



Estudio de los efectos en los sistemas de iluminación electrónica en función de la calidad de la energía en los sistemas automotrices. [Study of the effects on electronic lighting systems based on energy quality in automotive systems].

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

ID 1er Autor: José Mendoza-Rivera (Estudiante)/ORC ID: 0000-0002-8178-1296

ID 1^{er} Coautor: Mario Alberto Juárez Balderas/ORC ID: 0000-0002-5756-5403

ID 2do Coautor: Adolfo Rafael Núñez López/ORC ID: 0000-0003-3116-5150

ID 3er Coautor: Gerardo Vázquez Guzmán/ORC ID: 0000-0002-9915-1161

ID 4to Coautor: Jose Miguel Sosa Zúñiga/ORC ID: 0000-0002-5153-6185

Resumen

Actualmente los automóviles a combustión poseen un amplio número de equipos electrónicos: la unidad de control electrónico, sensores de posición, de flujo, sistema de freno automático, sistema ABS, entre otros. Actualmente y en grandes rasgos los automóviles un conjunto de partes mecánicas gobernadas por un sistema electrónico. Se plantea a futuro los automóviles sean electrónicos en su totalidad, pero anterior a este paso se desarrollarán los automóviles híbridos los cuales tiene sus respectivos motores eléctricos controlados por una etapa de potencia y su motor de combustión interna.

El presente trabajo se identifican las perturbaciones en los sistemas automotrices que se introducen a la micro red del automóvil, sus efectos para analizar los efectos que pueden tener en el sistema de iluminación de tipo LED.



Objetivo

Realizar un estudio de las perturbaciones (transitorias y permanentes) en sistemas automotrices.

Objetivos específicos

1. Estudiar los transitorios y permanentes en automóviles para clasificar su comportamiento.
2. Analizar las perturbaciones que pudieran ser perjudiciales para los sistemas electrónicos del automóvil.
3. Cuantificar de perturbaciones a partir de la Transformada Rápida de Fourier (FFT).
4. Estudio y análisis de los efectos a través de la simulación numérica de los transitorios en convertidos de CD-CD empleado para la iluminación.

Metodología

Para este trabajo propuesto se abordaron los siguientes puntos:

- Antecedentes sobre perturbaciones automotrices.
- Origen y comportamiento típico de las señales continuas
- Estudio y análisis de los componentes que introducen estas perturbaciones transitorias.
- Se cuantifican las señales de los sistemas que introducen perturbaciones a la red de CD en los automóviles en un simulador de señales eléctricas en este caso PSpice®, así como la aplicación de la transformada Rápida de Fourier (FFT).

Contribución

Al análisis de perturbaciones en automóviles e identificar los posibles fallos que pueden existir a causa de estos.

Palabras clave: Batería, armónicos, perturbaciones.

Introducción

Los sistemas eléctricos propios del automóvil generan perturbaciones eléctricas debido a los dispositivos inductivos automóvil tales como el alternador, ignitor, sistema de carga de batería, etc, dichas perturbaciones anteriormente no eran tomadas en cuenta y los sistemas electrónicos entraban en funcionamiento después del transitorio inicial. Las perturbaciones generadas pueden ocasionar desde mal funcionamiento en los sistemas eléctricos y electrónicos del automóvil hasta un daño permanente a los sistemas. (Mancada 2013).

Entre las principales perturbaciones del sistema son las que se presentan en la carga y descarga de la batería donde tiene presencia el alternador. La señal de carga tiene un rizo el cual depende de dos factores, a) la corriente generada por el alternador y b) las revoluciones a las que el alternador se encuentra sometido. Este rizo contiene armónicos por la rectificación realizada por diodos internos del alternador. A continuación, se presenta un esquema general de la red de CD de un automóvil convencional (figura 1), en donde se muestran los circuitos que inyectan perturbaciones en la red (Pollock 2015), (Robyn 2007).

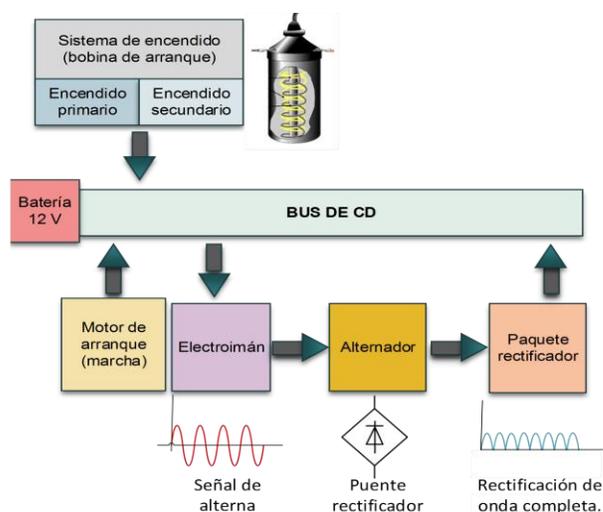


Figura 1. Sistemas que introducen perturbaciones a la red de DC en automóviles



Con el fin de analizar los efectos en los sistemas de iluminación electrónica, existe la necesidad de interpretar el funcionamiento y comportamiento de los sistemas que introducen perturbaciones al BUS de CD un automóvil. Ese modelado interpreta su funcionamiento a partir de resistencias, capacitores e inductores para aplicar las diferentes técnicas de análisis.

El primer paso consiste en modelar la batería, ya que es necesario modelar el componente encargado el suministro y almacenamiento de energía. En la figura 3 se muestra el circuito eléctrico equivalente para una celda de una batería ácido plomo (Robyn 2007). Por otro lado, se ha descartado el análisis del motor de arranque el cual solo presenta un sobre tiro de corriente al iniciar el motor de combustión interna., uno del requerimiento del análisis consiste en que una señal sea repetitiva o periódica para cuantificar su nivel de contaminación.

Segundo paso consiste en modelar el sistema de carga como se muestra en la figura 4. El cuál es el encargado de suministrar la mayoría de energía necesaria una vez encendido el automóvil.

El tercer paso es analizar el sistema de ignición mostrado en la figura 7. El cual realiza la quema de aire-combustible requerida para el funcionamiento de motor de combustión interna.

Por último, es cuantificar cada uno de los sistemas y obtener estas señales de perturbación para introducirlas al controlador de cargas LED's el cual es el sistema requerido para el suministro necesario de las cargas LED's, con el fin de ver los efectos que estas tienen así mismo evaluar la introducción de un convertidor CD-CD entre los sistemas que introducen las perturbaciones y el controlador de cargas LED' como se muestra gráficamente en la figura 2.

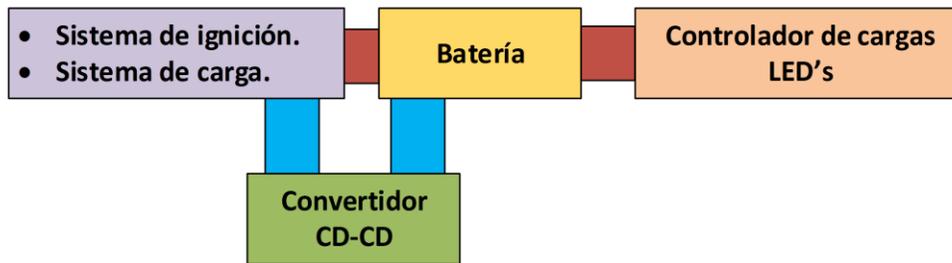


Figura 2. Plan de análisis y propuesta de diseño.

Desarrollo

Las simulaciones del sistema eléctrico dependen en gran medida del submodelo de la batería, que es el componente más complejo de simular. Los métodos para modelar la batería son generalmente laboriosos y difíciles (Robyn 2007).

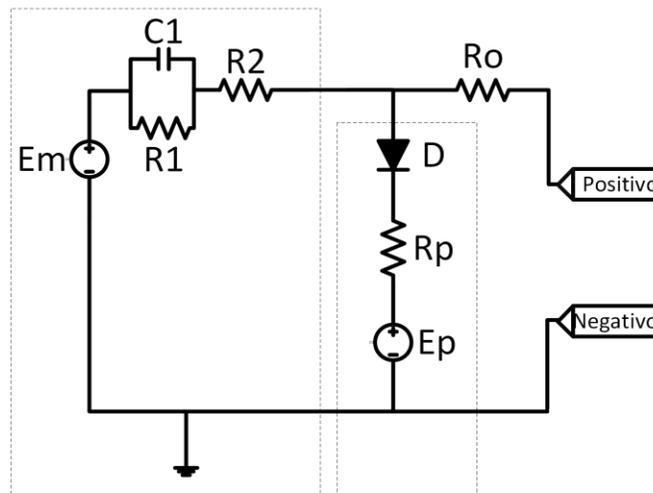


Figura 3. Circuito eléctrico equivalente de una celda de una batería ácido plomo.

Las ecuaciones para determinar el valor de los componentes eléctricos para el circuito de la figura se describen en el artículo de (Robyn A. 2007). Donde los parámetros son determinados a partir de factores influyentes como estado de carga de la batería inicial, temperatura ambiente, temperatura del electrolito, voltaje en circuito abierto.



La ecuación 1 se aproxima a la fuerza electromotora interna (E_m), o al voltaje de circuito abierto de una celda (Robyn A. 2007).

$$E_m = E_{m0} - K_E (273 + \theta)(1 - SOC) \quad 1$$

Donde:

E_m = Tensión de circuito abierto (EMF).

E_{m0} = Tensión de circuito abierto a plena carga.

K_E = Constante en voltios / ° C.

θ = Temperatura del electrolito en ° C.

SOC = estado de carga de la batería.

Para este artículo se asumen que el valor de “ E_m ” es constante cuando la batería está completamente cargada. La E_m varía con la temperatura y el estado de carga (SOC), en este caso se toma una temperatura constante y un estado de carga constante.

- a) *Resistencia en las terminales*: impedancia constante entre las terminales de la batería, la cual se asume que todas las temperaturas son constantes.
- b) *Resistencia de la rama principal (R_1)*: varía con la profundidad de la carga (DOC) y es una medida de la carga de la batería ajustada para la corriente de descarga. La resistencia aumentó exponencialmente a medida que la batería se agotaba durante una descarga.
- c) *Capacitancia de la rama principal (C_1)*: Denota un retraso de voltaje cuando cambia la corriente de la batería.



- d) *Resistencia serie de la rama principal (R_2):* La resistencia aumenta exponencialmente a medida que aumenta el estado de carga de la batería. La resistencia también varía con la corriente que fluye a través de la rama principal. Esta resistencia tiene especialmente influencia en la batería durante la carga. La resistencia se vuelve relativamente insignificante para las corrientes de descarga.
- e) *Corriente en la rama parasita (i_p):* ocurre cuando la batería se está cargando. La corriente depende de la temperatura del electrolito y del voltaje en la rama parásita. La corriente es pequeña en la mayoría de las condiciones, excepto durante la carga en SOC.

Resultados

Señales de carga del alternador a la batería.

Se utilizó el modelado una batería de ácido plomo con características como 12 V de en circuito abierto, capacidad de 50 Ah, a una temperatura ambiente con un estado de carga de la batería (SOC) a 0.8 los valores de los elementos se enlistan en la Tabla 1. Así mismo se utilizó el modelo de un alternador A-115R el cual tiene una capacidad de suministro máximo de 55 Amperios a 6000 RMP [7]. El alternador A-115R utiliza un regulador de tensión RT-7 que tiene buena estabilidad térmica y un rango amplio de temperatura de trabajo [7].

Tabla 1. Valores usados para cada celda de la batería.

Elemento	Valor
C	621.3 uF
R1	0.001609 Ω
R2	0.0015 Ω
R _o	3.696*10 ⁻³ Ω
R _p	0.02
E _m	2.111 V
E _p	1.95 V

En la figura 3 se muestra el diagrama de conexión del sistema de carga de la batería. El cual consta de tres devanados conectado en estrella, contiene seis diodos, de los cuales seis son usados para la rectificación de la señal en cada devanado, en la figura 4 se muestran las tensiones de cada devanado (V_1 , V_2 y V_3), así como las tensiones de línea de los devanados (V_{11} , V_{12} y V_{13}). En la figura 6 se muestra el rizo de salida del sistema a una frecuencia de 600 Hz.

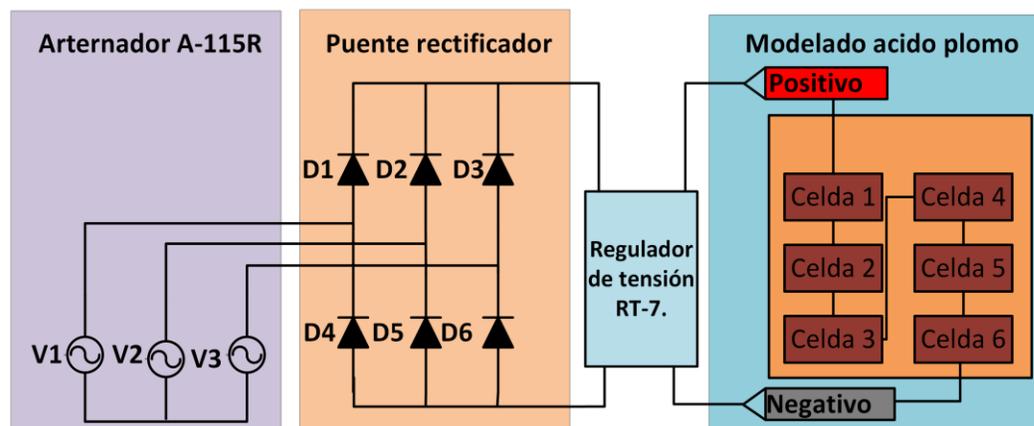


Figura 3. Sistema de carga de la batería a 6000 rpm = 100 Hz.

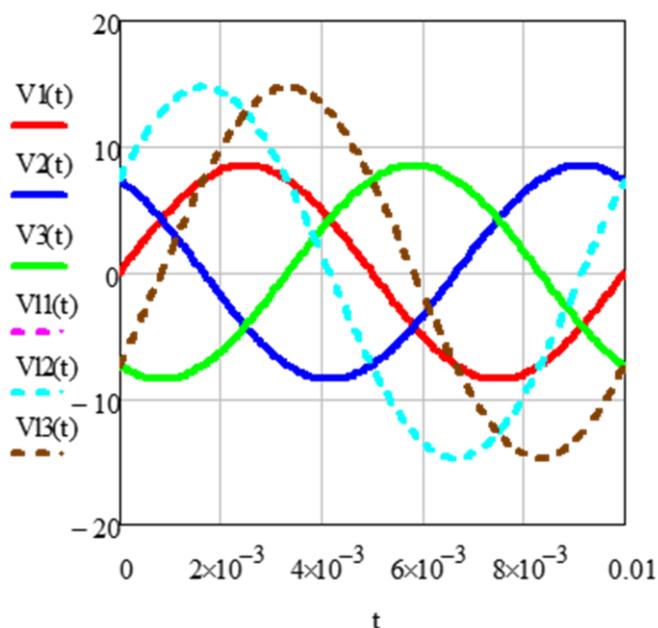


Figura 4. Tensiones del alternador V_1 , V_2 y V_3 y tensiones de línea V_{11} , V_{12} y V_{13} .



En la Figura 5 se muestra el rizo proveniente del alternador, conectado a la batería el cual tiene una forma pulsante la cual oscila a 2 Vpp aproximadamente, el cual es el resultado de la rectificación de los diodos aumentado en 6 veces a la frecuencia natural.

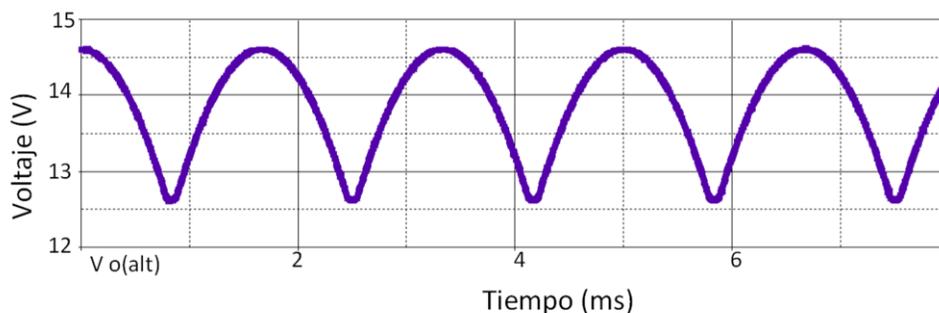


Figura 5. Rizo del sistema de carga a 600 Hz.

En la Tabla 2 se presentan los datos importantes de la del rizo del sistema de carga. la del rizo del sistema de carga.

Tabla 2. Datos importantes del rizo de sistema de carga.

Datos		Valor
Tensión (Vprom)	promedio	14.059 V
Corriente (Iprom)	promedio	0.469 A
Voltaje RMS (VRMS)		14.071 V
Corriente RMS (IRMS)		0.469 A
Potencia promedio de salida (Pprom)		6.588 W
Potencia RMS de salida (PRMS)		6.6 W
Factor de forma (FF)		1.001
Factor de cresta (FC)		0.604 _i
Factor de rizo (FR)		0.042



Como resultado se obtuvo un factor de forma de 1.001 el cual es el cociente del valor RMS y el valor promedio de la tensión del rizo, por otro lado, el factor de cresta es de 0.604 el cual es el valor pico de la señal sobre el valor RMS de la señal, el factor de rizo es de 0.042.

En la figura 6 se muestra la FFT del voltaje en simulación, en la cual se muestran múltiplos de 100 Hz que es la frecuencia natural, estos corresponden al sexto armónico de 600 Hz, al doceavo armónico de 1200 Hz y el dieciochoavo armónico 1800 Hz y al vigésimo cuarto armónico 24000 Hz.

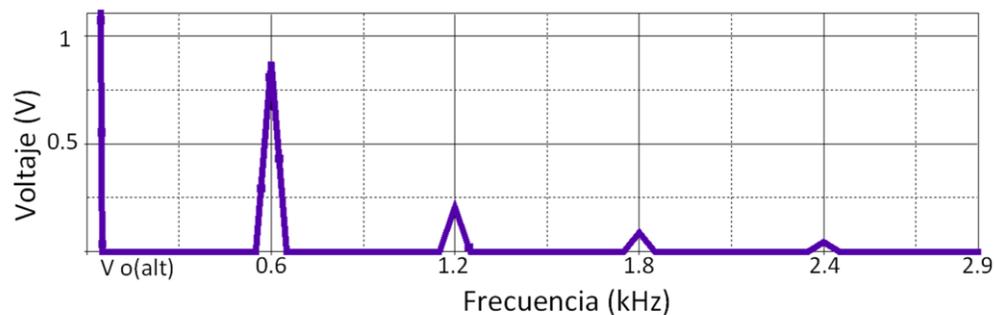


Figura 6. FFT del voltaje de carga del modelo completo de la batería a 6000 rpm.

A continuación, en la Figura 7 se muestra el análisis matemático de la señal, donde se presenta el nivel de contaminación de sistema de carga de acuerdo con cada armónico, así como la distorsión armónica total (DAT) que corresponde a un valor de 3.557.

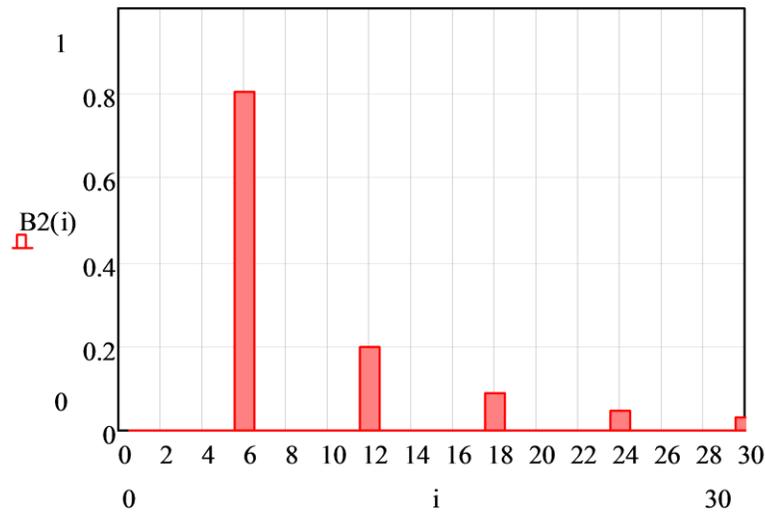


Figura 7 Nivel de contaminación para cada armónico.

Se presenta una contaminación para el sexto armónico de 0.8 V, para el doceavo de 0.2 V, para el dieciochoavo de 0.1 V y 0.25 V para el vigésimo cuarto armónico.

Señales del sistema de ignición

A continuación, en la Figura 8 se presenta circuito eléctrico el sistema de ignición el cual cuenta con un sistema de elevación de tensión con el fin de lograr el arco eléctrico en la bujía, basado en autotransformador del tipo Flyback (Bosch 2006).

Este nivel de tensión es logrado a partir de un sistema de autotransformador de bobinas acopladas donde L_p guarda un número relación de vueltas de 1:1000 aproximadamente con L_s (Bosch 2006). En la Figura 7 se presenta las señales del secundario de la bobina de arranque. Donde, el voltaje pico corresponde a una descarga de 3000 volts,

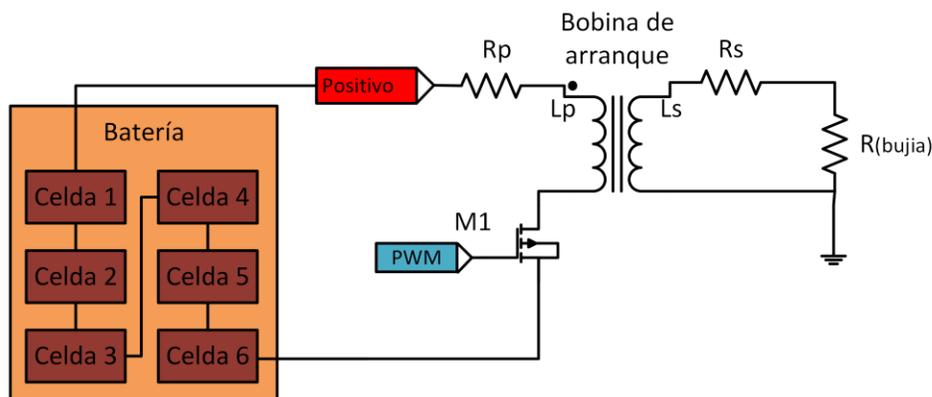


Figura 8. Circuito básico del sistema de ignición transistorizado.

En la Figura 9 se muestra las señales de salida del ignitor el cual corresponde a una salida de 3000V, en este ciclo el transformador almacena energía y la libera en el alto voltaje. Durante el ciclo de almacenamiento de energía la corriente de entrada del ignitor es pulsante y tiene una corriente pico de 98 Amps.

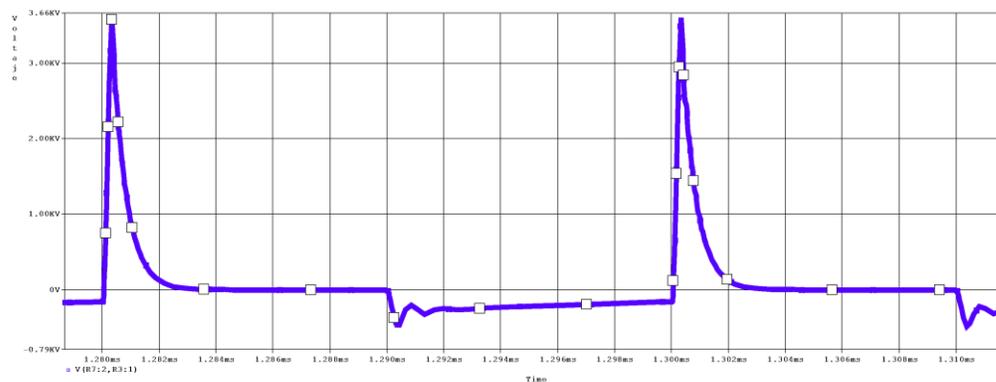


Figura 9 voltaje a la salida del secundario del ignitor

En La Figura 10 se muestra la corriente de consumo del ignitor la cual se puede reflejar como distorsión en la batería.

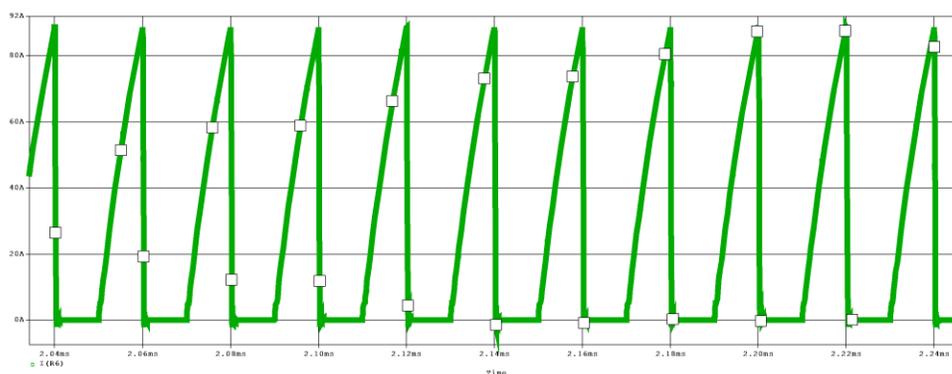


Figura 10 Corriente en la entrada del inyector.

Propuesta de diseño convertidor CD-CD.

En la Figura 11 se propone la introducción de un convertidor buck CD-CD entre el sistema de carga y la batería para mitigar las perturbaciones causadas por el sistema de carga.

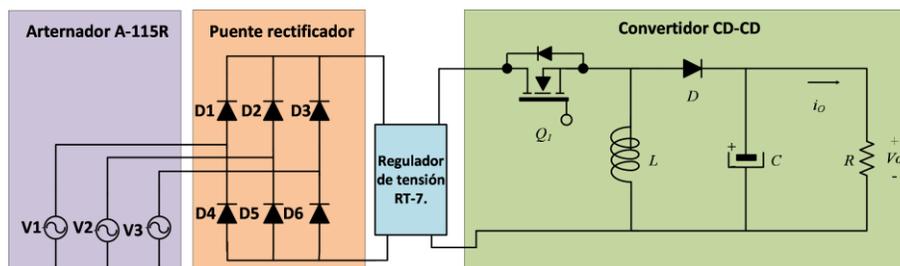


Figura 11 Propuesta de diseño.

En la figura 12-15 se realiza una comparativa entre los niveles de tensión y corriente en las entradas y salida del convertidor.

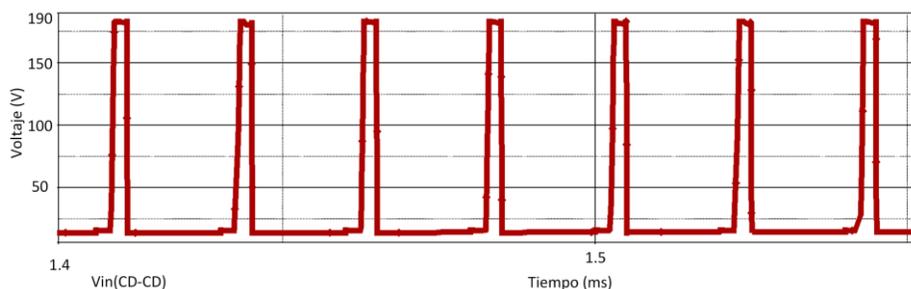


Figura 12 Tensión de entrada al convertidor CD-CD.

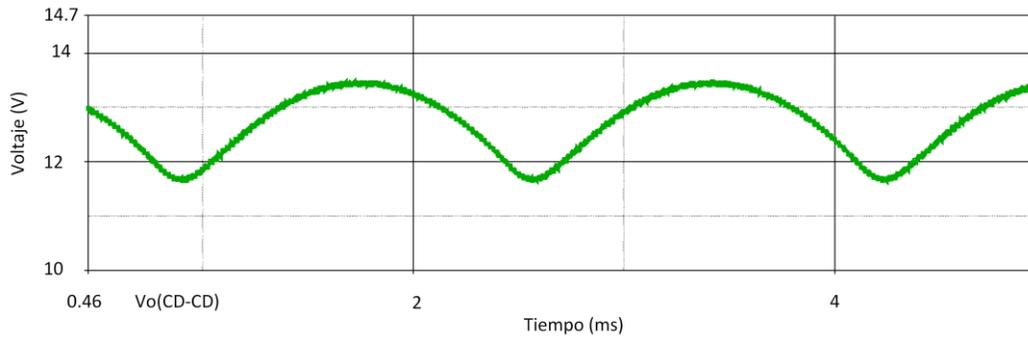


Figura 13 Tensión de salida del convertidor CD-CD.

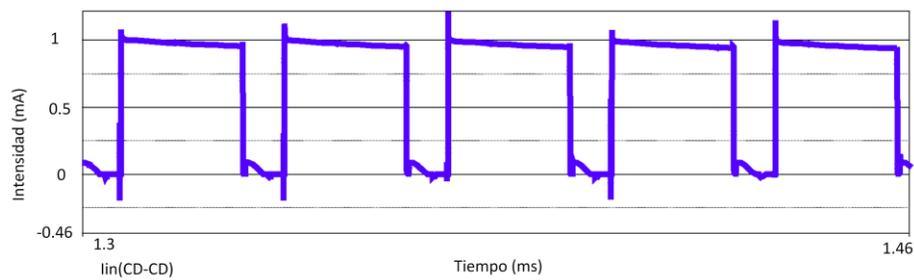


Figura 14 Corriente de entrada al convertidor CD-CD.

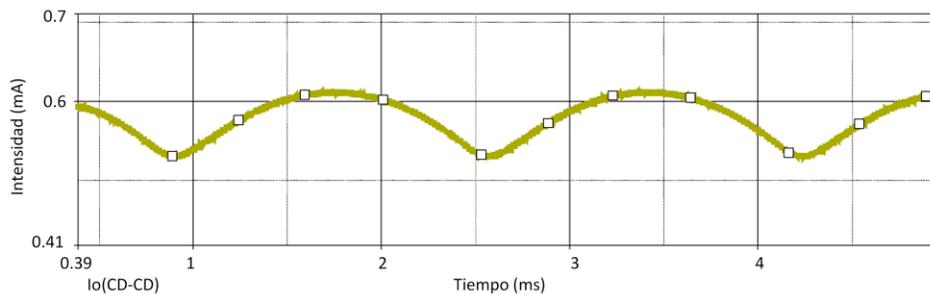


Figura 15 Corriente de salida del convertidor CD-CD.

Al comparar el rizo de la Figura 5 con el rizo de la Figura 13 los cuales son el rizo del sistema de carga sin convertidor CD-CD y con convertidor CD-CD. Se presenta una disminución el nivel de tensión lo que le da una forma menos ondulada. En Figura 16 se muestra la transformada rápida de Fourier del rizo de la Figura 13 la cual es la tensión de salida del convertidor.

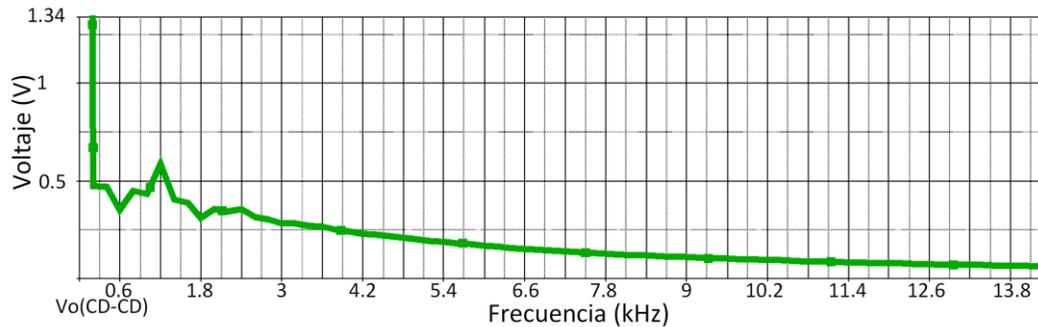


Figura 16 FFT de la tensión de salida del convertidor CD -CD.

En la Figura 16 se presenta una disminución del nivel de tensión en los armónicos donde el sistema de carga presentaba mayor amplitud como lo es el armónico sexto, doceavo, dieciochoavo, y vigésimo cuarto.

Conclusión

El sistema de carga de batería tiene un rizo de una frecuencia de 100Hz, que depende de las revoluciones y velocidad del motor, donde los armónicos característicos de dicha señal son el sexto, doceavo, dieciochoavo y vigésimo cuarto armónico. Después del análisis realizado el rizo a la salida es el causante de la mayor contaminación de la red interna del automóvil, el caso del ignitor, la corriente de consumo, se ve poco reflejada en la red, y solo genera variaciones de voltaje, es importante considerar que para una nueva generación de automóviles, la rectificación y carga de batería debe emplearse convertidores electrónicos y de esta manera dichos convertidores podrán reducir el rizado de salida del bus de CD, el autos electrónicos el bus de CD corresponde a 400V, lo que implica una proporción del rizado de salida menor.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfonso Temístocles Cevallos Galarza. (2016). análisis de las señales del sistema de encendido primario y secundario de disparo para el módulo del vehículo Chevrolet aveo family 1.5l. Guayaquil. Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador.

Manuel Déleg. (2010). *Tecnología Led*. Universidad Politécnica Salesiana Cuenca, Azuay Ecuador, 1, 4. 10 Julio 2019, De Monografías Base de datos.

Christian Macanda. (2013). Perturbación en las redes de iluminación exterior y riesgos para los equipos (iluminación pública LED). *Products & Normalization Manager CITEC*, 2, 18. 11 julio 2019, De Tecnorayo Base de datos.

Anne Pollock; Helen Pollock; Charles Pollock. (2015). High Efficiency LED Power Supply. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 3, 617,623.

Li Yulong, Wu Zhenjun. (2010). Statistical Analysis of the Disturbance Sources characteristics on Hybrid Electric Vehicle. *IEEE*, 1, 4. 12 Julio 2019, De IEEE Xplorer Base de datos.

Robyn A. Jackey . (2007). A Simple, Effective Lead-Acid Battery Modeling Process for Electrical System Component Selection. *The MathWorks*, 1, 1.

Robert Bosch. (2006). *Sistema de encendido*. En BOSCH (1-7). Brasil: BOSCH.

Prestolite (2005) indiel motores de San Luis S. A. *Manual de Alternadores*.