



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.  
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada, Toluca, Estado de México. 7223898476*

RFC: AT1120618V12

**Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.**

<http://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/>

**Año: X    Número: 2.    Artículo no.:55    Período: 1ro de enero al 30 de abril del 2023.**

**TÍTULO:** Bujías resistivas NGK: su confiabilidad de uso y probabilidad de fallo.

**AUTORES:**

1. Máster. Giovanni Vinicio Pineda Silva.
2. Máster. Jorge Luis Cepeda Miranda.
3. Máster. Esteban Fernando López Espinel.

**RESUMEN:** El objetivo principal de la investigación es demostrar la fiabilidad que ofrecen las bujías NGK BKR6E-11 y el kilometraje real de operación en la ciudad de Ambato, en donde su relieve presenta niveles varios. El estudio fue aplicado en vehículos de servicio público de la ciudad de Ambato mediante un seguimiento exhaustivo y pruebas a intervalos predefinidos de recorrido, teniendo como objetivo principal cuantificar el funcionamiento de la resistencia eléctrica y el componente insertado en el electrodo central. Se concluyó que el porcentaje de confiabilidad al kilometraje de garantía es del 5.64%, por lo que se recomienda hacer la sustitución de las mismas a los, 20000 km para minimizar la probabilidad de fallo.

**PALABRAS CLAVES:** Bujía, NGK BKR6E-11, kilometraje, probabilidad de fallo.

**TITLE:** NGK resistive spark plugs, their reliability of use and probability of failure.

**AUTHORS:**

1. Master. Giovanni Vinicio Pineda Silva.
2. Master. Jorge Luis Cepeda Miranda.
3. Master. Esteban Fernando López Espinel.

**ABSTRACT:** The main objective of the investigation is to demonstrate the reliability offered by the NGK BKR6E-11 spark plugs and the real mileage of operation in the city of Ambato, where its relief presents various levels. The study was applied to public service vehicles in the city of Ambato through exhaustive monitoring and tests at predefined travel intervals, with the main objective of quantifying the operation of the electrical resistance and the component inserted in the central electrode. It was concluded that the percentage of reliability to the warranty mileage is 5.64%, so it is recommended to replace them at 20,000 km to minimize the probability of failure.

**KEY WORDS:** Spark plug, NGK BKR6E-11, mileage, probability of failure.

## **INTRODUCCIÓN.**

La industria automotriz en el Ecuador está en proceso de desarrollo; en los últimos años se ha incursionado de forma positiva, considerando parámetros técnicos en el área de diseño y ensamblaje, pero se ha dejado de lado uno de los factores más importantes en el campo automotor, que es el mantenimiento, y de forma particular, el predictivo, basado en condiciones reales de funcionamiento, puesto que los catálogos y manuales estipulan tiempos a los cuales se debe realizar la sustitución de un elemento específico de acuerdo a estudios desarrollados bajo condiciones estándar, sin niveles de exigencia fluctuantes, y en zonas diferentes a donde en realidad será utilizado el vehículo.

El correcto funcionamiento de una bujía está dado por la confiabilidad que presenta a un determinado kilometraje de recorrido del vehículo, medido a partir del momento de la instalación; si bien existen recomendaciones referentes al tiempo de vida útil, y por ende, parámetros de mantenimiento correctivo y preventivo de estos componentes automotrices, es necesario desarrollar mediciones de variables que estén directamente relacionadas con su correcta operatividad bajo las condiciones de operación en una zona específica, aportando de esta manera, al desarrollo de la industria automotriz.

En la presente investigación se muestran los resultados obtenidos y analizados en una muestra de 92 vehículos de servicio público, que desempeñan sus actividades en la ciudad de Ambato, la cual se encuentra a aproximadamente 2570 metros sobre el nivel de mar y presenta desniveles en su topografía, lo cual repercute en una mayor exigencia del motor de combustión interna.

El análisis de modos y efectos de fallas es uno de los métodos más utilizados para el estudio de confiabilidad, como se muestra en la investigación desarrollada sobre el desempeño de cada uno de los componentes del sistema de suspensión pasivo de un automóvil, donde establecen que las herramientas que presenta la técnica mencionada desarrollada de forma sistemática y lógica muestra una predicción de su operación para establecer un plan de mantenimiento, donde se considera la probabilidad de que el fallo ocurra y su severidad (Criollo-Yanchatipan et al., 2021).

Otra de las técnicas aplicadas en el análisis de fiabilidad es el estadígrafo Alfa de Cronbach, siendo una de las pruebas más populares, cuyo valor se encuentra en el rango de 0 a 1; mientras más cercano a 1, más fiable el componente analizado; en el análisis de fiabilidad de máquinas y herramientas del valor de marca aplicado a empresas automotrices, se llegó a la conclusión de que los componentes instalados en un vehículo por un determinado proveedor tienen una fiabilidad de 0.81 al momento de operar (Sneider & Ortegón, 2016).

La aplicación de métodos probabilísticos predictivos, llevados a cabo por un estudio de ingeniería de confiabilidad, con la finalidad de asegurar un comportamiento adecuado de un componente automotriz en un tiempo definido, al momento de cumplir una función específica, puede ser analizada mediante la distribución de Weibull, la cual complementa la distribución exponencial y normal; además, es ampliamente utilizada en el campo de la mecánica. Esta distribución permite analizar la distribución de fallos a lo largo del tiempo, donde se considera un tiempo normal de uso o vida útil dada, generalmente dada por el fabricante (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2005).

Las funciones de fiabilidad, probabilidad de fallo de un componente en función del tiempo o kilometraje recorrido por un automóvil, así como el tiempo en el cual el elemento en estudio presenta un porcentaje de confiabilidad mínimo requerido, están dadas por las siguientes ecuaciones (Salazar et al., 2017):

Función de Fiabilidad: 
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$$

**Ec.1**

Función de probabilidad de fallo: 
$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$$

**Ec.2**

Tiempo en función de prob. de fallo: 
$$t = \alpha[-\ln(1 - p)]^{\frac{1}{\beta}}$$

**Ec.3**

Los factores que intervienen en las ecuaciones descritas son  $\beta$ : parámetro de forma,  $\alpha$ : Parámetro de vida característica y  $\gamma$ : Parámetro inicial de localización; el primero de ellos, es ampliamente utilizado para clasificar las fallas, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Parámetro de forma (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2005).

Parámetro de forma	Causa
$\beta < 1$	Fallas tempranas causadas por mala instalación, bajo control de calidad, materiales defectuosos.
$\beta = 1$	Fallas aleatorias.
$\beta > 1$	Fallas debido al desgaste o la edad; en este caso, la confiabilidad puede ser mejorada optimizando el mantenimiento preventivo.

En la investigación desarrollada sobre la determinación de la influencia en emisiones contaminantes, torque, potencia y consumo de combustible de un vehículo con motor Ciclo Otto, de inyección electrónica de gasolina, utilizaron los siguientes 6 tipos de bujías:

Tabla 2. Tipos de bujías con mayor aceptación comercial (Serpa &amp; Zumba, 2016).

Descripción	Marca	Codificación
Homologada – Concesionaria	ACDelco	MFR3LS
Original – Fabricante	NGK	BKR6E-11
Sustituta - Iridio	DENSO	IK20
Sustituta – Tetrapolar	BERU	UXF79
Sustituta – Platino	BOSCH	FR8DPX
Sustituta – Diferente grado térmico	NGK	BKR5E-11

Una de las marcas comerciales mayormente aceptadas en bujías, como se muestra en la tabla anterior, es NGK, por lo cual es seleccionada para el desarrollo del estudio; además, cumple con la característica de ser resistiva, parámetro necesario para la ejecución de mediciones de resistencia eléctrica a intervalos predefinidos de kilometraje recorrido de un vehículo. En la Tabla 3, se muestra el significado de la codificación del tipo de bujía considerada:

Tabla 3. Codificación de la bujía NGK BKR6E-11 (Medina-Merino, 2014).

Código	Parámetro	Magnitud	Unidad
B	Diámetro de la rosca	14	mm
K	Tamaño hexágono	16	mm
R	Resistencia	Resistiva	
6	Grado térmico		
E	Longitud rosca	19	mm
11	Calibración	1.1	mm

Las bujías de tipo resistivo son utilizadas con la finalidad de atenuar las interferencias por radiofrecuencia generadas por el sistema de encendido del motor, inyección electrónica de combustible, tableros digitales, entre otros elementos que en la actualidad forman parte del desarrollo tecnológico y sofisticación progresiva de los vehículos; este tipo de bujías contiene un resistor de 5 k $\Omega$ , insertado en el electrodo central, el cual colabora con la prolongación de la vida útil de los electrodos, en función de que reduce el pico de corriente capacitiva; una bujía de este tipo empieza a disminuir su capacidad de cumplir con las funciones mencionadas, una vez que su resistencia medida es inferior a 3,5 k $\Omega$ , lo mismo que provoca inconvenientes con el sistema de encendido; por ende,

incide directamente en el rendimiento del motor, consumo de combustible y porcentajes de gases contaminantes productos de la combustión (Serpa et al., 2019).

Las bujías son propias de los vehículos a gasolina; sin embargo, no todas las bujías son compatibles; por lo que resulta indispensable conocer las marcas y modelos de vehículos donde el tipo de bujía seleccionada pueda ser instalada, de acuerdo con su manual de mantenimiento y catálogo NGK, como se muestran a continuación:

Tabla 4. Vehículos compatibles con la bujía NGK BKR6E-11 (Medina-Merino, 2014).

Marca	Modelo
Chevrolet	Aveo
Kia	Río
Suzuki	Swift
Faw	F4

El kilometraje de vida útil de una bujía depende del material del electrodo, que incide directamente en la capacidad de disipar el calor y la resistencia a la corrosión provocada por las altas temperaturas a las que están sometidas, en la siguiente tabla se muestra el kilometraje de recorrido recomendado para la sustitución de las bujías NGK BKR6E-11, de acuerdo con el catálogo de la marca, como se muestra en la Tabla 5. (NKG, 2020)

Tabla 5. Vida útil de las bujías NGK BKR6E-11 (Medina-Merino, 2014).

Material del núcleo del electrodo	Vida útil (km)
Cobre	30000
Platino	120000
Iridio	160000

## **DESARROLLO.**

### **Materiales y Métodos.**

En el proceso de investigación se desarrollaron análisis cuantitativos, debido a las mediciones desarrolladas de la resistencia eléctrica en las bujías NGK BKR6E-11 de tipo resistivo con núcleo del

electrodo de cobre, instaladas en vehículos de servicio público en función del kilometraje recorrido, para su posterior procesamiento e interpretación.

Los vehículos seleccionados, en función de la investigación de compatibilidad de la bujía en estudio mostrada en la Tabla 4, son Chevrolet Aveo y Kia Río, por la cantidad de unidades existentes en el sector automotor de la ciudad de Ambato y su incidencia en la factibilidad para el desarrollo de la investigación.

La obtención de datos se desarrolló bajo la modalidad de campo, estando en contacto directo con los elementos en estudio, con lo cual se consiguió información primaria, como características de las bujías utilizadas, kilometraje recorrido y variación de la resistencia eléctrica, producto de la disminución del tiempo de vida útil, bajo condiciones de operación de los vehículos en su uso cotidiano.

Se complementó la recopilación de la información por medio de una investigación bibliográfica documental, a partir de la cual se pudo conocer tiempos de vida útil de las bujías estipulados en catálogos; así como características principales y recomendaciones a considerar para el correcto desarrollo de la toma de datos a partir de fuentes secundarias confiables como libros y artículos científicos y su posterior procesamiento estadístico acorde a los requerimientos de la investigación para obtener conclusiones válidas de la fiabilidad y probabilidad de fallo teórico y real de la vida útil de los elementos automotrices en estudio.

El comportamiento de la vida útil de las bujías en función del kilometraje recorrido de los vehículos será descrito, así como el proceso de medición de la resistencia eléctrica, la cual tuvo lugar al momento de la instalación y cada aproximadamente 1000 km recorridos a partir de los 15000 km, dando lugar a una investigación de tipo descriptivo, así como el análisis de asociación de variables para determinar una relación directa o inversamente proporcional entre la resistencia eléctrica y el kilometraje del vehículo.

La población en estudio corresponde a las bujías instaladas en los aproximadamente 2400 vehículos de servicio público tipo automóvil, que laboran dentro de la ciudad de Ambato; para lo cual la técnica de muestreo aplicada es probabilística, de acuerdo con los parámetros que se muestran a continuación:

Tabla 6. Tamaño de la muestra.

Parámetro	Símbolo	Valor
Población	$N$	2400
Nivel de confianza (95%)	$Z$	1.96
Error de estimación (10%)	$e$	0.1
Probabilidad de éxito (50%)	$p$	0.5
Probabilidad de fracaso (50%)	$q$	0.5
Tamaño de la muestra	$n$	92

El tamaño de la muestra está dado por 92 vehículos, cada uno de ellos cuenta con cuatro bujías, que han sido consideradas para la medición del parámetro indicador del estudio, la resistencia eléctrica. Los materiales y equipos utilizados para el correcto desarrollo de la investigación se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Materiales y equipos.

Parámetro	Cantidad
Multímetro automotriz	4
Bujías NGK BKR6E-11	368
Vehículo de servicio público (automóviles)	92
Racha	4
Dados	4
Hojas de registro de mediciones	92

## Resultados.

Una vez desarrolladas las mediciones de la resistencia eléctrica de las bujías instaladas en los vehículos a intervalos de 1000 km de recorrido, a partir de los 15000 km, se encontró que el valor del parámetro medido se encuentra dentro del rango permisible para un funcionamiento adecuado hasta antes de los 20000 km, y a partir del mismo, se determinaron valores de resistencia inferiores al mínimo permisible de 3,5 k $\Omega$ , de acuerdo con los lineamientos dados por el fabricante.

El número de bujías que presentaron inconformidad en el valor de la resistencia eléctrica, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 8. Número de bujías con inconformidad en función del kilometraje.

Frecuencia ( $f_i$ )	$x_i(km)$	$\ln(x_i)$	$f_i * \ln(x_i)$	$f_i * [\ln(x_i) - \bar{x}]^2$
24	20000	9.90	237.684	1.367
12	21000	9.95	119.427	0.432
20	22000	10.00	199.976	0.411
72	23000	10.04	723.114	0.704
36	24000	10.09	363.089	0.114
20	25000	10.13	202.533	0.005
60	26000	10.17	609.951	0.034
44	28000	10.24	450.558	0.421
24	29000	10.28	246.601	0.424
16	30000	10.31	164.943	0.445
28	31000	10.34	289.569	1.116
12	33000	10.40	124.851	0.825
368			3732.296	6.298

Si bien las mediciones se desarrollaron desde los 15000 km de haber sido instalado el juego de bujías en los motores de los vehículos seleccionados, en la Tabla 8 se muestran los resultados a partir de los 20000 km, valor en el cual se empezó a detectar resistencias inferiores al límite mínimo permisible de resistencia eléctrica.

En la Figura 1, se muestra un histograma que indica la cantidad de bujías donde se midió una resistencia inferior a 3,5 k $\Omega$ ; y es necesario recalcar, que no necesariamente las cuatro bujías instaladas en el motor de un vehículo determinado presentaron una resistencia no permisible en el mismo kilometraje; aunque en la mayoría de los casos, aproximadamente en el 75% de los casos se presentó esta particularidad.

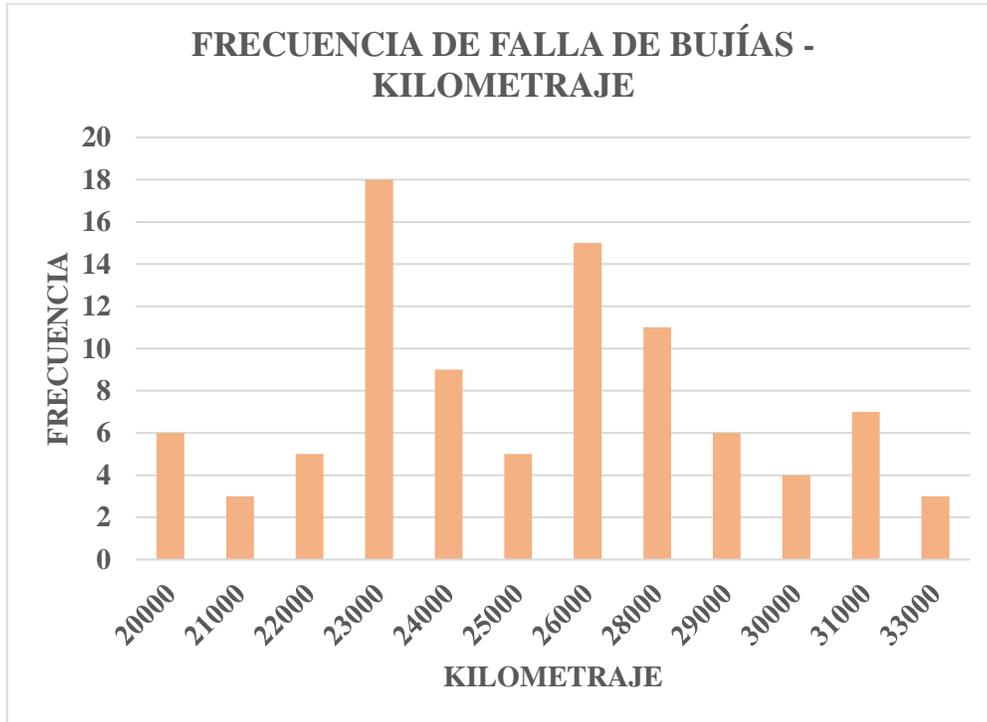


Figura 1. Frecuencia de fallas de bujías en función del kilometraje.

### Discusión.

Una vez procesados estadísticamente los valores medidos de resistencia eléctrica de las bujías NGK BKR6E-11, se han determinado los parámetros requeridos para el ajuste del modelo matemático acorde lo establecido por la ley de Weibull, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 9. Número de bujías con inconformidad en función del kilometraje.

Parámetro	Símbolo	Magnitud
Media de Weibull	$\bar{x}$	10.142
Varianza	$S^2$	0.0172
Desviación estándar	$S$	0.1310
Parámetro de forma	$\beta$	9.7908
Parámetro de vida característica	$\alpha$	26931.8
Parámetro de localización	$\gamma$	0

El parámetro de forma resultó ser mayor que 1, el cual es un indicador de que el deterioro de la resistencia eléctrica de las bujías es producido por el uso normal bajo las condiciones y exigencias del motor de los vehículos analizados al operar dentro de la ciudad de Ambato, más no por una mala

instalación o posibles defectos de fábrica; de la misma forma, se descarta la posibilidad de que los resultados sean producto de fallas aleatorias; así que una correcta gestión de mantenimiento permitiría sobrellevar de mejor manera una operación adecuada de las bujías, y por ende, del sistema de encendido de un motor de combustión interna.

En función del análisis de los resultados, la probabilidad de fallo de las bujías NGK BKR6E-11, que podría generar inconvenientes en el sistema de encendido del automóvil, producto de una deficiencia de resistencia eléctrica del componente insertado en el electrodo central, es muy cercano a cero durante los primeros 15000 km de recorrido de un vehículo, medido a partir de la instalación de las bujías; mientras que una vez que supera el valor mencionado, la probabilidad de fallo aumenta de acuerdo al modelo matemático hallado por medio de la distribución de Weibull que se muestra a continuación:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{26931.8}\right)^{9.7908}}$$

#### **Ec.4**

La curva típica de flujo de fallas, que se muestra en la Figura 2, muestra que la probabilidad de que el elemento falle a los 30000 km supera el 90%; sin embargo, la bujía al ser un componente prioritario para el correcto funcionamiento y desempeño de un motor de combustión interna tanto en el aspecto de generación de torque y potencia, así como la optimización de consumo de combustible, se requiere que la probabilidad de fallo sea lo más baja posible, para de esa manera, incidir en un adecuado funcionamiento del sistema de encendido; por lo tanto, la curva crece a una tasa considerable a partir de los 20000 km, así que debería ser considerado para la planificación de un mantenimiento preventivo – predictivo.

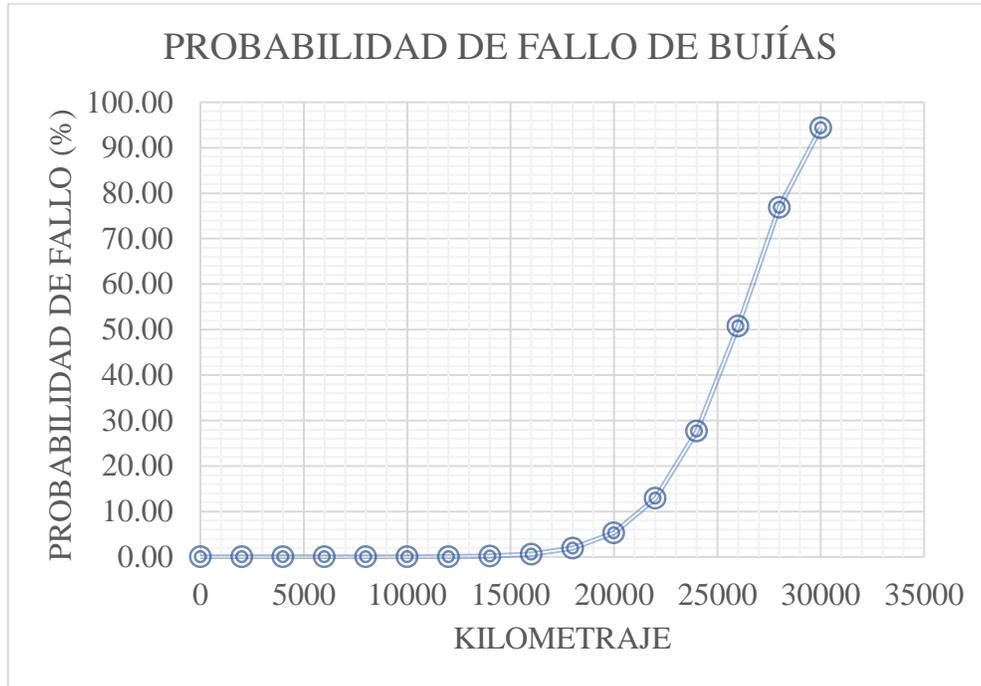


Figura 2. Probabilidad de fallo de bujías en función del kilometraje.

De la misma manera, el porcentaje de fiabilidad de que la bujía desempeñe su función acorde a los requerimientos y especificaciones solicitadas por el motor debe ser elevada, y al ser el complemento del porcentaje de fallo, su valor es superior al 95% durante los primeros 15000 km y disminuye de forma precipitada hasta alcanzar aproximadamente el 5% de confiabilidad a los 30000 km de instaladas las bujías, como se muestra en la Figura 3, basada en la siguiente ecuación:

$$F(x) = e^{-\left(\frac{x}{26931.8}\right)^{9.7908}}$$

**Ec.5**

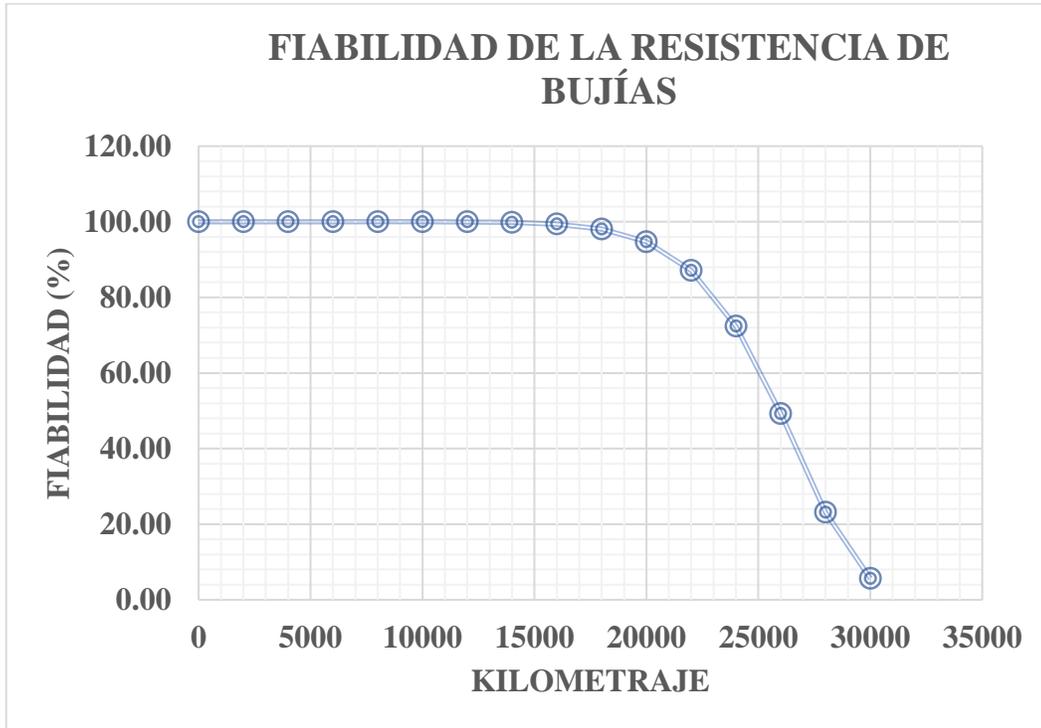


Figura 3. Porcentaje de Fiabilidad en función del kilometraje.

## CONCLUSIONES.

Las bujías seleccionadas para el desarrollo del análisis de fiabilidad son las NGK BKR6E-11 de tipo resistivo con núcleo del electrodo de cobre, en función de estudios previos desarrollados, al ser una de las marcas con mayor aceptación comercial, las cuales son compatibles con los vehículos Chevrolet Aveo y Kia Río.

La vida útil de las bujías está dada por el material del núcleo del electrodo, siendo 30000 km para las de cobre, hasta 160000 km para las de iridio; las primeras son ampliamente utilizadas en el servicio de transporte público por su bajo costo económico, y por lo tanto, fueron consideradas para el desarrollo de la investigación en una muestra de 92 vehículos.

Las mediciones de la resistencia eléctrica de las bujías se desarrollaron para corroborar su estado en el motor de combustión interna de los vehículos antes de ser instaladas, y a partir de los 15000 km a intervalos iguales de aproximadamente 1000 km, donde la resistencia presentó una disminución

progresiva en su magnitud, lo cual afecta al correcto desempeño de la bujía, y por ende, del sistema de encendido del vehículo.

Uno de los factores más representativos para el cálculo de fiabilidad por medio de la distribución de Weibull es el parámetro, de forma que adoptó un valor mayor que 1, el cual es un indicador de que las fallas no se presentan de forma temprana como producto de una instalación inapropiada, sino más bien como efecto del funcionamiento bajo las condiciones requeridas para operar en la ciudad de Ambato; por lo que una correcta gestión de mantenimiento es apropiada para optimizar el funcionamiento del sistema de encendido de un motor de combustión interna.

El porcentaje de fiabilidad de las bujías NGK BKR6E-11, a los 30000 km que establece el fabricante como vida útil, es del 5.64%, un valor demasiado bajo en comparación con el rol importante que cumple dentro del funcionamiento del motor.

El kilometraje en el cual la fiabilidad de las bujías alcanza el 95%, se cumple cuando el recorrido del vehículo es de 19884.55 km, mientras que a los 25000 km se reduce al 61.72%, lo cual no es prudente para el funcionamiento del motor, por lo que se debería desarrollar el cambio de las bujías a los 20000 km de recorrido y no a los 30000 km, como establece el catálogo del fabricante; esto debido a las exigencias solicitadas al motor al operar dentro de la ciudad de Ambato.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

1. Criollo-Yanchatipan, L., Guasumba-Maila, J., Lema-Elbay, A., & Racines, E. (2021). Planificación del mantenimiento mediante la determinación del número prioritario de riesgo, y el análisis de modos y efectos de fallos a los sistemas de suspensión de vehículos livianos. *Dominio de las Ciencias*, 7(4), 1828-1843.  
<https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/download/2204/4703>

2. Medina-Merino, R. (2014). Análisis de confiabilidad y del tiempo de vida de las lámparas del parque de alumbrado público de la zona norte de Lima metropolitana. *Interfaces*, (007), 53-68.  
<https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Interfases/article/view/142>
3. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (2005). NTP 331. Fiabilidad: la distribución de Weibull. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.  
[https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp\\_331.pdf/cdc3ba1d-ec18-4d9f-8e36-3cfe970c8083?version=1.0&t=1614698484419](https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_331.pdf/cdc3ba1d-ec18-4d9f-8e36-3cfe970c8083?version=1.0&t=1614698484419)
4. Salazar, R., Fitz, E., López, I., & Rojano, A. (2017). Confiabilidad y Análisis de Fallas utilizando la Distribución Weibull. México: UNAM,
5. Serpa, G., & Zumba, X. (2016). Determinación de la influencia en emisiones contaminantes, torque, potencia y consumo de combustible de un vehículo con motor ciclo Otto, de inyección electrónica de gasolina, mediante la variación de 6 tipos de bujías (Master's thesis, Quito, 2016.).  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15362/1/CD-7058.pdf>
6. Serpa, G., Zumba, X., Montalvo, F., Baño, D., Martínez, J., & Zambrano, I. (2019). Influencia del tipo de bujía en la evaluación del comportamiento y emisiones en un motor de encendido provocado. *Enfoque UTE*, 10(2), 115-125.  
<http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v10n2/1390-6542-enfoqueute-10-02-00115.pdf>
7. Sneider, J., & Ortegón, L. (2016). Componentes del valor de marca en marketing industrial. Caso máquinas y herramientas. *Revista Perspectivas*, (37), 75-94.  
[http://www.scielo.org.bo/pdf/rp/n37/n37\\_a04.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rp/n37/n37_a04.pdf)

## DATOS DE LOS AUTORES.

1. **Giovanny Vinicio Pineda Silva.** Magister en Mecánica Mención en Diseño. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes Ambato, Ecuador. E-mail:  
[ua.giovannypineda@uniandes.edu.ec](mailto:ua.giovannypineda@uniandes.edu.ec)

2. **Jorge Luis Cepeda Miranda.** Magíster en Administración de Empresas Mención Marketing. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes Ambato, Ecuador. E-mail: [ua.jorgecepeda@uniandes.edu.ec](mailto:ua.jorgecepeda@uniandes.edu.ec)
3. **Esteban Fernando López Espinel.** Magíster en Automatización y Sistemas de Control. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes Ambato, Ecuador. E-mail: [ua.estebanle84@uniandes.edu.ec](mailto:ua.estebanle84@uniandes.edu.ec)

**RECIBIDO:** 2 de octubre del 2022.

**APROBADO:** 19 de noviembre del 2022.