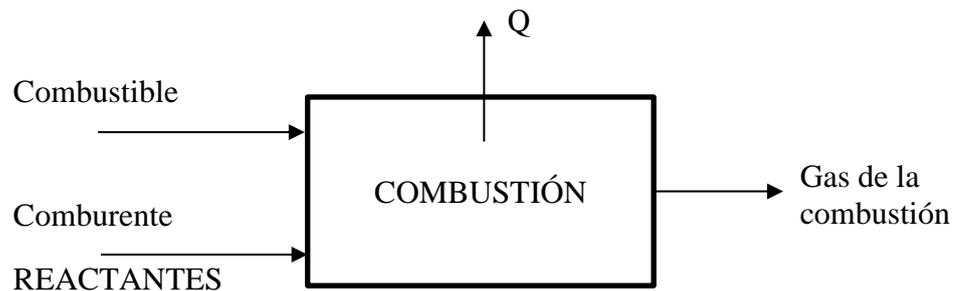
Lo constituyen las sustancias que intervienen en la combustión, es decir el combustible y también el comburente.

c) Productos

Los productos son sustancias producidas durante el proceso de combustión.

Figura 1

Elementos de la combustión



Fuente: Elaboración propia

d) Combustión ideal

La combustión ideal es la reacción química determinada por una ecuación química balanceada, llamada combustión teórica.

e) Combustión completa

Combustión donde en los productos no se genera monóxido de carbono (CO). El elemento carbono se oxida completamente para dar lugar al CO₂.

f) Combustión incompleta

Es la reacción química con CO en sus productos, la reacción del carbono da lugar al CO y CO₂ cuyas proporciones no se conocen en función del oxígeno empleado y su procedimiento de mezcla del aire con el combustible; se produce disociación si la temperatura es alta.



g) Aire estequiométrico

Denominado aire teórico (at), es el aire que contribuye con el oxígeno necesario para que la reacción sea una combustión completa.

h) Mezcla estequiométrica

Mezcla constituida por aire y combustible en proporciones para que reaccionen en una combustión completa, es decir contiene aire estequiométrico no determina que la combustión sea completa.

i) Relación aire-combustible

La relación aire combustible en una combustión es la relación existente entre las masas del aire y el combustible empleados.

$$r_{a/c} = \frac{m_a}{m_c}$$

j) Relación combustible-aire

La relación combustible-aire en una combustión es la relación existente entre las masas del combustible y el aire empleadas.

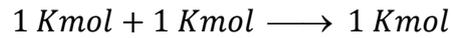
$$r_{c/a} = \frac{m_c}{m_a} = \frac{1}{r_{a/c}}$$

k) Combustión ideal con oxígeno

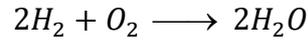
Consideremos la combustión de los elementos combustibles con el oxígeno:

- Combustión del carbono:

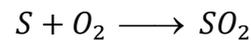




- Combustión del hidrógeno:



- Combustión del azufre:



Generalmente el número de moles de los reactantes es diferente a los del producto, porque existe una proporción al número de moléculas, pero si, la masa de los reactantes debe ser igual a la de los productos.

2.2.2. Combustión con aire

En el campo práctico las combustiones no se efectúan con oxígeno puro, sino con el oxígeno del aire de la atmósfera.



2.2.2.1. Composición del aire atmosférico

El aire de la atmósfera es una mezcla de O_2 , N_2 , Ar, CO_2 , Ne, H_2 , He y vapor de agua en función de las condiciones ambientales. La composición volumétrica del aire es:

Nitrógeno : 79%

Oxígeno : 21%

Otros gases : 1%

En aplicaciones prácticas se considera 79% de nitrógeno y 21% de oxígeno en volumen. En los cálculos es útil las siguientes consideraciones:

- a) En 100 Kmoles existen 21 Kmoles de O_2 y 79 Kmoles de N_2 , por lo tanto por 1 Kmol de O_2 entran $79/21 = 3,76$ Kmol de N_2 y por 1 Kmol de O_2 entran $100/21 = 4,76$ Kmol de aire.
- b) En una combustión por cada 100 Kg de aire hay 23 Kg de O_2 y 77 Kg de N_2 , entonces por 1 Kg de O_2 entran $77/23 = 3,35$ Kg de N_2 y por 1 Kg de O_2 entran $100/23 = 4,35$ Kg de aire.

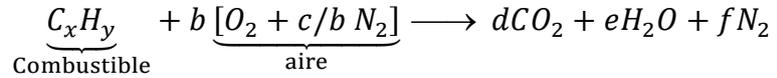
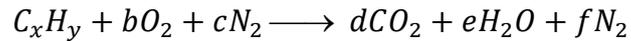
Es importante tener presente que la composición del aire casi no varía hasta una altitud de 20 Km sobre el nivel del mar.

2.2.2.2. Combustión ideal con aire

Se considera que el H_2 se oxida y forma agua (H_2O) y el carbono (C) se oxida y forma dióxido de carbono (CO_2), el azufre se oxida y formando SO_2 o SO_3 que produce ácido sulfúrico que es muy corrosivo.



Para un hidrocarburo:



2.2.2.3. Combustión ideal con exceso de aire

El combustible no se quemaba totalmente si en el proceso de la combustión solo se utiliza la cantidad teórica de aire, por lo que se necesita exceso de aire para que se produzca la combustión completa. Para reacciones químicas utilizando exceso de aire, se tienen las siguientes definiciones:

a) Aire real (a_r)

El aire real se refiere a la cantidad de aire utilizada en la combustión.

b) Exceso de aire (e_x)

El exceso de aire está definido por la siguiente expresión:

$$e_x = \frac{a_r - a_t}{a_t} \times 100$$

c) Porcentaje de aire teórico ($\%a_t$)

Definido por la siguiente expresión:

$$\%a_t = \frac{a_r}{a_t} \times 100$$

d) Mezcla rica

Se denomina mezcla rica cuando contiene menor cantidad de aire que la estequiométrica, es decir aire en defecto.

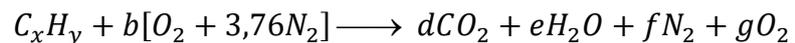


e) Mezcla pobre

Se denomina mezcla pobre cuando el aire contiene mayor cantidad de aire que la estequiométrica; es decir aire en exceso.

Cuando se afirma que la combustión está empleando 180% de aire teórico, se interpreta que se está usando 80% de exceso de aire.

En una combustión completa su ecuación de reacción será la siguiente:



2.2.3. Combustión real

En las situaciones prácticas las combustiones siempre serán incompletas incluso si la reacción es con aire en exceso o con aire teórico. Se utiliza exceso de aire para que en los productos de la combustión se forme la menor cantidad de monóxido de carbono (CO).

2.2.3.1. Combustión con deficiencia de aire

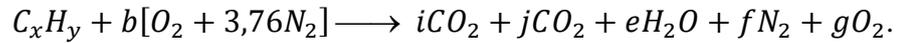
Cuando la combustión es con deficiencia de aire el carbono en la reacción forma monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) en proporción a la deficiencia del aire en la reacción, se calcula a través del balanceo de la ecuación. Si la deficiencia es excesiva queda combustible sin quemar que aparece en los productos.

La combustión es importante que sea completa para que se libere la mayor cantidad de energía química; cuando un Kmol de carbono reacciona completamente para producir CO₂ entonces libera 3,5 veces más energía, que cuando reacciona para producir monóxido de carbono (CO).



2.2.3.2. Combustión real con exceso de aire

En este tipo de combustión la ecuación de la reacción química es la siguiente:



Para el balanceo de la ecuación los coeficientes i , j , e , f y g . Se determina considerando la información recabada empleando los métodos de análisis de productos de la combustión.

2.2.3.3. Análisis de los productos de la combustión

El objetivo del análisis de los productos de la combustión es la determinación de las composiciones de los productos de la combustión denominados gases de combustión, la información a obtener es la siguiente:

- a) Relación aire-combustible.
- b) Composición con cierta aproximación del combustible.
- c) Pérdidas de energía por combustión incompleta, por la existencia del CO.
- d) Exceso de aire.

2.2.3.4. Cálculos que permite realizar el análisis de productos

El análisis de productos de la combustión permite realizar los siguientes cálculos de diferentes casos que se pueden presentar:

- a) Teniendo como dato la fórmula del combustible y la información proporcionada por el análisis de los productos de la combustión.



- b) Conociendo la composición química del combustible y la información proporcionada por el análisis de productos de la combustión.
- c) Conociendo la información proporcionada por el análisis de los productos de la combustión y, teniendo un combustible de fórmula desconocida.

2.2.3.5. Poder calorífico

El poder calorífico es la mayor cantidad posible de calor que se puede transferir de los productos de la reacción de una combustión completa, enfriándolos hasta la temperatura que tenía inicialmente la mezcla aire combustible, en el proceso de combustión se genera vapor de agua que al enfriarse parte del vapor de agua liberará calor al condensarse. Según el proceso de la combustión y la proporción de la cantidad del vapor de agua condensado, podría tenerse muchos poderes caloríficos para cada combustible, para no tener este problema se definen dos tipos de poder caloríficos:

a) Poder calorífico alto

Es el poder calorífico cuando el vapor de agua que se forma en el proceso de la combustión se condensa totalmente, al enfriarse hasta una temperatura igual a la de los reactantes.

b) Poder calorífico bajo

Es el poder calorífico cuando el vapor de agua que se forma en el proceso de la combustión no se condensa al enfriarse hasta una temperatura igual a la de los reactantes.



Se demuestra que la diferencia entre estos dos poderes caloríficos es igual al calor latente del vapor de agua que se forma durante la combustión, a la temperatura que tiene la mezcla aire-combustible al inicio.

2.2.4. Combustibles

Combustible es un material que es capaz de liberar energía en el proceso de oxidación de manera violenta y desprendiéndose calor poco a poco. La energía química que se libera se utiliza como energía térmica o en forma de energía mecánica en motores de combustión interna. (Ortiz, 2015)

2.2.4.1. Combustibles fósiles

Los combustibles fósiles son materias primas que son utilizadas en la combustión, se formaron de plantas y organismos vivos que vivieron en el pasado de la tierra, como los diferentes tipos de carbón, el petróleo y gas natural.

Los diferentes tipos de carbón como el lignito y la turba se originan en restos de árboles y plantas de los bosques que se sumergieron en pantanos y se pudrieron por acción y bacterias y el agua, cubriéndose paulatinamente de capas de fangos y posteriormente se solidificaron, transformándose en rocas.

El petróleo probablemente se generó en una composición y bacterias provenientes de restos de animales y vegetales en especial el plancton, que se encontraban muy próximos a lagos y mares, en cuyas profundidades fueron cubiertas por el agua, capas de sedimentos, y su



descomposición generó los combustibles líquidos como el petróleo o el gas natural. Los combustibles petróleo, carbón y el gas natural están constituidos principalmente por hidrocarburos; quienes dan origen a combustibles derivados empleados como insumos de muchos procesos químicos de naturaleza orgánica.

2.2.4.2. Carbón y derivados

La turba es el primer combustible de origen fósil usado por el hombre, que constituye la primera fase de la formación del combustible carbón. Los pantanos son el lugar de los yacimientos de la turba que tienen particularidades en condiciones topográficas y climáticas, que tienen suelos que retienen el agua en su superficie o muy cerca a ella con una temperatura que no produce la evaporación del agua y sí una putrefacción a temperaturas entre 5°C a 9°C; en zonas templadas de Europa existen grandes yacimientos de turba. En el interior de la tierra por su temperatura y presión que ejercen las capas de lodo y arena sobre la turba se formó el lignito considerado como el carbón en proceso de formación, hasta transformarse en la hulla que es el carbón bituminoso, que actualmente es el más empleado y abundante en la naturaleza y, finalmente se transforma en la antracita, que es el carbón de formación más actual. Durante la formación del carbón sus componentes fueron variando desde el 50% de la turba hasta un porcentaje cercano al 25% en variedades de hulla, se considera carbón puro o grafito a un compuesto que tenga más del 95% de carbón, que solo arde a temperaturas muy altas y no tiene aplicación doméstica.



2.2.4.3. El petróleo y sus derivados

El petróleo se localiza en yacimientos en diferentes partes de la corteza de la tierra, es un líquido espeso constituido por muchos hidrocarburos, principalmente por alifáticos que tienen sus cadenas abiertas, pero también por hidrocarburos aromáticos y cíclicos, frecuentemente en bolsas de gas natural que todavía no completa su disolución en el petróleo, el cual traído del yacimiento y crudo no se puede aplicar en el comercio, siendo necesaria destilación fraccionada en las refinerías en distintas partes considerando su punto de ebullición; las fracciones del petróleo que tienen aplicación en la industria como combustible son los siguientes:

Tabla 1

Fracciones del petróleo

Facción	N. Carbonos	Aplicación
Gases	< 30	Combustible gasolina de polimerización, Negro de humo.
Gasolina	40 – 200	Combustible para motores y disolventes.
Queroseno	175 – 300	Combustible, alumbrado. Combustible motores diesel, gasolina por craqueo.
Gasoil	250 – 400	Craqueo
Coque de petróleo	---	Combustible, reductor, fabricación de electrodos.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5. La gasolina

La gasolina está formada por una mezcla de muchos hidrocarburos que son derivados del petróleo, se emplea como combustible de motores encendidos por chispa, sus fórmulas químicas son C_5H_{12} y C_9H_{20} . (Pemex, 2004). La gasolina proviene del petróleo la que se transforma en derivados utilizables para su comercialización, su color es rojo con olor característico agradable; sus propiedades fisicoquímicas se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 2

Características fisicoquímicas de la gasolina

Parámetros representativos	Unidades	Valor
Temperatura de ebullición	°C	33
Temperatura de inflamación	°C	46
Temperatura de autoinflamación	°C	200
Solubilidad en agua	-	Insoluble
Presión de vapor	atm	0,7
Densidad	g/cm ³	0,707 – 0,727
Poder calorífico inferior	KJ/Kg	44000
Poder calorífico superior	KJ/Kg	47300
Número de octanaje (RON-MOM)	KJ/Kg	91 – 80
Relación Estequiométrica	-	14,7 - 15

Fuente: Elaboración propia.



Las gasolinas tienen oxigenantes que son aditivos químicos que reducen los gases contaminantes emitidos al ambiente como el monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados, el Metil Tert Butil Eter (MTBE) es un éter que eleva el octanaje, este aditivo sustituye el plomo que era negativo para la salud, el MTBE es más económico que el plomo y producido en las refinerías de petróleo. (Pemex, 2004)

Las propiedades de la gasolina que influyen en el funcionamiento de un motor de combustión interna son:

a) Índice de octano

El octanaje es una característica relevante de la gasolina, mide la capacidad antidetonante de un combustible cuando está sometido al proceso de ignición en el cilindro del motor, los octanajes más comunes y obtenidos en laboratorio son:

- El octanaje ensayado en un motor estático o “Motor Octane Number” (MON).
- El octanaje “Research Octane Number” (RON)

El número de octano es un promedio de los dos octanajes anteriores.

Las gasolinas incluyen compuestos oxigenados para incrementar el octanaje y mitigar la contaminación del ambiente por el uso de plomo en las gasolinas.

b) Presión de vapor Reid

Los hidrocarburos líquidos tienen la tendencia a volatilizarse, lo cual se determina a través de la presión de un vapor Reid basada en normas ASTM D323 y D5191; esta presión con la ebullición de la gasolina se relaciona con la facilidad de encendido del motor.



c) Estabilidad a la oxidación

La estabilidad a la oxidación está relacionado al periodo de inducción para predecir que la gasolina forma gomas en su periodo de almacenamiento, lo cual también varía por la clase de gasolina y condiciones en que se almacena.

d) Relación vapor – líquido

La relación vapor-líquido es importante para determinar la tendencia que tiene la gasolina a vaporizar, se define una temperatura de equilibrio de la presión parcial a una presión de 101,3 KPa de una muestra y de 20 la relación del vapor líquido, se denota por $T_{(VL=20)}$; para lugares de baja temperatura ambiental se recomienda una $T_{(VL=20)}$ de valor bajo.

e) Uso de oxigenados en gasolina

Se usan los éteres y alcoholes para añadir como oxigenados a la gasolina, como el éter Metil Terbutil Eter (MTBE) y los alcohol.es metílico, etílico, terbutílico.

El MTBE tiene un impacto negativo en la salud de los humanos, su exposición al MTBE es probable que cause cáncer.

El uso de oxigenados en la gasolina mejora el aspecto de su volatilidad que influye en la combustión completa disminuyendo la emisión del CO por el incremento del oxígeno y reduce también emisiones tóxicas exhaustivas de hidrocarburos en un motor de combustión interna en un orden de 5,45% y; las del CO en un orden de 12,5% al añadir 4,8% de oxigenados a la gasolina.



2.2.5.1. Gasolina superplus

La gasolina superplus diseñado por Petroperú para la utilización en motores de combustión interna por chispa como automóviles, motocicletas y otros; se produce por destilación directa de la nafta, que constituye la fracción líquida de densidad más liviana del petróleo y es una mezcla de hidrocarburos de cinco a once átomos de carbono.

Para aumentar la vida útil y rendimiento del motor esta gasolina tiene aditivos de última generación.

Petroperú produce para el comercio nacional gasolinas de diferentes octanajes que se diferencian por su coloración, de acuerdo a normas nacionales e internacionales como la ASTM D-4814 de la American Society for Testing and Materials y SAE J-312 de la Society of Automotive Engineers.

Se estableció la comercialización y uso obligatorio de gasolinas y gasoholes Regular Regular y Premiun para uso del parque automotor por Decreto Supremo N° 014-2022-EM a partir del 01/01/2023.

La gasolina superplus tiene las siguientes características técnicas:

- En su coloración tiene un aspecto claro y brillante.
- Por tener un poder calorífico excelente genera una gran potencia.
- La gasolina tiene una volatibilidad balanceada que influye en forma positiva en el encendido del motor.



- El octanaje permite ser seleccionado según el manual de cada vehículo.
- El contenido de azufre es mínimo para evitar la corrosión y depósitos en el motor y el combustible.
- Tiene aditivos de última tecnología con propiedades detergentes, anticorrosión y de limpieza para el sistema del combustible del motor, lo que determina reducir los costos de mantenimiento.
- La gasolina contiene aditivos que disminuyen la emisión de contaminantes e hidrocarburos que no se queman con la finalidad de evitar la contaminación del medio ambiente.

En la tabla siguiente se muestran las especificaciones técnicas de la gasolina.



Tabla 3

Especificaciones técnicas de la gasolina

CLASE DE PRODUCTO		COMBUSTIBLE		Fecha efectiva: 01.01.2023	
TIPO DE PRODUCTO		COMBUSTIBLE USO MOTOR		Reemplaza edición de:	
NOMBRE DE PRODUCTO		GASOLINA REGULAR			
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO		
	MÍN.	MÁX.	ASTM	OTROS	
APARIENCIA	Claro/Brillante, libre de agua y partículas			Visual	
Color comercial	Rojo (b)			Visual	
VOLATILIDAD					
Gravedad API a 60°F	Reportar		D-1298, D-4052		
Densidad a 60°F, g/cc	Reportar		D-1298, D-4052		
Destilación, a 760 mm Hg, °C			D-86, D-7096, D-7345	ISO-3405	
Punto inicial de ebullición	Reportar				
5 %V recuperado	Reportar				
10 %V recuperado	65				
20 %V recuperado	Reportar				
50 %V recuperado	77	118			
90 %V recuperado	190				
95 %V recuperado	Reportar				
Punto final de ebullición	225				
Recuperado, %V	Reportar				
Residuo, %V	2.0				
Pérdida, %V	Reportar				
Relación vapor/líquido = 20, °C	47		D-5188, D-4814		
Presión de vapor, psi (KPa)	10 (69)		D-323, D-4953, D-5191, D-6378	ISO 3007, UNE EN 13016-1	
Índice de manejabilidad	630		D-4814		
CORROSIVIDAD					
Corrosión lámina de cobre, 3h, 50°C, N°	1		D-130	ISO 2160	
Azufre total, mg/Kg (c)	50		D-2622, D-3120, D-5453, D-6920, D-7039, D-7220	ISO-13032, ISO 20846, ISO 20884, ISO 8754	
ANTIDETONANCIA					
Número de octano Research	90.0		D-2699	ISO 5164	
COMPOSICIÓN					
Aromáticos, % Vol.	45		D-1319, D-5580, D-6839, D-6730	ISO 22854, UNE EN 15553	
Olefinas, % Vol.	25		D-1319, D-6839, D6730	ISO 22854, UNE EN 15553	
Benceno, % Vol.	2		D-3606, D-5580, D-6839, D6730	ISO 22854, UNE EN 238, UNE EN 12177	
Oxígeno, % masa	Reportar		D-4814, D-4815, D5599, D-5845, D-6730	ISO 22854, UNE EN 13132	
ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN					
Periodo de inducción, minutos	240		D-525	ISO 7536, UNE 51203	
CONTAMINANTES					
Gomas lavadas, mg/100mL	5.0		D-381	ISO 6246	
Plomo, g/L	0.013		D-3237, D-5059	UNE EN 237, UNE EN 13723	
Manganeso, mg/L	0.25		D-3831	UNE EN 16136	
OBSERVACIONES:					
(a) En concordancia con la Resolución Ministerial N° 469-2021-MINEM/DM.					
(b) Contiene colorante.					
(c) En los departamentos de Loreto y Ucayali, máximo 500 mg/Kg (D.S. 014-2021-EM).					

Fuente. Petroperú



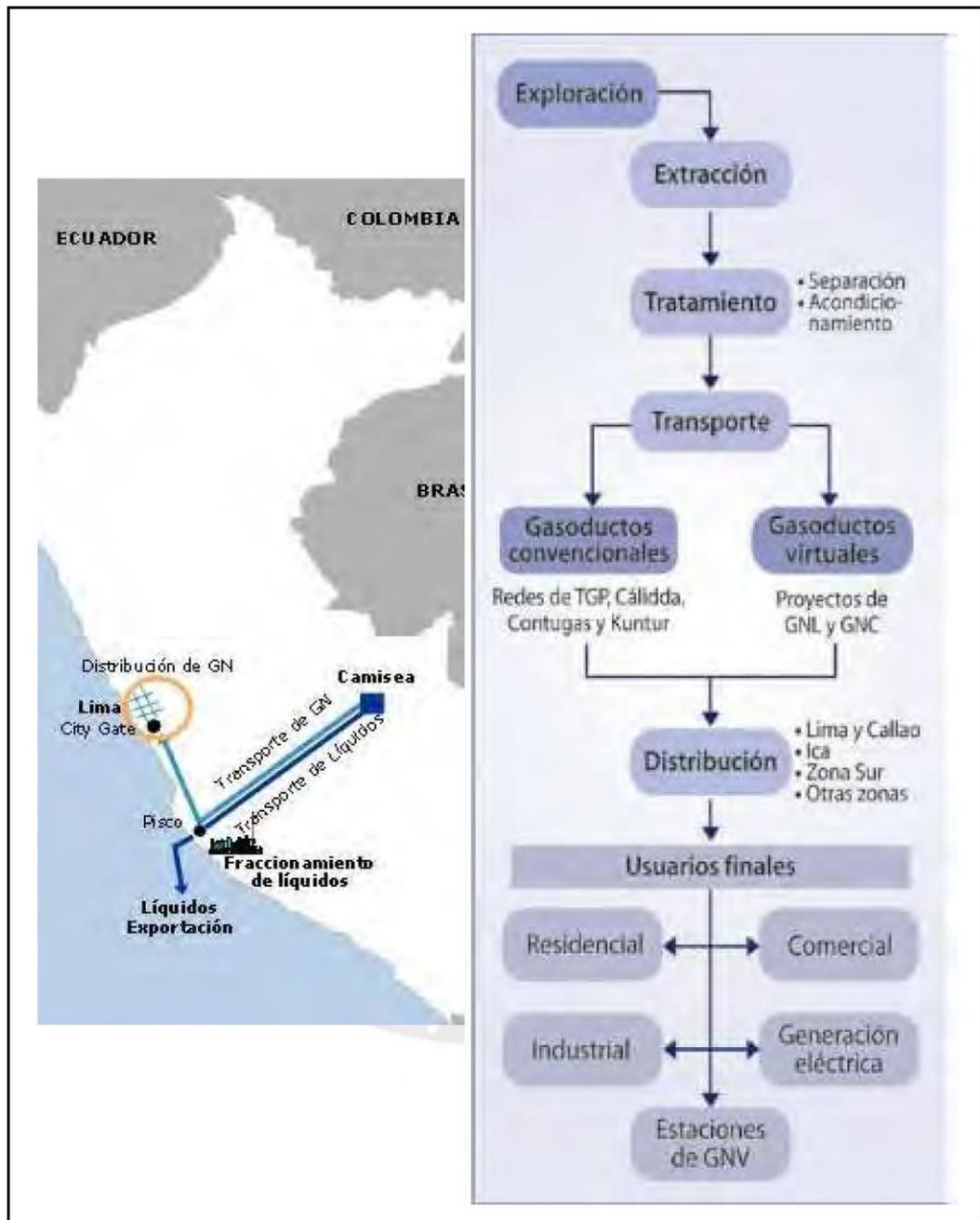
2.2.6. El gas natural

El uso en residencias en el Perú es desde el año 2005, porque se hizo efectivo el proyecto energético de Camisea, con planta de procesamiento para gas natural y construcción de un gaseoducto para proveer a la costa y a Lima; al mismo tiempo un poliducto hasta Pisco para el fraccionamiento del líquido del gas natural. (Machado, 2001)

Se llama gas natural porque su extracción es directa de la naturaleza y se consume sin que se realice alguna transformación química. Es la energía fósil que menos contamina y tiene un rendimiento desde el punto de vista energético mayor a otro combustible, lo que propicio la expansión de su uso significativamente. Es una mezcla de hidrocarburos, moléculas formadas por carbono e hidrógeno, gas no tóxico sin color ni olor; el metano (CH_4) es su componente principal.

Figura 2

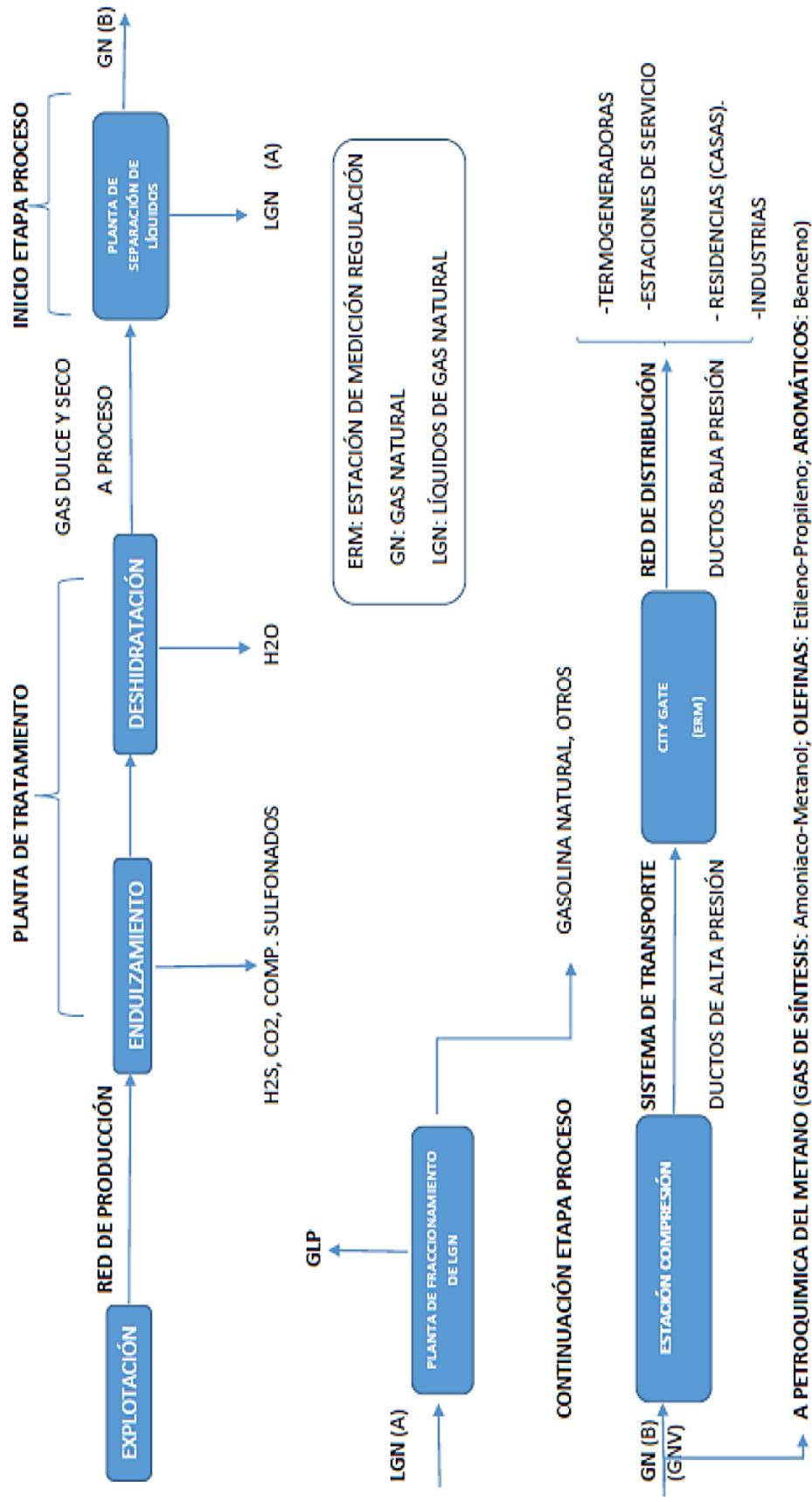
Cadena de suministro de gas natural – Proyecto Camisea



Fuente: OSINERGMIN

Figura 3

Mapa conceptual del gas natural



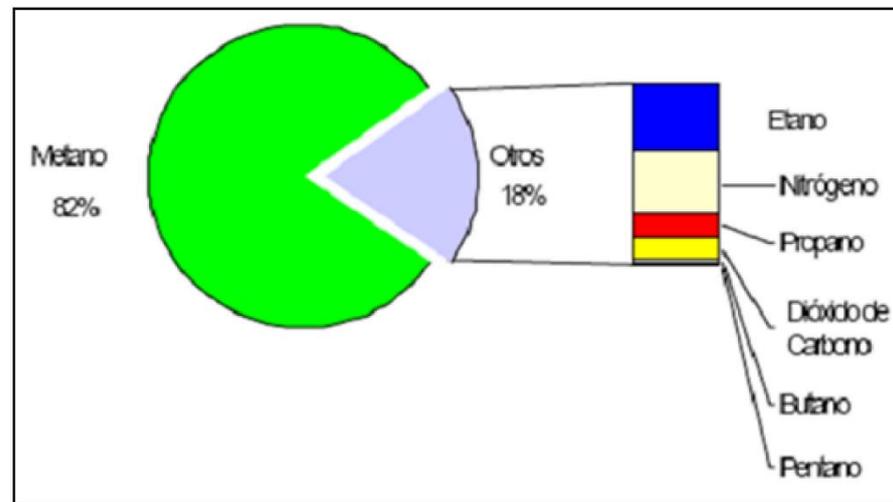
Fuente: OSINERGMIN

2.2.6.1. Composición del gas natural

Su composición varía por asociación con el ácido sulfhídrico (H_2S), nitrógeno (N_2), Helio (He), anhídrido carbónico (CO_2); en el gas natural la proporción del metano es de 82%, 10% de etano, 3% de propano, 0,1% de butano y 0,7% de nitrógeno. La temperatura de ebullición del metano es $158,9^{\circ}C$ considerada muy baja.

Figura 4

Composición del gas natural



Fuente: OSINERGMIN

Tabla 4

Composición del gas natural de Camisea

Component	Molar fraction
N_2	0.0054
CO_2	0.0058
H_2O	0.0000
Methane	0.8854
Ethane	0.1032
Propane	0.0002
i-Butane	0.0000
n-Butane	0.0000

Fuente: OSINERGMIN



2.2.6.2. Características del gas natural

El gas natural tiene las siguientes características:

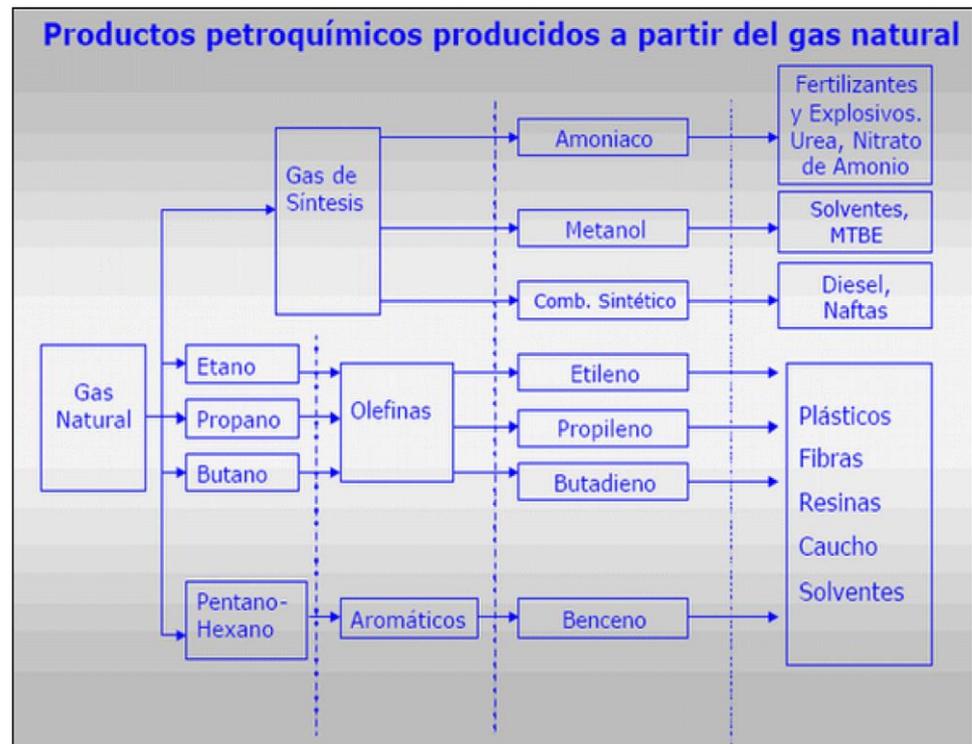
- Su estado en la naturaleza es gas, no tiene color ni olor, en el proceso de distribución se le añade el odorizante metilmercaptano para que sea fácil su detección si existiese fuga. (Machado, 2001)
- El gas natural es mucho más ligero que el aire, en caso que existiese fugas se eleva en forma rápida disipándose en el aire; es un gas no tóxico, podría producir asfixia al desplazar al oxígeno.

El gas natural por sus características físico-químicas del metano es un combustible excelente, baja contaminación ambiental y baja contaminación sonora en motores.

En muchos países del mundo se ha incrementado el uso del gas natural en vehículos, que produce 50% menos de CO₂ y 80% menos de óxido de nitrógeno (NO_x) que al utilizar gasolina y, no producen emisiones de plomo, azufre ni muchos menos compuestos aromáticos. (Machado, 2001)

Figura 5

Aplicaciones del gas natural



Fuente: OSINERGMIN

Figura 6

Producción de gas natural en el Perú.

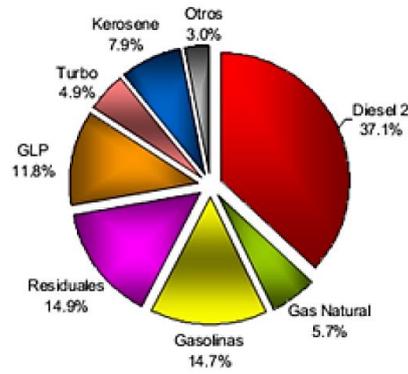


Fuente: OSINERGMIN

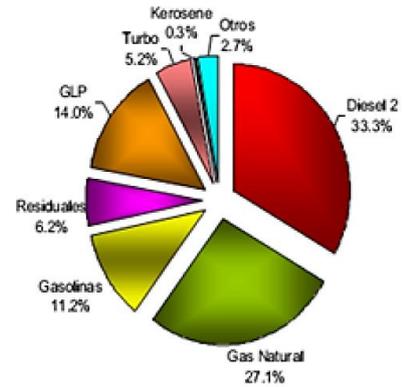
Figura 7

Matriz energética en el Perú.

Demanda Combustibles antes de Camisea 2003



Demanda Combustibles después de Camisea 2009



Fuente: OSINERGMIN



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Materiales para el análisis de gases de la combustión

El proyecto de investigación de tipo aplicativo o experimental se desarrolló con el objetivo de realizar el análisis termodinámico experimental de los gases de combustión de un motor de combustión interna, utilizando la energía de la gasolina y el gas natural; implica en primera instancia en el diseño del ensayo experimental determinar en qué modo de laboratorio se realizaría la investigación, no contándose en la Escuela Profesional de un Banco de Motores se decidió que el módulo de ensayo sería reemplazado por un vehículo que cumpliera las características técnicas que nos permitieron realizar los ensayos experimentales que nos permitieron obtener con la confiabilidad necesaria los datos experimentales; el ensayo técnico específico fue el análisis de gases de combustión funcionando con gasolina y gas natural.

Se realizó los ensayos experimentales el nivel al nivel del mar, en la ciudad capital Lima, por la disponibilidad técnica de que el módulo de ensayo, es decir el motor del vehículo pueda funcionar con gasolina y, a la vez con el montaje del dispositivo o kit necesario pueda funcionar también con gas natural; características técnicas experimentales que se adaptaron a la camioneta Nissan que fue utilizado como módulo experimental.

El ensayo técnico del análisis de gases de la combustión de un motor de combustión interna (Camioneta Nissan) requiere un equipo de medición, es decir,



un Analizador de gases para obtener datos experimentales de los gases de la combustión funcionando con gasolina y gas natural vehicular.

Los ensayos experimentales se realizaron al nivel del mar, Lima, porque en la ciudad capital existe la disponibilidad técnica en cuanto al módulo de ensayo (vehículo), el analizador de gases con la confiabilidad necesaria para los datos experimentales necesarios para la investigación y también la disponibilidad de suministro de gasolina y gas natural vehicular en los grifos, lo cual en el país solo lo tienen algunas ciudades.

3.1.1.1. Módulo de experimentación: Camioneta Nissan

El motor de Combustión interna empleado en la investigación es el de la Camioneta Nissan que se utilizará como módulo de experimentación; cuyas especificaciones técnicas son:

Tabla 5*Especificaciones técnicas del Nissan Qashqai*

FICHA TÉCNICA NISSAN QASQAI	
EQUIPAMIENTO BASE: Todas las versiones	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Motor	1.3 turbo
Número y disposición de cilindros	4
Tren de válvulas	16 válvulas
Potencia (hp / rpm)	155/5.500
Torque (nm / rpm)	265/4.600
Relación de compresión	(:1):10,5± 1
Sistema inducción	Turbo cargado
Norma de emisiones	Euro 6D
Combustible recomendado	95 octanos o superior
DIRECCIÓN	
Tipo de dirección	Eléctricamente asistida (EPS)
SUSPENSIÓN	
Delantera	MacPherson
Trasera	Multi-link
FRENOS	
Delanteros	Discos ventilados
Traseros	Discos ventilados
Asistente de frenado (BA)	•
Sistema antibloqueo de frenos (ABS)	•
Distribución electrónica de frenado (EBD)	•
DIMENSIONES EXTERIORES	
Distancia entre ejes (mm)	2.665
Largo (mm)	4.425
Ancho (mm)	1.835
Alto (mm)	1.625
CAPACIDAD	
Número de pasajeros	5
Capacidad maletero (Its)	430 detrás segunda fila
Capacidad tanque combustible (Its)	55
TECNOLOGÍA	
Sistema avanzado de batería de iones de litio de 12V (ALIS)	
Apoyo motor eléctrico 12V	
Motor con sistema Start Stop	
Sistema de recuperación de energía de frenado	

Fuente: Nissan

Figura 8

Camioneta Nissan Qashqai empleada en los ensayos experimentales (1)



Fuente: fotografía propia.

Figura 9

Camioneta Nissan Qashqai empleada en los ensayos experimentales (2)



Fuente: fotografía propia.

Figura 10

Camioneta Nissan durante los ensayos (1)



Fuente: fotografía propia.

Figura 11

Camioneta Nissan durante los ensayos (2)



Fuente: fotografía propia.



3.1.1.2. Analizador de gases empleado en los ensayos experimentales

El analizador de gases utilizado en los ensayos experimentales para el análisis de los gases de escape de la camioneta Nissan Qashqai AJQ537 funcionando con gasolina y gas natural vehicular fue el Analizador de los gases de escape marca Brain Bee – AGS-688, versión software: 1.364, N° Serie: 220914000324, perteneciente al laboratorio automotriz del taller AUTOGAS JIREH SAC, ubicado en la Av. 28 de Julio 278 de Jesús María Lima.

3.1.1.2.1. Características del analizador de gases Brain Bee AGS-688

El analizador tiene las siguientes características:

- Fabricado en Italia con tecnología de última generación bajo normas de la Comunidad Europea y Norma de Alemania.
- Es un instrumento que tiene capacidad de analizar 5 gases: HC, CO, CO₂ y NO_x.
- El analizador tiene una impresora térmica para proporcionar los datos experimentales medidos a través de un vaucher.
- Tiene display capaz de indicar 6 elementos.
- Para un fácil mantenimiento está equipado con un sistema neumático de acceso rápido.
- Se puede conectar a una computadora a través del puerto RS-232 del equipo.
- Posee un software para graficar en computadora.
- Tiene una sonda para medir las revoluciones (RPM).
- Se puede realizar el ajuste desde 1 cilindro hasta 12 cilindros.



- En analizador puede medir motores de 4 y 2 tiempos.
- Las revoluciones (RPM) se puede medir por medio de una pinza de inducción o capacitiva.
- E analizador es programable a través de un software proporcionado por el fabricante a través del cable RS-232.
- El analizador puede convertirse en opacímetro OPA-100 para el análisis de gases de motores diesel.
- Funciona en un rango de temperatura de 5°C a 40°C.
- El analizado permite el análisis de gases de vehículos funcionando con gasolina, gas natural y gas licuado de petróleo.

Figura 12

Analizador de gases de combustión Brain Bee AGS-688 (1)



Fuente: Fotografía propia.

Figura 13

Analizador de gases de combustión Brain Bee AGS-688 (2)



Fuente: Fotografía propia.

Tabla 6

Especificaciones técnicas del Brain Bee AGS-688

Características técnicas

Campo de medida:

CO	DE	0	A	9.99	%vol	Res. 0.01
CO2	DE	0	A	19.9	%vol	Res. 0.1
HC HEXANO	DE	0	A	9999	ppmvol	Res. 1
O2	DE	0	A	25	%vol	Res. 0.01
No	DE	0	A	5000	ppmvol	Res. 1
Lambda	DE	0.5	A	5		Res. 0.001
REVOLUCIONES (INDUCCIÓN/CAPACITIVA)...	DE	300	A	9990	rpm	Res. 10
TEMP. ACEITE	DE	20	A	150	°C	Res. 1

Cámara de medición: AMB2 Sensores

Aspiración gas de medición 4 l/min. (con conexión de 6m de sonda gas)

Eliminación condensación automática y continua

Prueba de estanqueidad semiautomática con cierre manual de la sonda de extracción

Control automático del flujo mínimo

Control automático sensor O2 agotado (< 5mV)

Filtros de protección cabezales agua/gas de la bomba posicionados en el exterior para evitar remover los sellos para abrir el aparato

Compensación automática de la presión. Ambiente de 850 a 1060 KPa

Calibrado con bombona gas modelo

Reseteo automático

Tiempo de calentamiento a 20 °C: 10 minutos máximo

Tiempo de respuesta CO, CO2 y HC < 15 seg.

Conexiones:

Adquisición RPM por cable mediante pinza de inducción o pinza capacitiva

Entrada temperatura aceite de la sonda PT100 (DIN43760)

Recepción rpm/temperatura aceite vía cable RS-232, radio 433MHz opcional

Conexiones de serie: PC USB B (slave mode); PC RS-232 (9600, N, 8,1); PC en red RS-485 (9600, N, 8,1)

Programación/actualización software vía cable RS-232

Posibilidad de convertirse en interfaz operador hacia opacímetro OPA-100

Impresora térmica de 24 columnas integrada

Alimentación 12 VDC típica (11-15VDC)

Consumo 1.5A DC (3A para impresión informe de la prueba)

Temperatura de funcionamiento de 5 a 40°C

Dimensiones 434x190x291 mm

Peso 5Kg (peso estimado)

Fuente: Brain Bee Automotive

3.2. MÉTODOS

Los métodos empleados para lograr los objetivos propuestos en la investigación de tipo aplicada experimental fue realizar el análisis de gases de combustión porque la metodología fue experimental basada en el manual del analizador de gases equipo completamente automatizado que funciona con un software proporcionado por el fabricante, fundamentos técnicos que nos permitieron diseñar el procedimiento metodológico experimental para la medición de datos experimentales. Para cumplir otro objetivo, es decir los cálculos para determinar las relaciones aire-combustible, porcentaje de exceso de aire, pérdida de energía y las partes por millón de HC, la metodología está fundamentada en el análisis termodinámico de los gases de combustión interna.

3.2.1. Método para realizar el análisis de gases de combustión

El procedimiento metodológico para recabar los datos experimentales de los gases de combustión de una camioneta Nissan funcionado con gasolina y gas natural, realizado al nivel del mar en la ciudad de Lima en el Taller Autogas JireH SAC, es el siguiente:

1. Nos familiarizamos previamente con el analizador de gases Brain Bee ASG-688 a través del manual de la Máquina y en forma presencial por visitas técnicas al taller para la observación y experimentación del equipo con el técnico automotriz encargado del manejo del analizador de gases.
2. Se realizaron pruebas preliminares sobre la operación y funcionamiento de la Camioneta Nissan, verificando su prendido y arranque normal; de la misma manera el suministro de los combustibles de gasolina premium equivalente a 95 octanos que utiliza la Camioneta Nissan y el gas natural vehicular (GNV).

3. Se ubicó el equipo del analizador en una superficie plana, estable y de fácil acceso al lado posterior del equipo.
4. Para un correcto funcionamiento del analizador se hizo un reconocimiento en detalle del equipo para recabar los parámetros de medición en forma óptima.
5. En la parte delantera observamos la impresora, la pantalla con recuadros para medir el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂), los residuos de hidrocarburos (HC), el oxígeno (O₂), lambda y óxidos de nitrógeno (λ /NO_x) y revoluciones y temperatura del motor (RPM/T°) optativo por requerir conexión de equipos adicionales.

Figura 14

Vista anterior del Brain Bee AGS -688.

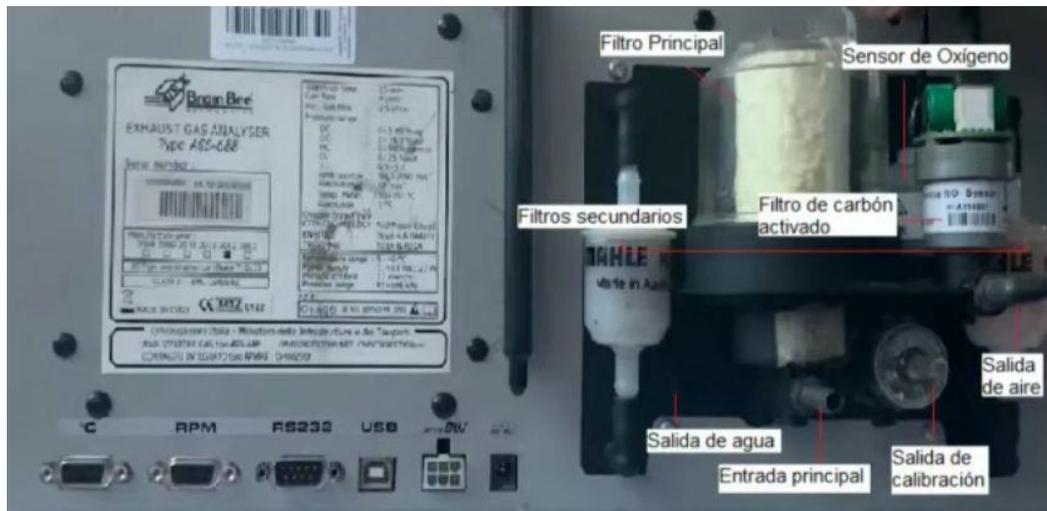


Fuente: Fotografía propia.

6. En la parte posterior del equipo se observó filtros, sensor de O₂, toma para salida de los gases medidos, toma para la calibración del equipo y salida para el agua condensada, filtros de carbón activado para la toma de muestras de aire limpio y en la parte izquierda tomas para conexiones al equipo, como el cable con adaptador de 110-220 V, para la computadora, puertos para RPM, para la sonda de temperatura y toma para el opacímetro.

Figura 15

Vista posterior del Brain Bee AGS – 688



Fuente: Fotografía propia.

7. Se procedió a alimentar al equipo con electricidad con la conexión a la toma de adaptador 110-120 V.
8. Se encendió el equipo apretando el botón POWER y la pantalla mostró el menú 01 para medición de gas (menú 02 para gasolina).

Figura 16

Menú 01-Analizador de Gases



Fuente: Fotografía propia.

9. Se conectó la sonda de medición de gases que tiene un filtro en línea para

evitar partículas.

Figura 17

Sonda de medición de gases de escape



Fuente: Fotografía propia.

10. Se inició el proceso de medición apretando el botón ENTER, menú 01 medición (Gas o gasolina).
11. Se procedió a extraer la punta de la sonda del orificio y luego apretamos ENTER y el equipo entra automáticamente en proceso de CALENTAMIENTO que se muestra en la pantalla, el calentamiento por norma dura de 2-10 minutos, duró 7 minutos por la temperatura ambiental.

Figura 18

Proceso de Calentamiento del Analizador



Fuente: Fotografía propia.

12. El equipo automáticamente entró en prueba de ESTANQUEIDAD para que el circuito neumático no tenga fugas que puedan afectar la exactitud de las mediciones, en la parte inferior de la pantalla indica cierre de sonda, para lo que se colocó la puerta de la sonda en el orificio que tiene el mango de la sonda, apretamos ENTER se enciende la bomba de vacío y esperamos hasta que la pantalla en la parte inferior muestra ACABADO.

Figura 19

Prueba de Estanqueidad del Analizador



Fuente: Fotografía propia.

13. Terminado el calentamiento la pantalla muestra el modo AUTOCERO obligatorio por norma mundial, durante el cual el equipo toma muestra de aire puro a través del filtro de carbono activado (parte posterior) reteniendo partículas e impurezas, en la parte inferior de la pantalla se muestra EN CURSO indicando que culminó la prueba de AUTOCERO.

Figura 20

Modo AUTOCERO del Analizador

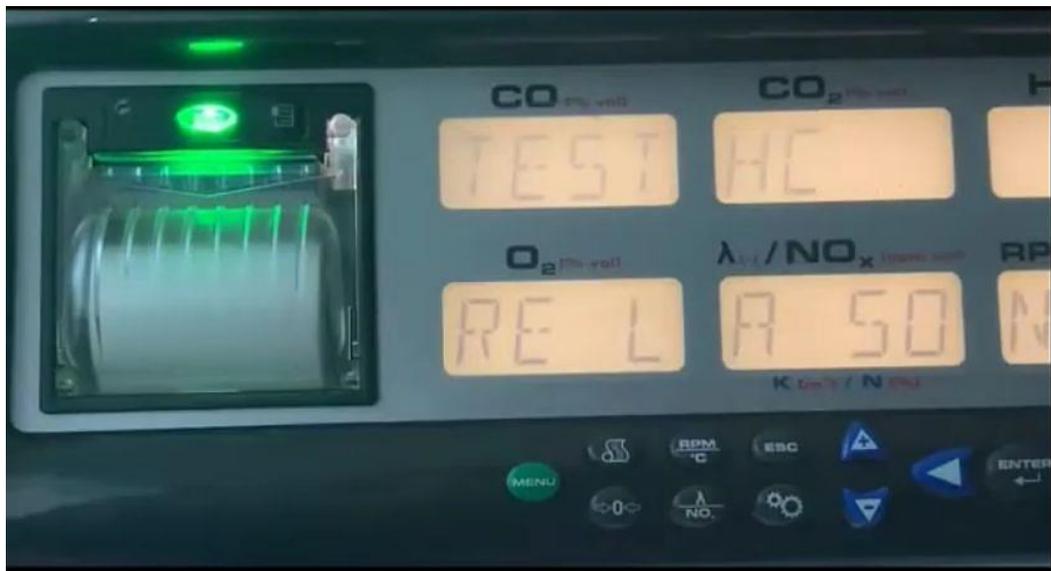


Fuente: Fotografía propia.

14. Y automáticamente después el equipo ingresa a la prueba HC y la pantalla pide retirar la sonda del vehículo si estuviera conectado, luego se procedió a presionar el botón ENTER y el equipo comienza a medir los residuos de partículas de hidrocarburos HC en partes por millón (ppm).

Figura 21

TEST HC del analizador



Fuente: Fotografía propia.

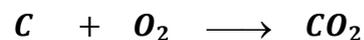
15. Se procedió a medir las emisiones de gases, colocando la sonda en el tubo de escape para tomar las mediciones en % de volumen de CO, CO₂, HC, O₂, λ (NO_x y RPM/T° opcional por ser necesario equipos adicionales).
16. Se observó en la pantalla que los valores en los recuadros se estabilicen para proceder a la impresión.
17. Se procedió a la impresión presionando el botón PRINTER luego ENTER, obteniendo el reporte de la impresión a través del vaucher respectivo.
18. Luego la pantalla queda en *stand by* y regresa al modo 01 de medición, a la espera de nuevo vehículo.



3.2.2. Método para calcular los parámetros de la combustión de los gases de combustión

La combustión se define como una reacción química en el que se realiza oxidación de una manera rápida, en la que se realiza la unión de un combustible con el elemento oxígeno, con emisión de calor, proceso que se efectúa en la fase de gas o puede ser heterogénea. Los niveles de combustión son varios desde una combustión relativamente lenta hasta una violenta o con nivel de detonación, cuyo proceso se ve influenciado por la afinidad del combustible con el elemento oxígeno y las condiciones de la combustión como la temperatura, tiempo y nivel de turbulencia. La condición de afinidad la cumplen el carbono y el hidrógeno, elementos principales de los combustibles.

La reacción química del oxígeno y carbono se realiza de acuerdo a las leyes fijas:



Considerando moles: $1 + 1 \longrightarrow 1$

Considerando en peso: $12 + 32 \longrightarrow 44$

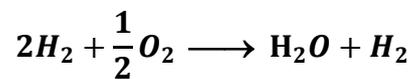
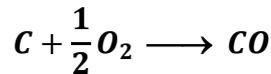
Esta reacción química expresa que el peso molecular de 1 carbono reacciona con el peso molecular de 1 oxígeno para generar 1 peso molecular del compuesto del anhídrido carbónico.

La reacción química produce una combustión completa si se oxida completamente el combustible liberando el total de la energía, es decir si la reacción del carbono y oxígeno da lugar al anhídrido carbónico.

La reacción química de una combustión incompleta es la que se realiza en



la práctica realmente:



Se produce porque la reacción química no tiene oxígeno suficiente, es una mezcla no perfecta del oxígeno con el combustible, porque el tiempo y la temperatura no son suficientes para mantener una combustión perfecta.

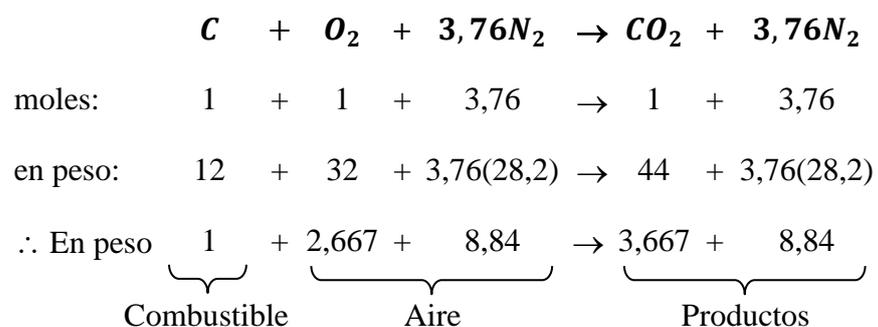
El oxígeno del aire tiene mucho nitrógeno, y su separación no es fácil, el nitrógeno en la reacción genera pérdida de calor o energía porque no interviene en la combustión; al reaccionar tienen igual relación molar y volumétrica, por ser gases que se encuentran a la misma temperatura:

$$\frac{\text{moles } N_2}{\text{moles } O_2} = \frac{79\%}{21\%} = 3,76$$

Es decir, por un mol de oxígeno existe 3,76 moles de nitrógeno en el aire atmosférico.

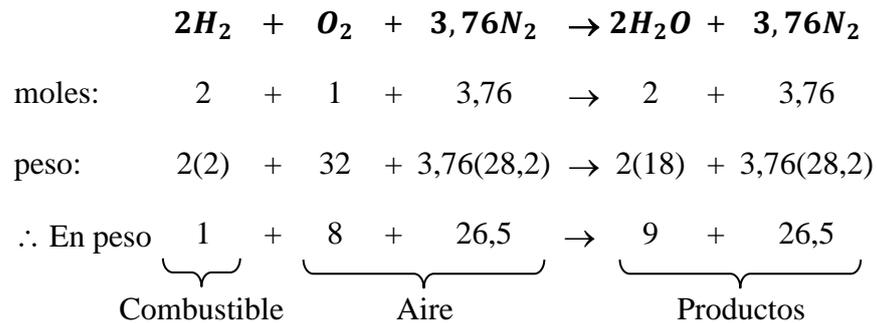
En las reacciones químicas estequiométricas:

- **Para la combustión del carbono del aire:**

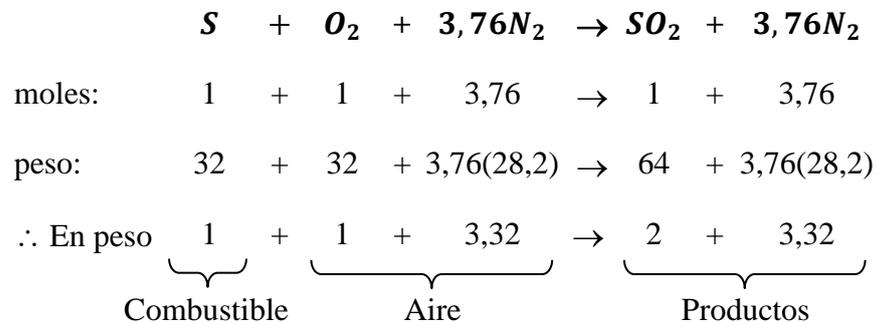




- **Para la combustión del hidrógeno presente en el aire:**



- **Para la combustión del azufre en el aire:**



Al iniciarse la combustión y alcanzada la temperatura de ignición, el calor generado mantiene el proceso de ignición.

En los cálculos del aire teórico para la combustión:

Se considera las relaciones aire-elemento:

$$\frac{\text{aire}}{\text{carbono}} = 11,5 \qquad \frac{\text{aire}}{\text{hidrógeno}} = 34,5 \qquad \frac{\text{aire}}{\text{azufre}} = 4,325$$

Para el cálculo del peso necesario del aire teórico para quemar 1 Kg de combustible determinado:

$$m_{at} = 11,5C + 34,5(H - O/8) + 4,325S$$

C, H, O y S: % en peso de carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre por cada

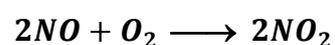
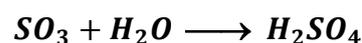
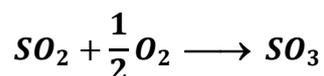
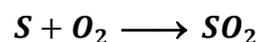
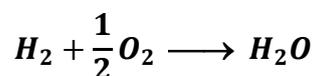
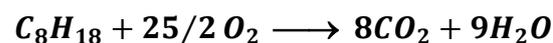
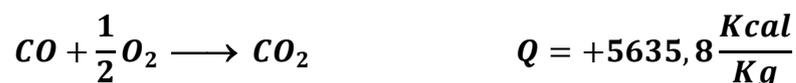


kilogramo del combustible.

El hidrógeno y el oxígeno están en una relación de combinación de 1 a 8 en peso, por lo que el peso del hidrógeno que se dispone para la oxidación es de $H - O/8$.

La combustión con porcentaje de exceso de aire, es necesario porque las proporciones estequiométricas no generan combustiones completas, siendo necesario usar mezclas que contengan cantidades mayores que las estequiométricas para obtener oxidación completa del combustible. El objetivo es usar el mínimo porcentaje de exceso de aire para generar combustión completa, elevados excesos disminuyendo la eficiencia de los equipos.

Los productos que se generan o producen en una combustión de diferentes elementos:





El objetivo de realizar un análisis químico de los productos de una combustión es establecer y determinar si el proceso de combustión se realizó completamente y calcular el exceso de aire que se empleó, en forma principal del dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), oxígeno (O_2) y nitrógeno (N_2).

3.2.2.1. Método para determinar la relación aire-combustible real

($R_{a/c}$)

Con los datos experimentales obtenidos con el analizador de gases Brain Bee AGS-688:

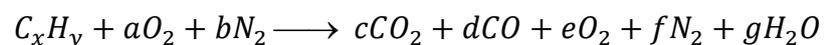
$$\text{CO}_2 = m\%$$

$$\text{O}_2 = n\%$$

$$\text{CO} = p\%$$

$$\text{N}_2 = q\%$$

La ecuación química para la combustión real o incompleta es la siguiente:



Luego empleando los porcentajes obtenidos experimentalmente con el analizador de gases:

$$c = m; \quad d = p; \quad e = n; \quad f = q$$

Teniendo en cuenta que la composición del aire en forma volumétrica es:

$$\text{Nitrógeno} \quad : 79\%$$



Oxígeno : 20,99%

Por consiguiente, en la ecuación química de combustión:

$$\frac{b}{a} = \frac{79}{20,99} = 3,76$$

Realizando el balance de la ecuación química de combustión:

$$x = c + d$$

$$x = m + p$$

Operando coeficientes de la ecuación:

$$2a + 2c \longrightarrow d + 2e + g \quad (1)$$

Pero sabemos que:

$$\frac{b}{a} = 3,76 \quad \text{despejando:} \quad a = \frac{b}{3,76}$$

Por consiguiente:

$$a = \frac{q}{3,76}$$

De la ecuación (1):

$$g = 2a - (2c + d + 2e)$$

$$g = 2 \left(\frac{q}{3,76} \right) - (2m + p + 2m)$$

Balanceando en la Ecuación:

$$y = 2g$$

$$y = 2 \left[2 \left(\frac{q}{3,76} \right) - (2m + p + 2m) \right]$$



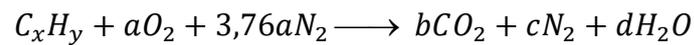
Entonces, la relación aire-combustible real ($R_{a/c}$) se calculará de la siguiente manera:

$$R_{a/c} = \frac{\left(\frac{32 \text{ lb}}{\text{mol } O_2}\right) (\text{moles } O_2) + \left(\frac{28 \text{ lb}}{\text{mol } N_2}\right) (\text{moles } N_2)}{\left(\frac{12 \text{ lb}}{\text{mol } C}\right) (\text{moles } C) + \left(\frac{1 \text{ lb}}{\text{mol } H}\right) (\text{moles } H)} \quad (2)$$

Al aplicar la ecuación (2) consideramos que el análisis en base volumétrica es igual al análisis molecular.

3.2.2.2. Método para determinar la relación aire-combustible teórica ($r_{a/c}$)

Considerando la ecuación de combustión:



Balanceando la ecuación:

$$b = x$$

$$2d = y \quad \text{de donde: } d = y/2$$

$$\text{También: } 2a = 2b + d$$

$$a = \frac{2b + d}{2}$$

Por consiguiente, la expresión para calcular $r_{a/c}$ teórica es similar a la ecuación (2):

$$R_{a/c} = \frac{\left(\frac{32 \text{ lb}}{\text{mol } O_2}\right) (\text{moles } O_2) + \left(\frac{28 \text{ lb}}{\text{mol } N_2}\right) (\text{moles } N_2)}{\left(\frac{12 \text{ lb}}{\text{mol } C}\right) (\text{moles } C) + \left(\frac{1 \text{ lb}}{\text{mol } H}\right) (\text{moles } H)} \quad (2)$$

Donde:

$$\text{moles } C = x$$



moles $H = y$

moles $N_2 = 3,76a$

moles $O_2 = a$

3.2.2.3. Método para determinar el porcentaje de exceso de aire

Para determinar el % que representa la relación aire-combustible real ($R_{a/c}$) con respecto a la $r_{a/c}$ teórico, lo establecemos por una regla de tres simple:

$$r_{a/c} \longrightarrow 100\%$$

$$R_{a/c} \longrightarrow x\%$$

Operando:

$$x\% = \frac{R_{a/c}}{r_{a/c}} \times 100 = \%R_{a/c}$$

Entonces el % de exceso de aire lo determinamos:

$$\% \text{ Exceso de aire} = \%R_{a/c} - \%r_{a/c}$$

Operando:

$$\% \text{ Exceso de aire} = \frac{R_{a/c}}{r_{a/c}} \times 100 - 100$$

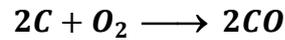
Entonces:

$$\% \text{ Exceso de aire} = \left(\frac{R_{a/c}}{r_{a/c}} - 1 \right) \times 100$$

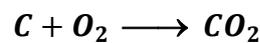


3.2.2.4. Método para calcular la pérdida de energía o calor por combustión incompleta (E_{pci})

Las reacciones químicas que se producen en la combustión son:



En cuya reacción se genera un calor o energía de combustión de 3960 BTU/lb de combustible. Y la siguiente reacción química:



En cuya reacción se genera un calor o energía de combustión de 14150 BTU/lb de combustible.

Estableciendo la expresión que nos permite calcular la pérdida de calor o energía por combustión incompleta:

$$E_{pci} = \frac{\%CO}{\%CO_2 + \%CO} \times 0,85(14150 - 3960) \frac{BTU}{lb \text{ combustible}}$$

Donde los términos establecen que:

- $\frac{\%CO}{\%CO_2 + \%CO}$ = Cantidad porcentual de CO en los gases de escape, de las reacciones de combustión del C y O.
- **0,85** = Porcentaje en peso del carbono (C) presente en el combustible.
- **(1450 - 3960)** = Cantidad de energía en BTU que se pierde por reaccionar a CO y no a CO₂.
- $\frac{\%CO}{\%CO_2 + \%CO} \times 0,85$ = Cantidad de carbono que reacciona a CO por lb de combustible.



3.2.2.5. Método para determinar las partes por millón de HC (hidrocarburos no quemados)

El método para determinar las partes por millón de HC es de análisis químico realizado en forma automatizada por el analizador de gases Brain Bee AGS-698, puesto en el modo de análisis de gases el equipo comienza a operar la medición, el equipo comienza el calentamiento previo para establecer las condiciones necesarias de temperatura, a continuación en forma automática en la pantalla del analizador se observa que indica la prueba de Autocero donde se toma la muestra de aire para que finalmente aparece en la pantalla el texto de TEST DE HC, pidiendo en la parte inferior de la pantalla el retiro de la sonda del tubo de escape y luego se aprieta el botón de enter; la medición de las partes por millón de HC se reporta al imprimir los resultados, junto con las mediciones de los porcentajes de los otros gases de la combustión.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

En el desarrollo del proyecto de investigación los resultados obtenidos fueron óptimos para cumplir los objetivos propuestos. Para el primer objetivo se realizaron experimentalmente los análisis de gases de la combustión de una camioneta Nissan en la ciudad de Lima (al nivel del mar) en un taller automotriz que tiene un Analizador de Gases que tiene reconocimiento técnico internacional, para tener datos experimentales confiables para cumplir los objetivos propuestos. En base a los datos experimentales con un nivel de confiabilidad excelente se logró el segundo objetivo de cálculo de los parámetros de los gases de la combustión en forma óptima como son la relación aire-combustible real y teórica, el porcentaje de exceso de aire, la pérdida de energía y las partes por millón de HC de los hidrocarburos que no se queman en la combustión.

4.1.1. Resultados experimentales de los gases de la combustión de la camioneta Nissan

Los resultados obtenidos en el taller automotriz Autogas Jireh SAC cuya dirección es Av. 28 de Julio 278, Jesús María – Lima, utilizando el Analizador de gases de escape de marca BRAIN BEE tipo AGS-688, versión software I.364, número de serie 220914000324, fabricado en Italia; ampliamente utilizado para el diagnóstico de inspecciones estándar obligatorias de emisiones de gases de escape de las combustiones, instrumento de gran confiabilidad por sus características técnicas, instrumento que está montado en la plataforma superior del carro de herramientas Launch TNT-100 para su disponibilidad en el área de trabajo, que se

muestran en la siguiente figura.

Figura 22

Analizador de gases de escape Brain Bee AGS-688



Fuente: Fotografía propia

Para las pruebas de análisis de gases de escape se alquiló la Camioneta Nissan modelo Qashqai de placa AJQ-537, vehículo que fue sometido a un mantenimiento mecánico y se verificó su certificado de revisión técnica vigente y la característica que funciona con gasolina y gas natural vehicular (GNV). Se muestra en la figura siguiente:

Figura 23

Camioneta Nissan AJQ-537



Fuente: Fotografía propia

Los datos experimentales del análisis de gases de escape obtenidos en forma experimental en los ensayos de medición con el analizador de gases Brain Bee AGS-688, se imprimieron en los vouchers respectivos que se muestran en el Anexo 3 y 4. Se realizaron dos ensayos para cada tipo de combustible.



4.1.2. Resultados de los cálculos de los parámetros del análisis de gases de escape utilizando gasolina

4.1.2.1. Determinación de la relación aire-combustible real ($R_{a/c}$)

Considerando los datos experimentales del primer ensayo del análisis de gases de escape utilizando gasolina, los datos del vaucher son:

$$\text{CO} : 0,25\%$$

$$\text{CO}_2 : 12,40\%$$

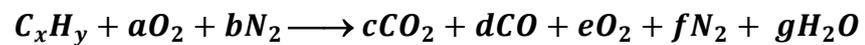
$$\text{O}_2 : 0,19\%$$

Se sabe que: $100\% = \text{CO}\% + \text{CO}_2\% + \text{O}_2\% + \text{N}_2\%$

Entonces: $\text{N}_2\% = 100\% - 0,25\% - 12,40\% - 0,19\%$

$$\text{N}_2\% = 87,16\%$$

Para una combustión incompleta la ecuación es la siguiente:



De los datos experimentales del analizador:

$$C = 12,40$$

$$d = 0,25$$

$$e = 0,19$$

$$f = 87,16$$

$$g = 87,16$$

Si consideramos la composición volumétrica del aire:

Nitrógeno : 79%

Oxígeno : 20,99%



Por consiguiente:

$$\frac{b}{a} = \frac{79}{20,99} = 3,76$$

Balanceando la ecuación química de combustión:

$$C : \quad x = c + d$$

$$x = 12,40 + 0,25$$

$$x = 12,65$$

$$O_2 : \quad 2a = 2c + d + 2e + g \quad (1)$$

Considerando que: $\frac{b}{a} = 3,76$

Entonces: $a = \frac{b}{3,76} = \frac{87,16}{3,76}$

$$a = 23,18$$

De la ecuación (1):

$$g = 2a - (2c + d + 2e)$$

$$g = 2(23,18) - [2(12,40) + 0,25 + 2(0,19)]$$

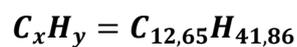
$$g = 20,93$$

$$H : \quad y = 2g$$

$$y = 2(20,93)$$

$$y = 41,86$$

Entonces en la ecuación química de combustión real la gasolina reaccionó con la fórmula:

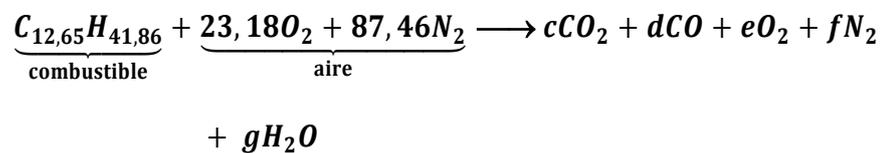




Al balancear la ecuación de combustión se determinó los coeficientes necesarios para calcular la relación aire-combustible real ($R_{a/c}$)

$$R_{a/c} = \frac{\left(\frac{32 \text{ lb}}{\text{mol } O_2}\right) (\text{moles } O_2) + \left(\frac{28 \text{ lb}}{\text{mol } N_2}\right) (\text{moles } N_2)}{\left(\frac{12 \text{ lb}}{\text{mol } C}\right) (\text{moles } C) + \left(\frac{1 \text{ lb}}{\text{mol } H}\right) (\text{moles } H)} \quad (2)$$

Reemplazando los valores de los coeficientes de la ecuación balanceada:



$$\text{moles } O_2 = 23,18$$

$$\text{moles } N_2 = 87,16$$

$$\text{moles } C = 15,65$$

$$\text{moles } H = 84,16$$

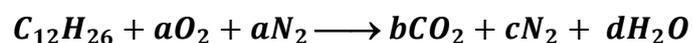
Reemplazando en la ecuación (2)

$$R_{a/c} = \frac{(32)(23,18) + (28)(87,16)}{(12)(12,65) + (1)(41,86)}$$

$$R_{a/c} = 16,43 \frac{\text{lb de aire}}{\text{lb de combustible}}$$

4.1.2.2. Determinación de la relación aire-combustible teórica ($r_{a/c}$)

La ecuación química de reacción para una combustión completa o teórica es:





Realizando el balance de la ecuación:

$$C : \quad b = 12$$

$$H : \quad 2d = 26 \quad \rightarrow \quad d = 13$$

$$O : \quad 2a = 2b + d \quad \rightarrow \quad a = \frac{(2b + d)}{2}$$

$$a = \frac{2(12) + 13}{2} \quad \rightarrow \quad a = 18,5$$

Por consiguiente, la relación aire-combustible teórica, la calculamos a través de la ecuación (2) del ítem 4.1.2.1:

$$r_{a/c} = \frac{(32)(18,5) + (28)(3,76 \times 18,5)}{(12)(12) + (1)(26)}$$

$$r_{a/c} = 14,94 \frac{\text{lb de aire}}{\text{lb de combustible}}$$

4.1.2.3. Determinación del porcentaje de exceso de aire

La expresión deducida para el porcentaje de exceso de aire en función de $R_{a/c}$ y $r_{a/c}$ es la siguiente:

$$\% \text{ Exceso aire} = \frac{R_{a/c}}{r_{a/c}} \times 100 - 100$$

Reemplazando:

$$R_{a/c} = 16,43 \frac{\text{lb de aire}}{\text{lb de combustible}}$$

$$r_{a/c} = 14,94 \frac{\text{lb de aire}}{\text{lb de combustible}}$$

$$\% \text{ Exceso aire} = \frac{16,43}{14,94} \times 100 - 100$$

$$\% \text{ Exceso aire} = 9,97\%$$

4.1.2.4. Determinación de la pérdida de energía por combustión incompleta (E_{pci})

La pérdida de energía la determinaremos considerando la metodología determinada en el ítem ..., mediante la expresión:

$$E_{pci} = \frac{\%CO}{\%CO_2 + \%CO} \times 0,85(14150 - 3960) \frac{BTU}{lb \text{ combustible}}$$

Del ensayo experimental con el analizador de gases Brain Bee AGS-688:

$$\%CO : 0,25\%$$

$$\%CO_2 : 12,40\%$$

Reemplazando datos:

$$E_{pci} = \frac{0,25}{12,40 + 0,25} \times 0,85(14150 - 3960)$$

$$E_{pci} = 171,18 \frac{BTU}{lb \text{ combustible}}$$

4.1.2.5. Determinación de las partes por millón (ppm) de HC (hidrocarburos no quemados)

La determinación de las partes por millón de los hidrocarburos no quemados HC, el analizador Brain Bee AGS-688, lo hace en forma automática a través del proceso TEST HC, para lo cual toma muestras de los gases de escape a través de una bomba de vacío y por medio de sensores que efectúan el análisis químico respectivo, no reportan las mediciones en



la impresión del vaucher del análisis de los gases de escape de la combustión.

En el vaucher la medición, utilizando gasolina es de:

$$\text{HC} = 73 \text{ ppm.}$$

4.1.3. Resultados de los cálculos de los parámetros del análisis de gases de escape utilizando gas natural vehicular (GNV)

4.1.3.1. Determinación de la relación aire-combustible real ($R_{a/c}$)

Considerando los datos experimentales del primer ensayo del análisis de gases de escape utilizando gas natural vehicular (GNV), los datos del vaucher del analizador Brain Bee AGS-688 son:

$$\text{CO} : 0,16\%$$

$$\text{CO}_2 : 10,70\%$$

$$\text{O}_2 : 0,07\%$$

Se sabe que:

$$100\% = \text{CO}\% + \text{CO}_2\% + \text{O}_2\% + \text{N}_2\%$$

Por consiguiente:

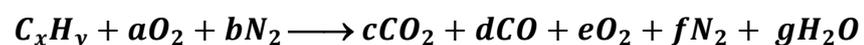
$$\text{N}_2\% = 100\% - [\text{CO}\% + \text{CO}_2\% + \text{O}_2\%]$$

Reemplazando valores:

$$\text{N}_2\% = 100\% - [0,16\% - 10,70\% - 0,07\%]$$

$$\text{N}_2\% = 89,07\%$$

La ecuación química de reacción para una combustión incompleta o real es la siguiente:





Para balancear la ecuación, utilizamos los datos experimentales obtenidos con el analizador de gases Brain Bee:

$$C = 10,70$$

$$d = 0,16$$

$$e = 0,07$$

$$f = 89,07$$

$$b = 89,07$$

Considerando la composición volumétrica del aire:

Nitrógeno : 79%

Oxígeno : 20,99%

En la ecuación química, los coeficientes:

$$\frac{b}{a} = \frac{79}{20,99} = 3,76$$

Realizando el balanceo de la ecuación, considerando cada elemento químico:

$$C : \quad x = c + d$$

$$x = 10,70 + 0,16$$

$$x = 10,86$$

$$O_2 : \quad 2a = 2c + d + 2e + g \quad (1)$$

Se sabe que: $\frac{b}{a} = 3,76$

Por consiguiente: $a = \frac{b}{3,76} = \frac{89,07}{3,76}$

$$a = 23,69$$



Despejando en la ecuación (1):

$$g = 2a - (2c + d + 2e)$$

$$g = 2(23,69) - [2(10,70) + 0,16 + 2(0,07)]$$

$$g = 25,68$$

$$H : y = 2g$$

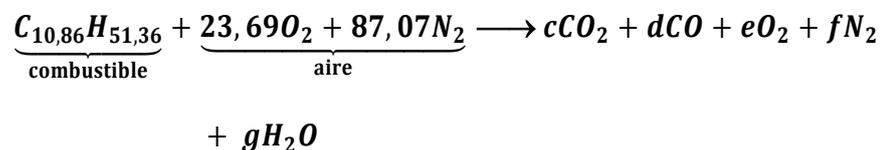
$$y = 2(25,68)$$

$$y = 51,36$$

Por consiguiente, el gas natural vehicular (GNV) reacciona en la combustión incompleta con la fórmula:



Los reactantes de la ecuación son:



La expresión para el cálculo de $R_{a/c}$ real es:

$$R_{a/c} = \frac{\left(\frac{32 \text{ lb}}{\text{mol } O_2}\right) (\text{moles } O_2) + \left(\frac{28 \text{ lb}}{\text{mol } N_2}\right) (\text{moles } N_2)}{\left(\frac{12 \text{ lb}}{\text{mol } C}\right) (\text{moles } C) + \left(\frac{1 \text{ lb}}{\text{mol } H}\right) (\text{moles } H)} \quad (2)$$

Donde:

$$\text{moles } O_2 = 23,69$$

$$\text{moles } N_2 = 89,07$$

$$\text{moles } C = 10,86$$

$$\text{moles } H = 51,36$$



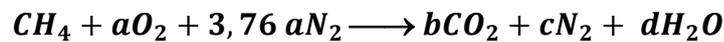
Reemplazando en la ecuación (2)

$$R_{a/c} = \frac{(32)(23,69) + (28)(89,07)}{(12)(10,86) + (1)(51,36)}$$

$$R_{a/c} = 17,90 \frac{\text{lb de aire}}{\text{lb de combustible}}$$

4.1.3.2. Determinación de la relación aire-combustible teórica ($r_{a/c}$)

La ecuación química de reacción para una combustión completa o teórica es:



Efectuando el balance de la ecuación:

$$C : \quad b = 1$$

$$H : \quad 2d = 4 \quad \rightarrow \quad d = 2$$

$$O : \quad 2a = 2b + d \quad \rightarrow \quad a = \frac{(2b + d)}{2}$$

Reemplazando valores:

$$a = \frac{2(1) + 2}{2} \quad \rightarrow \quad a = 2$$

Calculamos la relación aire-combustible teórica, empleando la ecuación (2) del ítem 4.1.3.1:

$$r_{a/c} = \frac{(32)(2) + (28)(3,76 \times 2)}{(12)(1) + (1)(4)}$$

$$r_{a/c} = 17,16 \frac{\text{lb de aire}}{\text{lb de combustible}}$$



4.1.3.3. Determinación del porcentaje de exceso de aire

Para calcular el % de exceso de aire se utilizará la expresión deducida en función de $R_{a/c}$ y $r_{a/c}$:

$$\% \text{ Exceso aire} = \frac{R_{a/c}}{r_{a/c}} \times 100 - 100$$

Reemplazando:

$$R_{a/c} = 17,90 \frac{\text{lb de aire}}{\text{lb de combustible}}$$

$$r_{a/c} = 17,16 \frac{\text{lb de aire}}{\text{lb de combustible}}$$

$$\% \text{ Exceso aire} = \frac{17,90}{17,16} \times 100 - 100$$

$$\% \text{ Exceso aire} = 4,31\%$$

4.1.3.4. Determinación de la pérdida de energía por combustión incompleta (E_{pci})

La energía perdida por combustión incompleta se calculará por la expresión deducida en el ítem:

$$E_{pci} = \frac{\%CO}{\%CO_2 + \%CO} \times 0,85(14150 - 3960) \frac{\text{BTU}}{\text{lb combustible}}$$

De los porcentajes obtenidos con el analizador de gases Brain Bee AGS-688:

$$\%CO : 0,16\%$$

$$\%CO_2 : 10,70\%$$



Reemplazando en la expresión:

$$E_{pci} = \frac{0,16}{10,70 + 0,16} \times 0,85(14150 - 3960)$$

$$E_{pci} = 127,61 \frac{\text{BTU}}{\text{lb combustible}}$$

4.1.3.5. Determinación de las partes por millón (ppm) de HC (hidrocarburos no quemados)

El proceso de análisis químico para la determinación de las partes por millón de HC que son los hidrocarburos no quemados durante la combustión lo realiza en forma automática el analizador Brain Bee AGS-688, el equipo toma muestras de los gases de escape y a través de un software y sensores específicos realiza el análisis para medir las ppm de HC. Al entrar en funcionamiento el analizador en el menú 01 de análisis de gases y posteriormente en medición, para lo cual el equipo del analizador comienza con el calentamiento para lograr la temperatura adecuada para las mediciones, luego el equipo establece la prueba de estanqueidad cerrando la sonda, luego al analizado entra al proceso AUTOCERO para posteriormente entrar al TEST HC para lo cual se retira la sonda y se presiona el botón ENTER, los reportes de la medición se obtienen en la impresión del vaucher.

Para la medición utilizando como combustible gas natural vehicular (GNV) en el vaucher impreso se lee lo siguiente:

$$\text{HC} = 13 \text{ ppm.}$$

4.1.4. Resumen del cuadro de parámetros de la gasolina y gas natural vehicular

El cuadro de resumen de los parámetros de gasolina y gas natural vehicular se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 7

Cuadro de parámetros de la gasolina y gas natural vehicular

Parámetros	Gasolina	GNV
Relación aire-combustible real (lb aire/lb combustible)	16,42	17,90
Relación aire-combustible teórica (lb aire/lb combustible)	14,94	17,16
Porcentaje de exceso de aire (%)	9,97	4.31
Perdida de energía por combustión incompleta (BTU/lb combustible)	171,18	127,61
Partes por millón de HC (ppm)	73	13

A partir de los datos experimentales obtenidos del analizador de gases se realizaron los cálculos correspondientes tanto como para la gasolina y gas natural vehicular, se especifica que el uso del gas natural vehicular es mucho mejor que la de gasolina, porque a partir de los datos obtenidos los resultados del gas natural vehicular son más eficientes que la gasolina.



4.2. DISCUSIÓN

Para cumplir con los objetivos propuestos en el proyecto de investigación desarrollado, por su naturaleza de carácter experimental la medición de los datos experimentales debería tener la precisión y confiabilidad necesaria para el cumplimiento óptimo de los objetivos de investigación. Para lo cual el módulo de experimentación en el trabajo desarrollado la camioneta Nissan, tenía que tener las características técnicas de funcionar con gasolina y gas natural vehicular, lo cual significó tareas arduas de selección en los establecimientos de alquiler de vehículos y para garantizar el funcionamiento y mantenimiento normal, se verificó su certificado de inspección vehicular vigente. Y además, se siguió el mismo procedimiento riguroso y arduo para seleccionar el instrumento de medición experimental para el análisis de gases de escape de la combustión para los combustibles de gasolina y gas natural vehicular, en principio se pensó realizar los ensayos de análisis de gases de escape en las plantas de Revisión Técnica existentes a lo largo de todo el país, pero en el certificado que emiten en el rumbo de emisiones de gases no consideran el %O₂, por lo cual se decidió buscar en la ciudad de Lima un taller automotriz acreditado que contara con un servicio de análisis de Gases de escape y es más, que contar con un instrumento de análisis de gases acreditado y garantizado, por lo que decidió por el taller Autogas Jireh SAC cito en la Av. 28 de Julio 278 de Jesús María – Lima, por la experiencia de su técnico automotriz y por contar con un analizador de gases de marca italiana BRIAN BEE AGS-668, analizador estándar de análisis de emisión de gases de escape, ampliamente utilizado a nivel internacional para diagnóstico común de emisiones e incluso utilizado para inspecciones obligatorias de control de emisiones de gases; lo cual garantizó la confiabilidad de las mediciones experimentales como el porcentaje de monóxido de carbono (%CO), el porcentaje de dióxido de carbono (%CO₂), el porcentaje de oxígeno (%O₂) y las partes por millón de



los hidrocarburos no quemados (ppm HC), parámetros medidos con la precisión y confiabilidad técnica necesaria, importante para cumplir el objetivo de cálculo de parámetros de gases de escape de la combustión en forma satisfactoria, un importante parámetro que reporta el vaucher que se imprime es el factor LAMBDA (λ), que podríamos decir resume el análisis de gases, que nos indica cómo se está realizando la combustión con respecto a la proporción de aire y combustible de la mezcla en el cilindro para obtener una combustión óptima que tienda a ser una combustión completa, es decir nos señala la proporción estequiométrica de la mezcla, cuyo valor es 1 cuando la mezcla es estequiométrica; en nuestros datos experimentales medidos, para el funcionamiento del motor con gasolina = 0,99 y para el gas natural vehicular = 0,998, de los que podemos inferir que la mezcla es casi estequiométrica en ambos combustibles, que aseguraron un rendimiento eficiente del motor, lo que aseguró que la emisión de contaminantes sea mínima, nuestros datos experimentales fueron de 73,13 partes por millón de HC para gasolina y gas natural vehicular respectivamente; valores muy aceptables porque según normas peruanas de noviembre del 2017, para vehículos del 2013 en adelante el límite máximo permisible es de 2000 ppm de HC. Respecto al monóxido de carbono (CO) la norma establece un límite máximo permisible de 4,5%, contrastando con nuestras medidas experimentales las que son de 0,25% y 0,16% para la gasolina y gas natural vehicular respectivamente, que implica un funcionamiento eficiente del motor, tanto con gasolina como GNV.

Los cálculos de los parámetros de la combustión como las relaciones aire-combustible real y teórico, porcentajes de exceso de aire y pérdida de energía por combustión incompleta se realizaron en forma óptima considerando que constituyen cálculos particulares para el funcionamiento de la camioneta Nissan y, que los cuales fueron calculados con los datos experimentales medidos en forma precisa y con gran



confiabilidad por el analizador de gases Brain Bee AGS-688 cuyas discusiones técnicas se expusieron y fundamentaron anteriormente.

Nuestro proyecto de investigación es cuantitativo, pero no estadístico, no requiere una contrastación estadística de la hipótesis porque no se aplicó técnicas estadísticas como la prueba de hipótesis, la estimación de parámetros de diseño, la regresión lineal para proyección de datos experimentales y otras técnicas estadísticas de investigación. Nuestros datos experimentales del análisis de gases son pocos y se validaron contrastando con las normas legales sobre límites permisibles para vehículos en circulación que usan gasolina o GNV en altitudes mayores a 1800 metros sobre el nivel del mar (ANEXO) que especifican que en los gases de escape de la combustión el porcentaje en volumen del monóxido de carbono debe ser máximo 4,5% y las partes por millón de los hidrocarburos no quemados HC debe ser de 200 ppm, nuestras mediciones experimentales son mucho menores, implicando que las combustiones fueron eficientes.



V. CONCLUSIONES

- El primer objetivo de la investigación se cumplió en forma óptima sustentado en que los datos experimentales medidos tuvieron una gran confiabilidad al utilizar como módulo de laboratorio a una camioneta Nissan al que se le sometió a mantenimiento y con un funcionamiento operativo excelente y, un analizador de gases italiano Brain Bee AGS-688 de reconocido prestigio utilizado en muchos países para control obligatorio de Emisiones de gases de escape. De los resultados obtenidos en el análisis de los gases de escape utilizando el motor gasolina y gas natural vehicular respecto al %CO, %CO₂, %O₂, %HC en volumen y λ (lambda); podemos concluir que en ambos combustibles la combustión se ha realizado casi con una mezcla estequiométrica lo que nos indica el factor lambda que tiende a 1, que implica que las proporciones de %CO y %CO₂ en la combustión son óptimas lo que se refleja en sus valores muy por debajo de las normas establecidas (%CO = 4,5) referido al gas de escape más contaminante el monóxido de carbono y los porcentajes del CO y CO₂ funcionando con gas natural vehicular (GNV) son mucho menores que con gasolina, por lo que podemos concluir que el GNV disminuye en forma drástica las emisiones de gases que contaminan el ambiente.
- El segundo objetivo de la tesis el cálculo de los parámetros del análisis de gases de escape de la combustión se cumplió en forma satisfactoria en concordancia con la confiabilidad de los datos medidos en el análisis de gases y en función de los cuales se realizaron los cálculos. Las conclusiones respecto a las relaciones aire-combustible, funcionando el motor con GNV la relación real se aproxima mucho más a la teórica que utilizando gasolina señalándonos que la proporción aire y combustible de la mezcla era más perfecta y generaría menos emisiones



contaminantes, que también se refleja en el porcentaje de exceso de aire donde utilizando GNV el exceso es casi la mitad que utilizando gasolina. Induciéndose por las conclusiones anteriores la pérdida de energía por combustión incompleta resulta menor utilizando en la combustión GNV que gasolina solo en un orden de 25% por sus combustiones casi estequiométricas ($\lambda \approx 1$). Respecto a los hidrocarburos no quemados las partes por millón (ppm) HC, la emisión de estas partículas por los gases de escape utilizando GNV es casi la quinta parte que, utilizando gasolina en la combustión, pero las ppm de HC según las normas el máximo permisible debe ser de 2000, en nuestro análisis de gases solo son de 13 y 73 ppm para el GNV y gasolina respectivamente.

- Podemos concluir finalmente que el gas natural vehicular (GNV) es en la actualidad una solución para mejorar la calidad del aire, el GNV disminuye en forma significativa las emisiones que contaminan el ambiente y es un combustible mucho más económico que la gasolina con un ahorro económico de 49% por kilómetro.



VI. RECOMENDACIONES

- Por las conclusiones a las que se llegaron, es importante recomendar el uso del gas natural vehicular (GNV) por ser un combustible limpio y económico, más considerando en la coyuntura actual de cambio climático cualquier acción encaminada a mitigar la contaminación ambiental es importante; para lo cual las instituciones pertinentes de la región Puno deben gestionar proyectos económicos para que el gas natural llegue a través de gaseoductos a nuestra región, puesto que la disponibilidad de este combustible es importante para el desarrollo industrial y económico de la región Puno, inclusive para la realización de investigaciones como es el caso de la nuestra que tuvimos que realizarla en la ciudad de Lima.
- Una recomendación relevante en el área académica y de la investigación es que el proyecto se desarrolle usando combustibles diesel y gas natural vehicular al nivel del mar (Lima) y a gran altitud respecto al nivel del mar (Puno) en función de las disponibilidades de investigación. Otra investigación ulterior a la desarrollada podría ser en determinar cuánto de energía química se libera o genera en la combustión de los combustibles; como también determinar la eficiencia mecánica de un motor funcionando con gasolina o diesel y compararlo con respecto al gas natural vehicular.
- Se recomienda utilizar el gas natural vehicular (GNV), ya que sus reacciones químicas de combustión en el motor fueron técnicamente eficientes y que su uso es una solución para mejorar la calidad del aire porque disminuye la contaminación del medio ambiente.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adana, J. et al (2022). Propuesta para la sustitución del combustible diésel en los vehículos de transporte de pasajeros, trabajo de investigación de Maestría, ESAN Graduate School of business, Lima – Perú.
- Aragón, M. y Rivas, S. (2021). Implementación de módulo analizador de gases de combustión portátil para el laboratorio de termofluidos de la EPIMMEM de la UCSM, tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico Electricista, Universidad Católica de Santa María, Arequipa – Perú.
- Aranda, C. et al (2021). Análisis de gases de combustión, Informe de ensayo técnico experimental, Universidad Nacional del Callao, Perú.
- Arroyo, E. y Cevallos, A. (2021). Estudio del efecto de la altitud sobre las emisiones de gases de escape de motores de combustión interna con encendido provocado, Revista Ingeniería y Desarrollo, Vol. 38, Barranquilla, Ecuador.
- Barrio, E. (2014). Adaptación de un vehículo de gasolina a gas natural de comprimido (GNC), tesis para optar el título de Ingeniero en tecnologías industriales. Universidad de Cantabria, España.
- Clavijo, M. et al (2018). Determinación de los gases contaminantes CO y HC en fuentes móviles a gasolina en el cantón la Mana provincia de Cotopaxi, artículo de la Revista Ciencia Digital, Vol. 2, N° 42, octubre-diciembre 2018.
- Córdova, E. (2013). Estudio de un motor de combustión interna para determinar sus parámetros de funcionamiento en el laboratorio, Tesis de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Cruz, J. y Postigo, J. (2021). Termodinámica Aplicada. Editorial UNI-DEM, Lima, Perú.
- García, K. (2018). Estudio de factibilidad para el abastecimiento de gas natural comprimido (GNC) a la provincia de Palpa, tesis para optar el título de Ingeniero Industrial, Universidad Ricardo Palma, Lima – Perú.
- Goñi, J. (2019). Máquinas hidráulicas y térmicas, Perú, Fondo Editorial Universidad de Lima.



- Hernandez, R. (2014). Metodología de la investigación. Editorial McGraw Hill, México.
- Holman, J. (2011). Métodos experimentales para Ingenieros, México, Editorial McGraw Hill.
- Jóvaj, M. (2018). Motores de Automóvil, Editorial MIR – Moscú.
- Levenspiel, O. (2017) Fundamentos de Termodinámica, Editorial Prentice Hall, México.
- López, D. (2019). Factores que afectan al rendimiento del motor temperatura y altura, Revista actualidad del motor N° 58 – México.
- López, E. (2018). Efectos por el cambio de presión atmosférica debido a la altitud y su relación con la pérdida de potencia en motores Otto, Tesis de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- López, S. (2008). Consideraciones técnicas y económicas de vehículos a gas natural. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú.
- Lucius, A. (2014). Motores de Explosión, México, Editorial Hobby.
- Macas, E. et al (2021). Balance de energía con reacción química/calores de combustión, Investigación de la Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- Machado, A. et al (2001). Efectos de la Composición del gas natural comprimido en los componentes regulados de los gases de escape en un motor de encendido por chispa, Revista Interciencia, INCI v.26 m.12. Caracas, dic. 2001.
- Miranda, L. y Medina, E. (2019). Investigación en Ingeniería, Arequipa, Editorial Universidad Nacional de San Agustín.
- Moreno, R. (2022). Requisitos y regulaciones para hacer conversión a gas en Perú, SITEC, @sitec.pe.
- Muñoz, L. (2018). Efecto de la altura en el desempeño de un vehículo a gasolina, Tesis Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Colombia.
- Núñez, C. (2018). Estudio de emisiones de gases en vehículos a gasolina en la



Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Técnica de Ambato – Ecuador.

Ortiz, E. (2015). Motores de combustión Interna, México, Editorial CECSA.

Pemex, (2004) Auditoría de Seguridad Industrial y Protección Ambiental, Gasolina Pemex Magna.

Postigo, J. y Cruz, J. (2017). Termodinámica Aplicada, Editores W.H., Lima – Perú.

Seymour, J. (2008). El Laboratorio del Ingeniero Mecánico, Buenos Aires, Editorial Hispano Americana.

Seymour, J. (2018). El laboratorio del Ingeniero Mecánico, Madrid, Editorial Hispano Americana S.A.

Torres, R. (2020). Metodología de la Investigación: Tip y errores comunes, Revista Socioindustrial.

Velásco, C. y Velásco, J. (2014). Efectos de la altitud sobre la combustión. Revista Metalúrgica N° 35, 2014. Universidad Técnica de Oruro, Bolivia.

Yepez, V. (2023). Influencia de los factores atmosféricos en el rendimiento de un motor atmosférico, Universidad Politécnica de Valencia, España.

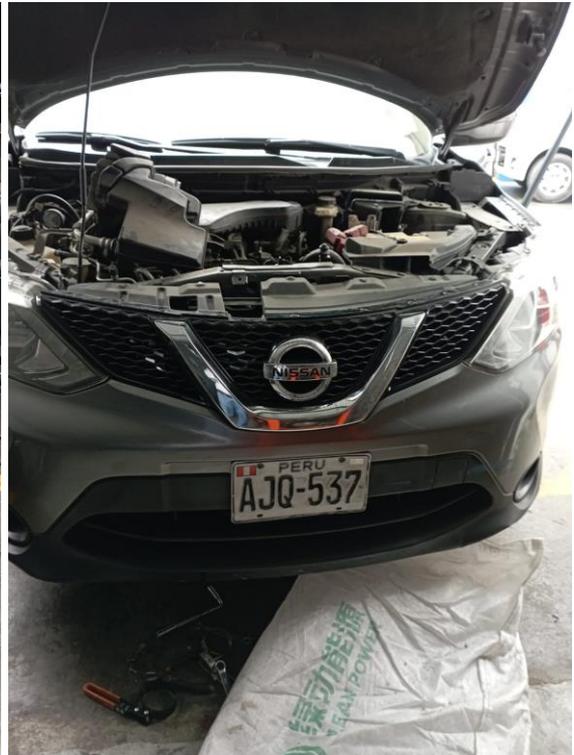


ANEXOS

ANEXO 1: Analizador de gases Brain Bee AGS-688



ANEXO 2: Camioneta Nissan Qashqai placa AJQ537





ANEXO 3: Vouchers de datos experimentales del análisis de gases de escape
utilizando gasolina Premium 95 octanos.

```
ANAL. GASES DE ESCAPE  
BRAIN BEE  
Tipo: AGS-688  
Version Software: 1.364  
No. Serie: 220914000324  
DATOS TALLER:  
AUTOGAS JIREH SAC  
AV 28 DE JULIO 278  
JESUS MARIA - LIMA  
RD 343-2014-MTC-16  
FH G-022-2014-DGASA-MTC  
Placa:  
Tipo combustible:  
GASOLINA  
VALORES MEDIDOS  
Temp. : 22 [°C]  
RPM : 0 [1/min]  
CO : 0.25 [%Vol]  
CO2 : 12.4 [%Vol]  
HC : 73 [ppmVol]  
O2 : 0.19 [%Vol]  
Lambda : 0.999 [-]  
Fecha y hora  
15/05/2024 09:13
```

```
ANAL. GASES DE ESCAPE  
BRAIN BEE  
Tipo: AGS-688  
Version Software: 1.364  
No. Serie: 220914000324  
DATOS TALLER:  
AUTOGAS JIREH SAC  
AV 28 DE JULIO 278  
JESUS MARIA - LIMA  
RD 343-2014-MTC-16  
FH G-022-2014-DGASA-MTC  
Placa:  
Tipo combustible:  
GASOLINA  
VALORES MEDIDOS  
Temp. : 22 [°C]  
RPM : 0 [1/min]  
CO : 0.74 [%Vol]  
CO2 : 15.3 [%Vol]  
HC : 72 [ppmVol]  
O2 : 0.07 [%Vol]  
Lambda : 0.980 [-]  
Fecha y hora  
15/05/2024 09:14
```

Fuente: Fotografía propia



ANEXO 4: Vauchers de datos experimentales del análisis de gases de escape
utilizando gas natural vehicular (GNV).

```
ANAL. GASES DE ESCAPE  
  
BRAIN BEE  
Tipo: AGS-688  
Version Software: 1.364  
No. Serie: 220914000324  
  
DATOS TALLER:  
AUTOGAS JIREH SAC  
AV 28 DE JULIO 278  
JESUS MARIA - LIMA  
RD 343-2014-MTC-16  
FH G-022-2014-DGA5A-MTC  
  
Placa:  
Tipo combustible: GNV  
  
VALORES MEDIDOS  
  
Temp. : 22 [°C]  
RPM : 0 [1/min]  
CO : 0.16 [%Vol]  
CO2 : 10.7 [%Vol]  
HC : 13 [ppmVol]  
O2 : 0.07 [%Vol]  
Lambda : 0.998 [-]  
  
Fecha y hora  
15/05/2024 09:15
```

```
ANAL. GASES DE ESCAPE  
  
BRAIN BEE  
Tipo: AGS-688  
Version Software: 1.364  
No. Serie: 220914000324  
  
DATOS TALLER:  
AUTOGAS JIREH SAC  
AV 28 DE JULIO 278  
JESUS MARIA - LIMA  
RD 343-2014-MTC-16  
FH G-022-2014-DGA5A-MTC  
  
Placa:  
Tipo combustible: GNV  
  
VALORES MEDIDOS  
  
Temp. : 22 [°C]  
RPM : 0 [1/min]  
CO : 0.00 [%Vol]  
CO2 : 13.1 [%Vol]  
HC : 18 [ppmVol]  
O2 : 0.06 [%Vol]  
Lambda : 1.001 [-]  
  
Fecha y hora  
15/05/2024 09:18
```

Fuente: Fotografía propia



ANEXO 5: Especificaciones técnicas de la gasolina premium

Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ

CLASE DE PRODUCTO		COMBUSTIBLE		Fecha efectiva:		01.01.2023	
TIPO DE PRODUCTO		COMBUSTIBLE USO MOTOR		Reemplaza edición de:		-	
NOMBRE DE PRODUCTO							
GASOLINA PREMIUM							
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO				
	MIN.	MÁX.	ASTM		OTROS		
APARIENCIA	Claro/Brillante, libre de agua y partículas				Visual		
Color comercial	Amarillo (b)				Visual		
VOLATILIDAD							
Gravedad API a 60°F	Reportar		D-1298, D-4052				
Densidad a 60°F, g/cc	Reportar		D-1298, D-4052				
Destilación, a 760 mm Hg, °C			D-86, D-7096		ISO-3405		
Punto inicial de ebullición	Reportar						
5 %V recuperado	Reportar						
10 %V recuperado	65						
20 %V recuperado	Reportar						
50 %V recuperado	77	118					
90 %V recuperado	190						
95 %V recuperado	Reportar						
Punto final de ebullición	225						
Recuperado, %V	Reportar						
Residuo, %V	2.0						
Pérdida, %V	Reportar						
Relación vapor/líquido = 20, °C	47		D-5188, D-4814				
Presión de vapor, psi (KPa)	10 (69)		D-323, D-4953, D-5191, D-6378		ISO 3007, UNE EN 13016-1		
Índice de manejabilidad	630		D-4814				
CORROSIVIDAD							
Corrosión lámina de cobre, 3h, 50°C, N°	1		D-130		ISO 2160		
Azufre total, mg/Kg	50		D-2622, D-3120, D-5453, D-6920, D-7039, D-7220		ISO-13032, ISO 20846, ISO 20884, ISO 8754		
ANTIDETONANCIA							
Número de octano Research	95.0		D-2699		ISO 5164		
COMPOSICIÓN							
Aromáticos, % Vol.	45		D-1319, D-5580, D-6839, D-6730		ISO 22854, UNE EN 15553		
Olefinas, % Vol.	25		D-1319, D-6839, D6730		ISO 22854, UNE EN 15553		
Benceno, % Vol.	2		D-3606, D-5580, D-6839, D6730		ISO 22854, UNE EN 238, UNE EN 12177		
Oxígeno, % masa	Reportar		D-4814, D-4815, D5599, D-5845, D-6730		ISO 22854, UNE EN 13132		
ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN							
Periodo de inducción, minutos	240		D-525		ISO 7536, UNE 51203		
CONTAMINANTES							
Gomas lavadas, mg/100mL	5.0		D-381		ISO 6246		
Plomo, g/L	0.013		D-3237, D-5059		UNE EN 237, UNE EN 13723		
Manganeso, mg/L	0.25		D-3831		UNE EN 16136		
OBSERVACIONES:							
(a) En concordancia con la Resolución Ministerial N° 469-2021-MINEM/DM.							
(b) No contiene colorante, corresponde al color natural de la gasolina.							



ANEXO 6: Especificaciones técnicas del gas natural vehicular (GNV)

FICHA TÉCNICA APROBADA

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BIEN

Denominación del bien	: GAS NATURAL VEHICULAR
Denominación técnica	: GAS NATURAL VEHICULAR
Unidad de medida	: METRO CÚBICO
Descripción general	: El gas natural vehicular (GNV) es una mezcla de hidrocarburos que se encuentran en fase gaseosa, compuesta principalmente por metano; empleado como combustible vehicular que se encuentra sometido a compresión para su posterior almacenamiento en cilindros de GNV.

2. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DEL BIEN

2.1. Del bien

Las características del gas natural vehicular (GNV) están establecidas en el Decreto Supremo N° 040-2008-EM y sus modificatorias, y en la NTP 111.004:2021.

El producto debe cumplir con las siguientes especificaciones:

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN	REFERENCIA
Impurezas	Cumplir con lo indicado en el artículo 44 del documento de la referencia.	TUO – Texto Único Ordenado del Reglamento de Distribución de Gas Natural por Red de Ductos, aprobado por el Decreto Supremo N° 040-2008-EM y sus modificatorias
Sulfuro de hidrógeno y azufre total		
Dióxido de carbono y gases inertes		
Agua y vapor de agua		
Temperatura máxima		
Contenido calorífico bruto		
Odorización	Cumplir con lo indicado en el numeral 4 de la NTP de la referencia.	NTP 111.004:2021 GAS NATURAL SECO. Odorización. Requisitos y métodos de ensayo 2ª Edición
Límite de inflamabilidad	Cumplir con lo indicado en los numerales 3.6 y 3.7 de la NTP de la referencia.	

Precisión 1: Ninguna.

2.2. Envase y/o embalaje

No aplica.

Precisión 2: No aplica.

2.3. Rotulado

No aplica.

Precisión 3: No aplica.

2.4. Inserto

No aplica.

Precisión 4: No aplica.

ANEXO 7: Normas legales sobre límites máximos permisibles para vehículos en circulación

El Peruano / Jueves 30 de noviembre de 2017 **NORMAS LEGALES** **15**

(*) El año de aplicación se refiere a la fecha correspondiente al conocimiento de embarque, no a la fecha de incorporación al país.
 (1) Para vehículos pesados la certificación corresponde al motor.
 (2) Para motores a GNV solamente.
 (3) No aplicable para motores a gas.
 (4) A efectos de la revisión del cumplimiento de la directiva se aplicará la misma, sus actualizaciones o directiva que corresponda a norma de mayor exigencia a la indicada.
 (5) Para motores con cilindradas de menos de 750 cc por cilindro y una potencia máxima a más de 3000 RPM.

I.9. Vehículos con motores de encendido por compresión que usan Diésel como combustible							
Vehículos de pasajeros o de carga > 3864 Kg PBV ⁽¹⁾							
Año aplicación (*)	Norma	Ciclo	Directiva	CO [g/hp-h]	NMHC [g/hp-h]	NOx [g/hp-h]	PM [g/hp-h]
Abril 2018 en adelante	EPA 2007 o de mayor exigencia	FTP & SET	40 CFR 86.007-11	15,50	0,14	0,20	0,01

(*) El Año de Aplicación se refiere a la fecha correspondiente al conocimiento de embarque, no a la fecha de incorporación al país.
 (1) Para vehículos pesados la certificación corresponde al motor.

II. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA VEHÍCULOS EN CIRCULACIÓN

II.1. Vehículos de categorías L ₃ a L ₅ con motor de encendido por chispa de dos tiempos que usan mezclas de gasolina-aceite como combustible			
Año de fabricación(*)	Altitud [msnm]	CO [% - v/v]	HC [ppm]
Hasta 1995	0 a 1800	4,5	12000
	> 1800	4,5	12600
1996 a 2012	0 a 1800	4,5	8000
	> 1800	4,5	8400
2013 en adelante	A cualquier altitud	4,5	8000

(*) El año de fabricación es el año calendario en el que el vehículo fue fabricado, que no corresponde necesariamente el año modelo, y se encuentra consignado en la Tarjeta de Propiedad o Tarjeta de Identificación Vehicular.

II.2. Vehículos de categorías L ₃ a L ₅ con motor de encendido por chispa de cuatro tiempos que usan gasolina, GLP o GNV como combustible u otros combustibles alternos			
Año de fabricación(*)	Altitud [msnm]	CO [% - v/v]	HC [ppm]
Hasta 1995	0 a 1800	4,5	2000
	> 1800	4,5	2100
1996 a 2012	0 a 1800	4,5	2000
	> 1800	4,5	2100
2013 en adelante	A cualquier altitud	4,5	2000

(*) El año de fabricación es el año calendario en el que el vehículo fue fabricado, que no corresponde necesariamente el año modelo, y se encuentra consignado en la Tarjeta de Propiedad o Tarjeta de Identificación Vehicular.

II.3. Vehículos de categorías L ₃ a L ₅ con motor de encendido por compresión de cuatro tiempos a Diésel o similar		
Año de fabricación(*)	Altitud [msnm]	Coefficiente de Absorción [k(m ⁻¹)]
Hasta 1995	0 a 1000	3,40
	1001 a 2000	3,65
	2001 a 3000	3,90
	> 3000	4,15
1996 a 2012	0 a 1000	2,80
	1001 a 2000	3,05
	2001 a 3000	3,30
	> 3000	3,55
2013 a 2017	0 a 1000	2,50
	1001 a 2000	2,75
	2001 a 3000	3,00
	> 3000	3,25
2018 en adelante	A cualquier altitud	2,50

(*) El año de fabricación es el año calendario en el que el vehículo fue fabricado, que no corresponde necesariamente el año modelo, y se encuentra consignado en la Tarjeta de Propiedad o Tarjeta de Identificación Vehicular.

II.4. Vehículos de categorías M y N con motor de encendido por chispa a gasolina, GLP o GNV como combustible u otros combustibles alternos				
Año de fabricación(*)	Altitud [msnm]	CO [% - v/v]	HC [ppm]	CO + CO ₂ [% - v/v] mínimo
Hasta 1995	0 a 1800	3,0	400	10 [8 ⁽¹⁾]
	> 1800	3,0	450	8

ANEXO 8: Sonda para el análisis de gases de escape



ANEXO 9: Vistas de la pantalla del analizador de gases Brain Bee AGS-688





ANEXO 10: Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo **FERNANDO JOSE FLORES SANTOS** identificado con DNI **76361900** y **JULIO MACHACA MAMANI** identificado con DNI **75400887** en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA.

Informamos que hemos elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UNA CAMIONETA NISSAN FUNCIONANDO CON GASOLINA Y GAS NATURAL AL NIVEL DEL MAR”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 13 de diciembre de 2024

FERNANDO JOSE FLORES SANTOS



Huella

JULIO MACHACA MAMANI



Huella



ANEXO 11: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, yo **FERNANDO JOSE FLORES SANTOS** identificado con DNI **76361900** y **JULIO MACHACA MAMANI** identificado con DNI **75400887** en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA.

Informamos que hemos elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE UNA CAMIONETA NISSAN FUNCIONANDO CON GASOLINA Y GAS NATURAL AL NIVEL DEL MAR”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de diciembre de 2024

FERNANDO JOSE FLORES SANTOS



Huella

JULIO MACHACA MAMANI



Huella