



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo de Integración Curricular

**Artículo de Investigación para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica
Automotriz**

**Análisis de la presencia de knocking en el motor en función de la variación del tipo
y calibración de bujía.**

Autores:

Jácome Sanmiguel Cristhian Alberto

Moya Revelo Danny Ricardo

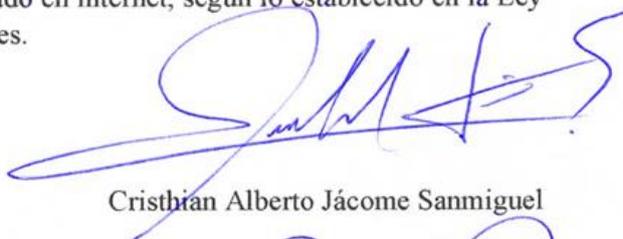
Director:

Ing. Diego Redín

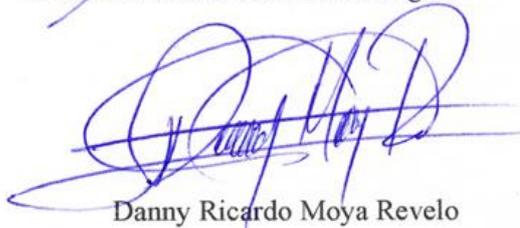
CERTIFICACIÓN O ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

Nosotros, Jácome Sanmiguel Cristhian Alberto y Moya Revelo Danny Ricardo declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Cristhian Alberto Jácome Sanmiguel



Danny Ricardo Moya Revelo

Yo, Diego Francisco Redín Quito, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Diego Francisco Redín Quito

DEDICATORIA

El presente documento de investigación se lo dedico a mi madre quien inculcó en mí buenos valores, principios, la fuerza para salir adelante, amor y apoyo incondicional que me ha brindado en toda mi vida y para culminar mi carrera. A mis hijas que han sido el motor para salir adelante cada día y la fuerza para enfrentar y superar los retos académicos y personales.

-Christian Jácome

Mi trabajo de titulación está dedicado principalmente a mis padres quienes han sido los pilares fundamentales durante mi desarrollo personal y académico gracias a su apoyo incondicional y arduo trabajo me dieron las herramientas para lograr culminar mi carrera profesional.

-Danny Moya

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia que han aportado en mi formación con su apoyo, amor, conocimiento y palabras de aliento para poder culminar mis metas académicas.

A la Universidad Internacional del Ecuador y a todos mis docentes que han sido los artífices de mi formación profesional, quienes que con su sabiduría y grandes valores han sabido inculcar en mí la importancia de ser un ser humano íntegro.

A nuestro director de tesis el Ing. Diego Redín que gracias a su dedicación, conocimiento, paciencia y esfuerzo fue quien nos guio de la manera más acertada posible para culminar nuestro proyecto de una manera exitosa.

-Christian Jácome

A Dios por regalarme la vida y bendecirme con la oportunidad de iniciar y terminar esta carrera profesional y de poner en mi camino a personas que aportaron de distintas maneras a mi crecimiento personal, profesional y académico.

A mi familia y amigos que siempre estuvieron presentes a lo largo de este camino compartiendo cada paso, y apoyándome en los momentos más difíciles. Sin ellos la consecución de esta meta no hubiera sido posible.

A la Universidad Internacional del Ecuador, a todos los docentes que fueron parte de mi proceso académico y especialmente al Ing. Diego Redín ha sido guía e inspiración para dar lo mejor de nosotros tanto en el ámbito profesional como académico.

-Danny Moya

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN O ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD... ¡Error! Marcador no definido.	
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
MARCO TEÓRICO	xii
Bujías.....	xii
Tipos de Bujías	xii
Estructura y Características de las Bujías.....	xiii
Ignición.....	xv
Tiempo de Combustión	xv
Combustión de la mezcla.....	xv
Temperatura de funcionamiento de una bujía	xvi
Knocking, Picado o Golpeteo.....	xviii
Funcionamiento del Sensor de Picado o Knock Sensor (KS)	xviii
Efectos del Picado y Superpicado	xviii
MATERIALES Y MÉTODOS.....	xx
Características Técnicas del Vehículo.....	xxi
Características de Técnicas de las Bujías	xxi
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	xxii
CONCLUSIONES.....	xxx
BIBLIOGRAFÍA	xxxii

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE KNOCKING EN EL MOTOR, EN FUNCIÓN DE LA VARIACIÓN DEL TIPO Y CALIBRACIÓN DE BUJÍAS.

Ing. Diego Redin C. MSc, Cristhian Jácome, Danny Moya.³

*Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, crjacomesa@uide.edu.ec,
damoyare@uide.edu.ec, Quito - Ecuador*

RESUMEN

Introducción: Debido al incremento vertiginoso del parque automotriz en el Ecuador y conociendo, gracias a información de la AEADE, que Pichincha es una de las provincias con mayor cantidad de vehículos a nivel nacional, se decidió realizar la presente investigación en la ciudad de Quito, la misma que busca analizar la influencia del cambio del tipo de bujías y su respectiva calibración en la cantidad de knocking o golpeteo en el motor, y por lo tanto, la incidencia en la vida útil del mismo.

Metodología: Para lo cual se utilizó un método experimental para recoger datos utilizando un sistema de medición de knocking, el cual permitió determinar en qué momentos el mismo se encontraba presente en el motor. En total se realizaron pruebas con 4 juegos de bujías, con la calibración recomendada por el fabricante de la bujía, con la calibración recomendada por el fabricante del vehículo, y con una calibración experimental. Las pruebas fueron realizadas con el motor en ralentí, a 2500 rpm, y a 4000 rpm.

Resultados: A través de la investigación se pudo determinar que la menor cantidad de registros de knocking en el motor se consiguió utilizando las bujías de Iridio con la calibración recomendada por el fabricante de la bujía, que en este caso es de 1mm.

Conclusiones: De esta manera se pudo concluir que el uso de las bujías con la configuración mencionada anteriormente influye de manera considerable en el desempeño del motor y vida útil del mismo.

Palabras clave: Bujías, golpeteo, chispa de encendido, sensor de knocking, pruebas estáticas, motor de combustión interna.

ABSTRACT

Introduction: Due to the vertiginous increase in the automotive fleet in Ecuador and knowing, thanks to information from the AEADE, that Pichincha is one of the provinces with the largest number of vehicles nationwide, it was decided to carry out this investigation in Quito. The main objective of this research is to analyze the influence of changing the type of spark plugs and their respective calibration on the amount of knocking or knocking in the engine, and therefore, the impact on its useful life.

Methodology: For which an experimental method was used to collect data using a professional knocking measurement system, which made it possible to determine at what times it was present in the engine. The tests were carried out with 4 sets of spark plugs, with the calibration recommended by the spark plug manufacturer, with the calibration recommended by the vehicle manufacturer, and with an experimental calibration. The tests were carried out with the engine at 800 rpm, at 2500 rpm, and at 4000 rpm.

Results: Through the investigation, it was determined that the lowest number of knocking records in the engine was achieved using Iridium spark plugs with the calibration recommended by the spark plug manufacturer, which in this case is 1mm.

Conclusion: In this way, it was possible to conclude that the use of spark plugs with the configuration mentioned above considerably influences the performance of the engine and its useful life.

Keywords: Spark plugs, knocking, ignition spark, knock sensor, static tests, internal combustion engine.

INTRODUCCIÓN

Es evidente que el parque automotor en el Ecuador está en constante crecimiento. Tanto en el Distrito Metropolitano de Quito, como en otras de las ciudades más importantes del Ecuador hace algunos años se han venido implementando sistemas de revisión técnica vehicular, con el fin de garantizar que circulen automotores en óptimas condiciones de funcionamiento, no solo para reducir el riesgo de accidentes de tránsito, sino también para regular la emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero hacia la atmósfera, dado que el sector automotriz y de transporte terrestre es uno de los principales responsables de la contaminación ambiental en el país.

A pesar de que la tendencia del parque automotriz se mueve hacia la electrificación, en nuestro país todavía tendrán que pasar largos años para que el uso de automóviles con motores de combustión interna se reduzca considerablemente. Es aquí donde radica la importancia de tomar acciones como respuesta al cambio climático, que permitan que la vida útil de los automotores se alargue con el objetivo contrarrestar la emisión de gases nocivos para la salud de los seres humanos y para el entorno, con el ingreso año tras año de nuevos vehículos.

Con la presente investigación se pretende determinar de forma cuantitativa la presencia de knocking en el motor del vehículo en función de la variación de distintos tipos de bujías y modos de calibración para determinar qué configuración es más favorable para el desempeño del vehículo, alargando de esta manera el ciclo de vida del motor. Además, dadas las distintas condiciones geográficas de nuestro país surge la necesidad de realizar las diferentes pruebas en la ciudad de Quito para obtener información del comportamiento del vehículo a 2800 m.s.n.m., ya que la mayor cantidad de información técnica-científica en la industria automotriz se genera a partir de pruebas realizadas con automóviles a nivel del mar.

La distancia entre los electrodos de una bujía influye, entre otros factores, en la tensión de encendido (Paradiñas & Feijó, 2018). Las bujías juegan un papel importante en el funcionamiento del vehículo, por lo tanto, la calibración y los tipos de bujías han generado diversas discrepancias en cuanto a la emisión de gases contaminantes, al rendimiento del vehículo y durabilidad del motor. En tal sentido se ha considerado realizar el estudio en base a la fundamentación teórica y a la experimentación científica sobre la presencia de knocking con cuatro tipos de bujías y variando la distancia entre los

electrodos. Para lo cual se procederá a efectuar las pruebas con bujías de uno y tres electrodos y bujías de platino, iridio, níquel y aleación cromo-níquel y calibrando la distancia entre electrodos en tres medidas en cada una de ellas. Los datos obtenidos serán tabulados para definir las configuraciones que generen una menor cantidad de knocking y por tanto, permitan que los componentes internos del motor se mantengan en buen estado por más tiempo.

MARCO TEÓRICO

Bujías

Las bujías son elementos sumamente importantes en el sistema de encendido de los motores de combustión interna, ya que son las encargadas de generar la chispa que inflama la mezcla de aire y combustible en la cámara de combustión. En el presente documento, se analizará la estructura y características de las bujías automotrices. (NGK México, 2017)

El funcionamiento adecuado es importante para el ciclo de combustión de los motores de ciclo Otto, tanto para 2 tiempos como para 4 tiempos. La temperatura de trabajo dentro de los cilindros oscila entre los 600°C y los 800°C. Sin embargo, si la temperatura de la bujía es superior a la temperatura de funcionamiento, se producen encendidos por incandescencia o el conocido “autoencendido”; si es el caso que la temperatura es inferior a la de funcionamiento, las partículas de hollín que se depositan en el pie del aislador no desaparecen, lo que puede provocar que derivaciones de corriente. (Núñez & Otáñez, 2013)

Es importante seleccionar la bujía adecuada para cada motor, teniendo en cuenta sus características, condiciones de operación y las recomendaciones de cada fabricante de vehículos.

Tipos de Bujías

Existen diferentes formas de clasificar las distintas clases de bujías que existen. En base a su tipología, estas son varias de las que pueden encontrarse comúnmente en el mercado:

Según el tipo de combustible:

Bujías para Gasolina:

La característica principal de este tipo de bujía es que cuentan con un voltaje de ignición más alto. Normalmente cuentan con un recubrimiento de níquel que permite soportar de mejor manera la temperatura y de esta forma prevenir que la corrosión desgaste los electrodos rápidamente.

Bujías para Diesel:

Se conocen también como bujías de precalentamiento, su función principal es la de facilitar los arranques en frío de los motores a diésel, precalentando la mezcla y la cámara de combustión, ayudando de esta manera a que se produzca la combustión. Los electrodos de este tipo bujías pueden alcanzar hasta los 1000° C.

Según el material de fabricación:**Bujías de Níquel - Cobre:**

Son las bujías más comunes, económicas, y tienen buena conductividad eléctrica. Cuentan con un núcleo de cobre, que está recubierto por una aleación de níquel.

Bujías de Platino o Iridio:

Son más costosas pero pueden durar hasta cuatro veces más que las tradicionales (sobre 100.000 kilómetros). Su resistencia se debe a que tienen menos conductividad. Para compensar su labor, tienen un electrodo central con punta que optimiza el salto de corriente.

Según el número de electrodos:

Existen en el mercado bujías de entre uno y cuatro electrodos. Las bujías que cuentan con dos o más electrodos se conocen como bujías multielectrodo, las cuales ofrecen un encendido con mayor equilibrio, ya que el encendido se va alternando con cada electrodo y la energía normalmente fluye por el camino de menor resistencia eléctrica, de esta manera es posible alargar su vida útil de manera proporcional a la cantidad de electrodos equipados. (Paradiñas & Feijó, 2018)

Estructura y Características de las Bujías**Estructura de la bujía**

La bujía es un componente cilíndrico, compuesto por un aislante cerámico que envuelve un electrodo central y una carcasa metálica. El electrodo central se encuentra en el interior del aislante y está conectado a la parte superior de la bujía a través de un terminal. La carcasa metálica, por su parte, se encuentra en la parte inferior de la bujía y está conectada a tierra a través del bloque motor.

Características de la bujía

La principal característica de la bujía es su capacidad para provocar una chispa eléctrica que inflame la mezcla entre aire y combustible al interior de la cámara de combustión. Para ello, la bujía debe tener la capacidad de soportar altas temperaturas y presiones, así como resistir la corrosión y el desgaste.

Otra característica importante de la bujía es su grado térmico, que se refiere a la capacidad que tiene una bujía para disipar el calor que se genera durante la combustión. El grado térmico de la bujía está diseñado para ajustarse a las condiciones de funcionamiento del motor y puede variar en función de la temperatura ambiente, la carga del motor y la calidad del combustible. (Serpa, y otros, 2019)

Además, la bujía puede presentar diferentes configuraciones de electrodos, que influyen en su capacidad para generar la chispa eléctrica. Por ejemplo, una bujía con un solo electrodo central es más sencilla y económica, pero en algunos casos presenta problemas de encendido en motores con altas exigencias. Por otro lado, una bujía con varios electrodos mejora el rendimiento del motor y reduce las emisiones contaminantes, pero su precio es más elevado.

Características Eléctricas

- Soportan tensiones superiores a los 30.000 voltios.
- No se deben producir descargas disruptivas ni tampoco perforaciones del aislador.
- El diseño del aislador está realizado para soportar temperaturas de hasta 1000 °C sin variación de resistencia eléctrica. (NGK México, 2017)

Características Mecánicas

- Las bujías deben resistir presiones de hasta 50 bares.
- Deben mantener la estanqueidad de los gases.
- Necesitan una alta resistencia mecánica para absorber las fuerzas ejercidas para apretar la rosca, sin sufrir deformaciones permanentes. (NGK México, 2017)

Características Químicas

- Deben contar con una alta resistencia a los residuos generados debido a las altas temperaturas y a las características del combustible.

Características Térmicas

- Resistencia al choque térmico del aislador.
- Alta transferencia de calor.
- Grado térmico o capacidad para evacuar el calor generado dentro de la cámara de combustión que se dirige hacia el sistema de refrigeración.
(NGK México, 2017)

Ignición

La ignición, también conocida como encendido provoca que la mezcla entre aire y gasolina se encienda cuando el pistón llega al final del recorrido en el tiempo de compresión. Normalmente en los motores de gasolina, el sistema de encendido está compuesto por los siguientes componentes: bobinas de encendido, bujías y una ECU o unidad de control electrónica del motor.

Tiempo de Combustión

El ciclo teórico en un motor de cuatro tiempos se compone de cuatro carreras del pistón. La tercera fase, o tiempo de combustión o expansión inicia el estar dicho pistón en el punto muerto superior y este acaba de comprimir la mezcla contenida en la cámara de combustión, es en este punto donde experimenta su presión máxima. (Paradiñas & Feijó, 2018)

Es en este momento cuando la bujía produce una chispa que inflama la mezcla. La combustión provoca el aumento de la presión y temperatura dentro del cilindro, por lo cual el pistón es empujado con fuerza hacia el punto muerto inferior debido a la expansión de los gases que se están quemando. Las válvulas de admisión y de escape permanecen cerradas. Esta fase es importante debido a que es aquí cuando se genera el trabajo que permite el movimiento del vehículo. (Núñez & Otáñez, 2013)

Combustión de la mezcla

En el proceso de combustión se produce el frente de llama, cuando se cumplen las siguientes condiciones: punto exacto de encendido, gasolina recomendada por el fabricante del vehículo, proporción correcta entre la mezcla aire y combustible, distribución de la mezcla al interior de la cámara de combustión. Pueden existir

algunos fenómenos cuando el proceso de combustión no se realiza correctamente o cuando la combustión se produce por causas distintas al salto de la chispa. (Serpa, y otros, 2019)

Temperatura de funcionamiento de una bujía

Existen varios factores que hacen que la temperatura que se genera dentro de la cámara de combustión varíe entre un motor y otro, entre ellos se encuentran principalmente la refrigeración y la relación de compresión. Sin embargo, las bujías cuentan con una temperatura de funcionamiento que normalmente se debe mantener por encima del límite de autolimpieza que es de 500 °C y por debajo del límite de inflamaciones prematuras que es de 900 °C, sin considerar el motor en el que se estén instaladas.

$$T1-T2=500 \text{ a } 900^{\circ}\text{C}$$

Grado térmico.

Se entiende como grado térmico a la capacidad que tiene una bujía para evacuar o disipar el calor. El índice de transmisión de calor está determinado por los aspectos descritos a continuación: La profundidad del aislador, el flujo de gases frescos alrededor de la bujía, la construcción/materiales del electrodo central y el aislante de porcelana. (Núñez & Otáñez, 2013) El grado térmico de una bujía se refiere a la clasificación de las bujías según su capacidad de transferencia del calor desde el lugar de encendido, en el pie del aislador, hasta el sistema de refrigeración y al medio ambiente

Bujía caliente o bajo grado térmico.

La evacuación del calor se efectúa lentamente debido a la longitud prolongada del pie del aislador. Este tipo de bujías son utilizadas en motores de baja velocidad, de baja compresión, e incluso en los motores que usan aceite en el combustible, gracias a las temperaturas reducidas que se presentan en sus cámaras de combustión.

Bujía de grado térmico medio.

Gracias a que el pie del aislador es de menor longitud que en las bujías anteriores, se facilita la evacuación de calor. Estas bujías son utilizadas en motores de relación de compresión media.

Bujía fría o alto grado térmico.

Debido a que el pie del aislador es mucho más corto el calor es transmitido instantáneamente al sistema de refrigeración. La utilizan aquellos motores de elevada compresión y altas revoluciones. (Paradiñas & Feijó, 2018)

Distancia entre electrodos y tensión de encendido

La distancia que existe entre los electrodos de una bujía determina en gran medida la tensión de encendido. Una separación entre electrodos demasiado pequeña da como resultado una baja tensión, y como consecuencia pueden existir inconvenientes que se presenten gracias a una transferencia de energía insuficiente a la mezcla y por lo tanto inflamarla se torna más difícil. Por otra parte, una separación excesiva implica una tensión de encendido elevada, lo que significa una reducción en la reserva de tensión, los que regularmente produce aún más fallas en el encendido. El valor de separación entre los electrodos está determinado por el fabricante del motor. Normalmente este valor varía entre 0,7 y 1,1 mm, sin embargo en algunos casos puede ser incluso más, como se establece en el Catálogo Máster de NGK del año 2017 y en el Catálogo de BOSCH del año 2015.

Tipos de Electrodo

Longitud de chispa al aire: en este caso los dos electrodos de tierra se encuentran frente al electrodo central. La chispa hace un se mueve directamente entre el electrodo central y el de tierra.

Longitud de chispa deslizante: En este caso los electrodos de tierra se sitúan junto a la cerámica. La chispa pasa en primera instancia desde electrodo central, posteriormente por encima de la punta del pie del aislador y finalmente salta por una hendidura del vidrio hacia el electrodo de masa. Es muy utilizada en la actualidad por su efecto positivo sobre la inflamación de la mezcla (Paradiñas & Feijó, 2018).

Knocking, Picado o Golpeteo

El sensor de picado, también conocido en inglés como knock sensor (KS), es un componente eléctrico que da soporte a la unidad de control de motor (ECU). La función que normalmente cumple es detectar y alertar a la ECU acerca de las detonaciones ocasionadas por una combustión fuera de tiempo (Equipo Automotriz JAVAZ).

Funcionamiento del Sensor de Picado o Knock Sensor (KS)

El proceso que realiza este sensor es en primer lugar convertir las detonaciones mecánicas o golpes en el motor en pulsos eléctricos a través de un componente piezoeléctrico cerámico, que se encarga de producir voltaje cuando percibe vibraciones o detonaciones en motor. Las señales eléctricas obtenidas se envían a la ECU para ser interpretadas y la misma envía en órdenes los a diferentes elementos del sistema de encendido y alimentación con el objetivo de disminuir el cascabeleo.

El sensor de golpeteo envía constantemente un voltaje de 200 mV cuando se encuentra trabajando en condiciones normales, sin embargo cuando existen detonaciones no deseadas el sensor envía señales de voltaje que van de los 200 a 400 mV. En este caso, la unidad de control electrónica del motor realiza los ajustes necesarios que permitan controlar y eliminar estas detonaciones. De esta manera, se pueden reducir fenómenos como el picado de biela, el encendido repentido y eliminar el golpeteo que pueden ser realmente perjudiciales para el rendimiento y la vida útil del motor.

Efectos del Picado y Superpicado

En un MCI de encendido por chispa, la mezcla aire-combustible debe encenderse en un momento preciso en un ciclo de 4 fases para asegurar que el motor puede funcionar correctamente. La combustión se inicia por medio de una bujía, usualmente de 10 a 40 grados del cigüeñal antes del punto muerto superior. Este avance de ignición se puede controlar de forma mecánica o electrónica y le da tiempo al proceso de combustión para desarrollar presión máxima al momento correcto para alcanzar la eficiencia máxima del motor. El picado ocurre cuando, por alguna razón, la mezcla se enciende cuando no debe o cuando explota

aleatoriamente en lugar de quemarse de forma normal. Un pico drástico en la presión del cilindro produce el sonido característico de detonación. El autoencendido no es bueno para el motor y su efecto puede ser devastador: pistones o bujías agrietados, segmentos o coronas de segmentos dañados, conexiones de varillas dobladas, cojinetes con fallos de bielas, etc.

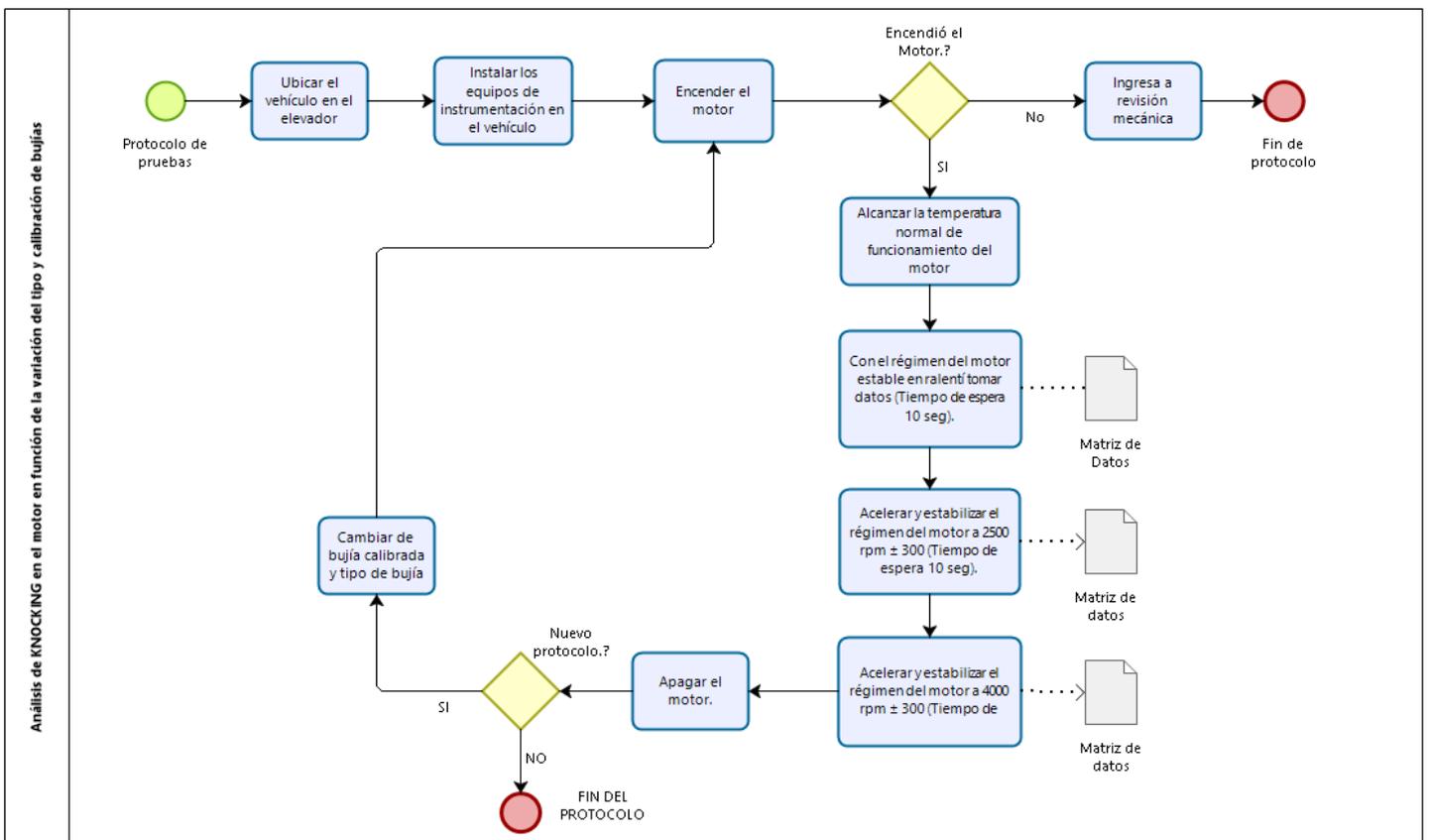
Para ser técnicamente exactos, uno debe diferenciar entre el picado regular y LSPI, o super-picado. El picado regular ocurre después de la ignición por chispa, pero la mixtura aire-combustible detona esporádicamente en lugar de quemarse de forma normal. En diferencia al picado regular, LSPI- al que le sigue un picado- ocurre antes de la ignición por chispa y es aún más dañino. Ambos, LSPI y el picado regular, son más probables que ocurran en condiciones de carga pesada o a bajas revoluciones y en el momento de inflexión. (Zhmud, 2017)

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso y método que se utilizó es un método experimental para lo cual se realizó el estudio en un vehículo Volkswagen Gol modelo 2012, en el cual se determinó cual es la configuración y tipo de bujía con menor presencia de knocking. Estas pruebas fueron efectuadas en la ciudad de Quito a 2800 m.s.n.m. Las bujías seleccionadas cumplen el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE-263, mientras que el protocolo de pruebas estáticas se realizó bajo la Norma INEN 2204, misma que contempla a motores de aplicación automotriz. La calibración de las bujías se realizó dentro de los rangos mínimos y máximos permitidos por el fabricante.

Las pruebas fueron realizadas bajo el protocolo de pruebas estáticas, una vez el motor haya alcanzado su temperatura normal de funcionamiento.

El protocolo de pruebas realizado se describe a continuación:



Los materiales que fueron utilizados para las pruebas experimentales son:

- Bujías de 1 electrodo de Platino
- Bujías de 1 electrodo de Iridio
- Bujías de 1 electrodos de Níquel
- Bujías de 3 electrodos de Níquel y Cromo
- Calibrador de bujías
- Scanner Automotriz
- Sistema de Detección de Knocking
- Elevador Automotriz
- Set de Herramientas

Características Técnicas del Vehículo

Tabla 1. Características técnicas del vehículo

Cilindraje (cc)	1598
Alimentación	MPI
Nº de Cilindros	4 en línea
Nº de Válvulas	8
Potencia (HP/rpm)	101@5250
Par (Nm/rpm)	143@2500
Transmisión	Manual 4x2
Velocidades	5 - reversa
Tipo de Carrocería	Hatchback
Capacidad de Carga (kg)	440
Tipo de Combustible	Gasolina
Octanaje Recomendado	95

(Serpa, y otros, 2019)

Características de Técnicas de las Bujías

Tabla 2. Características técnicas de las bujías

Bujía	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4
Codificación	FR7HPP332W	FR7DII33X	FR7HC A	FLR7HTCO B
Material del Electrodo Central	Platino	Iridio	Níquel	Aleación Cromo-Níquel
Grado Térmico	Medio	Medio	Medio	Medio
Vida útil Aproximada	70.000 Km	100.000 Km	25.000 Km	15.000 Km
Nº de Electrodo	1	1	1	3
Separación entre Electrodo	0,9 mm	1,0 mm	0,9 mm	1,0 mm

(Fuente Autores)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo de investigación se analizarán en base a los criterios detallados a continuación:

El análisis estadístico que fue utilizado para tabular los datos obtenidos fue de del tipo descriptivo e inferencial. Lo que permitió obtener parámetros que determinen distintas características del conjunto de datos que se obtuvieron a través de las mediciones y establecer relaciones entre las variables para obtener las conclusiones acerca del mismo. Por cada escenario (36) es decir, tipo de bujía, distancia entre electrodos y régimen del motor, se tomaron 10 mediciones, para verificar si los datos mostraban algún tipo de tendencia o eran datos obtenidos al azar. Una vez tomadas las mediciones, se calcularon las medidas de tendencia central, donde específicamente se trabajó con la Moda, porque de esta forma podíamos contar con el valor que se repetía con mayor frecuencia y en cada escenario se obtuvo una frecuencia mayor al 60%, es decir, los datos obtenidos se repitieron 6 o más veces. Esto permitió inferir que nuestros datos tenían una baja dispersión, por lo tanto, no fueron datos obtenidos al azar.

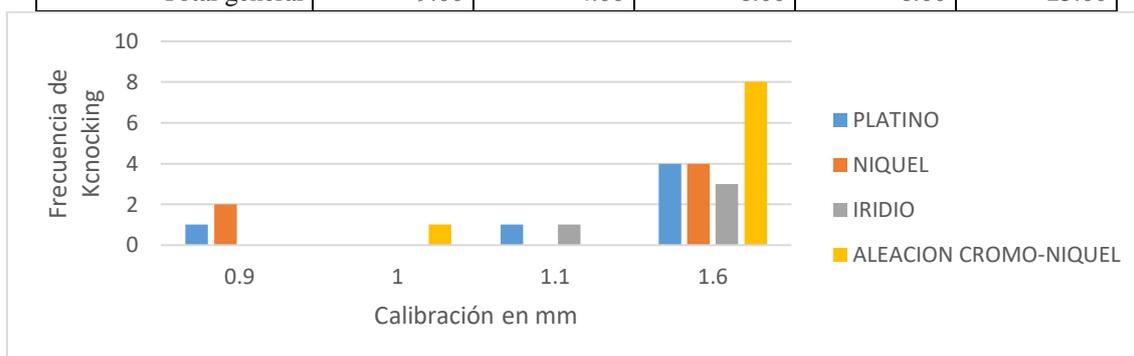
Tabla 3. Resultados por tipo de bujía

Material del Electrodo Primario	Numero de Electrodos	Calibración (mm)
Aleación Cromo - Níquel	3	1
		1.1
		1.6
Iridio	1	1
		1.1
		1.6
Níquel	1	0.7
		0.9
		1.1
Platino	1	0.9
		1.1
		1.6

(Fuente Autores)

Tabla 4. Presencia de knocking en función de la calibración de las bujías

PRESENCIA DE KNOCKING EN FUNCION DE LA CALIBRACION DE LAS BUJIAS	TIPO DE BUJÍA				
Calibración en mm	Aleación Cromo-Níquel	Iridio	Níquel	Platino	Total general
0.9			2.00	1.00	3.00
1	1.00	0.00			1.00
1.1	0.00	1.00	0.00	1.00	2.00
1.6	8.00	3.00	4.00	4.00	19.00
Total general	9.00	4.00	6.00	6.00	25.00

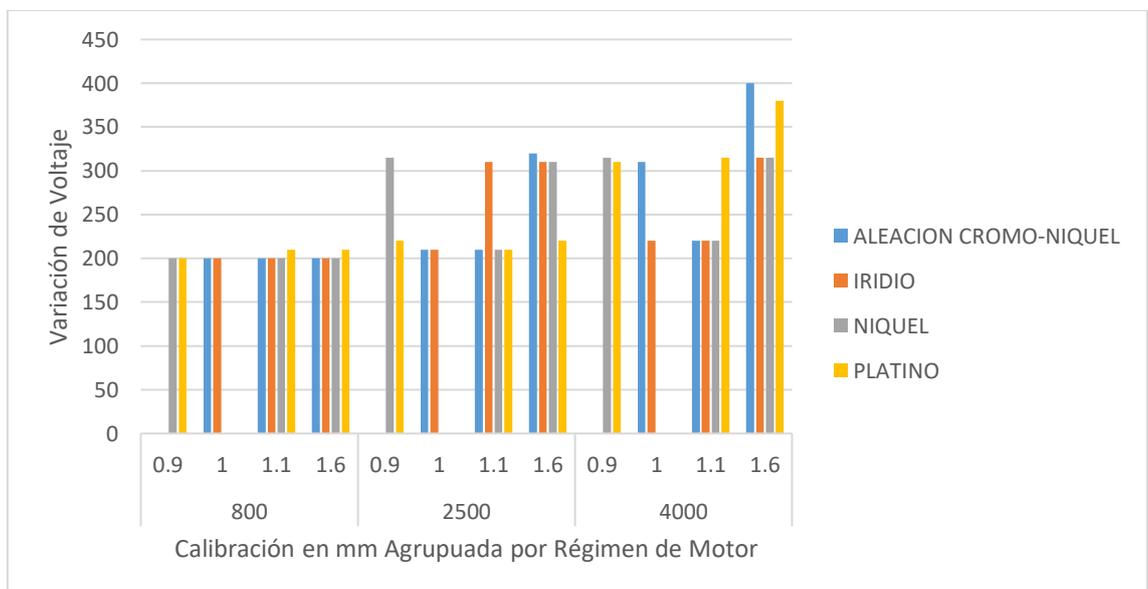


(Fuente Autores)

Se evidencia que todos los tipos de bujías con la calibración experimental de 1.6 mm presenta un total de 19 registros de knocking en el motor. Mientras que con la calibración recomendada por el fabricante del vehículo, existe 2 registros de knocking en el motor en todos los tipos de bujías. Considerando que estos registros se presentaron las bujías de iridio y platino con 1 electrodo, siendo que la bujía específica para el motor según el fabricante debe estar construida con 3 electrodos que con esta bujía se evidencia 0 registros de knocking.

Tabla 5. Variación del voltaje en función del régimen del motor y la calibración de las bujías

VARIACION DEL VOLTAJE EN FUNCION DEL REGIMEN DEL MOTOR Y LA CALIBRACION DE LAS BUJIAS	TIPO DE BUJÍA				
Calibración en mm	Aleación Cromo-Níquel	Iridio	Níquel	Platino	Total general
800	200.00	200.00	200.00	206.67	201.67
0.9			200.00	200.00	200.00
1	200.00	200.00			200.00
1.1	200.00	200.00	200.00	210.00	202.50
1.6	200.00	200.00	200.00	210.00	202.50
2500	246.67	276.67	278.33	216.67	254.58
0.9			315.00	220.00	267.50
1	210.00	210.00			210.00
1.1	210.00	310.00	210.00	210.00	235.00
1.6	320.00	310.00	310.00	220.00	290.00
4000	310.00	251.67	283.33	335.00	295.00
0.9			315.00	310.00	312.50
1	310.00	220.00			265.00
1.1	220.00	220.00	220.00	315.00	243.75
1.6	400.00	315.00	315.00	380.00	352.50
Total general	252.22	242.78	253.89	252.78	250.42



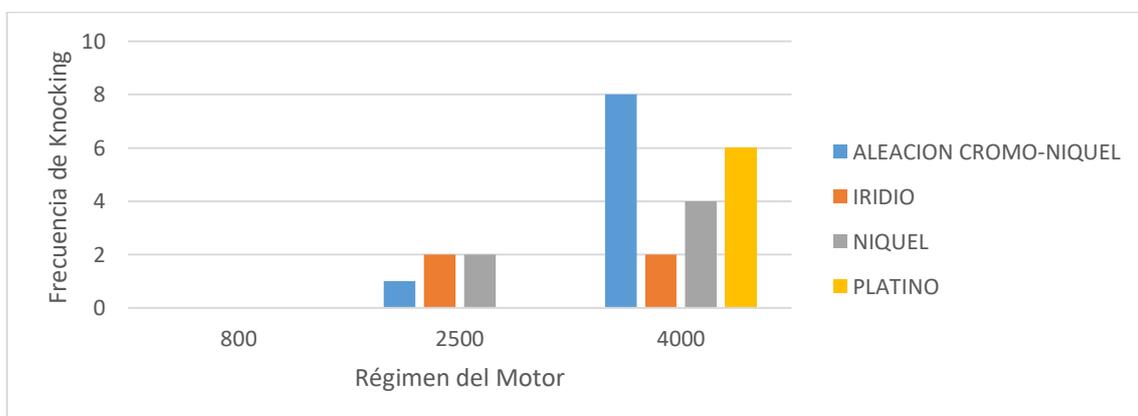
(Fuente Autores)

Se identifica que el vehículo cuenta con un sensor de knock (KS) de fábrica, el cual emite señales entre voltajes de 200mV hasta 400mV. Como se presenta los picos de voltaje superiores a los 300mV indican la presencia de knocking en el motor. En el régimen de 2500 RPM se confirman picos de voltaje en las bujías de aleación de cromo-níquel, iridio y níquel. En cuanto al régimen de 4000 RPM se evidencia picos mayores a los 300mV en todos los tipos de bujías.

Para los picos de voltaje de hasta los 220mV se determina que corresponden a vibraciones normales del motor las cuales están dentro de los parámetros normales del funcionamiento del vehículo, por lo tanto la ECU realiza correcciones en el encendido en voltajes superiores a los 300mV.

Tabla 6. Presencia de knocking en función del régimen del motor

PRESENCIA DE KNOCKING EN FUNCION DEL RÉGIMEN DEL MOTOR	TIPO DE BUJÍA				
Régimen del motor RPM	Aleación Cromo-Níquel	Iridio	Níquel	Platino	Total general
800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2500	1.00	2.00	2.00	0.00	5.00
4000	8.00	2.00	4.00	6.00	20.00
Total general	9.00	4.00	6.00	6.00	25.00

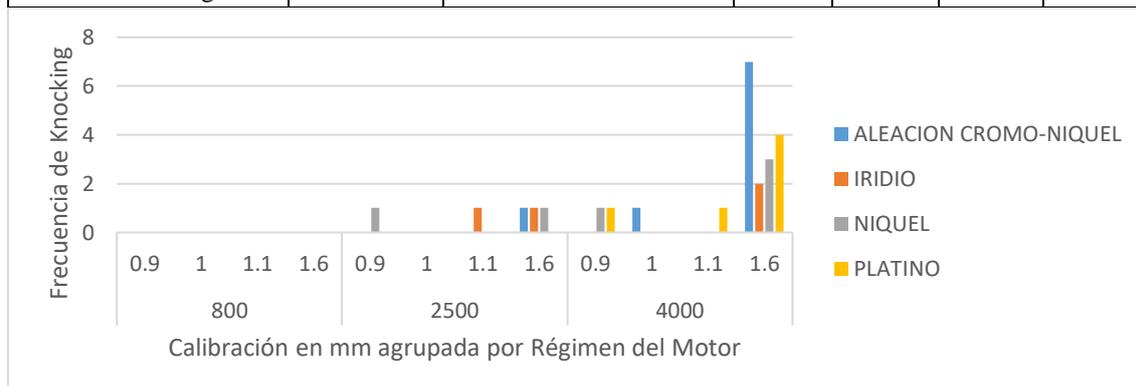


(Fuente Autores)

Analizando las pruebas según el régimen del motor, se determina que en ralentí no existe la presencia de knocking por ningún tipo de bujía. En un régimen de 2500 RPM, la bujía de platino no registra knocking, mientras que las bujías de níquel e iridio presentan 2 registros y la aleación de cromo – níquel muestra 1 registro. Finalmente a 4000 RPM es el régimen que se demuestra una mayor cantidad de knocking en el motor, siendo que la bujía de aleación de cromo y níquel genero 8 registros de knocking, la bujía de platino 6 registros, la bujía de níquel presenta 4 registros y la de iridio registró 2.

Tabla 7. Presencia de knocking en función del régimen del motor y la calibración de la bujía

PRESENCIA DE KNOCKING EN FUNCION DEL REGIMEN DEL MOTOR Y LA CALIBRACIÓN DE LA BUJÍA		TIPO DE BUJÍA				
Régimen del Motor (RPM)	Calibración (mm)	Aleación Cromo-Níquel	Iridio	Níquel	Platino	Total general
800	0.9			0	0	0
	1.0	0	0			0
	1.1	0	0	0	0	0
	1.6	0	0	0	0	0
	Total 800	0	0	0	0	0
2500	0.9			1	0	1
	1.0	0	0			0
	1.1	0	1	0	0	1
	1.6	1	1	1	0	3
	Total 2500	1	2	2	0	5
4000	0.9			1	1	2
	1.0	1	0			1
	1.1	0	0	0	1	1
	1.6	7	2	3	4	16
	Total 4000	8	2	4	6	20
Total general		9	4	6	6	25



(Fuente Autores)

Considerando la presencia de knocking por tipo de bujía en función de la calibración de estas y el régimen del motor se puede analizar de una manera más clara los resultados obtenidos en las pruebas de la siguiente manera:

Bujía de aleación de Cromo-Níquel: esta bujía es la recomendada por el fabricante del vehículo por su construcción de 3 electrodos, al analizar según la calibración indicada por el fabricante de la bujía (1mm) a ralentí no se evidencia knocking, a un régimen de 2500 RPM no se registra knocking y a un régimen de 4000 RPM existe un registro de knocking.

Con una calibración recomendada por el fabricante del vehículo (1.1mm) se establece que a los regímenes de ralentí, 2500 RPM y 4000 RPM no se registra knocking.

Con una calibración experimental (1.6mm) se verifica que a ralentí no presenta knocking, a 2500 RPM presenta 1 registro de knocking y en un régimen de 4000 RPM se evidencian 7 registros de knocking en el motor.

Bujía de Iridio: esta bujía está compuesta de un electrodo se determina que según la calibración recomendada por el fabricante de la bujía (1mm) en los regímenes de ralentí, 2500RPM y 4000 RPM no se evidencia la presencia de knocking en el motor.

En cuanto a la calibración recomendada por el fabricante del vehículo (1.1mm) a ralentí y a 4000RPM se determina que la presencia de knocking es igual a 0, a un régimen de 2500 RPM se verifica 1 registro de knocking de knocking en el motor.

Con la calibración experimental (1.6mm) en ralentí es cero knocking, en un régimen de 2500 RPM se encuentra 1 registro de knocking y a un régimen de 4000 RPM se presenta 2 registros de knocking en el motor.

Bujía de Níquel: con un electrodo, se evidencia que con la calibración recomendada por el fabricante de la bujía (0.9mm), en ralentí no se registra presencia de knocking, en los regímenes de 2500 RPM y 4000 RPM se evidencia 1 registro de knocking en cada uno de los regímenes.

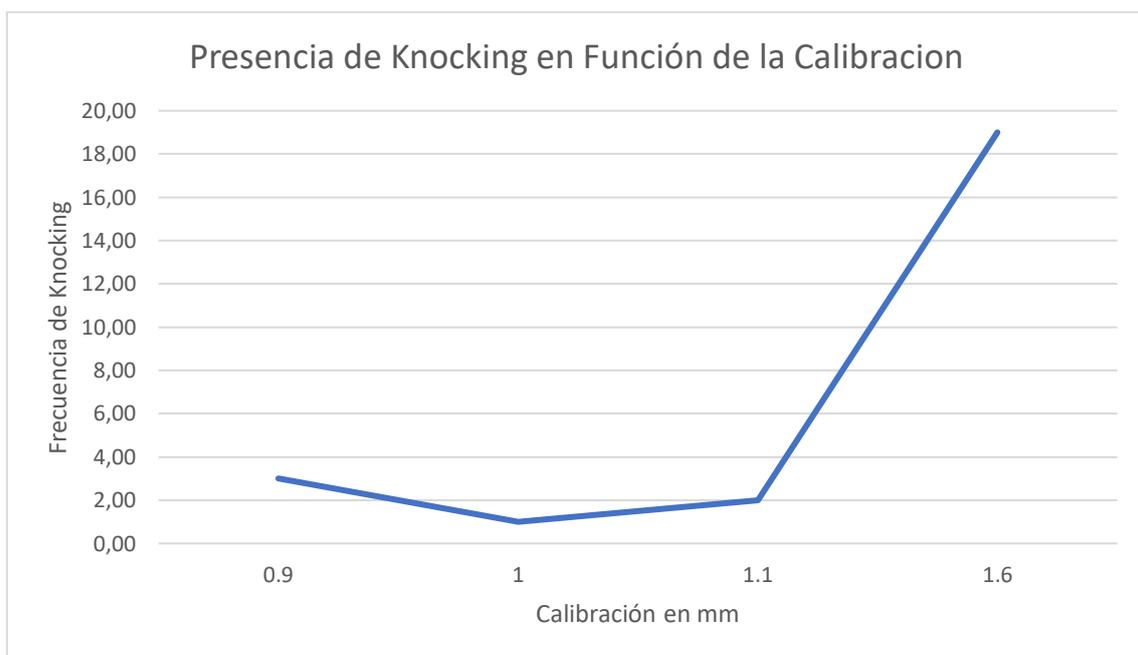
Con la calibración recomendada por el fabricante del vehículo (1.1mm) en los regímenes de ralentí, 2500 RPM y 4000 RPM no se evidencia knocking en el motor.

Con una calibración experimental (1.6mm) se verifica que a ralentí no presenta knocking, a 2500 RPM presenta 1 registro de knocking y en un régimen de 4000 RPM se evidencia la presencia de 3 knocking en el motor.

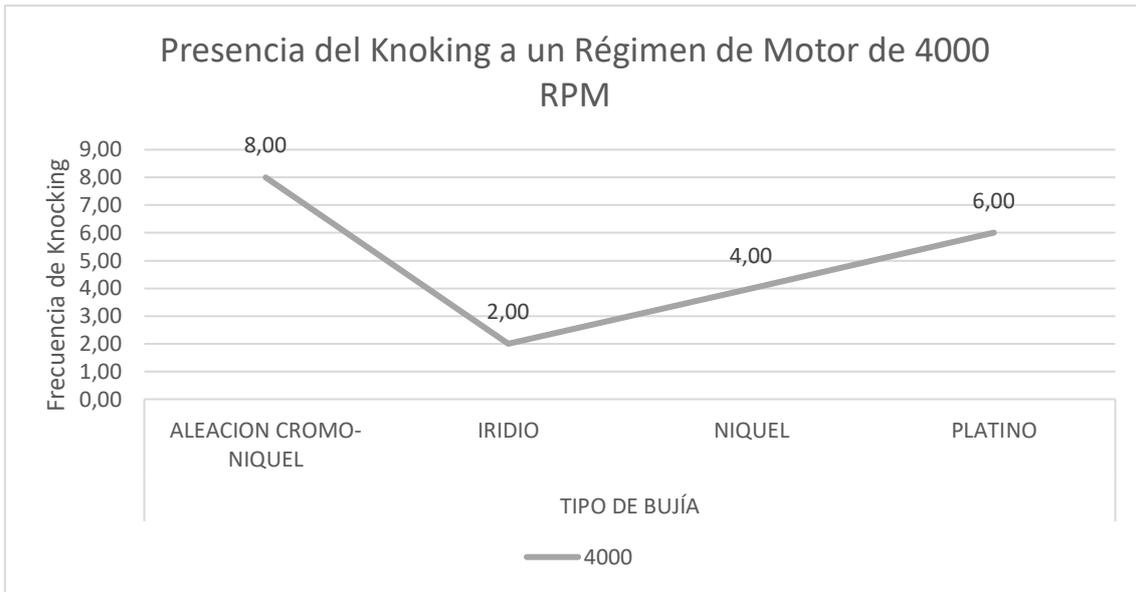
Bujía de Platino: con un electrodo, se determina que con la calibración recomendada por el fabricante de la bujía (0.9mm) en ralentí y 2500 RPM no se evidencia knocking, a un régimen de 4000 RPM se verifica un registro de knocking.

Con la calibración recomendada por el fabricante del vehículo (1.1mm) en ralentí y 2500 RPM se determina que el knocking es 0, en el régimen de 4000 RPM existe 1 registro de knocking.

En cuanto a la calibración experimental (1.6mm) en los regímenes de ralentí y 2500 RPM se registra 0 knocking en el motor, para el régimen de 4000 RPM se verifican 4 registros de knocking.



Bajo el análisis por calibración de bujía se evidencia que la calibración de 1.1 mm, la cual es recomendada por el fabricante del vehículo, es la calibración que menor cantidad de knocking presenta. La calibración recomendada por el fabricante de las bujías (0.9 mm y 1.0 mm) es el siguiente mejor resultado con una sumatoria de 4 registros de knocking. La calibración experimental da como resultado una sumatoria total de 19 registros de knocking.



Bajo el análisis por el régimen del motor a 4000 RPM se determina que la bujía de aleación de Cromo – Níquel con 3 electrodos, genera la mayor cantidad de knocking. La bujía de Platino genera 6 registros de knocking, seguida por la bujía de Níquel con 4 registros y finalmente la bujía que mostro el mejor desempeño en este régimen es la de Iridio con 2 registros.

CONCLUSIONES

Con cada tipo y calibración de bujía en función de los diferentes regímenes del motor al que fue sometido en el presente estudio, se evidenció un comportamiento diferente del knocking, por lo tanto es determinante identificar cual es el tipo de bujía y la configuración que beneficia al motor y reduce el knocking en el motor de combustión interna.

Al analizar el tipo de bujía por el material de construcción se concluye que la bujía que obtiene mejores resultados es la de Iridio con 2 registros de knocking.

Se puede concluir que la prueba con mejores resultados para el beneficio del motor de combustión interna es la calibración de recomendada por el fabricante del vehículo de 1.1mm. En cuanto al tipo de bujía idóneo para reducir el knocking en el motor es la bujía de Iridio por la conductividad eléctrica, el alto punto de fusión ya que concentra la energía eléctrica alrededor del electrodo central lo que produce un encendido eficiente y por lo tanto disminuye la incidencia de knocking dentro del motor de combustión interna.

Finalmente, se determinó que la configuración más perjudicial para la vida útil del motor se obtiene utilizando bujías de aleación cromo níquel con una distancia entre electrodos de 1,6mm, y con un régimen de motor de 4000 RPM.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bujías NKG México. (2017). Catálogo Bujías NGK. Master. <https://refaccionariagonzalez.com/catalogos/bujias%20ngk.pdf>
2. Bujías BOSCH. (2015). Catálogo Bujías BOSCH. https://0201.nccdn.net/4_2/000/000/01e/20c/Catalogo-BOSCH-2015.pdf
3. Leguisamo, J. (2016). Estudio Del Funcionamiento De Un Motor De Inyección Electrónica Directa A Gasolina En Diferentes Alturas Con Respecto Al Nivel Del Mar (Escuela Politécnica Nacional Del Ecuador). <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16475?mode=full>
4. Núñez, L., & Otáñez, O. (2013). Implementación De Un Banco Didáctico Para El Estudio De Funcionamiento De Los Sistemas De Encendido Electrónico Del Automóvil. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2648>
5. Pardiñas, J. (2018). Sistemas Auxiliares Del Motor.
6. Serpa, G., Zumba, X., Montalvo, F., Baño, D., Martínez, J., & Zambrano, I. (2019). Influence of the type of spark plug in the evaluation of the performance and emissions caused in an ignition engine. *Enfoque UTE*, 10(2), pp. 115 - 125. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n2.465>
7. Castillo Calderón, J. D., Rojas Reinoso, E. V., & Martínez Coral, J. E. (2017). Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático. *Revista Politécnica*, 39(1), 40–58. Recuperado a partir de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/719

8. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca Carrera De Ingeniería Automotriz
Análisis De La Influencia Del Tipo De Bujías Sobre La Degradación Del Aceite.
(N.D.). Retrieved March 28, 2024, From
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25591>

9. Equipo Automotriz JAVAZ. SENSOR DE DETONACION (KNOCK
SENSOR) FORMA DE ONDA.

https://equipoautomotrizjavaz.com/datos_tecnicos/sensor_detonacion.pdf
10. Abdel-Rehin, A. A. (2013). Impact os 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>
11. Burgett, R., Leptich, J., & Sangwan, K. (1972). Measuring the effect of spark plug
and ignition system design on engine performance. SAE technical paper
720007, <https://dx.doi.org/10.4271/720007>.
12. Bujías y su importancia para el funcionamiento óptimo del motor. (2021, June
18). Mitsubishi Motors | <https://mitsubishi-motors.com.co/blog/bujias-como-funcionan/>
13. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204. (2000). Gestión Ambiental. Aire.
Vehículos Automotores. Determinación De La Concentración De Emisiones De
Escape En Condiciones De Marcha Mínima O "Ralentí". Prueba Estática (1.^a Ed.).
Quito: INEN.
14. Reglamento Técnico Ecuatoriano PRTE INEN 263. Bujías de Encendido. (1.^a
Ed.). Quito: INEN.