



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TIPO DE BUJÍAS SOBRE LA
DEGRADACIÓN DEL ACEITE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: KEVIN SEBASTIÁN TENESACA CHICAIZA
KEVIN ALEXANDER VARGAS UGUÑA
TUTOR: ING. MILTON OSWALDO GARCÍA TOBAR, MSc.

Cuenca - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Kevin Sebastián Tenesaca Chicaiza con documento de identificación N° 0105484075 y Kevin Alexander Vargas Uguña con documento de identificación N° 0106614829; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 23 de junio del 2023

Atentamente,



Kevin Sebastián Tenesaca Chicaiza

0105484075



Kevin Alexander Vargas Uguña

0106614829

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Kevin Sebastián Tenesaca Chicaiza con documento de identificación N° 0105484075 y Kevin Alexander Vargas Uguña con documento de identificación N° 0106614829, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis de la influencia del tipo de bujías sobre la degradación del aceite”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 23 de junio del 2023

Atentamente,

Kevin Sebastián Tenesaca Chicaiza

0105484075

Kevin Alexander Vargas Uguña

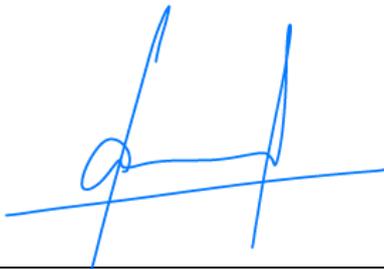
0106614829

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Oswaldo García Tobar con documento de identificación N° 0104282181, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TIPO DE BUJÍAS SOBRE LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE, realizado por Kevin Sebastián Tenesaca Chicaiza con documento de identificación N° 0105484075 y por Kevin Alexander Vargas Uguña con documento de identificación N° 0106614829, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 23 de junio del 2023

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'M' and 'G' followed by a horizontal line and a vertical stroke.

Ing. Milton Oswaldo García Tobar, MSc.

0104282181

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo en la realización de este proyecto de titulación, dedico a mi persona por no rendirse y seguir avanzando en busca de cumplir sus sueños.

Sebastián

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a Dios y a las personas que contribuyeron en la realización de este proyecto de titulación. Mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis, Ing. Milton García, por su orientación y apoyo. También quiero agradecer a mis padres Rosvelt y Elena, por el apoyo en mi etapa de formación académica.

Sebastián

DEDICATORIA

El presente proyecto le dedico principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento importante de mi formación profesional.

A mis padres Mónica y Diego, por demostrarme siempre su cariño, apoyo incondicional y por ser el pilar más importante en mi vida.

Alexander Vargas

AGRADECIMIENTO

A Dios quien me ha guiado y me ha dado la formaleza para seguir adelante.

A mi tutor de tesis, Ing. Milton García, por su orientación en el desarrollo de este trabajo de titulación.

Por último, a mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios y a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron durante mi formación profesional.

Alexander Vargas

RESUMEN

El presente proyecto técnico consiste en analizar la influencia que tienen diferentes tipos de bujías en el proceso de degradación del aceite lubricante según el tipo de material de la estructura de la bujía. Se trata de identificar el proceso de degradación del aceite lubricante de la unidad experimental Nissan Sentra 1.6 del año 2010 que circula en la ciudad de Cuenca.

Como punto de partida, se caracterizaron tres tipos de bujías, las cuales presentan diferentes materiales estructurales, por ende, diferentes características. A continuación, se elaboró un protocolo de muestreo con el cual se definió la frecuencia de extracción de las muestras de aceite lubricante y el cambio de este, además de controlar las variables inmersas en el experimento. El vehículo recorrió 3000Km antes de que el aceite lubricante sea cambiado. En una primera fase, el objetivo de estudio se concentró en el uso de la bujía tipo cerámico, para posterior al cambio de aceite, usar las bujías de platino y repetir el proceso para finalmente usar las bujías de iridio.

El análisis de aceite lubricante se lo realizó con equipos de laboratorio mediante un contador de partículas, el cual contabilizara la cantidad de materia sólida contaminante, la misma que afecta las propiedades químicas del aceite lubricante.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de aceite, se los interpretará mediante límites estadísticos, los cuales establecen límites según datos ya normalizados, con el fin de determinar valores de desgaste metálico y así determinar la influencia del tipo de bujía sobre la degradación del aceite lubricante.

Palabras Claves: *Partículas, degradación, influencia, bujía, lubricante.*

SUMMARY

This technical project consists of analyzing the influence that different types of spark plugs have on the lubricating oil degradation process. According to the type of material of the spark plug structure, the aim is to identify the degradation process of the lubricating oil of the experimental unit Nissan Sentra 1.6 of the year 2010 circulating in the city of Cuenca.

Three types of spark plugs were characterized, which present different structural materials and therefore different characteristics. Then, a sampling protocol was elaborated with which the frequency of extraction of the lubricating oil samples and its change was defined, in addition to controlling the variables involved in the experiment. The vehicle traveled 3000 km before the lubricating oil was changed. In the first phase, the objective of the study was focused on the use of ceramic spark plugs, then after the oil change, platinum spark plugs were used and the process was repeated to finally use iridium spark plugs.

The lubricating oil analysis was carried out with laboratory equipment by means of a particle counter, which counted the amount of solid contaminating matter, which affects the chemical properties of the lubricating oil.

The results obtained from the oil analysis will be interpreted by means of statistical limits, which establish limits according to already normalized data, in order to determine metallic wear values and thus determine the influence of the type of spark plug on the degradation of the lubricating oil.

Keywords: Particles, degradation, influence, spark plug, lubricant.

INDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
DEDICATORIA	7
AGRADECIMIENTO	8
RESUMEN	9
SUMMARY	10
INTRODUCCION	16
PROBLEMA	17
OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS	19
CAPITULO 1: FUNDAMENTO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	20
1.1. BUJÍAS	20
1.1.1. Estructura de la Bujía.....	21
1.1.2. Temperatura de Funcionamiento y Grado Térmico.....	23
1.1.3. Tipo de Bujías	27
1.2. PROCESO DE COMBUSTIÓN.....	27
1.2.1. Secuencia de la Combustión	29
1.3. DEGRADACIÓN DEL ACEITE	29
1.3.1. Variables que Afectan a la Degradación	29
1.4. LUBRICACIÓN EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	31
1.4.1. Lubricación Límite.....	32
1.4.2. Lubricación Semifluida.....	32
1.4.3. Lubricación Fluida	32
1.5. LUBRICANTE	33
1.5.1. Características Físicas y Químicas de los Lubricantes.	33
1.6. ADITIVOS	35

1.7.	ANÁLISIS DE ACEITES LUBRICANTES	36
1.7.1.	Técnica de Conteo de Partículas	36
CAPITULO 2: CARACTERIZACION DE LAS BUJIAS Y OESTRAS DE ACEITE APLICADO A MCIA		37
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO	37
2.2.	CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO	39
2.2.1.	Aceite lubricante	39
2.2.2.	Bujías	40
2.3.	ACONDICIONAMIENTO DEL VEHÍCULO	45
2.4.	PROTOCOLO DE MUESTREO.....	51
2.4.1.	Recipiente de Almacenamiento.....	52
2.4.2.	Identificación de Muestras de Aceite.....	52
2.4.3.	Almacenamiento de Muestras de Aceite.....	53
2.5.	EQUIPOS DE LABORATORIO.....	53
2.5.1.	Contador de Partículas Yateks YJS-150	54
CAPITULO 3: ANÁLISIS DE RESUTADOS		56
3.1.	NORMATIVA ISO 4406-2017 PARA EL CONTEO DE PARTÍCULAS.....	56
3.2.	CONTEO DE PARTÍCULAS	58
CONCLUSIONES.....		75
BIBLIOGRAFÍA.....		77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca.....	18
Figura 2: Lugar de Montaje de la Bujía.....	20
Figura 3: Esquema de la Construcción de la Bujía.....	21
Figura 4a: Chispa Aérea	22
Figura 4b: Chispa Deslizante.....	22
Figura 4c: Aérea/Deslizante	23
Figura 5: Evacuación de Calor.....	24
Figura 6a: Bujía Caliente o Bajo Grado Térmico.....	25
Figura 6b: Bujía de Grado Térmico Medio	25
Figura 6c: Bujía Fría o Alto Grado Térmico	26
Figura 7: Comparativa de la Temperatura en Función de la Carga de la Bujía.....	26
Figura 8: Esquema de una Combustión Perfecta	28
Figura 9: Bulk Oxidation & Thin Film Oxidation.....	30
Figura 10: Tipos de Lubricación.....	33
Figura 11: Unidad Experimental.....	37
Figura 12: Motor NISSAN TINCAM 16 Válvulas	38
Figura 13: Aceite GOLDEN BEAR 20W50	39
Figura 14: Características de la Bujía.....	40
Figura 15a: Corte en V	42
Figura 15b: Núcleo de la Llama	42
Figura 16a: Punta de Iridio	43
Figura 16b: Núcleo de la Llama	43
Figura 17a: Punta de Platino.....	44
Figura 17b: Núcleo de la Llama	44
Figura 18: Filtro de Aceite.....	46

Figura 19: Cambio de Bujías	47
Figura 20a: Bujías de Cerámico	48
Figura 20b: Bujías de Iridio.....	48
Figura 20c: Bujías de Platino.....	48
Figura 21: Filtro de Aire	49
Figura 23: Muestro a Través de la Varilla de Medición de Nivel de Cáster.....	51
Figura 24: Recipiente de Almacenamiento.....	52
Figura 25: Etiqueta de Identificación.....	53
Figura 26: Contador YJS-150.....	54
Figura 27: Conteo de partículas de 1 μm	59
Figura 28: Dispersión de partículas de 1 μm	60
Figura 29: Conteo de partículas de 5 μm	61
Figura 30: Dispersión de partículas de 5 μm	62
Figura 31: Conteo de partículas de 10 μm	63
Figura 32: Dispersión de partículas de 10 μm	64
Figura 33: Conteo de partículas de 15 μm	65
Figura 34: Dispersión de partículas de 15 μm	66
Figura 35a: Dispersión de partículas de 20 μm	67
Figura 35b: Dispersión de partículas de 30 μm	68
Figura 35c: Dispersión de partículas de 50 μm	69
Figura 36a: Conteo de partículas de 20 μm	70
Figura 36b: Conteo de partículas de 30 μm	71
Figura 36c: Conteo de partículas de 50 μm	72
Figura 37: Conteo de partículas de 70 μm	73
Figura 38: Dispersión de partículas de 70 μm	74

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales Tipos de Aditivos	35
Tabla 2: Características del Motor del Automóvil Nissan Sentra 1.6 2010.....	38
Tabla 3: Propiedades del Aceite.....	40
Tabla 4: Caracterización de la Bujía	41
Tabla 5: Ficha Técnica del Filtro de Aceite	47
Tabla 6: Ficha Técnica Filtro de Aire	49
Tabla 7: Datos Técnicos Filtro de Combustible	50
Tabla 8: Datos Técnicos Contador YSJ-150.....	55
Tabla 9: Datos Técnicos Contador YSJ-150.....	57

INTRODUCCION

El aceite lubricante es un elemento de vital importancia en el correcto funcionamiento de un motor de combustión interna, pues su aporte en la refrigeración y en mitigar la fricción, contribuyen a que las condiciones de funcionamiento sean adecuadas. La contaminación del aceite lubricante se da por los factores que intervienen en la combustión siendo estos: combustible, oxígeno y calor, siendo este último producido por las bujías, un elemento que genera una chispa necesaria para que la mezcla aire-combustible se encienda dentro de la cámara combustión.

Durante las últimas décadas, se han realizado varios estudios para investigar los efectos del tipo de bujías sobre el rendimiento del lubricante de motor de combustión interna (MCI). Las características de diseño del extremo de encendido de la bujía, como la proyección del espacio, el tamaño del espacio, el tamaño del electrodo, la configuración de la punta, y el grado térmico; demostraron influencias en el rendimiento del motor. (Badawy et al., 2017) Una mayor inflamabilidad con bujías de mayor grado térmico fueron los principales objetivos de estos estudios, especialmente en el caso de análisis de aceites lubricantes. (Abdel-Rehim, 2013)

PROBLEMA

El tipo de bujías utilizadas en los vehículos de la ciudad de Cuenca, en la gran mayoría son escogidas por temas de marca, calidad, y costo, sin tomar en cuenta la influencia que esta decisión tiene sobre la degradación del aceite lubricante. Esto se debe a que la mayoría de los conductores no se involucran en el mantenimiento de sus vehículos, quitando importancia al problema de la degradación que el aceite sufre por una incorrecta chispa de la bujía. Debido al proceso de combustión, aparecen picos de temperatura elevados y el incremento de temperatura afecta directamente al aceite, debido a que este se descompone a causa del calor excesivo, pues existe una relación directa entre la temperatura a la que funciona el aceite y su vida útil. De hecho, por cada 10°C de incremento de temperatura del lubricante, su vida útil se reduce a la mitad (Komarudin et al., 2020)

2.1. Antecedentes

La bujía es la encargada de generar la chispa en el MCI. Sin embargo, este elemento también cumple la misión de disipar o aliviar la temperatura de la cámara de combustión en función del material del cual se encuentre fabricado. Estos tienen diferentes características como conductividad y resistencia, de acuerdo al tipo de bujía que utilice el vehículo experimental va a trabajar a distintas temperaturas y a su vez genera cambios en la degradación del aceite.

2.2. Importancia y Alcance

El presente estudio se enfocará en el análisis de la influencia de diferentes tipos de bujías en la degradación del aceite, debido a que la bujía al ser de vital importancia en el proceso de combustión de un motor de ciclo Otto, influye de manera directa en la degradación del lubricante, pues la temperatura que desprende la bujía depende de sus características y estas a su vez depende de factores como, precio, marca y calidad.

Este estudio permitirá mostrar los diferentes cambios que sufrirá el aceite con cada tipo de bujía. Además, se determinará una bujía apta para prolongar la vida útil del lubricante y disminuir la velocidad del proceso de su degradación.

2.3. Delimitación

El presente proyecto, se llevará a cabo en la Universidad Politécnica Salesiana (Figura 1), se encuentra en la provincia del Azuay, Ciudad de Cuenca, ubicada al sur del Ecuador, la cual tiene una altitud de 2500 m.s.n.m, una extensión de 70.59 km² y una población aproximada de 580000 habitantes.

Figura 1

Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca.



Nota. Fuente: Autores.

OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS

Objetivo General

El presente análisis beneficiará a todo tipo de personas (en la línea de eficiencia al adquirir un tipo de bujía dentro del cual se ve influenciada la viscosidad del aceite lubricante por el tipo de material el cual se encuentra fabricado), que tengan un vehículo como medio de transporte, dentro de la ciudad de Cuenca.

Objetivos específicos

- Realizar un estudio bibliográfico sobre la influencia del tipo de bujías en la degradación de aceite de un motor a gasolina.
- Caracterizar tres diferentes tipos de bujías comerciales, analizando las diferentes variables entorno al estudio de las bujías.
- Aplicar técnicas de análisis de aceite para monitorizar la degradación del aceite mediante el análisis de los resultados obtenidos.

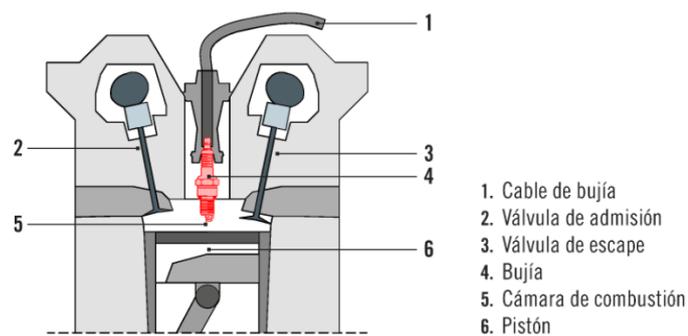
FUNDAMENTO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

1.1. Bujías

Para iniciar la combustión de la mezcla aire-combustible, la bujía es la encargada de inflamar dicha mezcla que se encuentra sometida a presión en la cámara de combustión, mediante chispas eléctricas que se producen entre sus electrodos. La bujía deberá colocarse de preferencia en la zona central, la parte más caliente de la cámara de combustión, debido a la influencia que la temperatura va a tener sobre el inicio de la combustión, tal y como se evidencia en la Figura 2. (Desantes & GONZÁLEZ, 2011)

Figura 2

Lugar de Montaje de la Bujía.



Nota. Adaptado de *Lugar de montaje de la bujía*, de Rodríguez Melchor, 2012, Fuente: (Rodríguez Melchor, 2012).

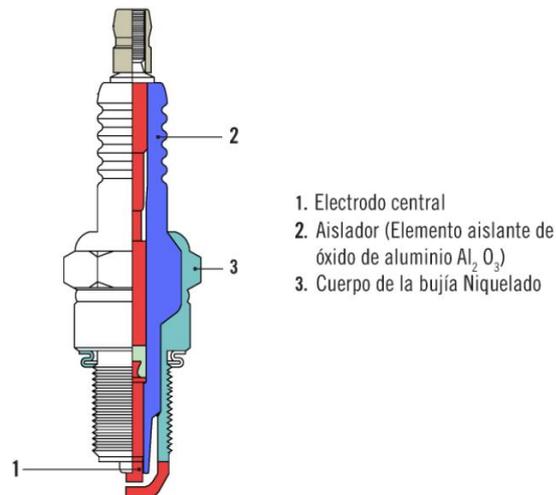
1.1.1. Estructura de la Bujía

Tomando en consideración las condiciones anteriores, la bujía está diseñada para que realice su función durante el mayor tiempo posible y de manera óptima. En las bujías se puede distinguir tres partes fundamentales, las que se detallan en la Figura 3:

- Electrodo
- Aislante
- Cuerpo metálico

Figura 3

Esquema de la Construcción de la Bujía.



Nota. Adaptado de *Esquema de la construcción de la bujía*, de Desantes & GONZÁLES, 2011, Fuente: (Desantes & GONZÁLES, 2011).

Electrodo. Deben ser resistentes a la oxidación, buenos conductores de electricidad y calor, ofrecer alta resistencia mecánica al desgaste erosivo y tener alta temperatura de fusión. La separación de los electrodos es importante y está limitada, entre otros parámetros, por la accesibilidad de la mezcla al espacio entre ellos. (Desantes & GONZÁLES, 2011)

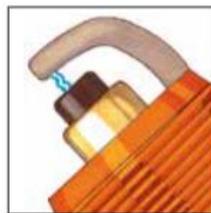
Aislante. El aislante esta caracterizado por tener una alta rigidez dieléctrica, adecuada conductividad térmica y alta capacidad de resistencia a los esfuerzos térmicos. Es de suma importancia la porosidad del material debido a que si esta es alta los más probable es que se absorba gases de la combustión y/o formar depósitos en el mismo aislante creando una capa conductora. (Yang et al., 2023)

Cuerpo Metálico. Encargado de conseguir la estanqueidad de la cámara de combustión y de posicionar la bujía sobre la culata. El trayecto de la chispa se distingue entre:

Chispa Aérea. La chispa traspasa el aire directamente entre los electrodos.

Figura 4a

Chispa Aérea

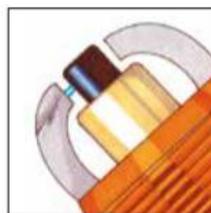


Nota. Adaptado de *Chispa Aérea*, de K.V. Kumar, 2022, Fuente: (K.V. Kumar et al., 2022).

Chispa Deslizante (Surface gap). La chispa salta a través del aislante para pasar posteriormente al electrodo de masa.

Figura 4b

Chispa Deslizante

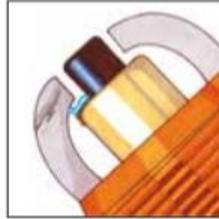


Nota. Adaptado de *Chispa Deslizante*, de K.V. Kumar, 2022, Fuente: (K.V. Kumar et al., 2022).

Chispa Aérea/Deslizante (Semisurface gap): La chispa traspasa el aislante y el aire.

Figura 4c

Chispa Aérea/Deslizante



Nota. Adaptado de *Chispa aérea/deslizante*, de K.V. Kumar, 2022, Fuente: (K.V. Kumar et al., 2022).

1.1.2. Temperatura de Funcionamiento y Grado Térmico

La temperatura de funcionamiento de una bujía debe estar sobre el límite de autolimpieza (500 °C) y por debajo del límite de inflamaciones (900 °C), independientemente del motor del que se trate. La relación que permite determinar la condición óptima de funcionamiento viene dada por la ecuación la ecuación 1.1

$$T_1 - T_2 = 500 \text{ a } 900^\circ \text{C} \quad (1.1)$$

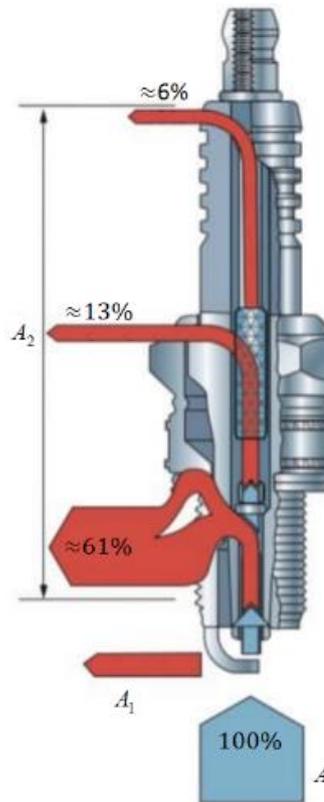
T_1 = temperatura de la bujía en la cámara durante la combustión, en °C.

T_2 = temperatura que evacua la bujía, en °C.

La bujía entrega al sistema de refrigeración, a través de la culata, la cantidad similar de calor que recibe en la combustión. La Figura 5 proporciona una visión del trayecto del calor en la bujía. Se nota que un 80 % aproximadamente, se evacúa por conducción térmica. mientras que un 20 % lo absorben los gases frescos de la admisión. (Pardiñas & Feijoó, 2018)

Figura 5

Evacuación de Calor



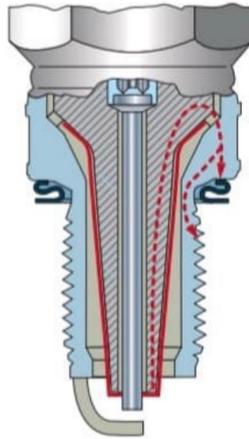
Nota. Adaptado de *Evacuación de Calor*, de Pardiñas & Freioó, 2018, Fuente: (Pardiñas & Feijoó, 2018).

Si consideramos que la temperatura debe ser similar en todas las bujías y, en cambio, la que se consigue en las cámaras de combustión difiere, evidentemente, la suficiencia de transmitir el calor al sistema de refrigeración se diferencia de unas bujías a otras. (Pardiñas & Feijoó, 2018) De ahí que se emplee el concepto de grado térmico de las bujías. Las bujías están agrupadas en tres categorías dependiendo de su facilidad de evacuación de calor:

Bujía Caliente o Bajo Grado Térmico. El pie del aislador es largo, por lo que el calor se evacua lentamente.

Figura 6a

Bujía Caliente o Bajo Grado Térmico

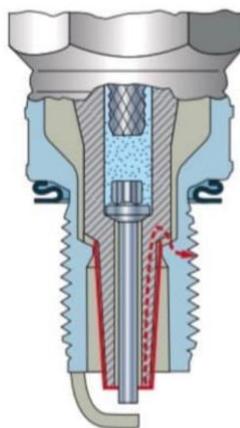


Nota. Adaptado de *Bujía caliente o bajo grado térmico*, de Pardiñas & Freijoó, 2018, Fuente: (Pardiñas & Freijoó, 2018).

Bujía de Grado Térmico Medio. El pie del aislador es más corto que en la bujía anterior, por tanto, la facilidad para evacuar el calor es mayor.

Figura 6b

Bujía de Grado Térmico Medio

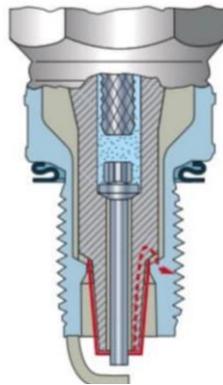


Nota. Adaptado de *Bujía de térmico medio*, de Pardiñas & Freijoó, 2018, Fuente: (Pardiñas & Freijoó, 2018).

Bujía Fría o Alto Grado Térmico. El pie del aislador es muy corto y transmite rápidamente el calor al sistema de refrigeración.

Figura 6c

Bujía Fría o Alto Grado Térmico

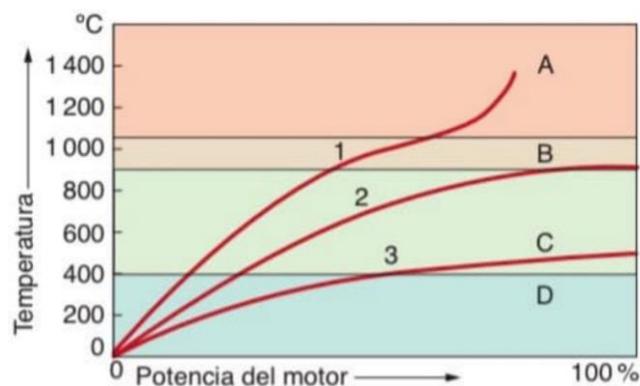


Nota. Adaptado de *Bujía fría o alto grado térmico*, de Pardiñas & Feijóo, 2018, Fuente: (Pardiñas & Feijóo, 2018).

A continuación, en la Figura 7 se presentan las curvas de temperatura en bujías con diversos grados térmicos, implementadas en un mismo motor con diferentes estados de carga.

Figura 7

Comparativa de la Temperatura en Función de la Carga de la Bujía



Nota. Adaptado de *Comparativa de la temperatura en función de la carga de la bujía*, de Pardiñas & Feijóo, 2018, Fuente: (Pardiñas & Feijóo, 2018).

La temperatura de trabajo de la bujía no es el único factor que se tiene en cuenta para determinar el grado térmico de la bujía y seleccionar la más adecuada para un motor concreto. (Özçelik & Gültekin, 2019)

1.1.3. Tipo de Bujías

Tal y como dimos a conocer en el apartado anterior, las bujías principalmente se dividen por su grado térmico. No obstante, en el mercado se encuentra una diversa variedad de bujías, que, aunque parezcan iguales, cada tipo aporta un valor añadido según la motorización que lleve equipado nuestro vehículo. Para el caso de estudio, se consideran bujías que dependen del tipo de material del cual se encuentran constituidos.

Bujías de cobre. Son el modelo tradicional y más común de bujías, por ser de este material se garantiza un flujo constante y abundante de corriente eléctrica al cilindro, además la conducción eléctrica es excelente. (Tilz et al., 2023a)

Bujías de iridio. En la actualidad es la de mayor calidad, elaboradas con una aleación de iridio en el electrodo central, soldado en un proceso especial con láser, por lo que es resistente a la erosión provocado por la chispa, lo cual disminuye el desgaste y prolonga los periodos de sustitución. (Ren et al., 2023)

Bujías de platino. Son una de las bujías más caras y duraderas dentro del mercado junto con las bujías de iridio. Su resistencia se debe a que tienen menor conductividad y compensan su labor junto a un electrodo central con punta que mejora y optimiza el salto de corriente. (Ren et al., 2023; Tilz et al., 2023b)

1.2. Proceso de Combustión

En un motor MCI, el proceso de combustión se da porque al finalizar la carrea de compresión del motor, se comprime una mezcla aire combustible a la cual se le considera homogénea.

A esta mezcla se le introduce una energía de activación a través de una descarga eléctrica generada entre los electrodos de la bujía por el sistema de encendido. (Flórez & Agramunt, 2005) Si se toma en consideración un caso particular de combustión perfecta Figura 8, el carbono se une al oxígeno del aire para conformar dióxido de carbono (CO_2) y el hidrogeno se junta con el oxígeno para formar agua (H_2O), además de obtener nitrógeno (N_2). (Sanchez, 2011)

Figura 8

Esquema de una Combustión Perfecta.



Nota. Adaptado de *Esquema de una combustión perfecta*, de Sanchez, 2011, Fuente: (Sanchez, 2011).

Estos elementos no contaminantes se generan siempre y cuando se cumpla la proporción óptima o mezcla estequiométrica. Dicha proporción es 1 g de combustible por cada 14,7 g de aire, es decir, una relación en peso entre gasolina y aire igual a 1: 14,7. Además, las emisiones generadas en el escape están compuestas por un elevado número de elementos (más de 200) originados durante el proceso de combustión.

La combustión puede ser:

- Combustión completa.
- Combustión incompleta.
- Combustión estequiométrica o teórica.
- Combustión con exceso de aire o mezcla pobre.
- Combustión con defecto de aire o mezcla rica.

1.2.1. Secuencia de la Combustión

El inicio de la combustión se la lleva a cabo en una secuencia adecuada, considerando las condiciones físicas determinadas para adquirir la mayor potencia posible y rendimiento energético, este proceso se da en cuatro etapas:

1. Salto de la chispa.
2. Inicio de la combustión.
3. Proceso de combustión.
4. Fin de la combustión.

El proceso de combustión no solo pretende que el rendimiento energético sea lo mayor posible, sino obtener la mayor potencia, es decir, que se pueda realizar un trabajo lo más rápidamente posible. (Rodríguez Melchor, 2012)

1.3. Degradación del Aceite

El aceite lubricante de un MCI es degradado debido a la combinación de temperaturas elevadas de funcionamiento cerca de la cámara de combustión (nitración térmica) y la interacción con los gases de combustión que pasan de la cámara de combustión, a través de los anillos, al cárter (gases de escape). Estos tipos de gases contienen combustible y oxígeno no quemado, óxidos de nitrógeno y otros productos que son de gran influencia en la degradación de los aceites del motor. (Lee et al., 2005)

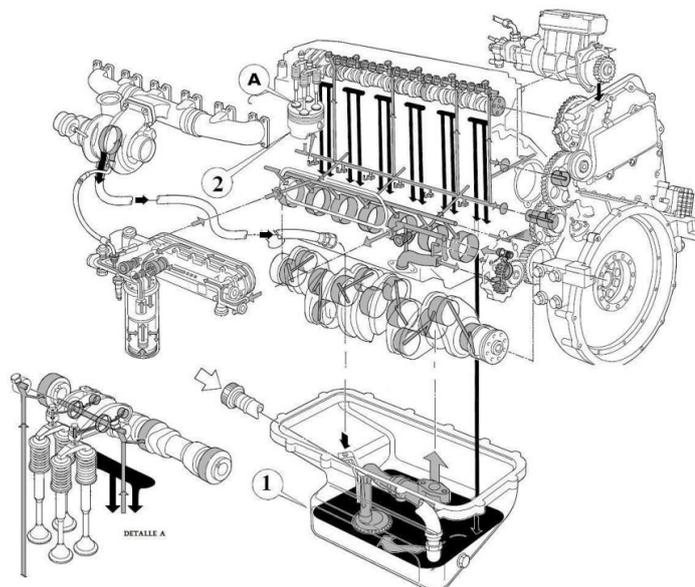
1.3.1. Variables que Afectan a la Degradación

Oxidación. La oxidación es una reacción química la cual genera un cambio en la estructura molecular del aceite lubricante al momento de que se pone en contacto con un elemento oxidante, a este tipo de reacción se le conoce como las más preponderante en los aceites lubricantes del MCI. Este proceso de degradación del lubricante está sujeta a reacciones de oxidación y reducción, más conocidas como reacciones redox.

Las reacciones redox son las reacciones de transferencia de electrones, estas se llevan a cabo mediante un conjunto de elementos químicos, uno oxidante y uno reductor. En el interior de un MCI existen dos zonas bastante diferenciadas: en una se evidencian altas concentraciones de oxígeno y en la otra, condiciones elevadas de temperatura. El cárter del motor es en donde se da una de las reacciones de oxidación conocida como “Bulk oxidation” (1), Figura 9 . Esta es capaz de conseguir una carga negativa de electronegatividad con más facilidad, lo que va a dar lugar a la formación de ácidos al momento de oxidar el lubricante. Por otra parte, la cámara de combustión es la zona que presenta elevadas temperaturas dentro de todo el sistema de lubricación, en esta parte se alcanzan temperaturas promedio de 200 °C y 300 °C, en este momento se genera el siguiente tipo de oxidación al cual se le conoce con el nombre de “Thin film oxidation” (2). (GÓMEZ ESTRADA, 2013)

Figura 9

1. Bulk Oxidation; 2. Thin Film Oxidation



Nota. Adaptado de *Bulk Oxidation & Thin Film Oxidation*, de GÓMEZ ESTRADA, 2013, Fuente: (GÓMEZ ESTRADA, 2013).

Nitración. La nitración de igual manera que la oxidación, son reacciones que van de la mano con la presencia de oxígeno y las altas temperaturas a las que está sometido el aceite lubricante dentro del sistema de lubricación. La nitración también afecta a la vida útil del aceite lubricante, especialmente en sistemas donde se cuenta con altas temperaturas de combustión, como sucede en los MCI. La nitración es una de las pocas variables que afecta a la degradación del aceite y que no existe un estudio detallado como los procesos de oxidación en un MCI.

Contaminación. Se llaman contaminantes a todas las sustancias extrañas que contiene el aceite, estas pueden ser generadas por el propio sistema o por el propio aceite, además, pueden ser externas o internas al sistema y estar en estado sólido o semisólido, líquido y gaseoso.

Estos tipos de contaminantes pueden afectar las prestaciones del aceite, degradándolo y agotando el paquete de aditivos. Los contaminantes atacan químicamente a los componentes del sistema de lubricación y equipos, además, crean acumulaciones de lodos o incrustaciones de barnices, lo cual dificulta la circulación del aceite y en definitiva la degradación acelerada del aceite. (GÓMEZ ESTRADA, 2013) Existe una gran parte de los fallos de los componentes a lubricación que son causados por contaminantes.

1.4. Lubricación en los Motores de Combustión Interna

La lubricación tiene como objetivo reducir la fricción entre dos superficies con movimiento relativo y que mantienen contacto, como es el caso del cigüeñal. Reducir la fricción, también es reducir el desgaste de las piezas, alargando su tiempo de vida útil.

La sustancia utilizada para obtener estas funciones se denomina lubricante.(Tormos, 2005) Existen tres tipos de lubricación Figura 10, en función de las características de la película lubricante:

1.4.1. Lubricación Límite

Cuando el motor se encuentra en reposo y se produce el arranque, se ejerce el contacto metal contra metal, pues la velocidad relativa entre las piezas de contacto es menor y por este motivo no se genera la presión suficiente para soportar la carga, produciendo el contacto metálico y problemas consiguientes como el desgaste, incremento de temperatura y agarrotamiento, pérdida de potencia y ruido.(Guerrero Palacios, 2016)

1.4.2. Lubricación Semifluida

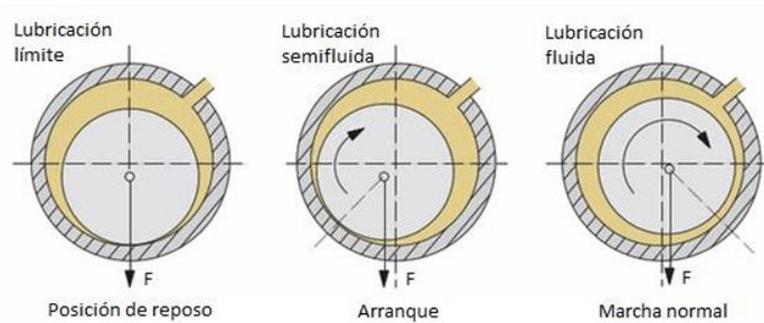
En este tipo de lubricación ya existe una separación mínima entre las superficies de contacto por la presión de aceite, pero por las bajas características del aceite o la reducida velocidad relativa, todavía existen roces entre los elementos de contacto, provocando problemas de desgaste por fricción. La lubricación semifluida se da en los primeros instantes en el que arranca el motor, donde las características del aceite no evitan el contacto entre las superficies metálicas, pues el aceite debe garantizar que, a pesar de no existir la presión necesaria, sus elementos internos no se desgasten.(Guerrero Palacios, 2016)

1.4.3. Lubricación Fluida

Se le considera como el tipo de lubricación ideal, cuando la película es suficientemente consistente como para evitar el contacto entre componentes mecánicos, se da cuando existe una alta presión en la bomba o por la velocidad relativa entre componentes alta. En este tipo de lubricación los componentes mecánicos sufren menos desgaste.(Guerrero Palacios, 2016).

Figura 10

Tipos de Lubricación



Nota. Adaptado de *Tipos de lubricación*, de Escudero, 2011, Fuente: (Escudero et al., 2011)

1.5. Lubricante

Existen muchos tipos de sustancias lubricantes diseñadas para equipos y formas de operación específicas, producto de ello no existe ningún lubricante genérico. Los lubricantes se dividen en dos clases principales: aceites y grasas, siendo la mayoría de las grasas semisólidas, mientras que los aceites son líquidos. (Castillo, 1998)

1.5.1. *Características Físicas y Químicas de los Lubricantes.*

Para el correcto funcionamiento de un MCI se necesita que el aceite lubricante cuenta con características físicas y químicas específicas como:

Viscosidad. Determina la resistencia de un fluido a fluir, está directamente relacionada con lo espeso que sea el aceite. Esta resistencia es provocada por las fuerzas de atracción entre las moléculas del líquido. (Delgado, 2006) Probablemente la propiedad más importante del aceite lubricante es la viscosidad, pues es un factor fundamental, en la creación de películas lubricantes, afecta a la generación de calor y el enfriamiento de cilindros, engranes y cojinetes. La viscosidad manda en el efecto sellante del aceite, la tasa de consumo del aceite y determina la facilidad con la cual la maquinaria se enciende en condiciones de frío. (Viteri & Jaramillo, 2011)

Índice de viscosidad. Mide el cambio de viscosidad en función a la temperatura, y se refleja como el valor correspondiente a este índice, valores altos indican que el aceite tiene una mejor resistencia del aceite a la temperatura (Buchelli & Garcia, 2015)

Densidad. Es la relación entre la masa y el volumen de aceite medido, aunque su variación durante el servicio es relativamente pequeña y no presenta interés. (Delgado, 2006)

Punto de inflamación. Es la temperatura más baja a la cual se inflama el aceite lubricante cuando se producen suficientes vapores. (Arellano, 2009)

TAN y TBN. El TAN (Total Acid Number), corresponde a los ácidos orgánicos y representa la acidez total del lubricante, mientras que el TBN (Total Base Number) corresponde a la reserva alcalina para combatir los ácidos generados por la combustión dentro de los motores. (Buchelli & Garcia, 2015)

Ceniza sulfatada. Es el peso en porcentaje del material metálico proveniente de los aditivos encontrados mediante la incineración de aceite y luego con ácido sulfúrico. (Rivas, 2019)

Resistencia a la oxidación. Capacidad que el lubricante opone a formar compuestos oxidados y reaccionar con el oxígeno. (Rivas, 2019)

Demulsibilidad. Capacidad que tiene el lubricante de dividir el agua que lo contamina y conservarlo en suspensión. (Tormos, 2005)

Detergencia. Capacidad del lubricante de arrancar las formaciones de carbón y lodo que se encuentran en las paredes de los elementos móviles del motor y así mantener estos residuos, suspendidos en el aceite. (Rivas, 2019)

Dispersancia. Propiedad del lubricante de dispersar hacia todo el aceite las formaciones de carbón y lodo, para evitar que se vuelvan a depositarse en la superficie.(Rivas, 2019)

Disolvencia. Es la capacidad del lubricante de disolver o desintegrar las partículas contaminantes que se encuentran en el aceite.(Delgado, 2006)

1.6. Aditivos

En muchas ocasiones las propiedades de los lubricantes no son suficientes para garantizar el correcto funcionamiento de todas las piezas móviles y evitar la fricción, es por lo que al lubricante se le agrega diferentes aditivos que mejoran las características físicas y químicas del lubricante. Los principales tipos de aditivos se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1

Principales Tipos de Aditivos

Tipo	Naturaleza Química	Función
Dispersante básico	Calcio, bario o phenato de magnesio o silicato	Neutralización de ácidos Dispersión de solubles
Dispersante de cenizas	Poli-isobutenol succimide	Dispersante de hollín Prevención de lacas.
Antioxidante	Difosfato de zinc, hindered pferrol, olefin fosfosulforizado.	Prevención de oxidación y densidad
Aditivo de presión extrema	Ditiofasfato de zinc, fosfato orgánico, sulfuro orgánico y compuesto clorinine.	Prevención del desgaste (camones y metales)
Aditivo anticorrosivo	Calcio, teórico o sulfonato de sodio, amino orgánico.	Prevención de corrosión.
Mejorador del índice de viscosidad	Compuesto polimérico, poliéster o hidrocarbonos.	Reducción de pérdida de viscosidad por aumento de temperatura.
Rebaja el punto pobre Aditivo anti-espuma	Metacrilato Polimérico compuesto de silicona	Mejora las propiedades de flujo a bajas temperaturas.

Nota. Adaptado de *Principales Tipos de Aditivos*, de Escudero, 2006, Fuente: (Delgado, 2006)

1.7. Análisis de Aceites Lubricantes

El análisis de aceites lubricantes es útil para controlar las propiedades físicas y químicas del lubricante, como son la viscosidad, acidez, contaminantes como agua, hollín, lodos, punto de inflamación. (Albarracin, 1998) Mediante el análisis espectro gráfico y conteo de partículas en el aceite se determina residuos de desgaste, con los que se puede identificar que el elemento mecánico el cual se está desgastando de manera anormal, esto permite encontrar de una manera directa los problemas que puede sufrir un motor.

1.7.1. Técnica de Conteo de Partículas

El conteo de partículas del aceite de un motor de combustión interna se refiere al número de partículas sólidas suspendidas en el aceite. Estas partículas pueden incluir contaminantes como polvo, hollín, virutas de metal y otros residuos que se acumulan durante el funcionamiento del motor.(Kučera et al., 2016)

El conteo de partículas del aceite de motor suele medirse mediante un método denominado conteo de partículas, que consiste en hacer pasar una muestra de aceite por un sensor que detecta y cuenta el número de partículas presentes. Los resultados suelen indicarse como el número de partículas de un determinado rango de tamaño por mililitro (ml) o por centímetro cúbico (cc) de aceite.(Dadouche & Conlon, 2016)

Los límites aceptables del conteo de partículas varían en función del motor y del tipo de aceite. Sin embargo, en general, es deseable un menor contenido de partículas, ya que indica un aceite más limpio y una mejor protección del motor.

CARACTERIZACIÓN DE LAS BUJÍAS Y OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE ACEITE

Las distintas características constructivas que presentan las bujías inciden de manera directa en la combustión que se da al interior del motor, pues cada propiedad es importante en la calidad de chispa que proporciona la bujía

2.1. Descripción del Vehículo

Los vehículos de transporte público permitirán la recolección de muestras de aceite en un tiempo menor que los vehículos particulares, puesto que el servicio que ofrecen garantiza recorrer un mayor kilometraje en menor tiempo. Para la correcta ejecución de esta investigación se realizó un convenio con una unidad de transporte público. Este vehículo experimental es un taxi Nissan Sentra (Figura 11), cuyas características técnicas se recogen en la Tabla 2. Esta unidad realiza su recorrido en la ciudad de Cuenca, Azuay, Ecuador.

Figura 11

Unidad Experimental



Nota. Fuente: Autores.

Tabla 2

Características del Motor del Automóvil Nissan Sentra 1.6 2010

Variable	Característica
Marca	Nissan
Serie	Tsuru
Número de cilindros	4
Disposición de cilindros	En línea
Potencia máxima	78 kW, 106 hp
Par motor máximo	137 Nm, 101 ft-lb
Cilindrada	1597 cc
Tipo de motor	DOCH

Nota. Adaptado de *Características del motor del automóvil Nissan Sentra 1.6 2010*, de Escudero, 2006, Fuente: (Nissan, 2010)

El motor del vehículo mencionado es un tipo DOCH (doble árbol de levas a la cabeza), mismo que se muestra en la Figura 12. Este motor se caracteriza por tener 4 cilindros dispuestos en línea, con 4 válvulas por cilindro.

Figura 12

Motor NISSAN TINCAM 16 Válvulas



Nota. Fuente: Autores

2.2. Caracterización de las variables de Estudio

2.2.1. Aceite lubricante

El manual de fabricante del vehículo Nissan Sentra recomienda el uso de aceite 5W40 (Nissan, 2010) aun así, para vehículos que son sometidos a temperaturas excesivamente altas y para actividades de alto estrés como permanecer en funcionamiento por horas, en algunos casos hasta las 24 horas, es recomendado incrementar la viscosidad del aceite (Macas Redrován et al., 2011). Es por ello, que el vehículo del estudio utiliza un aceite SAE 20W50 (Figura 13).

Figura 13:

Aceite GOLDEN BEAR 20W50



Nota. Fuente: Autores.

El aceite lubricante GOLDEN BEAR GOLD 5K es un lubricante multigrado de última generación diseñado para motores a gasolina de 4 tiempos, por su calidad es la segunda marca más utilizada por detrás de Kendall (Ramírez & Cañizares, 2023).

Este tipo de aceite es muy utilizado en vehículos livianos, vans, light truck, vehículos sport que operan en severas condiciones de manejo, desgaste rápido de elementos y alto kilometraje acumulado. Las propiedades de este lubricante se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Propiedades del Aceite

Viscosidad	Propiedades Típicas
Grado SAE	20W50
cSt 40°C	147
cSt 100°C	19
Índice de Viscosidad	147
C.C.S. cP @° C	6044cP @-15°C
HTHS Cp @ 150°C	4.663
Volatilidad NOACK	4.202%
Gravedad Específica a 15.6° C	0.869
Punto de Inflamabilidad	248°C
Numero Básico Total TBN	6.9
Cenizas Sulfatadas	0.71%

Nota. Fuente: Autores.

2.2.2. Bujías

La caracterización de la bujía es un proceso mediante el cual se estudian las propiedades estructurales y funcionales de la misma con el objetivo de conocer información importante como, por ejemplo, su constitución, aplicación, y aspectos clave sobre su funcionamiento. En la Figura 14 se muestra de manera esquemática la estructura de una bujía, mientras que la descripción de esta se detalla en la Tabla 4.

Figura 14

Características de la Bujía



Nota. Fuente: Autores.

Tabla 4*Caracterización de la Bujía*

Elemento	Característica
Ranuras	Cinco ranuras extienden la superficie del aislador y las distancia entre la terminal y el casquillo metálico.
Aislador	Fabricado de cerámica de aluminio de alta pureza, resistente al calor y la conductividad térmica.
Relleno de polvos especiales	Proporciona una buena hermeticidad al gas y una construcción robusta.
Casquillo Metálico	Recubrimiento anticorrosivo contra altas temperaturas.
Arandela	Su configuración especial evita fugas de gases de combustión.
Longitud de la rosca (Alcance)	Recubrimiento anticorrosivo contra altas temperaturas.
Núcleo de cobre	Disipa rápidamente una gran cantidad de calor, proporcionando así una bujía de “amplio rango térmico” de rendimiento superior tanto a alta como a baja velocidad.
Electrodo central y de tierra	La aleación especial de níquel asegura una superior resistencia al calor y durabilidad.

Nota. Fuente: Autores.

Se seleccionaron los tipos de bujías para el vehículo Nissan Sentra en función de las opciones disponibles en el mercado. Estas bujías presentan diversas características dependiendo el material de fabricación, como cerámica, iridio y platino.

Bujía de Cerámica. Estas bujías son utilizadas comúnmente en motores de combustión interna. Construidas con un aislante de cerámica en el cuerpo principal, tiene las siguientes ventajas:

- Mayor ignitabilidad que las bujías convencionales.
- Buen desempeño del motor
- Aumenta el ahorro de combustible.

Este tipo de bujía se caracteriza por tener un corte en V en la punta del electrodo central (Figura 15a), el cual beneficia a que el núcleo de la llama se origine cerca del borde exterior de los electrodos y crezca alejándose de la bujía (Figura 15b).

Figura 15a

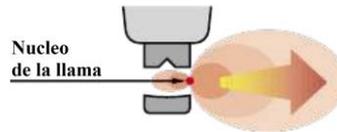
Corte en V



Nota. Adaptado de *Corte en V*, de NGK SPARK PLUGS, 2019, Fuente: (NGK SPARK PLUGS, 2019)

Figura 15b

Núcleo de la Llama



Nota. Adaptado de *Núcleo de la Llama*, de NGK SPARK PLUGS, 2019, Fuente: (NGK SPARK PLUGS, 2019)

Bujía de Iridio. Tiene un electrodo central de iridio de 0.6mm de diámetro (Figura 16a), soldado con láser. Esto las hace más duraderas, resistentes a la corrosión y a la temperatura, además proporciona los siguientes beneficios:

- Aceleración excepcional.
- Alto aprovechamiento de combustible.
- Lo último en desempeño y tecnología.

El tipo de metal precioso que contiene esta bujía permite que el electrodo central sea considerablemente más fino, de tal manera que disminuya notablemente la necesidad de tensión de encendido y contribuya a optimizar la distribución del frente de la llama en la cámara de combustión (Figura 16b).

Figura 16a

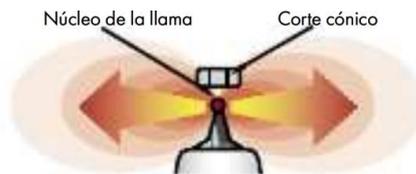
Punta de Iridio



Nota. Adaptado de *Punta de Iridio*, de NGK SPARK PLUGS, 2019, Fuente: (NGK SPARK PLUGS, 2019)

Figura 16b

Núcleo de la Llama



Nota. Adaptado de *Núcleo de la Llama*, de NGK SPARK PLUGS, 2019, Fuente: (NGK SPARK PLUGS, 2019)

Por otra parte, las bujías de iridio necesitan menos voltaje para el salto de la chispa, lo cual resulta en un a mayor tiempo de reposo de las bobinas, es decir mejora la combustión, economía de combustible, menos emisiones e incremento de potencia.

Bujía de Platino. Este tipo de bujía en conjunto con la bujía de iridio son las más costosas del mercado, pero tienden a tener una larga duración en comparación con las convencionales. Aunque esta bujía tiene menos conductividad, tiene una punta de platino que la hace más duradera, resistente a la corrosión y proporciona las siguientes características:

- Encendido más rápido y mejor aceleración.
- Extremadamente resistente a altas temperaturas.
- Lo último en desempeño y tecnología.
- La punta de platino reduce el requerimiento de voltaje.

Como se aprecia en la Figura 17a, gracias al grosor del electrodo central, necesita poca tensión de encendido y, además, descarga las bobinas y garantiza una óptima combustión hasta en las partes exteriores de la cámara de combustión gracias al núcleo de su llama Figura 17b.

Figura 17a

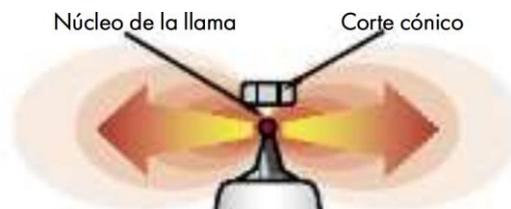
Punta de Platino



Nota. Adaptado de *Punta de Platino*, de NGK, 2018, Fuente: (NGK, 2018)

Figura 17b

Núcleo de la Llama



Nota. Adaptado de *Núcleo de la Llama*, de NGK, 2018, Fuente: (NGK, 2018)

2.3. Acondicionamiento del Vehículo

El objetivo de este acondicionamiento es realizar un mantenimiento preventivo al motor del vehículo previo a la recolección de muestras de aceite, con el fin de obtener resultados reales.

Además, así se evitarán fluctuaciones de otras variables que influyen en la combustión y por ende en los resultados del experimento.

La configuración previa al muestreo de aceite es:

- Reemplazo del Aceite Motor marca GOLDEN BEAR 20W50.
- Reemplazo del Filtro de Aceite.
- Reemplazo del Filtro de Combustible.
- Reemplazo del Filtro de Aire.
- Reemplazo de Bujías.

Cambio de Aceite. El cambio de aceite es fundamental en un motor debido a que en condiciones de funcionamiento produce rozamiento y fricción entre elementos lo que ocasiona desgaste. Es importante mantener una adecuada lubricación de los elementos mediante una película de aceite, la cual controle el desgaste prematuro de elementos, alargando al máximo la vida útil del motor.

La obtención de muestras de aceite el cambio del lubricante está basado en un kilometraje recorrido por el vehículo. Normalmente el automóvil utilizado para la investigación (Nissan Sentra) realiza el cambio de aceite cuando el kilometraje se encuentra alrededor de los cinco mil kilómetros de recorrido. Por ello para este estudio se planteó previamente realizar cambios de aceite cada tres mil kilómetros con el fin de optimizar tiempo y mejorar el proceso de recolección de muestras. Este proceso se realizará con cada tipo de bujía.

Cambio de Filtro de Aceite. El filtro de aceite es el encargado de mantener el circuito de lubricación fuera de impurezas generadas por la fricción de las piezas internas del motor y el proceso de combustión, siendo un elemento fundamental en el circuito de lubricación, por lo que es obligatorio sustituirlo en cada cambio de aceite. Esto ayuda a prolongar la vida útil del motor y evita la degradación de la calidad del aceite. En la Figura 18 se observa el filtro de aceite utilizado en el experimento:

Figura 18

Filtro de Aceite



Nota. Fuente: Autores.

Los contaminantes principales que debe retener el filtro de aceite son:

- Partículas que proviene del desgaste del motor.
- Partículas que provienen del exterior.
- Carbonilla que resulta de la combustión parcial e incompleta.

A continuación, en la Tabla 5 se presentan los datos técnicos del filtro utilizado.

Tabla 5

Ficha Técnica del Filtro de Aceite

Variable	Característica
Marca	Samury
Código	SPH3614
Alto	86 mm
Diámetro Exterior	77 mm
Rosca	$\frac{3}{4}'' - 16$

Nota. Fuente: Autores.

Sustitución de Bujías. Las bujías son las encargadas de generar la combustión de la mezcla aire combustible que enciende al motor del vehículo, es decir, son una pieza fundamental para su funcionamiento. Por ello, para este estudio es de suma importancia mantenerlas en buen estado y reemplazarlas cada vez que se realice el cambio de aceite del automotor.

Figura 19

Cambio de Bujías



Nota. Fuente: Autores.

Las bujías por utilizarse son de tres tipos de acuerdo con el material del cual se encuentran fabricados y son los siguientes:

Figura 20a

Bujías de Cerámico



Nota. Fuente: Autores.

Figura 20b

Bujías de Iridio



Nota. Fuente: Autores.

Figura 20c

Bujías de Platino



Nota. Fuente: Autores.

Sustitución del Filtro de Aire. El filtro tiene un rol muy importante dentro del proceso de combustión, debido a que ayuda a impedir que impurezas como silicio, polvo, suciedad, insectos y otros contaminantes ingresen al motor. Es obligatorio sustituirlo en cada cambio de aceite, caso contrario, el flujo de aire que ingresa al motor se reduce modificando el equilibrio de aire y combustible del vehículo. Esto puede llevar a contaminar las bujías y el aceite haciendo que el motor no tenga un buen rendimiento.

En la Figura 21 se observa el filtro de aire utilizado en el vehículo experimental. Los datos técnicos del mismo se presentan en la Tabla 6.

Figura 21

Filtro de Aire



Nota. Fuente: Autores.

Tabla 6

Ficha Técnica Filtro de Aire

Variable	Característica
Color	Rojo
Uso	Motor
Material	Papel
Largo de Punta a Punta	28 cm X 17 cm 3.5 cm
Dentro del Empaque	1 filtro
Clave Previa	FILTRO AIRE 19949
OEM (Nissan)	16546-15M001

Nota. Fuente: Autores.

Cambio de Filtro de Combustible. El objetivo del filtro de combustible es eliminar la suciedad, el óxido, y otros contaminantes del combustible. Cuando la gasolina pasa a través de un filtro sucio, lleva consigo todo tipo de impurezas, transportándolas hacia los inyectores y las válvulas. Como consecuencia, la gasolina no será homogénea y la combustión del motor no será adecuada. En la Figura 22 se puede observar el filtro de combustible que se sustituye cada cambio de aceite.

Figura 22

Filtro de Combustible



Nota. Fuente: Autores.

A diferencia del diésel la mayoría de los filtros a gasolina son de tipo blindado, es decir el material filtrante no se puede separar del filtro. Para este caso los elementos de la parte interna del filtro suelen estar hechos de celulosa, resinas y fibras sintéticas. En la Tabla 7 se recogen los datos técnicos del filtro de combustible.

Tabla 7

Datos Técnicos Filtro de Combustible

Variable	Característica
Tipo	Caja completa
Diámetro Carcasa	55 mm
Diámetro 1	59,5
Altura 1	72 mm
Altura	114 mm
Diámetro 2	8 mm
Diámetro 3	8 mm
Serie	312

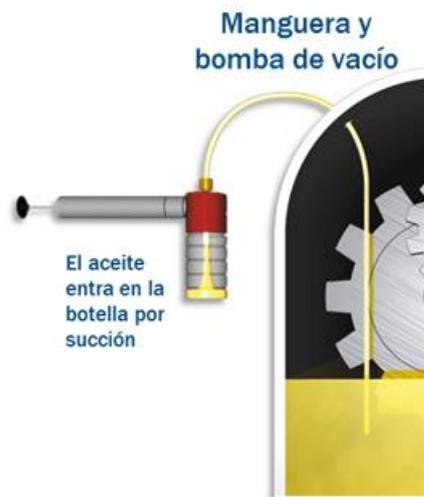
Nota. Fuente: Autores.

2.4. Protocolo de Muestreo

Un análisis de aceite exitoso empieza con un muestreo correcto, ordenado y que siga un proceso adecuado, además de tener en cuenta la frecuencia de muestreo la cual debe ser consistente. La correcta extracción de la muestra de aceite se realiza con el motor encendido, y a su temperatura de funcionamiento para que esta, sea lo más representativa posible. Es importante que los materiales utilizados sean los adecuados, mismos que garanticen que la muestra de aceite no se contamine con agentes externos. La extracción de la muestra se realizará mediante una bomba de vacío, como se muestra en la Figura 23

Figura 23

Muestro a Través de la Varilla de Medición de Nivel de Cáster



Nota. Adaptado de *Muestro a través de la varilla de medición de nivel de cárter*, de Morocho & Puenestar, 2020, Fuente: (Morocho & Puentestar, 2020)

2.4.1. Recipiente de Almacenamiento

El contenedor de la muestra de aceite (Figura 24) deberá contar con diferentes requisitos para que la muestra no se contamine en el proceso de transporte y almacenamiento, los cuales se enumeran a continuación:

- Debe ser capaz de resistir altas temperaturas.
- Debe mantener la muestra libre de otros contaminantes.
- Debe tener una estructura que garantice la hermeticidad.
- Debe ser lo suficientemente sólido para que soporte el transporte y el almacenamiento.

Figura 24

Recipiente de Almacenamiento



Nota. Fuente: Autores.

2.4.2. Identificación de Muestras de Aceite

Las etiquetas identificadoras del envase tienen la importante función de informar las características y condiciones de la muestra, pues todos estos datos son necesarios para el correcto análisis del aceite. Es por ello, que estas no deben presentar ningún tipo de alteración o equivocación, además deberá rotularse con letra impresa, clara y legible. La etiqueta de identificación presenta los datos mostrados en la Figura 25.

Figura 25

Etiqueta de Identificación

MUESTRA N°:
Lubricante:
Kilometraje:
Fecha toma de muestra:/...../.....

Nota. Fuente: Autores.

2.4.3. Almacenamiento de Muestras de Aceite

El correcto almacenamiento de las muestras es muy importante para evitar la contaminación de estas y por ende los cambios químicos, fotoquímicos y biológicos que se pueda suscitar en el aceite, debido a las diferentes temperaturas, contacto con la luz solar y el crecimiento de bacterias respectivamente. Para evitar estos cambios el almacenaje debe contar con los siguientes requisitos:

- Sin exposición a la luz solar
- Temperatura que oscila entre 18°C y 21°C
- Espacio limpio, alejado del contacto biológico

Siguiendo estas recomendaciones se podrá mantener las características del aceite, y así obtener un correcto análisis.

2.5. Equipos de Laboratorio

El análisis de aceite consiste en realizar pruebas con el lubricante para determinar las condiciones en las que se encuentra éste en un determinado tiempo, así como la bujía utilizada, puesto que así se logrará identificar un patrón respecto a la degradación del aceite según el material de la bujía.

La técnica utilizada es de las más sencillas pues proporcionan cantidades de particulado que está presente en el aceite, este particulado puede ser por contaminación o desgaste.(Trujillo & América, 2008)

2.5.1. Contador de Partículas Yateks YJS-150

Figura 26

Contador YJS-150



Nota. Fuente: Autores.

Este modelo de contador de partículas utiliza el principio de bloqueo de luz. El proceso identifica la cantidad y el tamaño del particulado presente en el aceite.

Sus características son:

- Usa el sistema de bloqueo de luz.
- Cuenta con un sensor de alta precisión.
- Se rige en las normas NAS1638, ISO 4406-99, ISO4406-87, AS4059D, etc.
- Dispone de un Display LED y Touch Screen.
- Impresora para de datos recolectados.

Tabla 8*Datos Técnicos Contador YSJ-150*

Variable	Característica
Rango de medición	1-400 μ m
Sensibilidad	1 μ m o 4 μ m
Velocidad detección	20mL/min
Tasa de limpieza	5-35mL/min
Precisión de conteo	\pm 10%
Límite de error coincidente	12000part/mL
Viscosidad máxima de muestra	400 cSt

Nota. Adaptado de *Datos Técnicos Contador YSJ-150*, de TAL INSTRUMENTS,

Fuente: (TAL INSTRUMENTS, s/f).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo recoge el análisis de resultados de la degradación del aceite con los diferentes tipos de bujías (cerámica, iridio y platino) usados en la unidad experimental. Los datos (muestras de aceite) se obtuvieron a una frecuencia de 500 km hasta los 3000 km con el objetivo de adquirir una mayor cantidad de estos y mejorar la veracidad del análisis por el contador de partículas. Una vez llegado al kilometraje final de la prueba, se efectúa el cambio de aceite lubricante y la sustitución del tipo de bujía.

3.1. Normativa ISO 4406-2017 para el conteo de partículas

La finalidad de la norma es permitir la cuantificación de los niveles de contaminación en términos de partículas por milímetro de fluido, y se expresa en grupos de tres dígitos: xx/xx/xx. Cada número en el código representa un nivel específico de partículas contaminantes. A medida que aumenta el número en el código, el rango de cantidad de partículas se duplica (Tabla 9).

Tabla 9:

Rangos de códigos de contaminación por cada 100 mL

Código de rango	Mas de	Hasta o incluso
24	8 000 000	16 000 000
23	4 000 000	8 000 000
22	2 000 000	4 000 000
21	1 000 000	2 000 000
20	500 000	1 000 000
19	250 000	500 000
18	130 000	250 000
17	64 000	130 000
16	32 000	64 000
15	16 000	32 000
14	8 000	16 000
13	4 000	8 000
12	2 000	4 000
11	1 000	2 000
10	500	1 000
9	250	500
8	130	250
7	64	130
6	32	64
5	16	32
4	8	16
3	4	8
2	2	4
1	1	2

Nota. Adaptado de *Rangos de códigos de contaminación por cada 100 mL*, de ISO 4406, 2017, Fuente: ISO 4406, 2017

La norma ISO 4406 también sirve para especificar el nivel de limpieza que se necesita para los componentes a utilizar, por ello su propósito no es únicamente expresar el nivel de contaminación.

3.2. Conteo de partículas

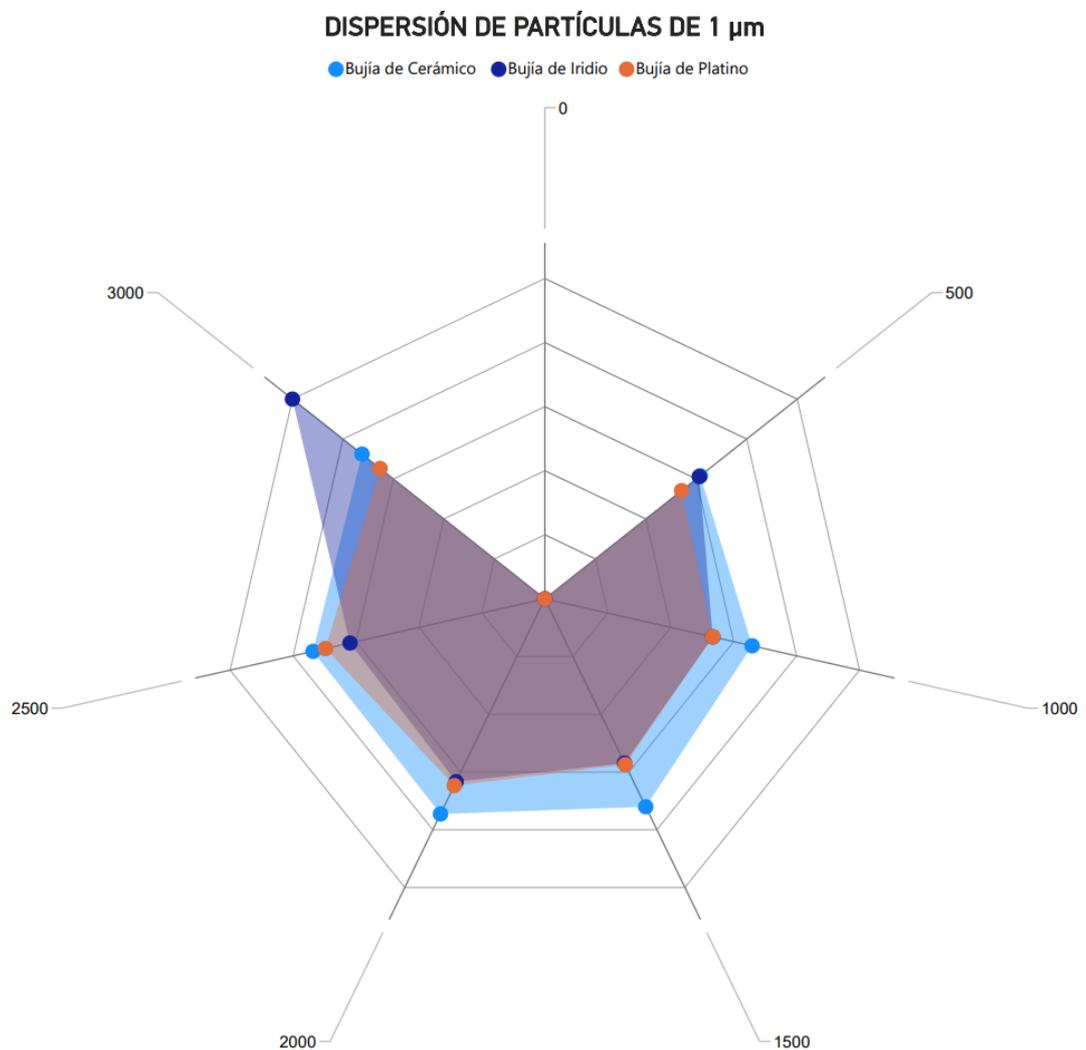
Se utilizó la técnica de límites estadísticos para analizar los resultados del conteo de partículas obtenidos previamente. Esta técnica consiste en calcular desviaciones de los promedios de las partículas por millón en diferentes rangos de micro unidades para cada tipo de bujía de estudio, utilizando valores normalizados. Siendo que las partículas de tamaño mayor a 4 y 6 micras sugieren una propensión a la formación de depósitos de partículas, mientras que aquellas mayores a 14 micras indican la presencia de partículas grandes, las cuales pueden contribuir significativamente a un potencial fallo catastrófico de un componente (Bilbao & Málaga, 2012). Este análisis se aplica específicamente para medir el desgaste metálico y establecer los márgenes de los rangos mediante la desviación estándar y el valor promedio. El límite normal es el valor promedio y en condiciones normales del aceite, el particulado no deberá exceder el límite 1, el cual es la suma del valor promedio más una desviación estándar.

Cuando existe cantidad de particulado que sobrepasa el límite 1 se considera una señal preocupante o de alarma y en casos de existir particulado que excede el límite 2, el cual se determina mediante la adición del valor promedio y dos desviaciones estándar, se cataloga como una señal crítica.

Conteo de partículas de 1µm. De acuerdo con la Figura 27, se puede apreciar que al dispersarse partículas de 1 µm, se evidencia un incremento notable de la contaminación en el aceite lubricante al emplear bujías de iridio. Este aumento comienza a ser significativo a partir de los 2500 kilómetros, aproximadamente. Este incremento señala un nivel más alto de partículas sólidas contaminantes en el aceite lubricante, lo que resulta en una degradación acelerada del mismo.

Figura 27

Dispersión de partículas de 1 µm.

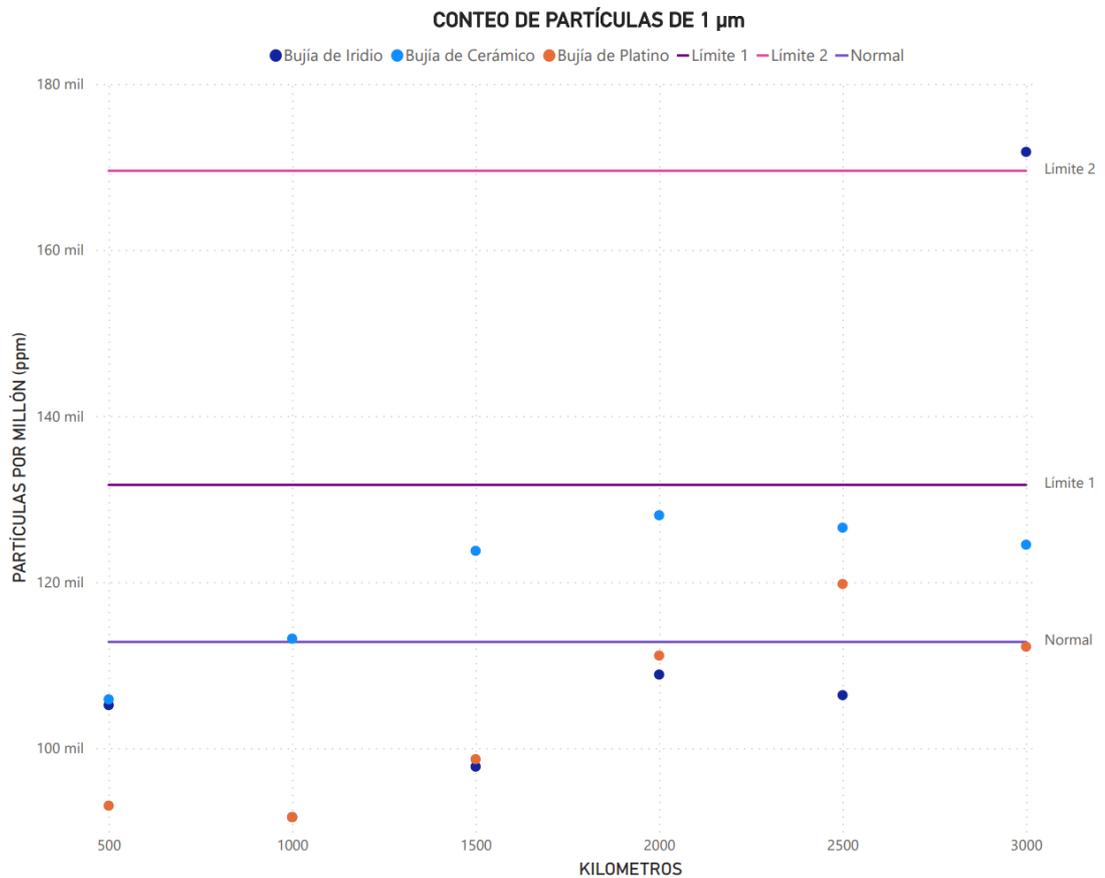


Nota. Fuente: Autores.

En la Figura 28 se detalla que en el caso de las bujías de platino la mayoría de las partículas en el aceite lubricante opera por debajo del límite normal, esto demuestra un nivel de contaminación menor. Por otro lado, el aceite que funciona juntamente con las bujías de cerámica tiene un nivel de contaminación mayor, esta mayor cantidad de partículas contaminantes sobrepasa el límite normal, pero por debajo del límite 1, el cual es el límite de alarma.

Figura 28

Conteo de partículas de 1 μm

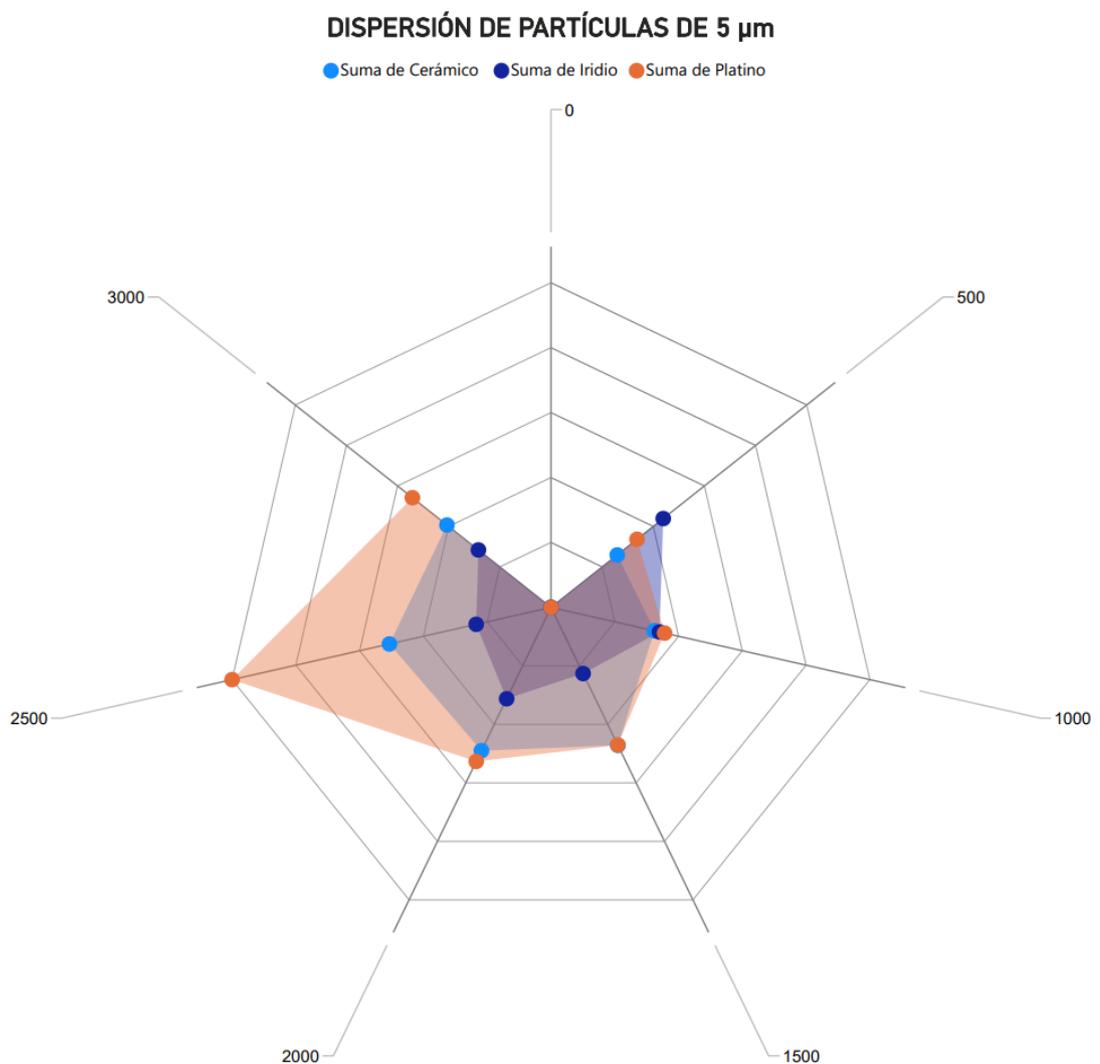


Nota. Fuente: Autores.

Conteo de partículas de 5µm. Al analizar la dispersión y conteo de partículas de 5µm, se observa que las bujías de platino presentan una mayor concentración de partículas contaminantes en comparación con las bujías de cerámica e iridio. Este incremento en la contaminación del aceite lubricante se evidencia a partir de los 2000Km como se muestra en la Figura 29.

Figura 29

Dispersión de partículas de 5 µm

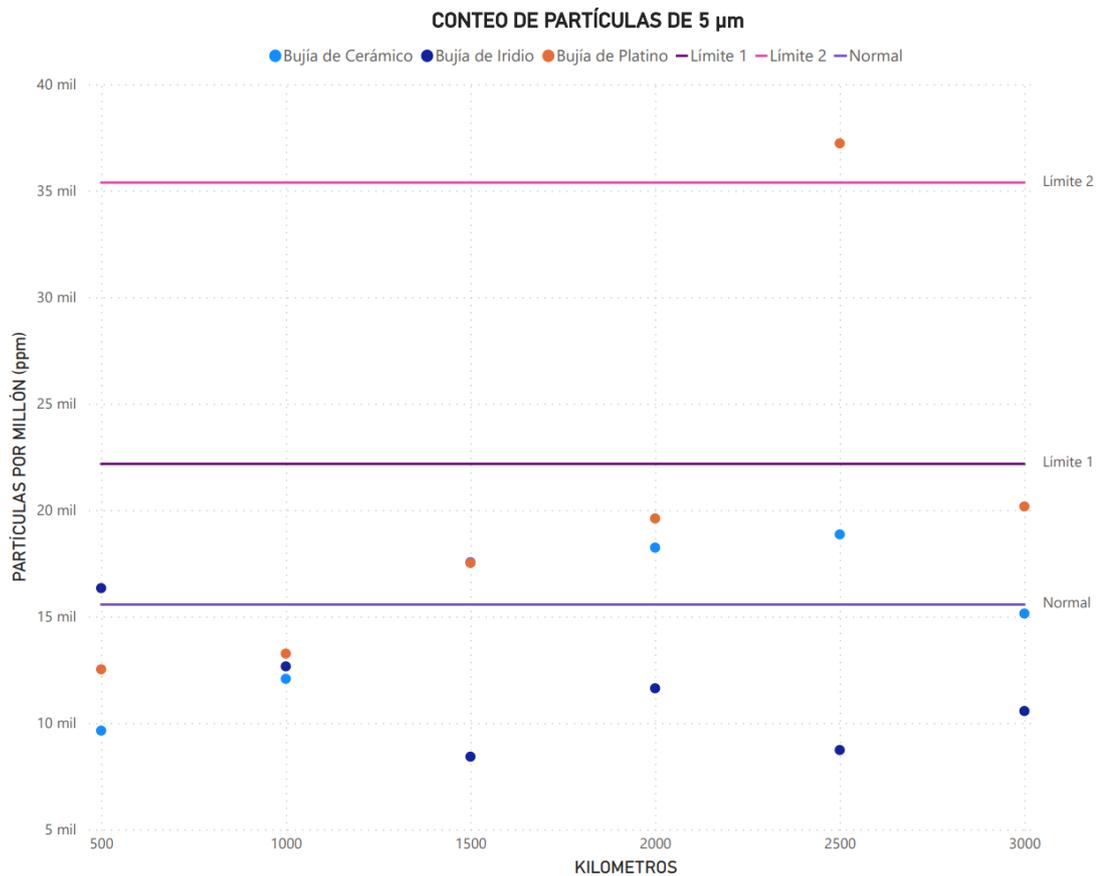


Nota. Fuente: Autores.

En la Figura 30 se observa que la bujía de platino sobrepasa el límite 2, esto indica un estado crítico de contaminación en el aceite lubricante, contrario a la bujía de iridio que mantiene el nivel de contaminación por debajo del límite normal de funcionamiento. La bujía de cerámico excede el límite normal, pero no sobrepasa el límite de alarma (límite 1), esto representa que la cantidad de partículas contaminantes que generan las bujías de iridio y cerámico en el aceite lubricante es menor y por ende la degradación no es considerable en el mismo.

Figura 30

Conteo de partículas de 5 μm

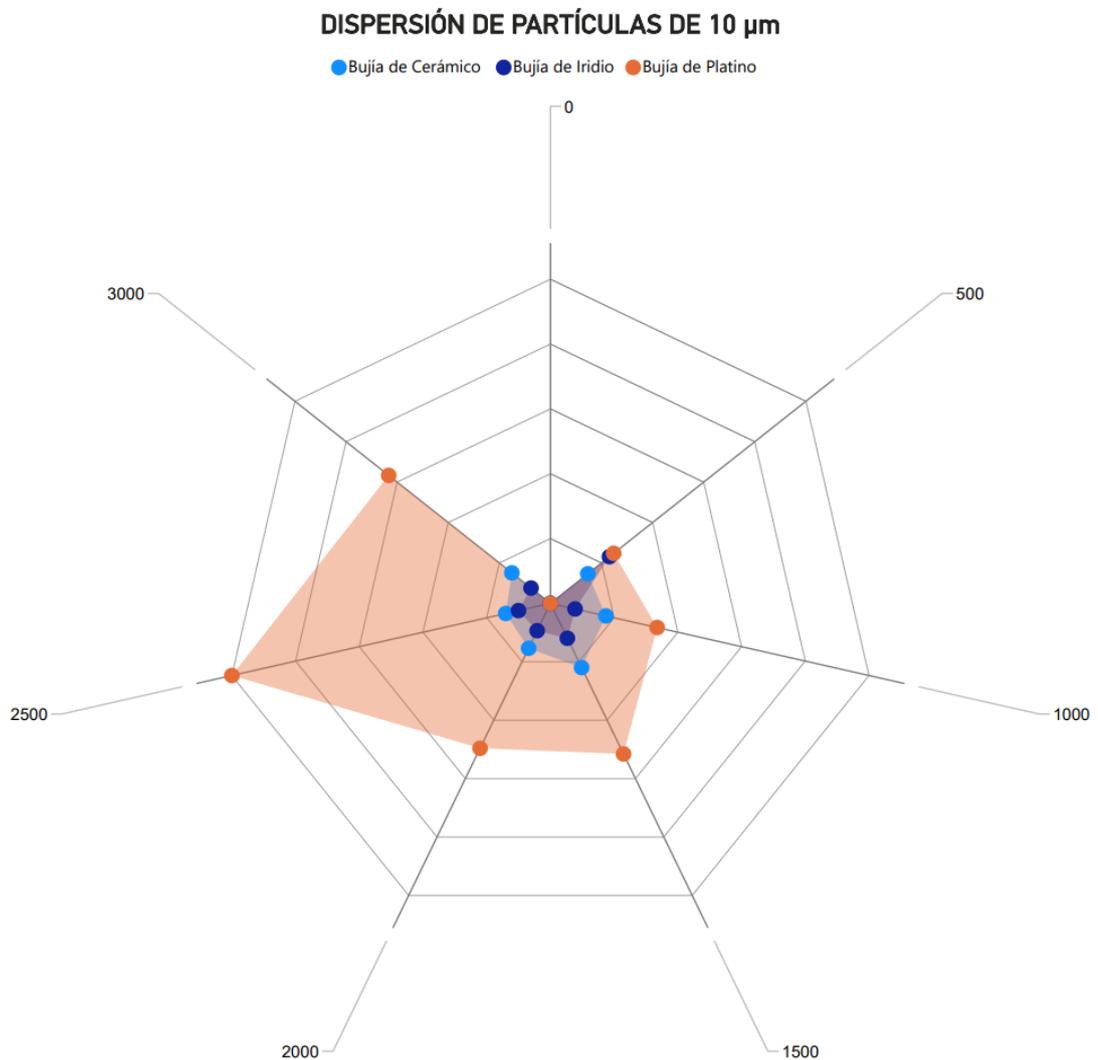


Nota. Fuente: Autores.

Conteo de partículas de 10µm. Como se muestra en la Figura 31, el análisis de la dispersión de partículas y el conteo de estas, nuevamente indican que las bujías de platino generan una mayor cantidad de partículas contaminantes en el aceite lubricante, esta contaminación se da a partir de los 1500 km. Esta gran cantidad de contaminación de partículas sólidas en el aceite lubricante disminuye su viscosidad, por lo tanto, la degradación del aceite será acelerada.

Figura 31

Dispersión de partículas de 10 µm

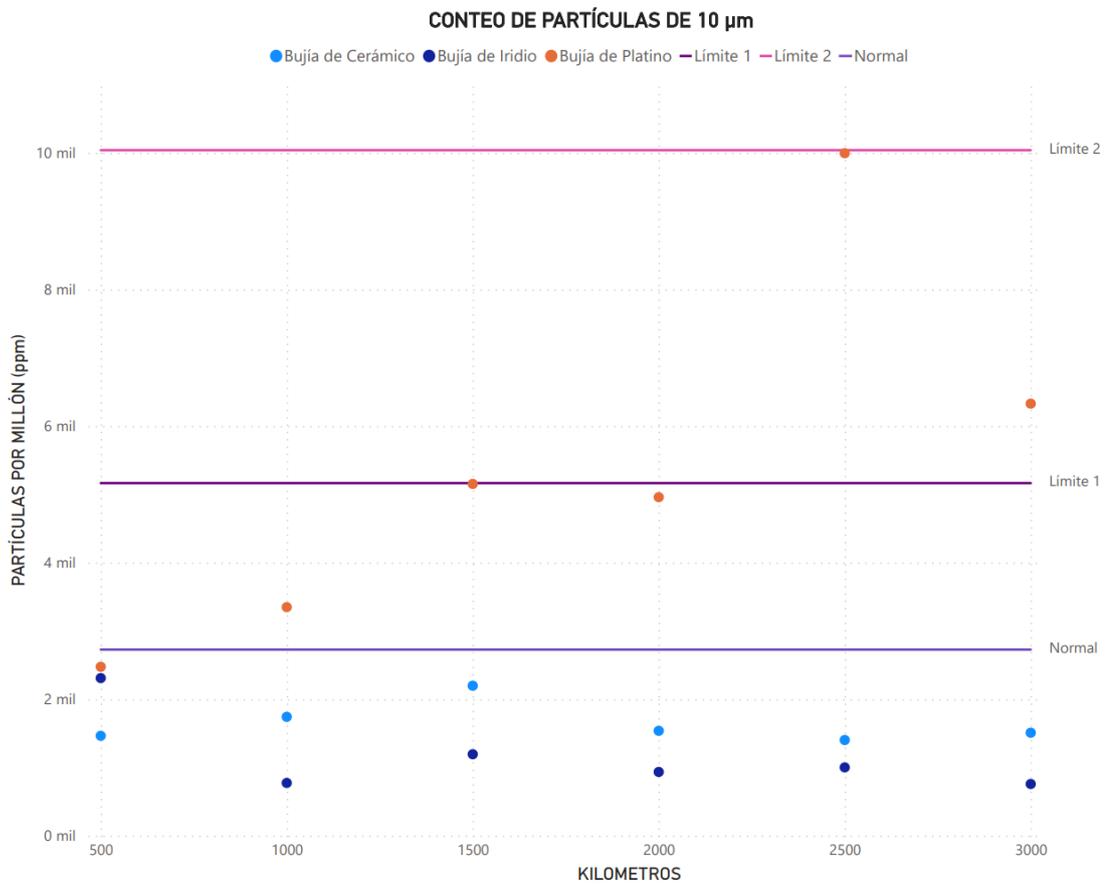


Nota. Fuente: Autores.

La Figura 32 indica que tanto las bujías de iridio como las de cerámico se encuentran dentro de un rango óptimo de funcionamiento en cuanto la generación de partículas contaminantes, sin superar los límites normales permisibles. Dentro de este rango, el aceite lubricante aún conserva sus propiedades físicas, lo que retrasa su degradación.

Figura 32

Conteo de partículas de 10 µm

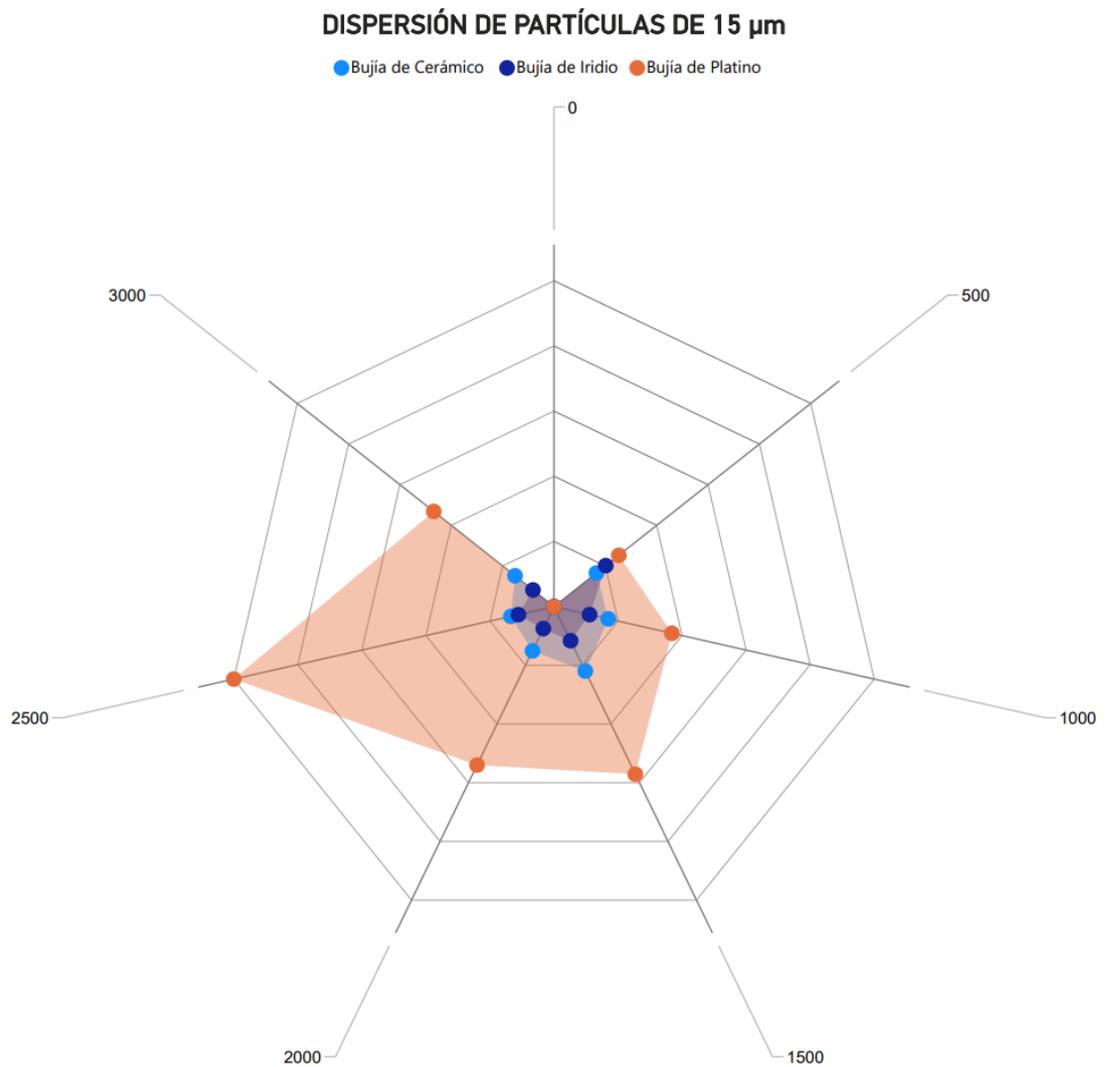


Nota. Fuente: Autores.

Conteo de partículas de 15µm. El análisis de la dispersión y conteo de partículas de 15 µm, se observa en la Figura 33 y el resultado obtenido es similar al descrito en el caso anterior (10µm), en el cual las bujías de platino nuevamente son las que mayor cantidad de partículas contaminantes generan en el aceite lubricante.

Figura 33

Dispersión de partículas de 15 µm

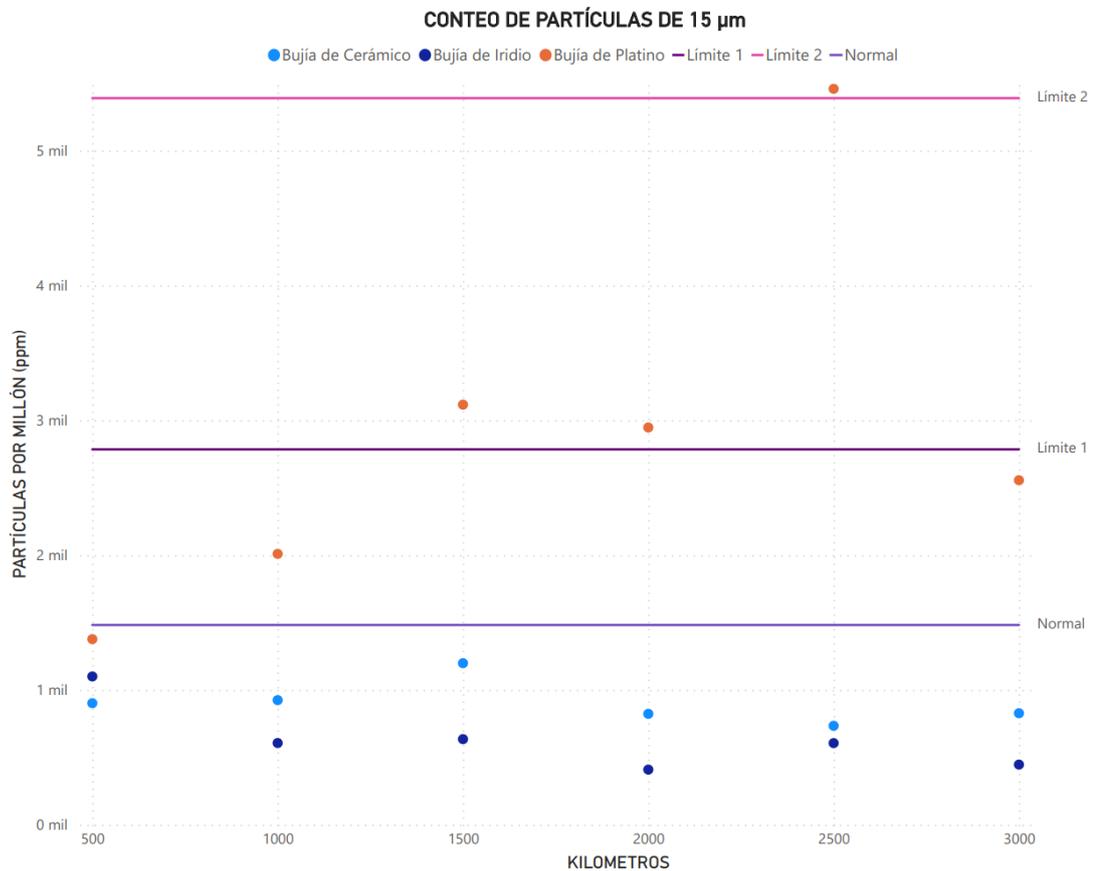


Nota. Fuente: Autores.

En la Figura 34 se puede observar que, al usar las bujías de platino, las partículas sobrepasan el límite 2, teniendo así, un aceite lubricante en estado crítico puesto que la gran cantidad de material contaminante presente en el mismo disminuirá su viscosidad y por ende aumentará su degradación. Por otro lado, se observa que las bujías de tipo cerámico e iridio funcionan en el rango óptimo sin sobrepasar el límite normal, generando mínimas cantidades de particulado las cuales no influyen de manera considerable en la degradación del aceite.

Figura 34

Conteo de partículas de 15 µm

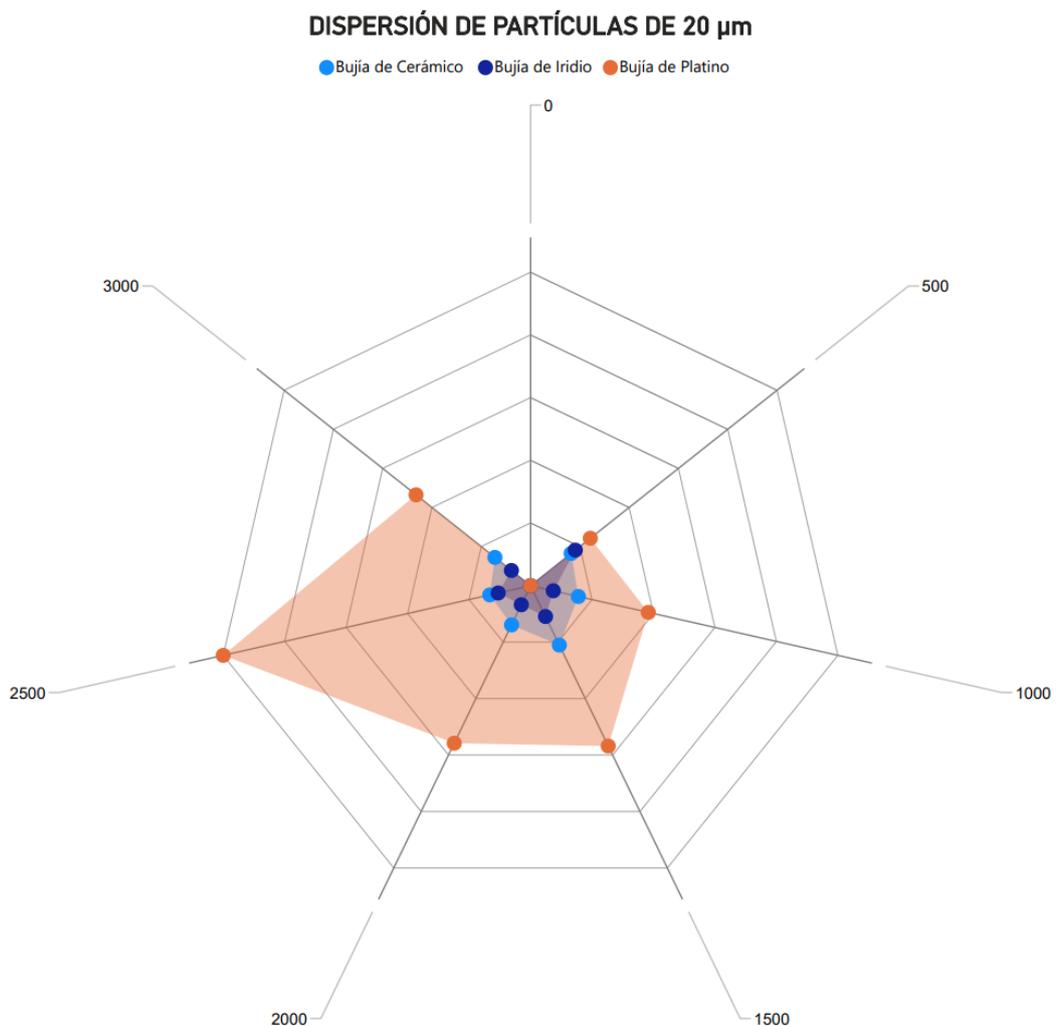


Nota. Fuente: Autores.

Conteo de partículas de 20, 30 y 50µm. La Figura 35a, Figura 35b, Figura 35c, presenta la agrupación de dispersión de partículas de 20, 30 y 50µm, y revela que estas muestran valores de contaminación similares. Un factor común entre ellas es que las bujías de platino generan una mayor contaminación en el aceite lubricante, a partir de los 1500 Km, aproximadamente. Este aumento en las partículas sólidas en el aceite provoca la pérdida de su viscosidad, tal como se observó en los análisis anteriores. Esto nuevamente afectará el proceso de degradación del aceite lubricante, resultando en una degradación más acelerada.

Figura 35a

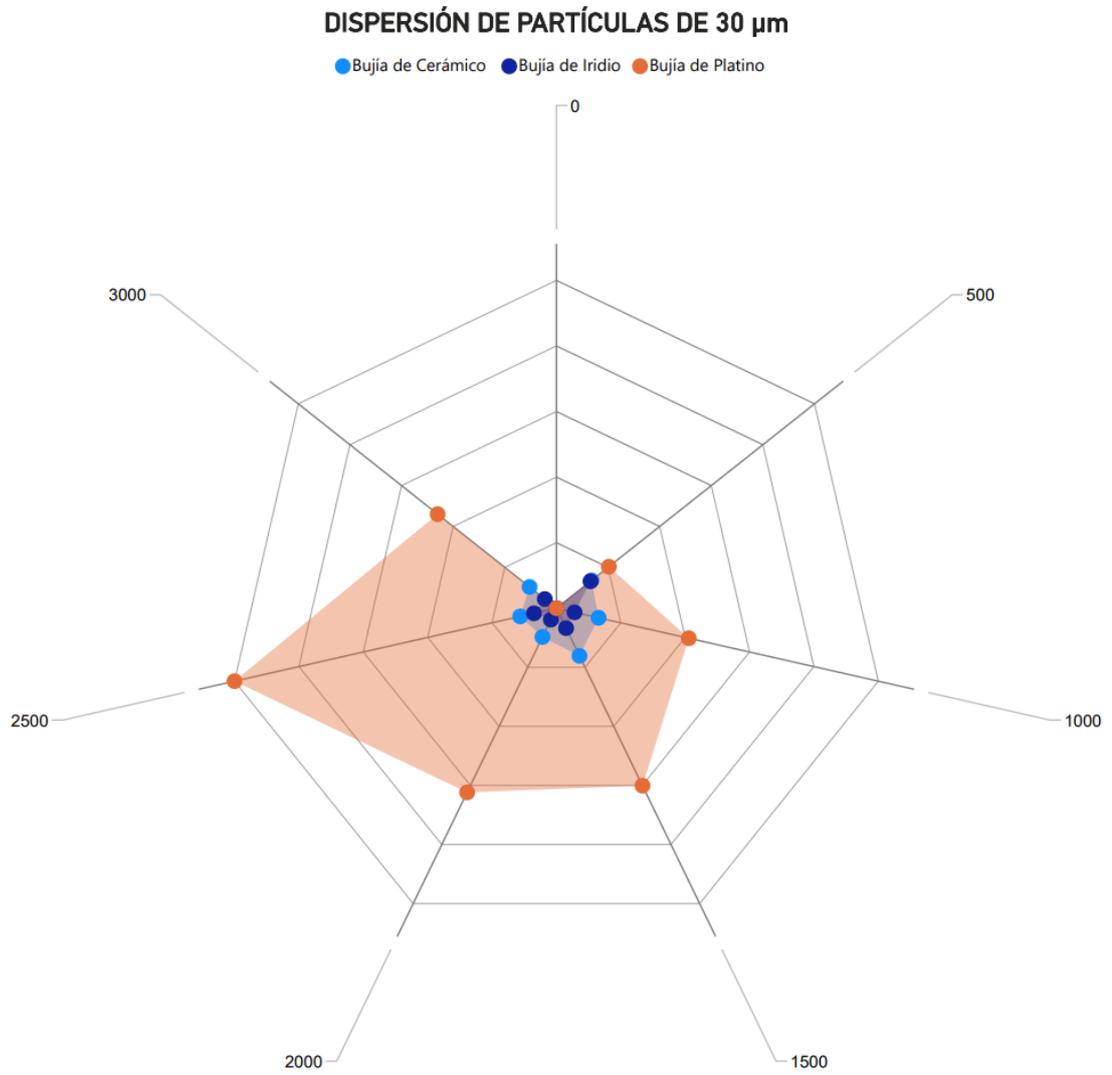
Dispersión de partículas de 20 µm



Nota. Fuente: Autores.

Figura 35b

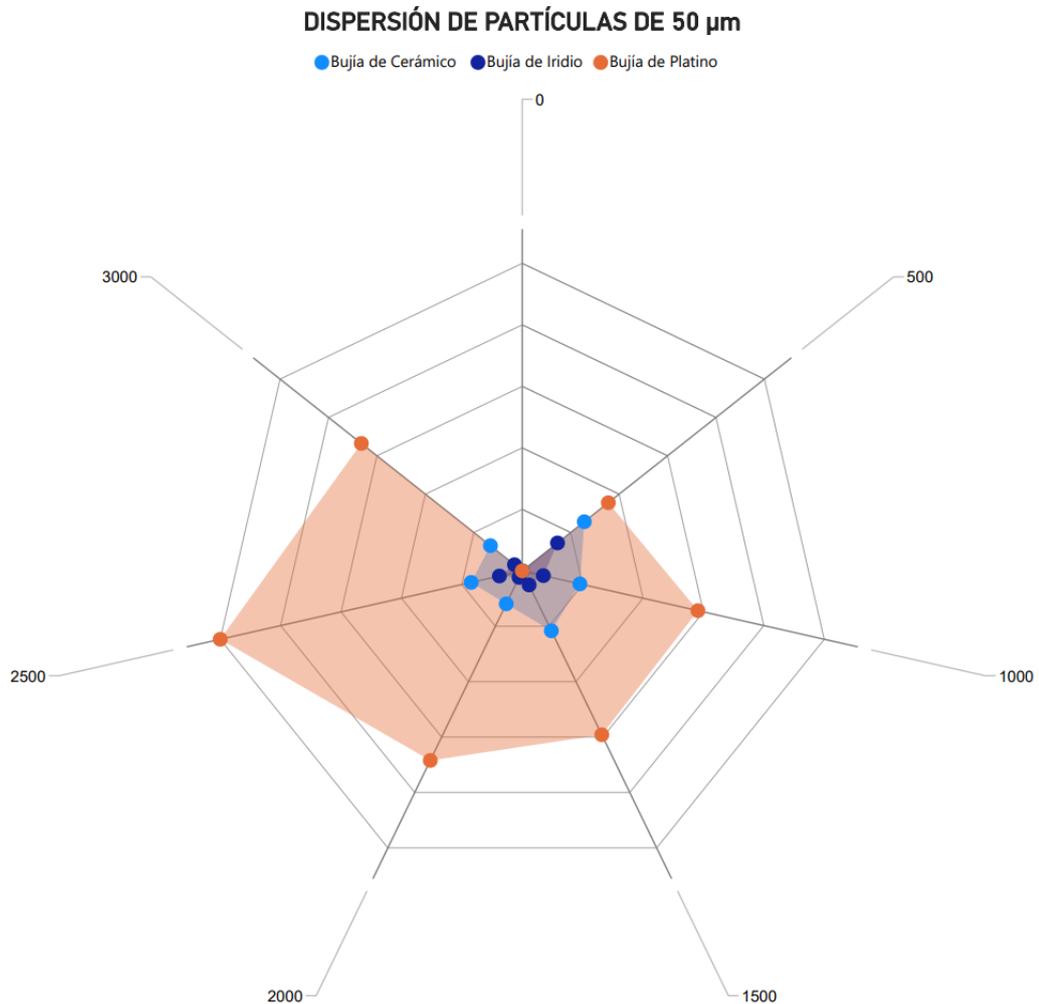
Dispersión de partículas de 30 µm



Nota. Fuente: Autores.

Figura 35c

Dispersión de partículas de 50 μm

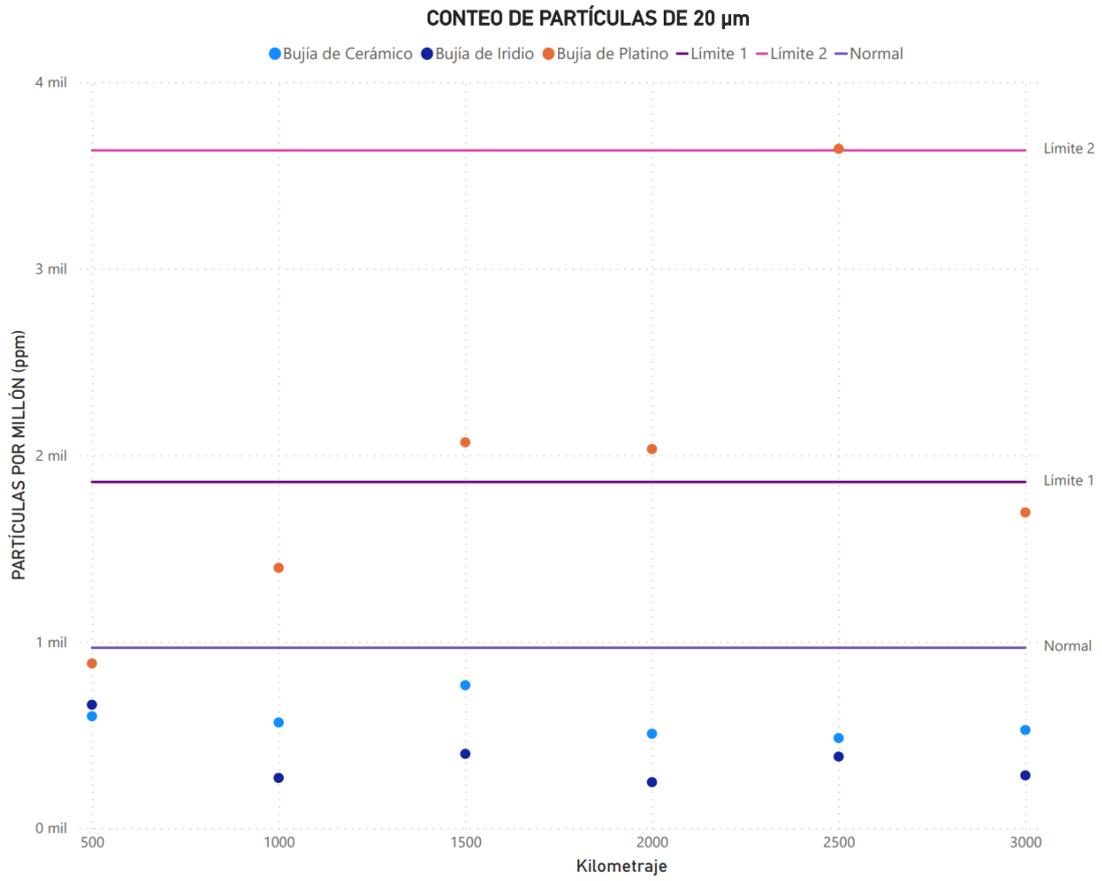


Nota. Fuente: Autores.

Las bujías de cerámica e iridio exhiben la presencia de partículas pequeñas en un rango óptimo y permisible en los tres diferentes tamaños (20, 30 y 50 μm). Estas cantidades de partículas se mantienen por debajo del límite normal. Dentro de este rango, el aceite lubricante conserva sus propiedades físicas, lo que ralentiza su degradación, tal como se puede observar en la Figura 36a, Figura 36b, Figura 36c. Por otro lado, se observa que las bujías de platino superan el límite de alarma, denominado límite 1, en los tres casos, lo que coloca al aceite lubricante en un estado crítico de contaminación.

Figura 36a

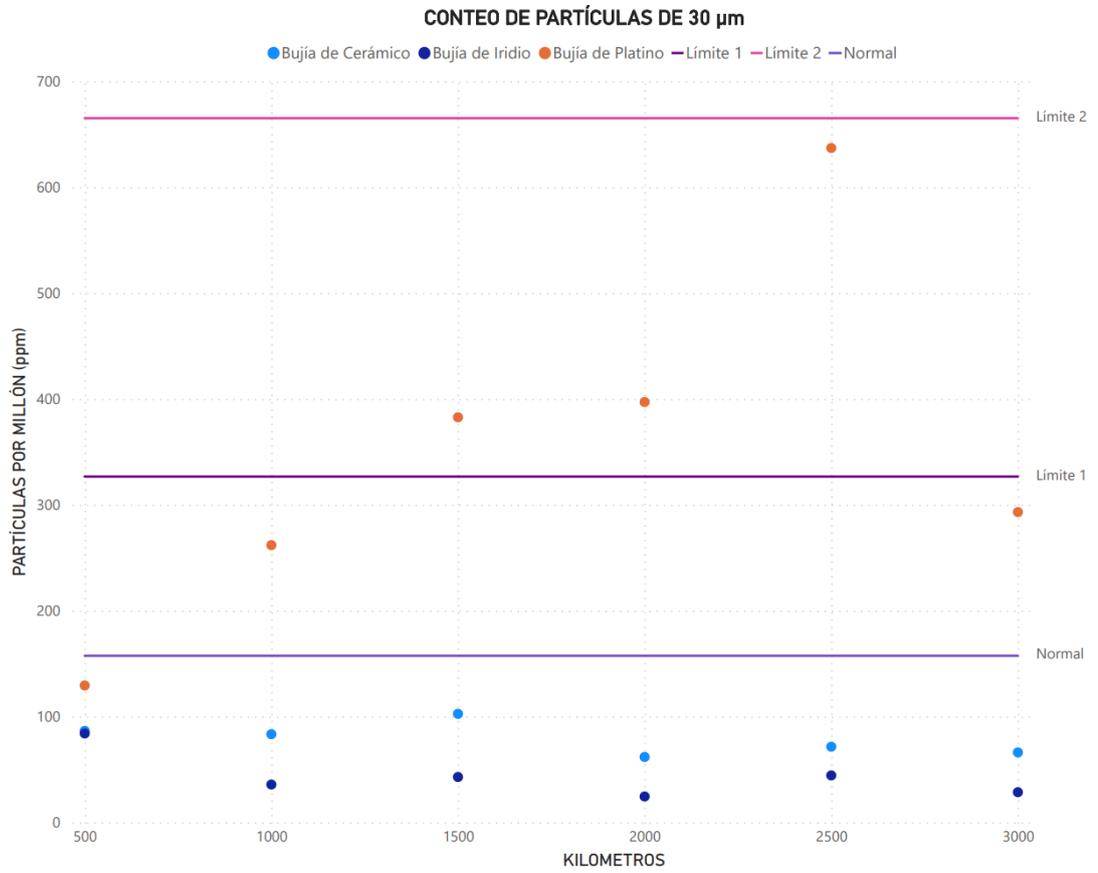
Conteo de partículas de 20 µm



Nota. Fuente: Autores.

Figura 36b

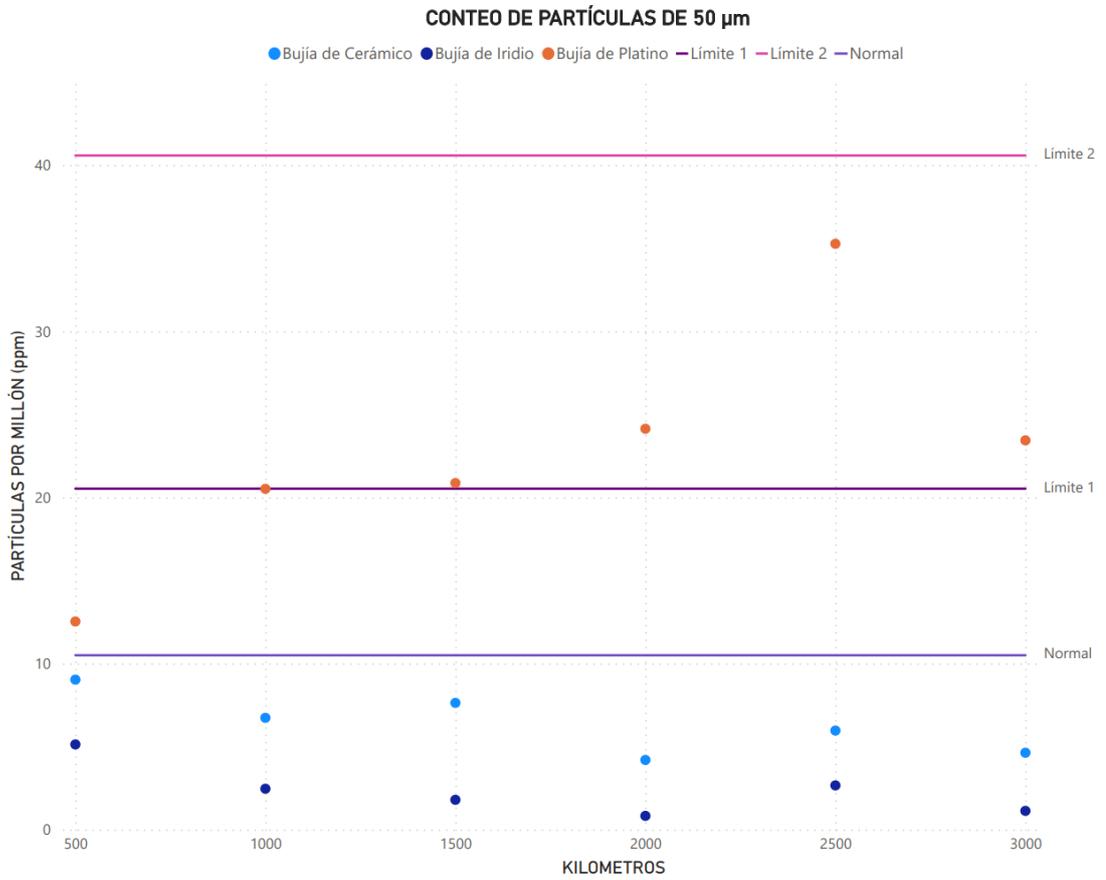
Conteo de partículas de 30 μm



Nota. Fuente: Autores.

Figura 36c

Conteo de partículas de 50 μm

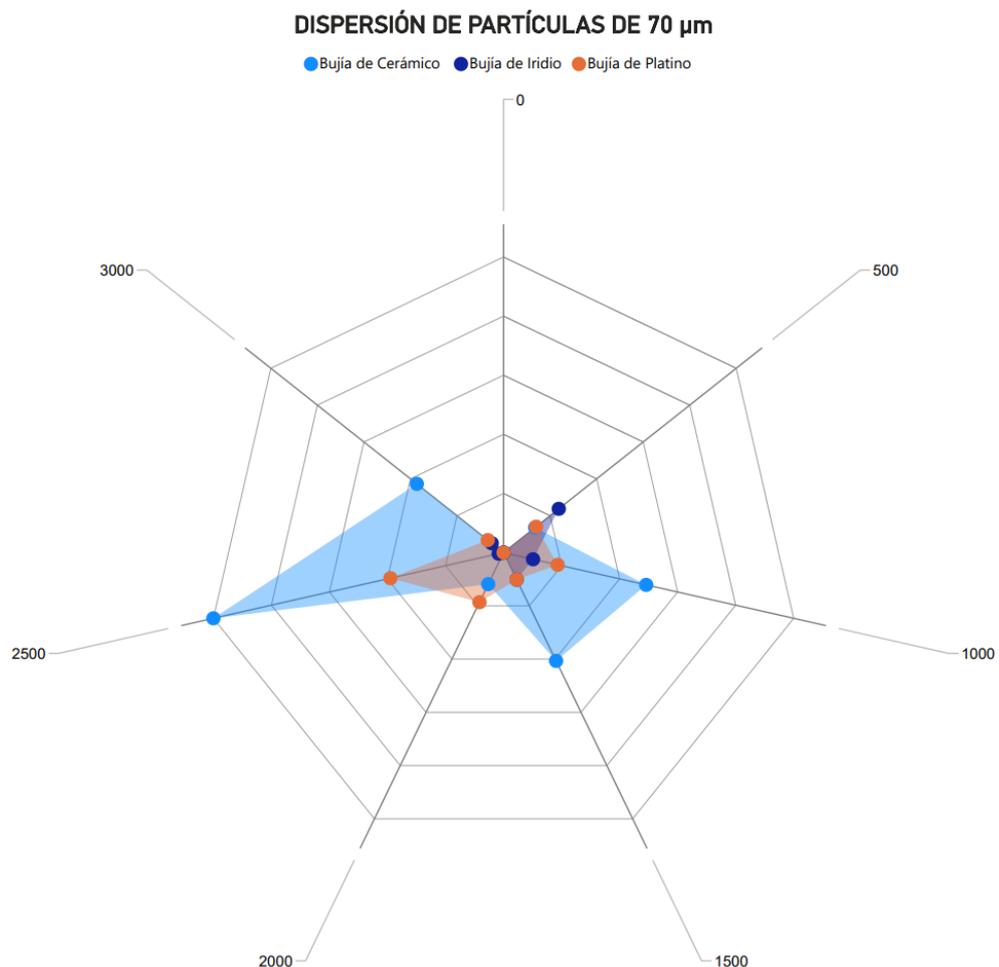


Nota. Fuente: Autores.

Conteo de partículas de 70µm. A diferencia de los casos anteriores, la Figura 37 muestra una mayor cantidad de partículas contaminantes generadas por las bujías de cerámico. En la dispersión de partículas se identifica que el aumento de contaminación se da a partir de los 1000 Km. Esto indica que la presencia de partículas sólidas en el aceite lubricante incrementa considerablemente y por lo que la viscosidad tenderá a disminuir. En este caso son las bujías de cerámica las que representan una mayor contaminación y por ende la degradación del aceite lubricante se dará en menor tiempo.

Figura 37

Dispersión de partículas de 70 µm

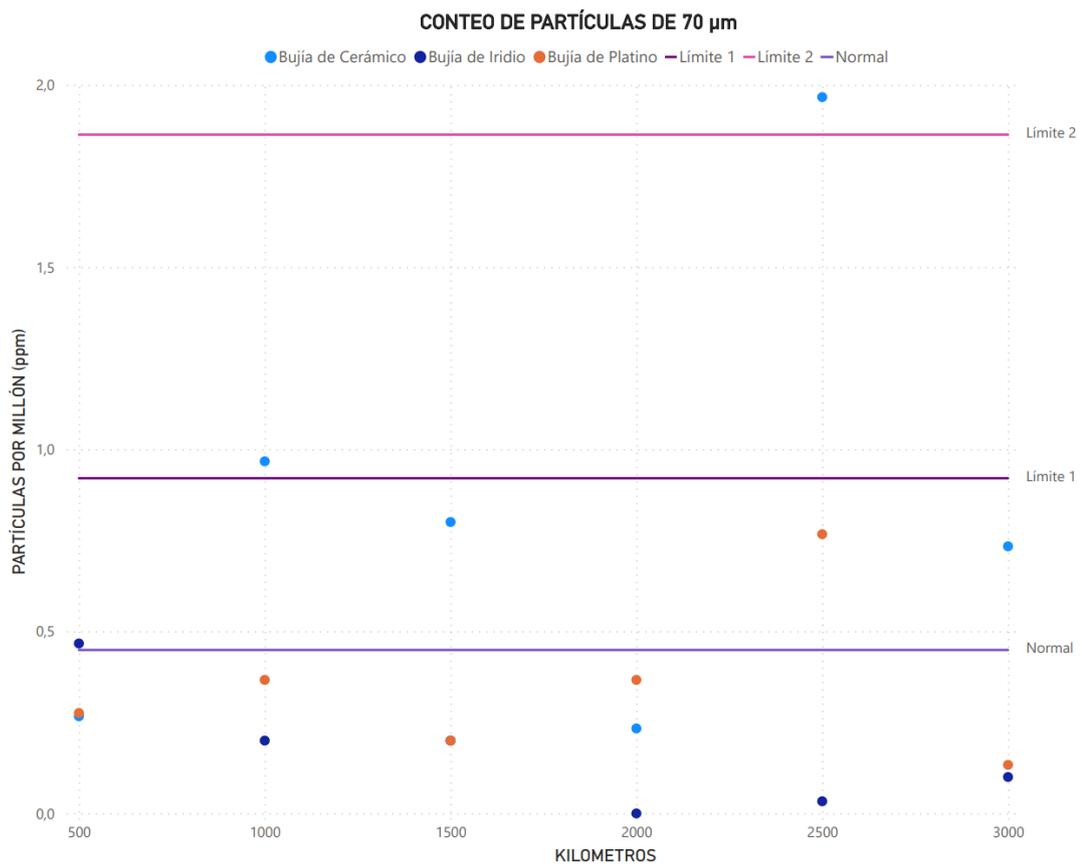


Nota. Fuente: Autores

En la Figura 38 observamos lo descrito anteriormente puesto que la cantidad de contaminación que genera las bujías de cerámico sobrepasa el límite 2, provocando que el aceite lubricante se encuentre en estado crítico, puesto que el aumento de partículas contaminantes afectará las propiedades físicas del mismo. Este caso es diferente a los anteriores, pues ahora las bujías de iridio y platino se encuentran funcionando en el rango optimo, por debajo del límite normal, esto produce una menor contaminación, sin embargo, son valores permisibles para la conservación de las propiedades del aceite lubricante.

Figura 38

Conteo de partículas de 70 μm



Nota. Fuente: Autores.

CONCLUSIONES

A través del análisis de la estructura de la bujía en relación a su material de construcción, de disponibilidad y económico, se ha determinado que los diferentes tipos de bujías se clasifican en tres gamas, siendo la bujía de iridio la que se considera de gama alta, la bujía de platino, de gama media, y la bujía de cerámica como gama baja.

Tras el análisis de aceite con el método de conteo de partículas, se identificó que la bujía de iridio genera la mayor cantidad de partículas de $1\mu\text{m}$ (Figura 28), notándose este incremento a partir de los 2500Km aproximadamente. No obstante, debido a que el tamaño de estas partículas es extremadamente pequeño, no representan una variable significativa en la degradación del aceite lubricante, por lo que sus valores se consideran permisibles.

De la misma manera, se exponen los valores del análisis de aceite lubricante en funcionamiento con la bujía de platino. Esta bujía se diferencia a las demás debido a que genera más partículas de $5,10,15,20,30,50\mu\text{m}$ (Figura 35), es decir el uso de esta bujía aumenta considerablemente las partículas contaminantes presentes en el aceite lubricante. Esta cantidad de particulado a más de contribuir a la formación de depósitos de partículas ($>4\mu\text{m}$ y $<6\mu\text{m}$) las cuales aceleran la degradación del mismo, también contribuyen en gran medida en un posible fallo mecánico de un componente ($>14\mu\text{m}$).

En el caso de la bujía de cerámica se realizó el mismo análisis de aceite y conteo de partículas, lo que determinó que esta bujía genera mayor cantidad de partículas de tamaño de 70 μm y en valores preocupantes por los cuales coloca al aceite lubricante en una condición crítica, debido a que este tamaño de particulado ($>14 \mu\text{m}$) es el que contribuye de manera directa a un posible fallo catastrófico de los componentes mecánicos que se encuentran en constante fricción.

En conclusión, un factor importante que está involucrado en la degradación del aceite es la formación de depósitos de partículas, por lo que las bujías de iridio (Gama alta) son las mejores en mantener la generación de particulado en valores normales o permisibles que no afectan las propiedades del aceite lubricante. Por otro lado, con las bujías de platino y cerámica, los valores de particulado aumentan, en el caso de las bujías de platino el incremento se da a partir de los 2500Km (5,10,15,20,30,50 μm) y con las bujías de cerámica es aún más prematuro y se da a los 1000Km (70 μm) lo que las coloca como las bujías que más influyen en la degradación del aceite.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Rehim, A. A. (2013). Impact of spark plug number of ground electrodes on engine stability. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(2), 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2012.09.006>
- Albarracin, P. (1998). *TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN*. www.pedroalbarracinaguillon.com;
- Arellano, G. (2009). *IMPLANTACION DE ANALISIS DE ACEITE EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE CICLO DIESEL*.
- Badawy, T., Bao, X., & Xu, H. (2017). Impact of spark plug gap on flame kernel propagation and engine performance. *Applied Energy*, 191, 311–327. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.059>
- Bilbao, M., & Málaga, A. (2012). Contaje de partículas. *Wear check Iberoamerica*. *Obtenido en enero*.
- Buchelli, L., & Garcia, V. (2015). DETECCIÓN TEMPRANA DE FALLAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIESEL MEDIANTE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE ACEITE. *Revista Ciencia UNEMI*, 8(1390–4272), 84–95.
- Castillo, K. (1998). *Estudio y Analisis del Desgaste en Motores de Combustion Interna a Diesel*. Escuela Superior Politecnica del Litoral.
- Dadouche, A., & Conlon, M. J. (2016). Operational performance of textured journal bearings lubricated with a contaminated fluid. *Tribology International*, 93, 377–389.
- Delgado, J. (2006). *SISTEMAS DE LUBRICACIÓN A BORDO*. Universidad Austral de Chile.
- Desantes, J. M., & GONZÁLEZ, F. P. (2011). Motores de combustión interna alternativos. *Universidad Politécnica de Valencia*.
- Escudero, S., Gonzalez, J., Rivas, J., & Suarez, A. (2011). *Motores*. Editorial Macmillan Iberia.
- Flórez, J. A. Á., & Agramunt, I. C. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*. Universitat Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica.

- GÓMEZ ESTRADA, Y. A. (2013). Contribución al desarrollo y mejora para la cuantificación de la degradación en aceites lubricantes usados de MCIa a través de la técnica de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) [Universitat Politècnica de València]. En *Riunet*. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/19244>
- Guerrero Palacios, T. (2016). *Determinacion de la degradacion y contaminacion del aceite de motores Otto en funcion del kilometraje recorrido*.
- Komarudin, U., Suryaman, N. N., -, M., & Hirary, M. (2020). Analysis of the Effect of Fuel System, Fuel Types and Spark Plug Types on CO2 Gas Exhaust using Factorial Design. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 24(02), 3271–3280. <https://doi.org/10.37200/IJPR/V24I2/PR200637>
- Kučera, M., Aleš, Z., Pavlů, J., & Hnilicová, M. (2016). Applying of automatic laser particle counter as technique to morphology assessment and distribution of wear particles during lifetime of transmission oils. *Key engineering materials*, 669, 417–425.
- K.V. Kumar, R. Reddy, Katam, G. B., Y. Pragathi, R.V.S Lakshmi, & P. Ravikumar. (2022). An Effect of Iridium Spark Plugs on SI Engine Performance and Exhaust Emissions by using Plastic Oil Petrol Blends. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 19(1), 9412–9418. <https://doi.org/10.15282/ijame.19.1.2022.05.0724>
- Lee, P. M., Stark, M. S., Wilkinson, J. J., Priest, M., Smith, J. R. L., Taylor, R. I., & Chung, S. (2005). The Degradation of Lubricants in Gasoline Engines: Development of a Test Procedure to Evaluate Engine Oil Degradation and its Consequences for Rheology. *Tribology and Interface Engineering Series*, 48, 593–602. [https://doi.org/10.1016/S0167-8922\(05\)80061-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8922(05)80061-6)
- Macas Redrován, L. F., Mancheno, M., Jaramillo Sari, D. F., & Urgilés Contreras, D. R. (2011). *Optimización de lubricantes de base mineral de motores a inyección de gasolina, para la reducción de la contaminación y costos de mantenimiento*.
- Morocho, E., & Puentestar, C. (2020). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA QUE TIENE EL TIPO DE COMBUSTIBLE EN LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA MEDIANTE TÉCNICAS Y EQUIPOS DE LABORATORIO*.
- NGK. (2018). *CATÁLOGO MÁSTER*. 5–66.
- Nissan. (2010). *Manual Nissan Sentra* .
- Özçelik, Z., & Gültekin, N. (2019). Effect of iridium spark plug gap on emission, noise, vibration of an internal combustion engine. *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 44–48. <https://doi.org/10.31593/ijeat.561307>
- Pardiñas, J., & Feijoó, R. (2018). *Sistemas auxiliares del motor (2018)*. Editex.
- Ramirez, A., & Cañizares, L. (2023). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONSUMIDOR A TRAVÉS DEL MARKETING DIRECTO “ANUNCIOS EN*

PUBLICACIONES”, EN EL CONSUMO DE LUBRICANTES AUTOMOTRICES 10W30 Y 20W50 DE LA PARROQUIA DE NAYÓN, EN LA CIUDAD DE QUITO DURANTE EL AÑO 2019.

- Ren, F., Takehara, N., Nakaya, S., Tsue, M., Adachi, R., & Suganuma, K. (2023). Influence of the spark plug mounting angle on spark ignition process at different flow velocities. *International Journal of Engine Research*, 24(3), 808–822. <https://doi.org/10.1177/14680874211073937>
- Rivas, M. (2019). *Mantenimiento de sistemas de refrigeracion y lubricacion de los motores termicos* (Elearning S.L, Vol. 6).
- Rodriguez Melchor, J. C. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto (MF0133_2)*. IC Editorial. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/42614>
- Sanchez, E. (2011). *Sistemas auxiliares del motor*. Macmillan Iberia, S.A. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaups/titulos/52815>
- TAL INSTRUMENTS. (s/f). *YJS-150 Portable Particle Counter* .
- Tilz, A., Rossegger, B., Vareka, M., Higgs, A., Pommerenke, D. J., Engelmayer, M., & Wimmer, A. (2023a). Novel measurement techniques for oil consumption and spark plug temperature measurement to support engine components development in terms of wear and in situ monitoring. *Wear*, 523. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204730>
- Tilz, A., Rossegger, B., Vareka, M., Higgs, A., Pommerenke, D. J., Engelmayer, M., & Wimmer, A. (2023b). Novel measurement techniques for oil consumption and spark plug temperature measurement to support engine components development in terms of wear and in situ monitoring. *Wear*, 523. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204730>
- Tormos, B. (2005). *DIAGNÓSTICO DE MOTORES DIESEL MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ACEITE USADO*.
- Trujillo, G., & América, N. L. (2008). Integrando el Análisis de Aceite con el Análisis de Vibración. *Obtenido el*, 9.
- Viteri, L., & Jaramillo, J. (2011). *ANÁLISIS DE LA DEGRADACION DE ACEITES LUBRICANTES Y PROPUESTA DE PLANES DE MEJORA PARA EL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO PESADO DEL ILUSTRE MUNICIPIO DEL CANTÓN ARCHIDONA*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- Yang, Z., Ji, C., Yang, J., Wang, H., Huang, X., & Wang, S. (2023). The optimization of leading spark plug location and its influences on combustion and leakage in a hydrogen-fueled Wankel rotary engine. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.02.099>