

# ANÁLISIS DEL ESTADO DE CARGA DE LA BATERÍA EN BASE A LA DENSIDAD DEL ELECTROLITO

## ANALYSIS OF THE STATE OF CHARGE OF THE BATTERY BASED ON THE DENSITY OF THE ELECTROLYTE

Danilo Arroba Muñoz <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Carrera de Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8876-457X>. Correo: [arroba.istt@gmail.com](mailto:arroba.istt@gmail.com)

Julieta Bassante Barberán <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Carrera de Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7430-941X>. Correo: [jbassante.istt@gmail.com](mailto:jbassante.istt@gmail.com)

Diego Punina Poveda <sup>3</sup>

<sup>3</sup> Carrera de Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-5556>. Correo: [dpunina.istt@gmail.com](mailto:dpunina.istt@gmail.com)

\* Autor para correspondencia: [arroba.istt@gmail.com](mailto:arroba.istt@gmail.com)

### Resumen

La batería es una pila secundaria mejor conocida como acumulador, cuyo principio de funcionamiento es la transformación de energía de forma reversible entre química y eléctrica, para esto se generan reacciones de óxido-reducción en sus componentes principalmente: el ácido sulfúrico y el plomo. El estudio tuvo la finalidad de determinar el estado de carga de la batería basándonos en el análisis de densidad del electrolito con la ayuda de un refractómetro y un multímetro. La toma de muestras se realizó en intervalos de tiempo de 30 días a fin de determinar la evolución del proceso de carga-descarga e interpretar cómo influye el cambio de la densidad del electrolito en la vida útil de la batería. Se utilizaron 3 objetos de prueba a fin de encontrar un patrón en el proceso analizado. La población beneficiada del proyecto son los estudiantes y docentes de la carrera de Mecánica Automotriz del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Los resultados obtenidos en el período de estudio de 120 días mostraron que las tres baterías presentan una disminución en su densidad en promedio de 0,01 kg/l, al relacionar estos datos con el voltaje de carga se verifica que el voltaje se reduce en un promedio de 0,20 V. En conclusión, luego de comparar los datos obtenidos se evidencia que la vida útil de la batería disminuye, pero se detectó que hay algunas variables como la temperatura, el tiempo de arranque que pueden afectar de manera considerable los resultados.

**Palabras clave:** batería; densidad; electrolito; refractómetro; multímetro

### Abstract

*The battery is a secondary cell better known as an accumulator, whose operating principle is the reversible transformation of energy between chemical and electrical, for this, oxidation-reduction reactions are generated in its components mainly: sulfuric acid and lead. The purpose of the study was to determine the state of charge of the battery based on the analysis of the electrolyte density using a refractometer and a multimeter. Sampling was carried out at 30-day time intervals in order to determine the evolution of the charge-discharge process and interpret how the change in electrolyte density influences the useful life of the battery. 3 test objects were used in order to find a pattern in the analyzed process. The population benefiting from the project are the students and teachers of the Automotive Mechanics career of the Tungurahua Higher Technological Institute. The results obtained in the study period of 120 days showed that the three batteries present a decrease in their density on average of 0.01 kg/l, when relating these data with the charging voltage, it is verified that the voltage is reduced by a average of 0.20 V. In conclusion, after comparing the data obtained, it is evident that the useful life of the battery decreases, but it was detected that there are some variables such as temperature, startup time that can considerably affect the results.*

**Keywords:** battery, density, electrolyte, refractometer, multimeter

**Fecha de recibido:** 08/02/2023

**Fecha de aceptado:** 27/05/2023

**Fecha de publicado:** 09/06/2023

### Introducción

Menciona Calsina (2008) La falta de mantenimiento de la batería del vehículo provoca la reducción de su vida útil, del mismo modo las reacciones químicas en el proceso de descarga generan una disminución de la densidad del electrolito, sulfatación de las placas, sobre calentamiento de la batería y sobre descarga de la batería, de igual manera en el proceso de carga se produce un aumento de la densidad del electrolito, peligro de explosión, o pérdidas de agua destilada.

Según Pancha, Rojas, Romero, & Nejer (2019) menciona que una batería automotriz del tipo plomo ácido es un elemento que genera una fuerza electromotriz capaz de abastecer de energía a todo el sistema eléctrico del vehículo.

Pancha, Rojas, Romero, & Nejer (2019) afirman que las condiciones externas como la temperatura pueden afectar directamente a la densidad y las condiciones eléctricas de un acumulador, así como identificar el comportamiento de estas durante el funcionamiento en un vehículo, otra variable que influye en la vida útil de una batería de plomo es el mantenimiento del sistema eléctrico al que suministra energía y el número de procesos de carga y descarga al que se somete.

Según Kässbohrer Geländefahrzeug (2018) menciona que la comprobación de corriente de alta intensidad debe efectuarse únicamente si es uniforme la densidad del ácido y si su valor mínimo es de 1,24 kg/l (equivale a una tensión de reposo de como mínimo 12,4 V), del contrario, cargar previamente la batería. La corriente de carga debe ajustarse de acuerdo con lo indicado en las instrucciones de uso del correspondiente aparato comprobador. La duración de la comprobación es de aprox. 15 segundos. La indicación se efectúa mediante un voltímetro.

Miguel Ángel Pérez Belló (2012) dice que la batería es la encargada de alimentar al circuito, proporcionando, salvo raras excepciones, una tensión nominal de 12V, que en la práctica ascienden a un valor, en torno a 13,6V. CESVIMAP. (2002) menciona que la batería es un componente físico-químico capaz de recibir energía eléctrica del exterior, transformarla en energía química, almacenarla en su interior y partiendo de ésta, cederla nuevamente al exterior

Automóviles, S. a. (2000). La batería se llena con ácido sulfúrico diluido (electrolito), el cual debe tener una densidad de aproximadamente 1,28 kg/l. En zonas tropicales este valor se puede reducir a aproximadamente 1,23 kg/l. La densidad del electrolito es la característica principal del estado de carga de una batería por eso en la práctica el estado de carga se determina midiendo la densidad del electrolito de la batería.

Autosoporte (2021) señala que el multímetro automotriz es un instrumento eléctrico portátil, que permite medir las magnitudes eléctricas activas y pasivas, y sus funciones son diversas. Ahora bien, para cada una de esas funciones, el multímetro automotriz debe estar configurado de una forma específica. Una de las magnitudes que se mide es la tensión. Para medir tensión, el multímetro debe estar en la posición de medición de tensiones. La sonda negra de prueba tiene que conectarse en la clavija COM y la sonda de color rojo debe ser conectada a la clavija Voltios/Ohmios ( $V/\Omega$ ). Normalmente, las tensiones medidas en un vehículo son continuas, así que el selector tendrá que situarse en la posición de corriente continua.

Krüß Optronic (2008) define a los refractómetros portátiles manuales como Testador del líquido de la batería y anticongelante para el contenido de etylen y de propylenglycol. Son fáciles de usar y muy robustos. Estos refractómetros disponen de diferentes escalas y funciones adicionales, de modo que es ideal para numerosos ámbitos de aplicación. Proporciona una lectura segura, puesto que no debe calcularse primero el valor de medición. Algunos modelos están equipados con compensación automática de la temperatura. De este modo, se aumenta la precisión de la medición en casos en los que la medición se realiza a 40 °C en lugar de 20 °C. Para la calibración se utiliza agua destilada o se suministra un cuerpo de calibración pequeño.

García, (2012) Si bien la batería es la principal fuente de energía del vehículo, sólo la almacena y la suministra, pues ésta se produce en el alternador y de ahí se dirige a este dispositivo, donde se "acumula" y se distribuye a todos los demás sistemas del automóvil. Se dice que la densidad específica de la batería contiene billones de juegos de moléculas y no solo un electrolito nunca se vuelve todo ácido sulfúrico ni toda agua descargada. Si podemos determinar la concentración de acidez del electrolito, podemos averiguar el porcentaje de carga de la batería Gil, H. (2007).

Navarro, (2020) En el proceso de carga se liberaba un gas que provocaba, pérdida de agua por lo que era indispensable un mantenimiento periódico de la batería para verificar que las placas estaban sumergidas en el electrolito si baja el nivel había que añadir agua destilada en cada vaso para mantener siempre las placas sumergidas.

Esteban José Domínguez, J. F. (2012) La electrólisis es un método de separación de los elementos que forman un compuesto aplicando electricidad: se produce la descomposición en iones, seguido de reacciones secundarias como formación de gases. Existen disoluciones de sales, ácidos o bases que permiten el paso de la corriente eléctrica, es decir, son conductoras. Se denominan electrólitos.

Mengfbar, (2013) Electrólito. Es la sustancia encargada de producir las reacciones químicas de la carga y descarga de la batería. Este elemento está tapado por una cubierta a prueba de ácido y encerrado en un compartimento de la carcasa de la batería. Cada elemento del vaso está formado por una placa negativa y otra positiva y estas, a su vez, separadas por separadores. La densidad del electrólito varía con la carga, con lo que es posible medir la batería para saber su estado.

A partir de las consideraciones anteriores, para el presente estudio se definieron como objetos de prueba las baterías de tres vehículos pertenecientes a la carrera de Mecánica Automotriz del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua (ISTT), se definió la periodicidad para la toma de datos, misma que se realizó cada 30 días, los datos analizados fueron la densidad y el voltaje. La toma de datos empezó en diciembre de 2022 y se extendió hasta marzo de 2023, pero este estudio será realizado hasta mayo de 2024, fecha en donde se tendrá una proyección de la vida útil de la batería más real. Con los datos obtenidos hasta marzo de 2023 y ajustándose a la realidad de funcionamiento al que fueron sometidas las baterías (períodos de carga y descarga muy irregulares y poco recurrentes), se determinó que cada batería redujo la densidad de su electrolito en el orden de 0,01 Kg/l cada mes.

Si se tiene en cuenta que la vida útil de un acumulador de plomo tiene relación directa con la densidad de su electrolito y el mantenimiento general del sistema eléctrico, es normal que una batería vaya perdiendo rendimiento a medida que está siendo utilizada ya que es sometida a procesos de carga-descarga constantes durante el funcionamiento del vehículo, por esta razón es imprescindible comprender la relación que existe entre la densidad del electrolito y el estado de carga de las baterías ya que estos parámetros permitirán aplicar procesos de mantenimiento oportuno que garanticen una vida útil extendida de este importante elemento de los sistemas eléctricos y electrónicos de los vehículos.

La metodología utilizada fue la investigación de campo, se tomaron muestras de electrolito que luego fueron analizadas con un refractómetro, cotejadas con un multímetro y posteriormente se tabularon y analizaron los datos para poder encontrar posibles causas de envejecimiento prematuro de las baterías y plantear soluciones que corrijan satisfactoriamente el problema.

## Materiales y métodos

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la investigación de campo, esta permitió manejar de manera más flexible las variables que intervienen en los procesos de carga y descarga de baterías.

Dentro de las técnicas de investigación, se seleccionó la observación y el análisis documental ya que fue necesario primero determinar los parámetros de comparación que luego fueron contrastados con datos reales obtenidos de los sujetos de prueba seleccionados en el mismo taller automotriz.

El instrumento de recolección de datos seleccionado en base a la técnica utilizada fue la ficha de observación ya que esta permite organizar los datos de manera sencilla y facilita su análisis e interpretación. Los datos

obtenidos permitieron tener una idea más clara del comportamiento de una batería en distintas condiciones de funcionamiento y predecir de manera experimental su vida útil. Los equipos utilizados fueron:

- Refractómetro.
- Multímetro.
- Baterías de plomo ácido.

## Resultados y discusión

La batería al ser un transformador de energía reversible es capaz de sufrir procesos de carga al recibir energía eléctrica de un medio exterior que en el caso específica del automóvil está a cargo del alternador, convirtiendo de esta manera la energía eléctrica en química y que finalmente es almacenada en la pila; así mismo la batería está sometida a procesos de descarga donde la energía química se transforma en electricidad y es utilizada por los diferentes consumos del vehículo.

Químicamente una batería consta de los siguientes elementos:

Agua destilada:  $H_2O$  (1)

Ácido sulfúrico:  $H_2SO_4$  (2)

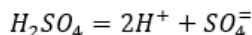
Óxido de plomo:  $PbO_2$  (3)

Plomo esponjoso:  $Pb^{4+}$  (4)

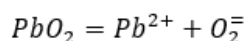
Cuando se mezcla el agua destilada (1) con el ácido sulfúrico (2) en una proporción aproximada de 2 partes de agua por 1 parte de ácido, se obtiene un compuesto denominado electrolito cuya densidad característica es de 1,285 kg/l (kilogramos por litro). La densidad puede cambiar en relación directa con los procesos de carga y descarga a la que es sometida una batería de plomo-ácido, dando como resultado una disminución de densidad cuando la batería se descarga y un aumento de esta cuando el proceso corresponde a la carga.

Si se analizan las reacciones químicas que se producen en una batería durante la descarga se puede definir lo siguiente:

Desintegración del ácido sulfúrico en dos compuestos distintos.

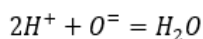


Desintegración del óxido de plomo.



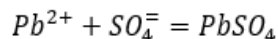
Resultado de la descomposición y posterior ionización de los elementos se obtienen nuevos compuestos dentro de la batería.

Se aumenta el porcentaje de agua en el electrolito.

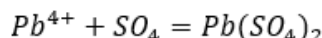


Se generan sulfatos en las placas positivas y negativas respectivamente.

Placas positivas



Placas negativas



Estos procesos serán reversibles siempre y cuando la batería funcione bajo condiciones normales que no alteren las concentraciones de los elementos. En un ambiente real de trabajo las condiciones normales no se cumplen, por tanto, mediante este estudio se pretende cotejar la teoría con la práctica comparando la densidad del electrolito con el voltaje para posteriormente validar el comportamiento de una batería bajo condiciones reales de trabajo.

Como datos de referencia sobre correlaciones entre densidad y voltaje se pueden tomar los siguientes casos.

1. Carga de batería completa (100%) le corresponde una densidad de 1,285 kg/l.
2. Media carga (50%) le corresponde una densidad de 1,230 kg/l.
3. La batería descargada (0%) le corresponde una densidad de 1,143 kg/l.

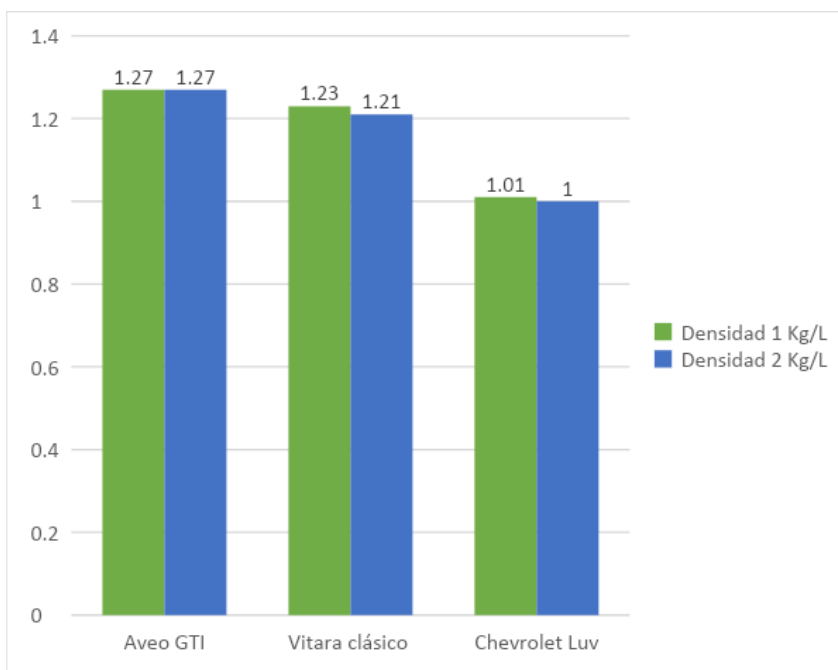
Los valores precedentes fueron tomados de la obra titulada Sistemas de carga y arranque Calsina (2008). La tabla 1 muestra los resultados de densidad obtenidos con un refractómetro en kg/, toma de las tres baterías de plomo ácido disponibles en el taller de Mecánica de Patio del ISTT, estos datos fueron comparados con la tensión en vacío de estos mismos objetos con el fin de relacionar la densidad versus el voltaje, a fin de prevenir un daño prematuro en la batería.

**Tabla 1.** Ficha de levantamiento de datos

<b>Ficha de levantamiento de datos</b>		
<b>Tema:</b> Análisis del estado de la batería en base a la densidad del electrolito en distintas condiciones de funcionamiento		
<b>Resultados</b>	<b>Densidad</b>	<b>Tensión en vacío</b>
<b>Primer levantamiento de datos</b>		
Aveo GTI	1,27 kg/l	12,78 V
Vitara clásico	1,23 kg/l	12,45 V
Chevrolet Luv	1,01 Kg/L	1,22 V
<b>Segundo levantamiento de datos</b>		
Aveo GTI	1,27 Kg/L	12,76 V
Vitara clásico	1,21 Kg/L	12,17 V
Chevrolet Luv	1,00 Kg/L	0,78 V

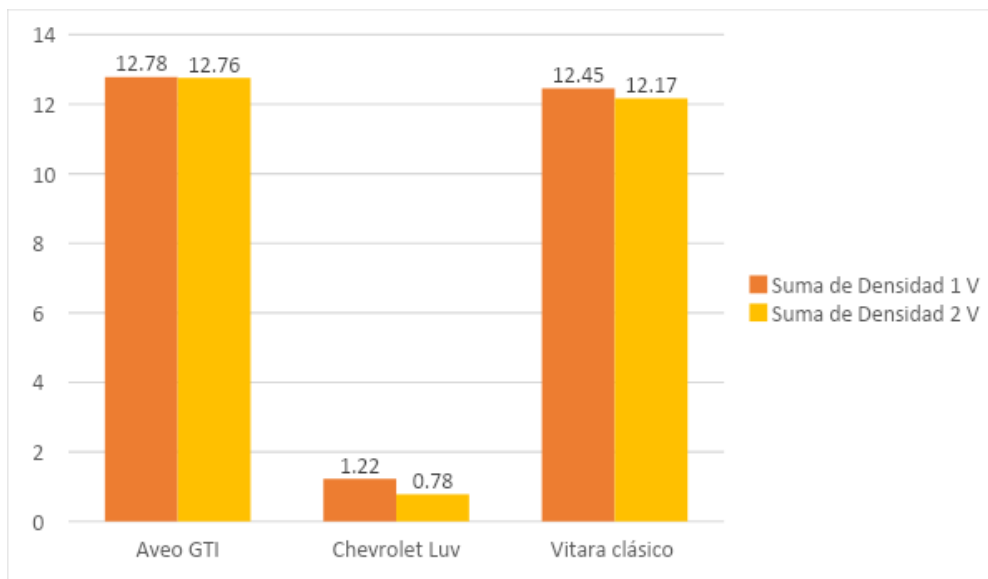
Tercer levantamiento de datos		
Aveo GTI	1,26 kg/l	12,70 V
Vitara clásico	1,17 kg/l	12,31 V
Chevrolet Luv	1,00 kg/l	0,76 V
Cuarto levantamiento de datos		
Aveo GTI	1,28 kg/l	12,74 V
Vitara clásico	1,11 kg/l	10,20 V
Chevrolet Luv	1,00 kg/l	0,6 V

La figura 1 es una comparación de la densidad tomada en el transcurso de 120 días, la primera aproximadamente en diciembre del 2022 y la segunda en febrero de 2023, los resultados obtenidos en la batería del Aveo GTI no presentaron variación de su densidad, en la batería del Vitara clásico entre la primera y segunda toma una diferencia de 0,02 kg/l y la tercera muestra en el vehículo Chevrolet Luv presentó una diferencia de 0,01 Kg/l.



**Figura 1.** Comparación densidad primera y segunda toma de muestra.

El siguiente diagrama al comparar los voltajes (figura 2), entre la primera y segunda muestra del primer objeto de estudio hubo una variación de 0,02 voltios, en la segunda batería del vehículo Chevrolet Luv una diferencia de 0,44 voltios y en la última batería del vehículo Vitara clásico entre la primera y segunda toma de datos una variación de 0,28 voltios.



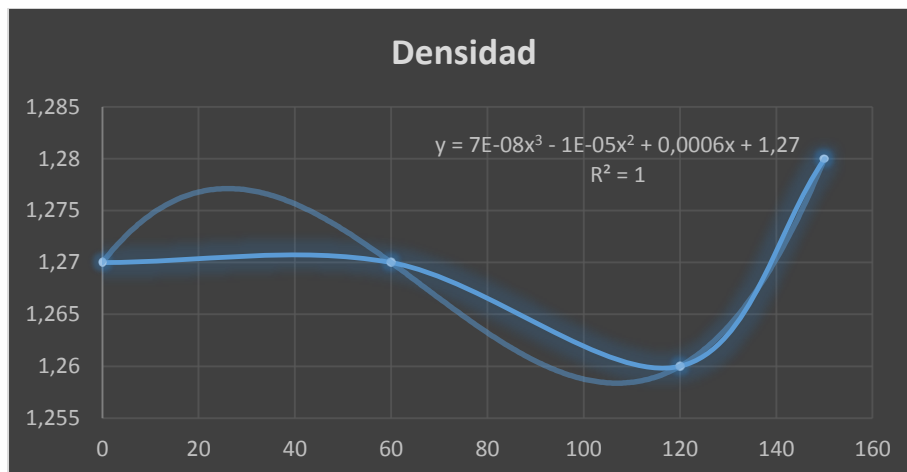
**Figura 2.** Comparación voltaje primera y segunda muestra.

Correlación de datos y tendencia en el tiempo.

**Tabla 2.** Recolección de datos (densidad vs voltaje vs tiempo).

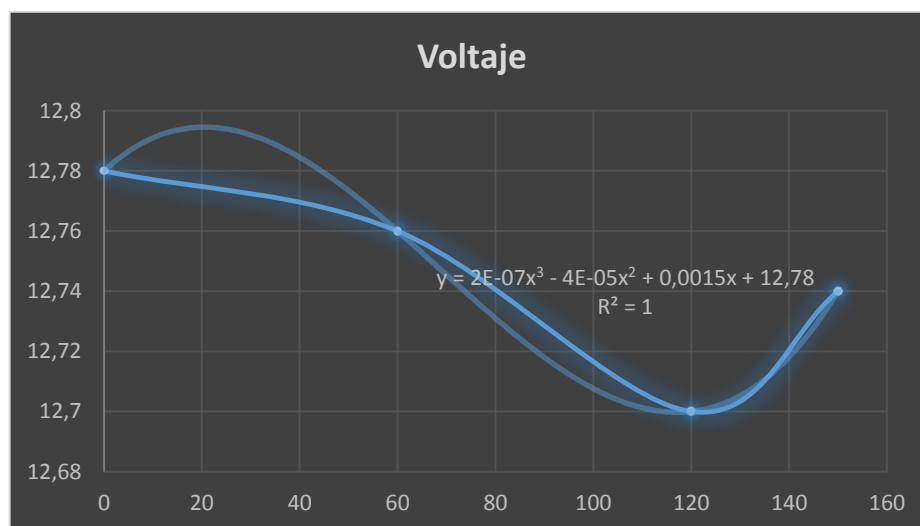
Tiempo	Densidad	Voltaje
Día 0	1,27 kg/l	12,78 V
	1,23 kg/l	12,45 V
	1,01 kg/l	1,22 V
Día 60	1,27 kg/l	12,76 V
	1,21 kg/l	12,17 V
	1,00 kg/l	0,78 V
Día 90	1,26 kg/l	12,70 V
	1,17 kg/l	12,31 V
	1,00 kg/l	0,76 V
Día 120	1,28 kg/l	12,74 V
	1,11 kg/l	10,20 V
	1,00 kg/l	0,6 V

La figura 3 muestra el comportamiento de la densidad en el tiempo del primer objeto de prueba (Aveo GTI), donde se puede inferir que mientras la batería no tenía períodos de carga-descarga frecuentes, la densidad presentaba clara tendencia a la baja, pero cuando la batería empezó a trabajar más tiempo la tendencia de densidad empezó a cambiar. Se debe tener en cuenta que el cambio en la densidad influye directamente en el voltaje y en el deterioro de las placas de plomo que conforman la batería.



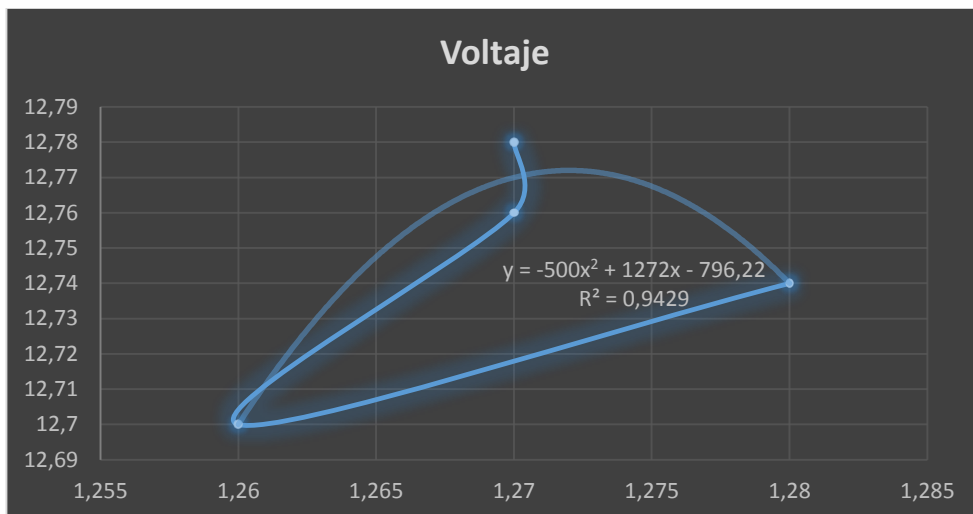
**Figura 3.** Comportamiento de la densidad del electrolito en función del tiempo.

La siguiente figura muestra la tendencia que presenta el voltaje en la batería del vehículo Aveo GTI. Se demuestra la relación directa de esta con la densidad.



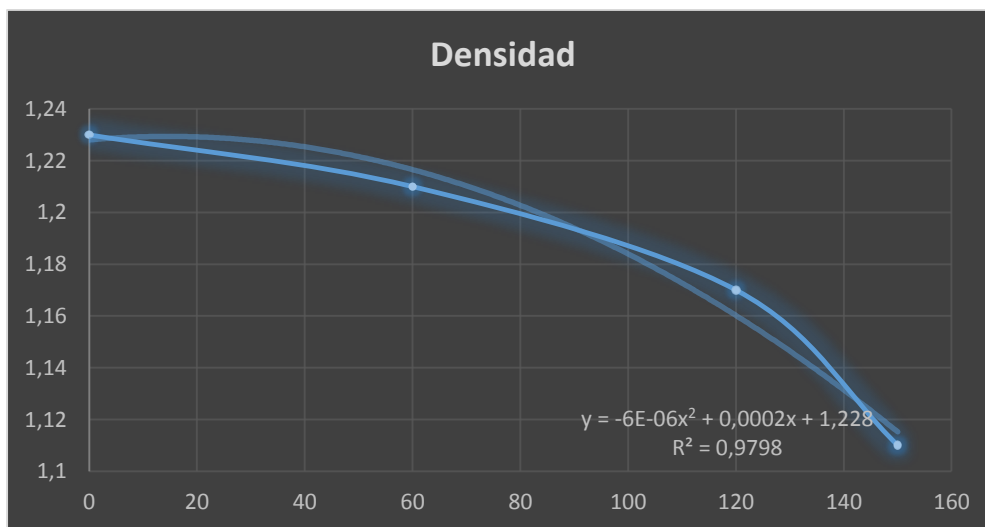
**Figura 4.** Comportamiento del voltaje del electrolito en función del tiempo.

Finalmente se puede evidenciar la correlación densidad vs voltaje, donde se puede ver que, para un pico de tensión, existe una densidad ideal, misma que se puede ir comprobando con el tiempo y al mejorar los parámetros de estudio.



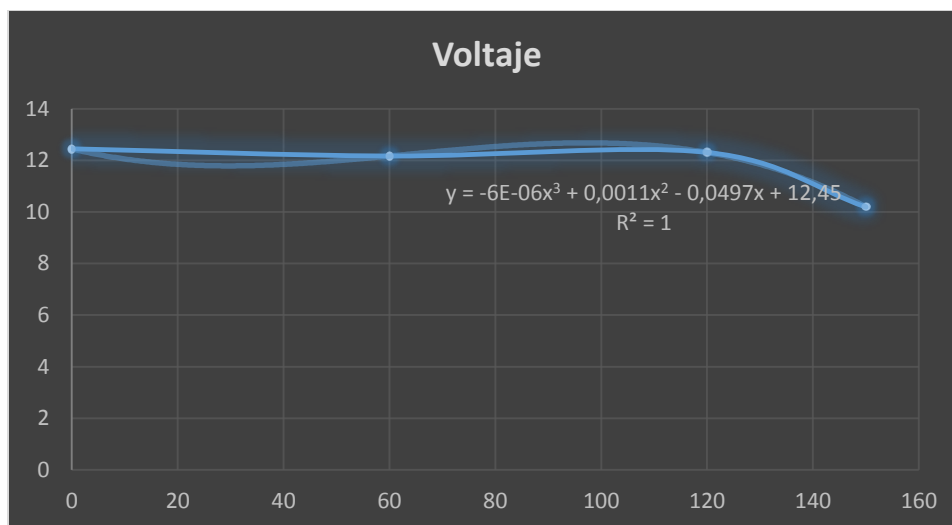
**Figura 5.** Correlación densidad vs voltaje.

Al analizar los datos obtenidos en el segundo caso de estudio (Vitara clásico), se puede interpretar que el proceso de deterioro del electrolito y por consiguiente el comportamiento de la densidad muestran un patrón clásico de descarga, esto se coteja claramente con el proceso de carga-descarga al que a sido sometido el vehículo durante el período de prueba, ya que es este tiempo el vehículo permaneció estacionado en el taller.



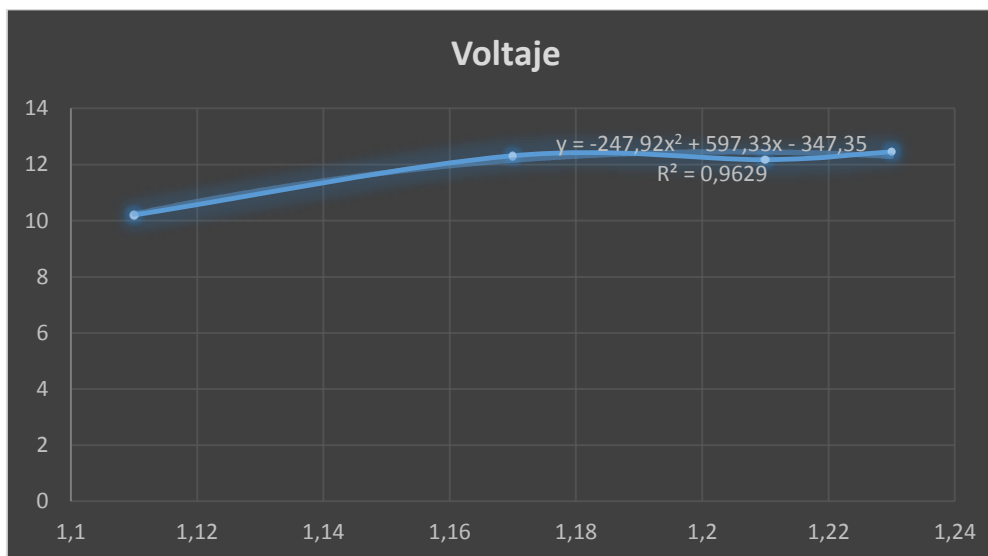
**Figura 6.** Comportamiento de la densidad en el segundo caso de estudio.

De igual forma la figura 7 ratifica la relación directa que existe entre la densidad y el voltaje, en este caso la relación 1 muestra la correlación casi perfecta respecto a la línea de tendencia del voltaje vs el tiempo.



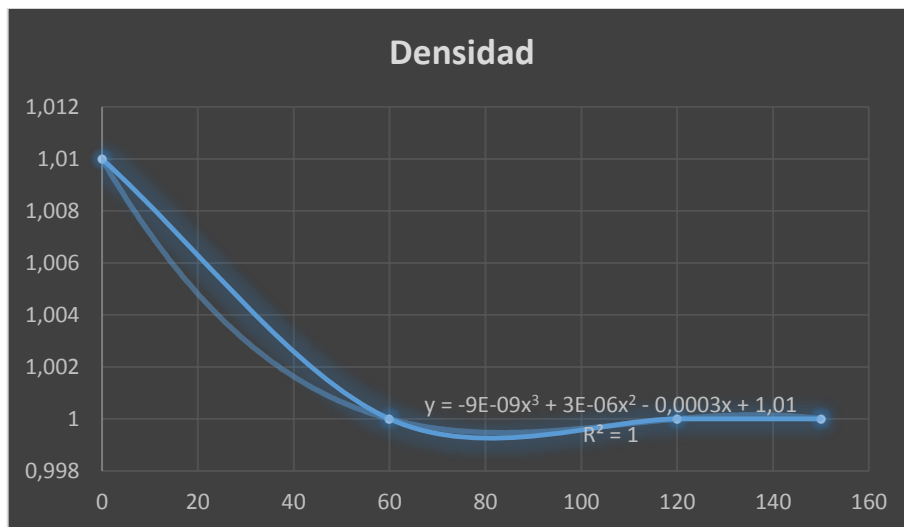
**Figura 7.** Comportamiento del voltaje del electrolito en función del tiempo.

Finalmente, en el caso de estudio 2 podemos ver la correlación densidad vs voltaje como una tendencia típica de descarga por inactividad de una batería de plomo-ácido.



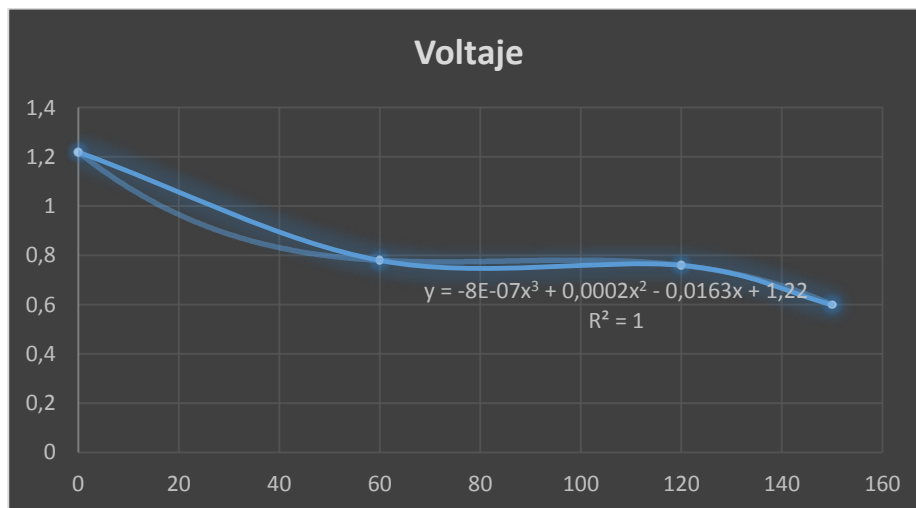
**Figura 8.** Correlación densidad vs voltaje, caso de estudio 2.

Por último, la figura 9 muestra el comportamiento de la batería del caso 3, aquí el análisis se inició con la batería con una carga aproximada del 25%, por tanto, su densidad inicial estuvo muy por debajo del mínimo necesario para generar el arranque.



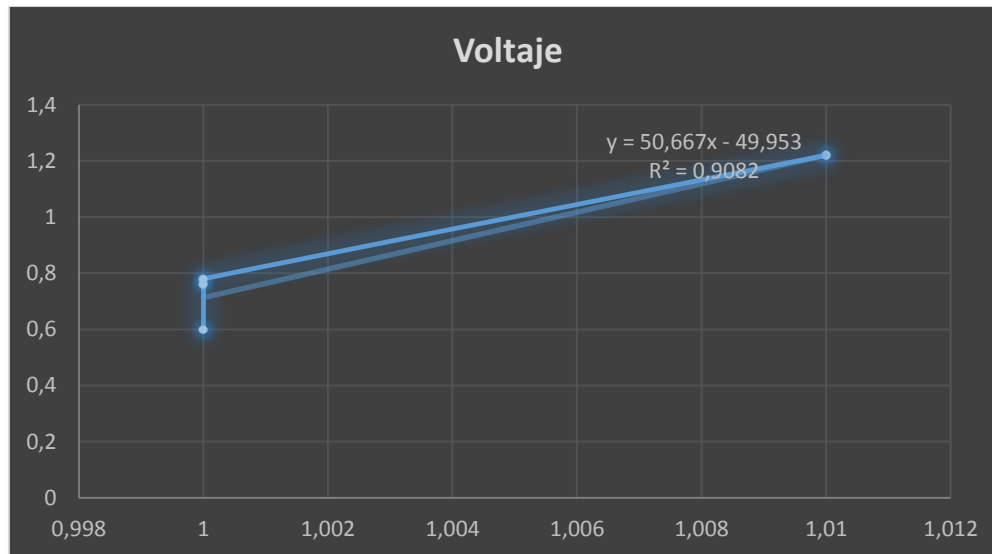
**Figura 9.** Comportamiento de la densidad del electrolito, caso 3.

La figura 10 muestra como cae la tensión de manera súbita hasta el punto de que la batería llego al fin de su vida útil, prácticamente el proceso de carga-descarga es irreversible.



**Figura 10.** Comportamiento del voltaje, caso 3.

Finalmente, al cotejar la densidad vs voltaje, la figura 11 muestra que en su pico mínimo de densidad, siempre le corresponderá un pico mínimo de voltaje, confirmando el final de la vida útil de la batería.



**Figura 11.** Correlación densidad vs voltaje, caso 3.

## Conclusiones

Luego de realizar la toma de datos en los tres objetos de prueba se determinó que al cabo de 60 días, la densidad de cada una de las baterías bajó un promedio de 0,01 kg/l, esto afectó al almacenamiento de voltaje, dándonos el indicio de que las capacidades generales de la batería se van disminuyendo con el paso del tiempo y la repetición de los procesos de carga y descarga que sufre a consecuencia de su normal funcionamiento.

En base a la densidad final registrada en las baterías de prueba se determinó que el voltaje disminuyó en relación directa con el descenso de la densidad, pero los valores de voltaje en las baterías de los vehículos Aveo GT y Vitara Clásico todavía presentan condiciones adecuadas para su funcionamiento.

Los datos generados muestran evidencia de que las baterías en condiciones normales de funcionamiento sufren deterioro independientemente de su utilización, ya que los tres vehículos de prueba durante el tiempo de estudio no estaban en actividad normal, siendo utilizados de manera muy esporádica.

Para obtener resultados más determinantes sobre la influencia de la densidad electrolítica sobre el estado de carga de la batería y su posterior vida útil se requieren delimitar más las variables de estudio, por ejemplo, trabajando a periodos más regulares de funcionamiento, realizando los mantenimientos preventivos del sistema eléctrico, y tomando las muestras de electrolito en condiciones similares en cada prueba.

## Agradecimientos

Agradecemos de manera especial al Ing. Luis Lescano, por su valioso aporte en la generación de los modelos matemáticos utilizados para el análisis de los resultados preliminares del estudio.

## Referencias

- Autosoporte. (9 de febrero de 2021). Principales funciones del multímetro automotriz.
- Calsina, M. (2008). *Sistemas de carga y arranque*. España: MACMILLAN PROFESIONAL.
- CESVIMAP. (2002). *Electricidad básica en reparación de automóviles*. 2023, Abril 25, de CEVISMAR. Sitio web: <https://www.cesvimap.com/>
- Kässbohrer Geländefahrzeug. (2018). *Comprobación de la batería*. Alemania.
- Krüss Optronic. (2008). *Refractómetros*. Alemania. Obtenido de [https://www.kruess.com/documents/BR\\_Refraktometer\\_ES\\_1.7.pdf](https://www.kruess.com/documents/BR_Refraktometer_ES_1.7.pdf)
- Pancha, J., Rojas, V., Romero, V., & Nejer, J. (2019). *Análisis del electrolito del acumulador automotriz a diferentes temperaturas en condición de encendido*. Cuenca. doi:<https://doi.org/10.17163/ings.n21.2019.09>
- Esteban José Domínguez, J. F. (2012). *Circuitos eléctricos auxiliares del vehículo*. Editex.
- Calsina, M. (2008). *Sistemas de carga y arranque*. España: MACMILLAN PROFESIONAL.
- Gil, H. (2007). *Circuitos eléctricos en el automóvil*. Grupo Planeta (GBS).
- Automóviles, S. a. (2000). *Baterías*. Reverte.
- García, J. M. (2012). *Sistemas de Carga y Arranque*. Mecanica Automotriz Facil .
- Esteban José Domínguez Soriano, J. F. (2008). *Electricidad del vehículo*. Editex.
- Navarro, J. M. (2020). *Electricidad del Vehículo*. Paraninfo.
- Mengíbar, J. M. (2013). *Electricidad, electromagnetismo y electrónica aplicados al automóvil*. IC Editorial.