

# ESTUDIO DE SEÑALES SONORAS PRODUCIDAS POR UN ALTERNADOR PARA LA GENERACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS Y DETECCIÓN DE FALLAS

Daniel Pérez, José Luis (1), Vergara Esparza, Rosalia (2), Saavedra Arroyo, Enrique Quetzalcoatl (3), Aguirre Jaimes, Ramiro (4), López Ramírez, Misael (5)

- 1 [Ingeniería en Sistema Automotrices, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [jhosedaniel4@gmail.com]  
2 [Ingeniería en Sistemas Automotrices, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [rosalia.vergara@itesi.edu.mx]  
3 [Ingeniería en Materiales, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [ensaavedra@itesi.edu.mx]  
4 [Ingeniería en Sistemas Automotrices, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [ramirojaimes41@gmail.com]  
5 [Departamento de Electrónica, Universidad de Guanajuato] | [m.lopezramirez87@gmail.com]

## Resumen

En los últimos años dentro de la rama de la ingeniería automotriz, el diseño de vehículos ha involucrado en mayor cantidad la utilización de controles eléctricos y electrónicos en los diferentes sistemas que componen al vehículo que con anterioridad eran parcialmente mecánicos, tal es caso del encendido electrónico, entre otros, así como el incremento de funcionalidades con las que no se contaban, como es el caso del control de conductor automático, etc. De lo anterior se exhibe que el consumo de energía por parte de los sistemas del vehículo posee un incremento, por lo que es necesario mantener en estado sano al generador de energía y/o detectar fallas en el mismo, con el fin de ofrecer funcionalidad total de los vehículos actuales. Para lograr lo anterior, se debe estudiar y trabajar con el alternador, dado de que es el elemento principal que convierte la energía mecánica del vehículo en energía eléctrica y lograr el suministro requerido. En el aspecto del estudio de las señales, el presente trabajo muestra resultados obtenidos al aplicar un algoritmo basado en la utilización de la Transformada de Fourier para el análisis de señales digitales, enfocándose en las frecuencias fundamentales producidas por el alternador y contraponiendo los resultados de cada uno de los alternadores (dañado y sano).

## Abstract

In recent years inside of the Automotive Engineering Branch, the design of vehicles has involved in greater quantity the use of electrical and electronic controls in the different systems that make up the vehicle that previously were partially Mechanics, such is the case of electronic ignition, among others, as well as the increase of functionalities that were not counted, as is the case of automatic driver control, etc. From the above it is shown that the consumption of energy by the vehicle system has an increase, so it is necessary to maintain in a functional state the generator of energy and/or detect faults in it, in order to offer total functionality of the current vehicles. To achieve the above, it is necessary to study and work with the alternator, since it is the main element that converts the mechanical energy of the vehicle into electric energy and achieve the required supply. In the aspect of the study of the signals, this work show results obtained by applying an algorithm based on the use of the Fourier transform for the analysis of digital signals, focusing on the fundamental frequencies produced by the alternator and counterposing the results of each of the alternators (damaged and functional).

## Palabras clave

Alternador; señales digitales de audio; transformada de Fourier.

## INTRODUCCIÓN

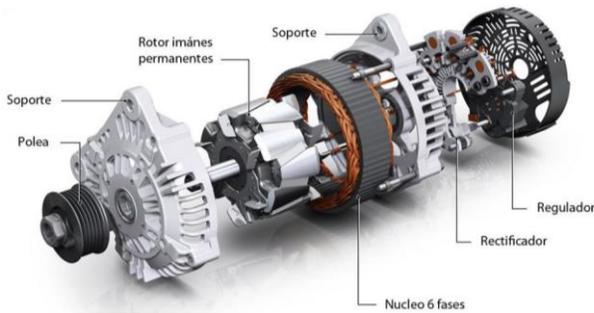
En los últimos años dentro de la rama de la ingeniería automotriz, el diseño de vehículos ha implicado un gran cambio en la eficiencia y calidad, esto debido a la evolución de la tecnología, ya que las partes que generalmente eran mecánicas se están mejorando y a su vez ha provocado en mayor cantidad la utilización de controles eléctricos y electrónicos para los diferentes sistemas que componen el vehículo, que con anterioridad eran meramente o parcialmente mecánicos tales como, el encendido electrónico, control de manejo de los elevadores de ventanas y la unidad de control del motor (ECU) [1], entre otros, así como el incremento de sus funcionalidades con las que no se contaban y que han sido de gran importancia principalmente para la seguridad y confort de los pasajeros, tales como el control automático, detección de objetos próximos, etc. Además, se conoce que el incremento de estos sistemas para el control del vehículo exige un mayor consumo energía. En la literatura revisada existen algunos métodos para este tipo de aplicaciones, estos suelen ser por tacto, visual o corriente. Por ejemplo, [2] se presenta un método que mide el voltaje que suministra el alternador, con el cual se procura que el alternador este encendido para después colocar las puntas del multímetro en los polos de la batería, sin embargo, este test no es lo bastante eficiente ya que solo indica si está suministrando el voltaje correcto a la batería. Por esto, se debe trabajar y estudiar con el alternador, dado que es nuestro sistema que convierte la energía mecánica producida por el motor del vehículo en energía eléctrica y logra el suministro requerido al sistema eléctrico, así como, a la batería [3]. En el presente trabajo se muestra el estudio de las señales de audio obtenidos por medio de un micrófono omnidireccional a un alternador que posee una falla conocida y producida, así como las de un alternador con una funcionalidad del 100%, al fin de fortalecer el desarrollo e implementación de un módulo de pruebas para el estudio y detección de

fallas de los alternadores en base al sonido [4]. El presente trabajo al aplicar un algoritmo basado en la Transformada de Fourier [5] enfocándose en las frecuencias fundamentales producidas por el alternador se muestra los resultados de cada uno de los alternadores (dañado y sano).

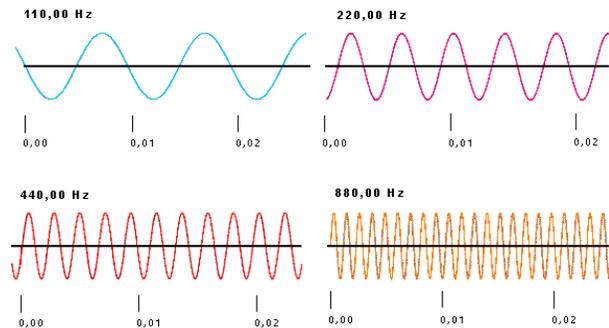
## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales implementados se enlistan a continuación:

1. Arduino UNO: Utilizado para el control del encendido y apagado del motor.
2. Circuito de control de apagado: Utilizado para la realización correcta de muestras.
3. Micrófono omnidireccional: Utilizado para la obtención de señales sonoras producidas por el alternador.
4. MatLab: Software utilizado para la programación de los algoritmos en el estudio de señales sonoras producidas por el alternador.
5. Circuito de control: Utilizado para realizar la comunicación entre la PC y el Arduino UNO.
6. Alternador: Es una maquina eléctrica que inicialmente su creador Michael Faraday, lo diseño con la finalidad de ser capaz de transformar la energía mecánica (giro) en energía eléctrica, su diseño trabaja con un estator y un rotor generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética, ver IMAGEN 1. En el año de 1911 Charles Kettering presenta el motor de arranque, que da paso al alternador automotriz, este se crea inicialmente para cargar la batería y alimentar a los equipos eléctricos como al sistema de encendido, luces e inyección, además del ECU.
7. Motor: El motor utilizado en el presente trabajo es un motor monofásico General Electric de  $\frac{1}{4}$  de potencia con un amperaje de 4.5 A a 120 V.



**IMAGEN 1: Estructura de un alternador Automotriz.**



**IMAGEN 2: Señales digitales a diferente Frecuencia.**

## Métodos de Diagnóstico de fallas

Para localizar alguna de las fallas en los alternadores sin conocer el daño uno de los métodos más conocidos es medir el voltaje que el alternador está suministrando mediante un multímetro, para ello, se procura que el vehículo este encendido, este debe estar entre los 13 y 14.5 v para los carros de segunda generación (los que no usan computadora) y entre 14 y 16 voltios para los carros de tercera generación (los que usan computadora). Otro método es el encendido del icono de la batería en el tablero y fallos en los accesorios electrónicos.

## Procesamiento de Sonidos

Es el conjunto de técnicas que trata de representar, transformar y manipular las señales, mediante secuencias de números de precisión finita, utilizando un computador digital para el procesado.

Una señal digital es el almacenamiento en código binario de “ceros” y “unos” de las ondas acústicas captadas por un sensor, para que luego puedan ser editadas o reproducidas según se necesite, ver imagen 2.

## Transformada corta de Fourier

Es una herramienta matemática que sirve para describir el comportamiento de señales no periódicas. Su objetivo es la descomposición de la función en una suma de funciones armónicas. La definición de dicha transformada viene dada por las ecuaciones 1) y 2):

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) \exp(j2\pi kf) df \quad (1)$$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \exp(-j2\pi kft) dt \quad (2)$$

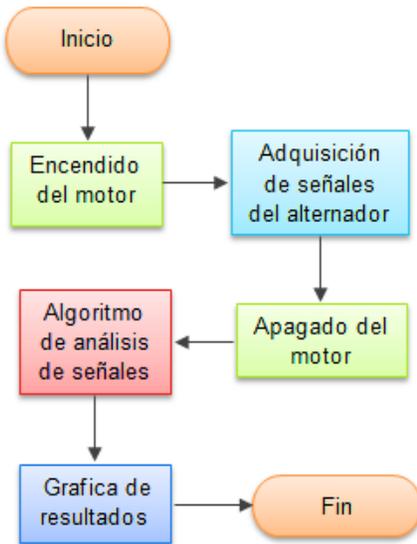
De manera simbólica se obtiene la ecuación 3)

$$x(t) \leftrightarrow X(f) \quad (3)$$

Así  $X(f)$  es la transformada de Fourier de  $x(t)$ , tal como se muestra en la ecuación 3), siendo  $x(t)$  de la ecuación 1) la representación de la señal en el dominio del tiempo y  $X(f)$  de la ecuación 2) la representación en el dominio de la frecuencia.

Cuando se trata con señales complejas compuestas por gran cantidad de armónicos, el análisis en el dominio de la frecuencia permite distinguir las frecuencias de los armónicos principales.

En la imagen 3 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo implementado para el estudio de las señales sonoras emitidas por un alternador automotriz que se desarrolló en este proyecto



**IMAGEN 3: Diagrama de flujo para el estudio de señales sonoras**

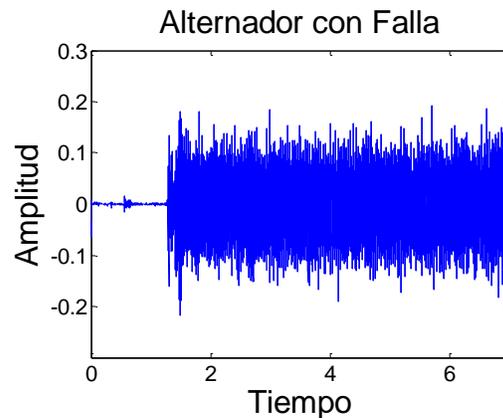
Como se mencionó anteriormente, los métodos de detección para la predicción de fallas son tres, en el caso de este trabajo se está haciendo un estudio a partir de sonidos y con ello llegar a resolver el problema propuesto, el cual se basa en la implementación de varias áreas de la ingeniería como son la eléctrica (para el diseño del circuito de control de encendido y apagado del motor), mecánica (para el diseño del módulo de pruebas) y procesamiento digital de señales (para el tratado y detección de las frecuencias).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

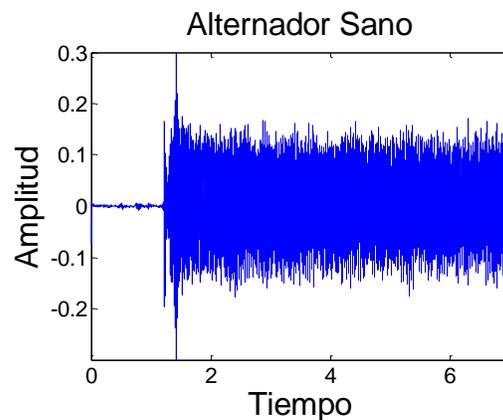
Para la realización del algoritmo se utilizó el Toolbox de procesamiento digital de señales y arduino en MatLab, el sistema fue implementado con una frecuencia de muestreo de 10 KHz durante 7 segundos obteniendo un total de 70000 muestras.

En las imágenes 4 y 5 se muestra la comparativa entre las señales estudiadas del alternado dañado

y el alternador sano, cabe mencionar que dichas se realizaron 30 ensayos con cada alternador, las cuales muestran el mismo comportamiento.

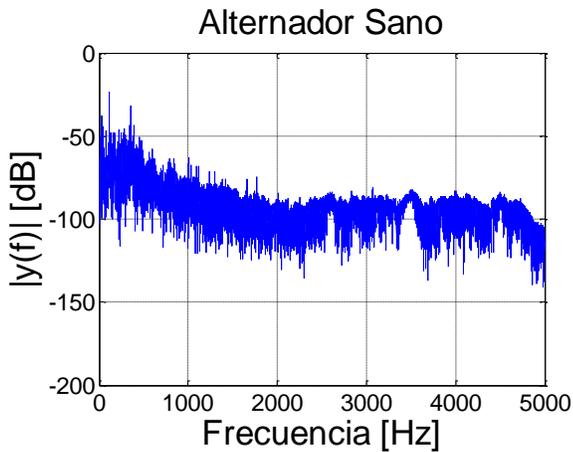


**IMAGEN 4: Señal del alternador en malas condiciones.**



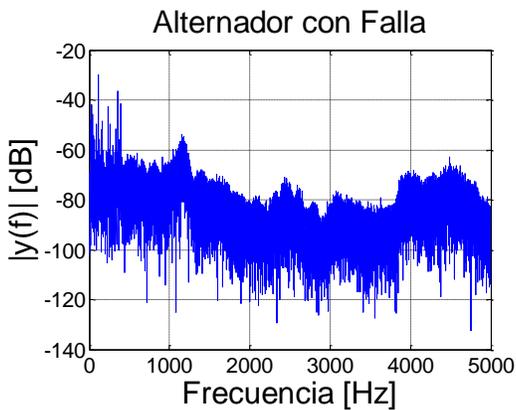
**IMAGEN 5: Señales del alternador en buenas condiciones.**

Como se mencionó anteriormente, el comportamiento de la señal es muy parecido para ambos casos, y por lo tanto es muy difícil ofrecer un diagnóstico entre un alternador sano y uno dañado por medio de señales de sonido, por lo tanto se utiliza una representación en frecuencia para obtener una discriminación de estas dos posibles condiciones de un alternador.

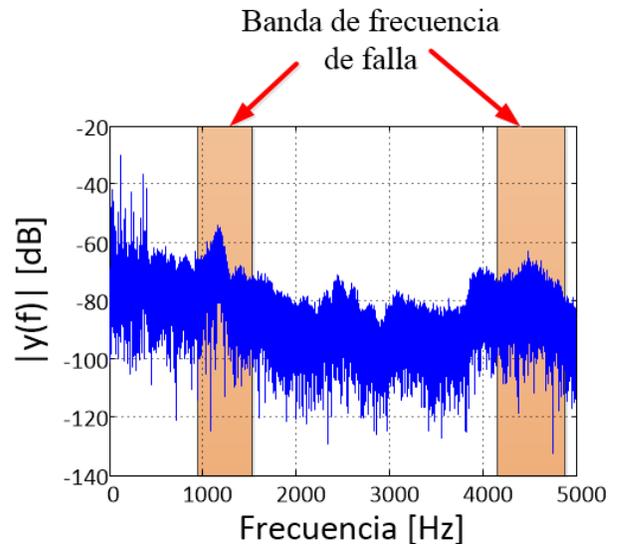


**IMAGEN 6:** Gráfica aplicando la transformada de Fourier al alternador sano.

En la imagen 6 se muestra el espectro de Fourier en decibeles [dB] para un alternador sano, donde se puede observar las frecuencias naturales ocasionadas por esta máquina, a diferencia de la imagen 7 donde el comportamiento es diferente en ciertas bandas de frecuencia.



**IMAGEN 7:** Gráfica aplicando la transformada de Fourier al alternador dañado.



**IMAGEN 8:** Gráfica aplicando la transformada de Fourier al alternador dañado.

En la imagen 8 se muestran las bandas de frecuencia, las cuales presentan más cambios con respecto al alternador sano, además se puede ver que no solo cambia el comportamiento de estas dos bandas de frecuencia, sino que también hay mayor ganancia en todo el espectro de la señal, lo que indica el aumento a lo largo de todas las frecuencias en la señal. Además se puede ver que una de estas bandas de frecuencia se aproxima a (1K-1.5 KHz) y la segunda está entre (4.1 – 4.9 KHz). Se eligieron estas dos bandas de frecuencia por que sufren un aumento de frecuencia con respecto al alternador sano de aproximadamente 25 dB. Lo cual es una diferencia muy marcada para dos máquinas del mismo tipo, es decir los dos alternadores.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta un estudio de señales sonoras para diagnosticar fallas en alternadores, donde, según los resultados de las imágenes 6 y 8, las diferencias entre los espectros de frecuencia son más marcadas en dos bandas de frecuencias, las cuales podrían servir para describir este tipo de fallas en alternadores usando señales de audio.

Las bandas de frecuencias fueron probadas para los 30 ensayos para cada condición del alternador mostrando poca variabilidad en los resultados, debido a que el experimento es controlado sin ruido ambiental el cual podría interferir o distorsionar los resultados obtenidos.

## REFERENCIAS

- [1] Jorge, P.L. (2011). *Electronica Automotriz I. Mexico*, 13-36.
- [2] Miguel, L. R. (1 de Noviembre de 2010). *electroaut*. Recuperado el 15 de Abril de 2017, de <http://electroaut.blogspot.mx/2010/11/como-diagnosticar-fallas-y-reparar-un.html>
- [3] AV., S. (2012). Recuperado el Octubre de 2016, de [http://booksp.eu/index.php?newsid=429113&news\\_page=1](http://booksp.eu/index.php?newsid=429113&news_page=1)
- [4] Llerena, A., Yoan, (2013). *Preparación informática para la edición del audio digital*. Recuperado de [https://www.ecured.cu/Sonido\\_digital](https://www.ecured.cu/Sonido_digital).
- [5] Pablo, A. M. (2011). *Procesamiento Digital de Señales*. Costa Rica, 23-24.