

CARACTERIZACIÓN EN FRECUENCIA DE CONVERTIDORES DC/DC

JORGE IVÁN VÉLEZ RÚA

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Electrónico

Asesor: MSc. Sergio Ignacio Serna

**INSTITUTO TECNOLÓGICO
METROPOLITANO FACULTAD DE
INGENIERÍAS**

Grupo de Investigación en Automática, Electrónica y Ciencias Computacionales

Laboratorio de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática

**INGENIERÍA
ELECTRÓNICA
MEDELLIN**

2018

Resumen.

En los últimos años, los dispositivos de procesamiento de potencia han ganado una gran importancia debido a la necesidad de alimentar cargas muy diversas, lo cual se debe a la diversidad de aplicaciones que existen. Desde el tradicional control de motores AC y DC, hasta aplicaciones más recientes con exigencias cada vez más especializadas como, vehículos eléctricos, fuentes de poder para microprocesadores y sistemas embebidos, estaciones de telecomunicaciones, sistemas de administración de baterías, controles para maximizar la extracción de energía de fuentes renovables, micro-redes, entre otros. Lo anterior, hace necesario que los dispositivos de conversión de potencia presenten cada vez mejores características que los hagan más eficientes, confiables y económicos.

El objetivo de este trabajo es caracterizar en el dominio de la frecuencia uno de estos dispositivos de procesamiento de potencia, los convertidores conmutados DC/DC. Para esto, se tomaron tres convertidores conmutados DC/DC construidos en el Laboratorio de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática – ETI en Parque i, el cual está adscrito al Grupo de Investigación en Automática, Electrónica y Ciencias Computacionales – A&E&CC y cuya principal área de investigación es el control de dispositivos de procesamiento de potencia para maximizar la extracción de energía y mejorar la calidad de la potencia entregada por fuentes de energía renovable.

Los convertidores caracterizados son dos del tipo Boost y uno del tipo Buck,

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

y el propósito es obtener la respuesta en frecuencia del convertidor, diagramas de Bode, empleando un analizador de respuesta en frecuencia (Frequency Response Analyzer – FRA) y comparándolo con las mismas respuestas obtenidas a partir de modelos simulados con software especializado.

A los resultados obtenidos se les realizó un análisis comparativo que demostró la confiabilidad de los modelos que se emplean para la simulación de los convertidores, ya que la respuesta del Simulador y la dada por el FRA están bastante cercanas dentro de cierto rango de frecuencia.

Reconocimientos

Debo realizar especial reconocimiento por su apoyo a los profesores Sergio Ignacio Serna Garcés, Elkin Edilberto Henao Bravo. Su conocimiento, apoyo y guía fue fundamental para lograr el desarrollo de este producto. A si mismo al asistente de laboratorio Cristian Escudero, quien me facilitó todos los elementos necesarios para realizar las practicas. A mi familia quien fue un soporte fundamental para poder llegar hasta el final de mi carrera y la entrega de este producto al laboratorio. Y finalmente, al ITM por darnos un espacio de conocimiento que podemos aprovechar todos los estudiantes de la ciudad de Medellín.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Acrónimos

Estos son los acrónimos utilizados en este informe y se presentan en esta sección para facilitar la lectura del documento (Convertidores DC/DC, 2016).

FRA: Frequency Response Analyzer

V_{in} : Voltaje de entrada

V_{out} : Voltaje de salida

DC: Corriente directa

D: Duty

V_{DC} : Voltaje de corriente directa

Contenido

1. Introducción.....	13
2. Marco Teórico.....	15
2.1. Respuesta en Frecuencia	26
3. Metodología.....	29
3.1. Procedimiento General de Conexión.....	31
3.2. Flujograma de Conexión	33
4. Resultados y Discusión	34
4.1. Convertidor Buck 1.4	34
4.2. Convertidor Boost 1.3.....	46
4.2.1. Simulación convertidor Boost PSIM.....	55
4.3. Convertidor Boost 1.2.....	58
4.4. Ejemplo de Aplicaciones usando los Convertidores DC/DC.	65
5. Conclusiones, Recomendaciones y Trabajo Futuro	67
6. Referencias	68

Lista de Tablas

Tabla 1. Convertidores a caracterizar y sus respectivas pruebas.....	32
Tabla 2. Valores de componentes utilizados en el circuito simulado en PSIM.....	44
Tabla 3. Valores De Los Elementos Del Convertidor Boost Síncrono.....	57

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema general de los convertidores.....	16
Figura 2. Esquema básico convertidor Buck.....	17
Figura 3. Comportamiento del convertidor Buck, con el suiche cerrado (On-estado).....	18
Figura 4. Comportamiento del convertidor Buck, con el suiche abierto (Off- estado).....	18
Figura 5. Comportamiento del voltaje y la corriente del inductor respecto al tiempo en modo continuo.....	20
Figura 6. Comportamiento del voltaje y la corriente respecto al tiempo en modo discontinuo.....	21
Figura 7. Esquema básico convertidor Boost.....	22
Figura 8. Comportamiento del convertidor Boost con el suiche abierto (Estado Off).....	22
Figura 9. Comportamiento del convertidor Boost con el suiche cerrado (Estado On).....	23
Figura 10. Comportamiento del voltaje y la corriente respecto al tiempo en modo continuo del convertidor Boost.....	24
Figura 11. Comportamiento del voltaje y la corriente respecto al tiempo en modo discontinuo del convertidor Boost.....	26
Figura 12. Sistema con entrada sinusoidal y respuesta en el tiempo.....	27
Figura 13. Diagrama de Bode convertidor DC/DC Boost.....	28
Figura 14. Vistas equipo FRA modelo 6320.....	30

Figura 15. Fuente de voltaje y corriente BK Precision Model 1672.....	30
Figura 16. Vista frontal BK Precision Model 8502.....	31
Figura 17. Flujograma de conexión.....	33
Figura 18. Imagen real convertidor Buck 1.4.....	34
Figura 19. Esquemático etapas convertidor buck 1.4.....	35
Figura 20. Imagen conexión real convertidor Buck 1.4.....	35
Figura 21. Fuente de Voltaje con valores de alimentación para el convertidor Buck 1.4.....	36
Figura 22. Generador de carga en corriente con valores da salida de convertidor Buck1.4.....	37
Figura 23. Circuito seguidor.....	37
Figura 24. Icono analyzer control de la barra herramientas software FRA.....	38
Figura 25. Menú de control del analizador con valores configurados para convertidor Buck1.4.....	39
Figura 26. Diagrama Bode convertidor Buck 1.4 prueba 1.....	40
Figura 27. Fuente de corriente.....	41
Figura 28. Generador de carga en voltaje con valores da salida de convertidor Buck 1.4.....	41
Figura 29. Icono analyzer control de la barra herramientas software FRA.....	42
Figura 30. Menú de control del analizador con valores configurados para convertidor	

Buck 1.4.....	42
Figura 31. Diagrama Bode convertidor Buck 1.4 prueba 2.....	43
Figura 32. Convertidor Buck en PSIM.....	44
Figura 33. Diagrama bode de esquema de la figura anterior.....	45
Figura 34. Bode ideal convertidor Buck G Vs Frecuency.....	45
Figura 35. Bode ideal convertidor Buck PhaseVs Frecuency.....	45
Figura 36, Imagen real convertidor Boost 1.3.....	46
Figura 37. Esquemático 1 etapas convertidor Boost 1.3.....	46
Figura 38. Esquemático 2 tapas convertidor Boost 1.3.....	47
Figura 39. Imagen conexión real convertidor boost 1.3.....	47
Figura 40. Fuente de voltaje con valores de alimentación para convertidor Boost 1.3....	48
Figura 41. Generador de carga en corriente con valores de salida convertidor Boost1.3.....	49
Figura 42. Circuito seguidor.....	49
Figura 43. Botón analyzer control de la barra herramientas software FRA.....	50
Figura 44. Menú de control del analizador con valores configurados para convertidor Boost 1.3.....	51
Figura 45. Diagrama Bode convertidor Boost 1.3 prueba 1.....	52
Figura 46. Fuente de corriente con valores de alimentación convertidor Boost 1.3.....	53
Figura 47. Generador de carga en voltaje con valores de salida convertidor Boost1.3....	53

Figura 48. Botón analyzer control de la barra herramientas software FRA.....	54
Figura 49. Menú de control del analizador con valores configurados para convertidor Boost 1.3.....	54
Figura 50. Diagrama Bode convertidor Boost 1.3 prueba 2.....	55
Figura 51. Convertidor Boost síncrono.....	55
Figura 52. AC Sweep PSim.....	56
Figura 53. Comparación de los diagramas de bode obtenidos en PSIM y el FRA.....	57
Figura 54. Diagrama de bode con valores de resonancia.....	58
Figura 55. Imagen real convertidor Boost 1.2.....	59
Figura 56. Esquemático etapa control real convertidor Boost 1.2.....	59
Figura 57. Esquemático etapa conversión.....	59
Figura 58. Interconexión entre convertidor Boost.1.2 y Boost 1.3.....	60
Figura 59. Fuente de voltaje con valores de alimentación para convertidor Boost 1.2.....	61
Figura 60. Generador carga en corriente con valores de salida de convertidor Boost 1.2.....	61
Figura 61. Circuito seguidor.....	62
Figura 62. Icono analyzer control de la barra herramientas software FRA.....	63
Figura 63. Menú de control del analizador convertidor Boost 1.2.....	64
Figura 64. Diagrama Bode convertidor Boost 1.2 prueba 1.....	64

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Figura 65. Convertidor DC/DC para aplicación fotovoltaica.....65

Figura 66. Convertidor DC/DC para aplicación Vehicular.....66

1. Introducción

La electrónica de potencia es la rama de la electrónica que busca procesar y controlar la energía eléctrica, para que el suministro de corriente y voltaje sea lo más eficientemente posible, para luego alimentar equipos, transformar energía y controlar el funcionamiento de máquinas eléctricas. Para el desarrollo de esta los principales dispositivos utilizados son bobinas, condensadores y semiconductores que trabajan a modo de corte y saturación (on/off).

En la actualidad es innegable la importancia de la electrónica de potencia ya que está presente en casi todo lo que nos rodea, en nuestro hogares la encontramos en los televisores, los computadores, lavadoras, ascensores entre otros, por el lado de la industria está en aplicaciones como robots, hornos, soldadura, iluminación, compresores, bombas y en todas las nuevas formas de generación de energía como la fotovoltaica y la eólica.

Los convertidores conmutados dc/dc son dispositivos electrónicos usados para la conversión de energía, capaces de transformar fuentes no reguladas en reguladas con niveles de tensión y corriente diferentes. Estos usan como componente principal de regulación un transistor el cual está constantemente conmutando entre corte y saturación. Gracias a su forma de trabajar alcanzan una eficiencia cercana al 80%. Entre los convertidores podemos encontrar los siguientes modelos: boost, buck, buck-boost, cuk, Flyback entre otros.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron los siguientes convertidores:

- Boost: convertidor elevador es decir su tensión de salida es mayor a la de su entrada.
- Buck: convertidor reductor es decir la tensión de salida es menor a la de su entrada.

La respuesta en frecuencia es la representación del espectro de salida de un sistema en respuesta a su señal de entrada. Su principal función es describir de forma gráfica la dinámica de un circuito electrónico y la estabilidad del circuito retroalimentado. Las representaciones más comunes de la respuesta en infrecuencia son: diagrama de Bode, de Nichols y Nyquist.

El equipo utilizado para obtener el diagrama de bode de los convertidores que posee el ITM fue el FRA 6320 el cual posee 2 canales de edición y un generador cuya frecuencia de trabajo está entre 10uHz a 20 MHz, también posee una salida USB para realizar la interfaz con el pc y observar los resultados obtenidos del análisis.

Para la simulación de los convertidores analizados en este trabajo se utilizó el software PSIM, el cual es una herramienta fácil de usar ya que es mediante interfaz gráfica que permite dibujar circuitos eléctricos y electrónicos.

2. Marco Teórico

Este Capítulo presenta los principales conceptos en los cuales se apoya el desarrollo de este informe. Inicialmente trataremos los convertidores de potencia, y concretamente los convertidores Buck y Boost. Conoceremos su topología, su modelo matemático y el comportamiento en el dominio del tiempo de sus principales variables.

Posteriormente conoceremos los conceptos relacionados con la caracterización de un sistema en el dominio de la frecuencia y las principales herramientas que se utilizan para realizar esta medida. Sin embargo, solo se describirá el diagrama de Bode.

Finalmente, se presenta la descripción general para obtener la respuesta en frecuencia de un sistema. Así mismo, conoceremos las características del FRA Venable 6320 con el que cuenta el Laboratorio ETI.

Los Convertidores DC-DC: Son dispositivos electrónicos que permiten aumentar o reducir el voltaje DC y regularlo, lo que quiere decir que permite mantener el voltaje de salida constante independiente de las perturbaciones o alteraciones en el voltaje de entrada, manteniendo la potencia de entrada constante.

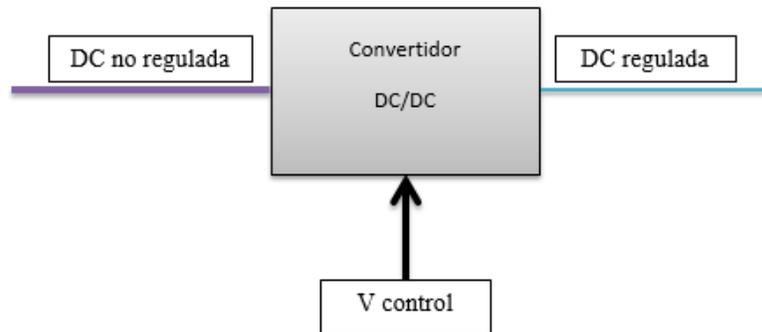


Figura 1. Esquema general de los convertidores. Adaptada Simulación en PSIM y Simulink de un conjunto rectificador con convertidos Buck-Boost en la salida (Domingo Cagigal, 2017, p. 18)

Los convertidores de DC/DC se pueden clasificarse en tres tipos y sus principales características son:

Resonantes: Presentan una frecuencia de conmutación muy elevada. Se eliminan pérdidas en conmutación de los semiconductores. Se puede aumentar la frecuencia de conmutación. Se reduce el tamaño del convertidor al eliminar los componentes reactivos empleados como filtro (condensadores e inductancias).

Conmutados: El transistor trabaja en zona de corte y saturación, en esta zona de trabajo el rendimiento es prácticamente el 100%, ya que no se producen pérdidas. La tensión de salida puede ser inferior, igual, o superior a la tensión de entrada. La polaridad de salida puede ser igual o contraria a la de entrada. Los circuitos suelen ser complejos. Pueden producirse interferencias electromagnéticas.

Lineales: El transistor trabaja en zona activa, en esta zona de trabajo el rendimiento es de un 30% a un 60% aproximadamente. La tensión de salida es inferior a la de entrada. La polaridad de salida es igual a la polaridad de entrada. Los circuitos

suelen ser simples. No se produce interferencias electromagnéticas. (Domingo Cagigal, 2017)

La estructura de los convertidores DC/DC se puede dividir en tres bloques principales:

Conmutación: se encarga de dividir la señal de entrada según la frecuencia y el ciclo de trabajo requerido.

Almacenamiento de energía: Depende estrictamente de la conmutación, ya que este determina cuándo se entrega la energía a la carga.

Filtrado: Se encarga de filtrar la señal conmutada.

(MARCELA GONZÁLEZ VALENCIA, 2009)

Algunos tipos de convertidores son:

- El convertidor Buck DC/DC sin aislamiento galvánico, es un convertidor de potencia reductor lo que quiere decir a su salida se obtiene un voltaje continuo menor al de su entrada. (Wikipedia Enciclopedia Libre, 2018)

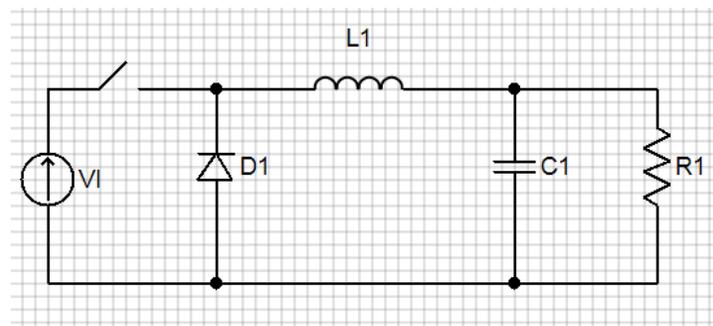


Figura 2. Esquema básico convertidor Buck. Adaptada de https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Buck

El buck puede tener dos estado y estos dependen si su suiche está abierto o cerrado, dicho estado determina el camino que por donde fluye la corriente la cual se marca en color rojo en las figura 3 para el estado cerrado y en la figura 4 para el estado abierto.

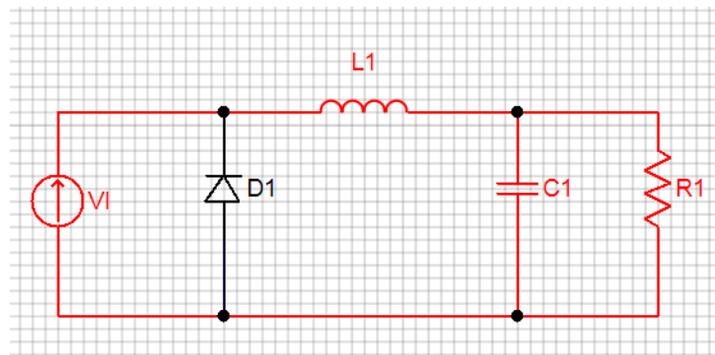


Figura 3. Comportamiento del convertidor Buck, con el suiche cerrado (On-estado). Adaptada de

https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Buck

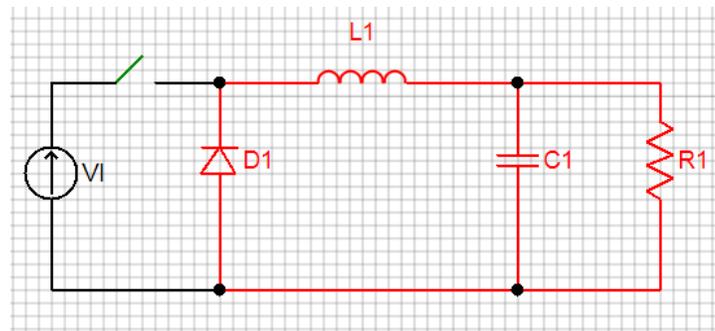


Figura 4. Comportamiento del convertidor Buck, con el suiche abierto (Off- estado). Adaptada de

https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Buck

El funcionamiento de este convertidor es sencillo, consta de un inductor controlado por dos dispositivos semiconductores del inductor a la fuente de alimentación o a la carga, lo cual genera que este trabaje de forma continua o discontinua.

Se puede precisar que el convertidor trabaja en modo continuo cuando la corriente que pasa por el inductor nunca baja a cero durante el ciclo de conmutación.

Las ecuaciones que rigen su comportamiento son:

Energía almacenada en el inductor:

$$E = \frac{1}{2} L \times I^2$$

Variación de corriente en el inductor:

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt}$$

Voltaje de salida: D (ciclo de trabajo) es un escalar comprendido entre 0 y 1:

$$V_o = D \times V_i$$

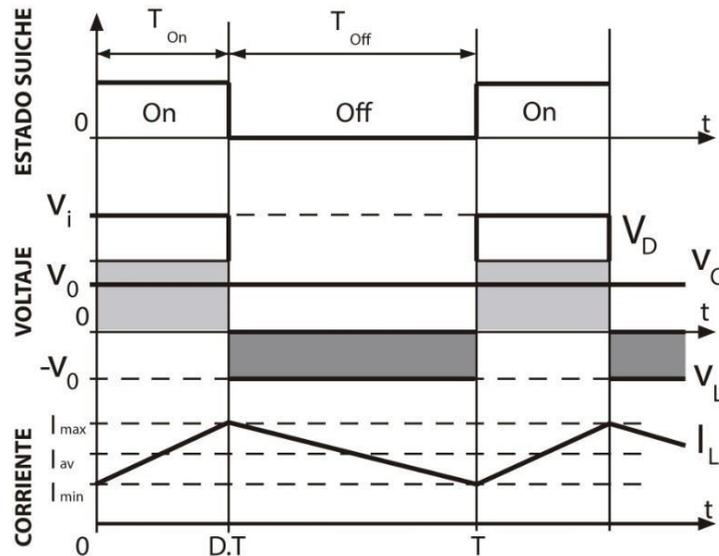


Figura 5. Comportamiento del voltaje y la corriente del inductor respecto al tiempo en modo continuo.

Adaptada de https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Buck

De esto se puede concluir que si el suiche está cerrado el voltaje en el inductor es $V_L = V_i - V_o$, y la corriente aumenta linealmente; Al diodo estar en inversa no permite que la corriente pase por él.

Con el suiche abierto el diodo permite que fluya corriente a través de este y el voltaje en el inductor es $V_L = -V_o$ y la corriente disminuye.

En modo discontinuo cuando la cantidad de energía demandada por la carga es tan pequeña que puede ser transferida en un tiempo menor que el periodo de conmutación; por esta razón la corriente que pasa por el inductor cae a cero durante una parte del periodo. La diferencia con el modo descrito antes es que el inductor queda totalmente descargado al final del ciclo de conmutación como se puede ver en

la siguiente figura. Las siguientes ecuaciones rigen dicho comportamiento:

$$V_o = V_i \frac{1}{\frac{2L \times I_0}{D^2 \times V_i \times T} + 1}$$

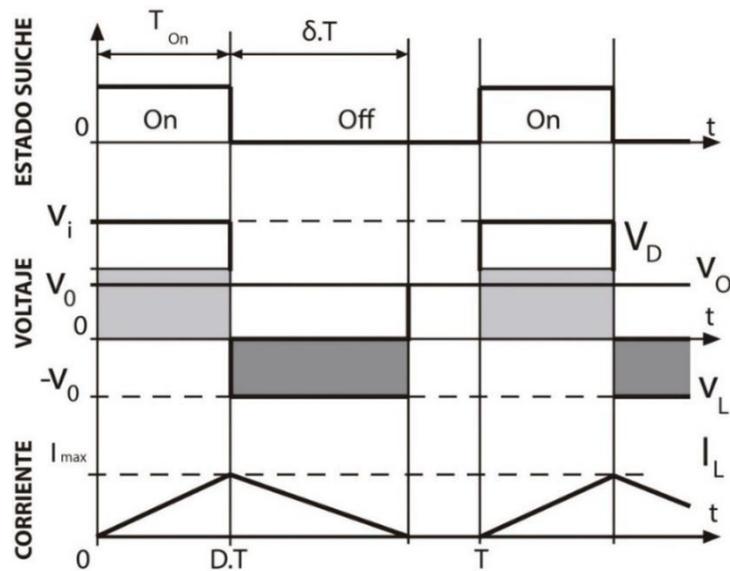


Figura 6. Comportamiento del voltaje y la corriente respecto al tiempo en modo discontinuo.

Adaptada de https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Buck

De la figura anterior se puede concluir que la energía en el inductor es la misma tanto al principio como al final del ciclo, por consiguiente el valor medio de la tensión del inductor (V_L) es cero.

- El convertidor Boost DC/DC es un convertidor elevador, esto significa a la salida se obtiene una tensión mayor que la de su entrada (Wikipedia Enciclopedia Libre, 2018)

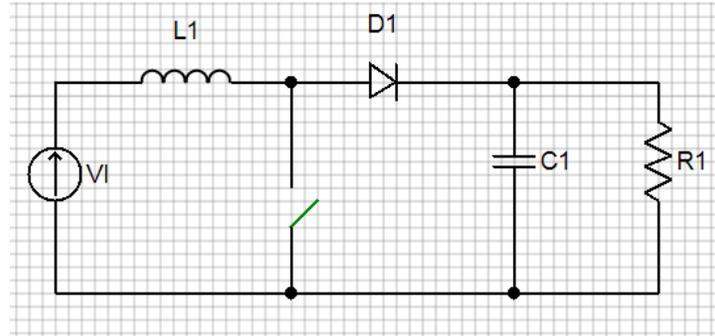


Figura 7. Esquema básico convertidor Boost. Adaptada de

https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Boost

El funcionamiento básico del convertidor Boost está dado por los dos estados que puede tener el suiche abierto o cerrado, esto determina el camino que toma la corriente las siguientes figuras ilustran dicho comportamiento.

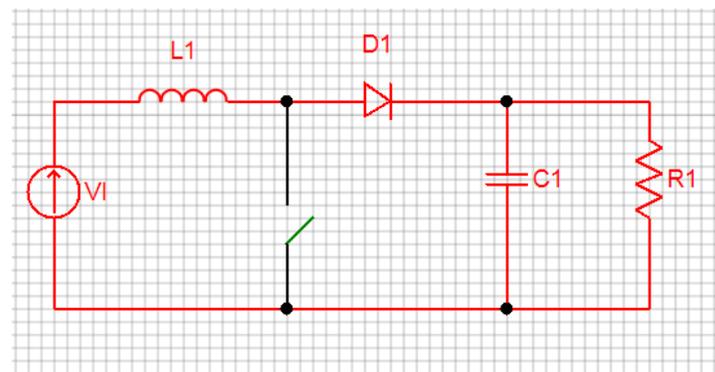


Figura 8. Comportamiento del convertidor Boost con el suiche abierto (Estado Off). Adaptada de

https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Boost

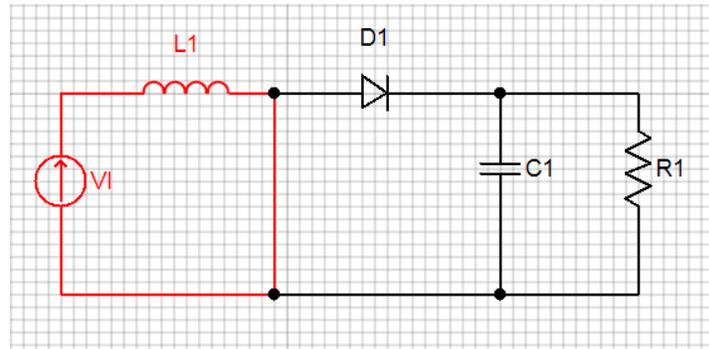


Figura 9. Comportamiento del convertidor Boost con el suiche cerrado (Estado On). Adaptada de https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Boost

Cuando el suiche está cerrado (On-estado) el inductor L almacena energía de la fuente y a la vez la carga es alimentada por el condensador. En el estado contrario es decir con el suiche abierto (Off- estado) el único camino que puede tomar la corriente es a través del diodo D, lo que hace que pase por el condensador y la carga.

Este convertidor al igual que el anterior puede trabajar de forma continua y discontinua las cuales explicaremos a continuación.

En Modo continuo toda la energía se transfiere a la carga sin que la corriente se anule. La siguiente figura nos muestra el comportamiento de voltaje y corriente.

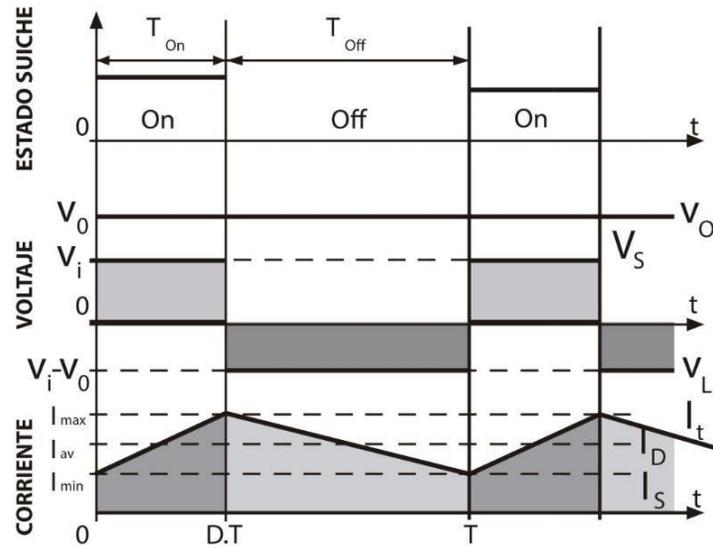


Figura 10. Comportamiento del voltaje y la corriente respecto al tiempo en modo continuo del convertidor Boost. Adaptada de https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Boost

Las siguiente formulas rigen el funcionamiento del convertidor para el modo continuo.

Cambio de corriente en el inductor con el suiche en On:

$$\frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{V_i}{L}$$

Cuando el suiche se abre (Off) la corriente fluye hacia la carga la corriente del inductor está dada por:

$$V_i - V_o = L \frac{dI_L}{dt}$$

La energía almacenada en el inductor está dada por:

$$E = \frac{1}{2} L \times I_L^2$$

La fórmula para el voltaje de salida es:

$$V_o = 1 - \frac{V_i}{D}$$

Donde D es el ciclo de trabajo (Duty).

Modo discontinuo, en este modo de trabajo la carga consume menos energía de la que el circuito puede entregar en un ciclo, esta variación en su funcionamiento hace que la ecuación para determinar el voltaje de salida cambie y sea la siguiente:

$$\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{V_i \times D^2 \times T}{2L \times I_o}$$

Al inicio del ciclo la corriente en el inductor es cero y su máximo valor es:

$$I_{Lmax} = \frac{V_i \times D \times T}{L}$$

La corriente de salida está dada por:

$$I_o = \frac{V_i^2 \times D^2 \times T}{2L(V_o - V_i)}$$

La siguiente grafica ilustra lo mencionado anteriormente:

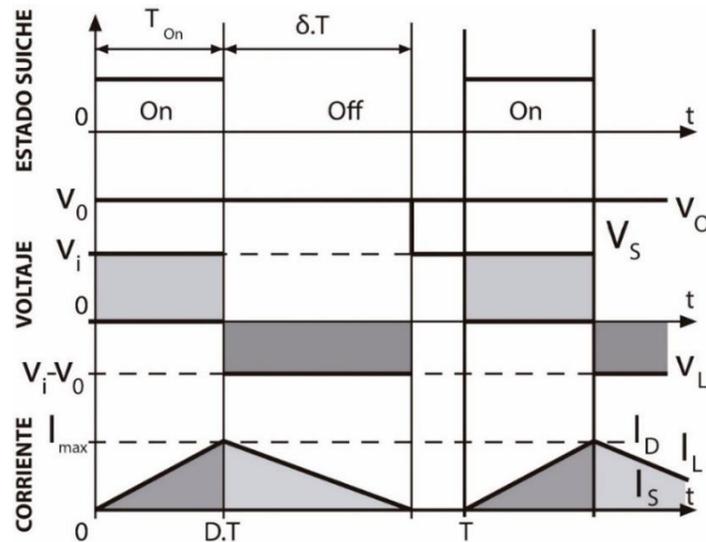


Figura 11. Comportamiento del voltaje y la corriente respecto al tiempo en modo discontinuo del convertidor Boost. Adaptada de https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Boost

2.1. Respuesta en Frecuencia

La respuesta en frecuencia está dada por la respuesta en estado estacionario de un sistema ante una entrada sinusoidal de amplitud fija y frecuencia (ω_0) variable desde

cero hasta el infinito. Su salida continuara siendo una señal sinusoidal pero con una variación en su magnitud y fase ϕ .

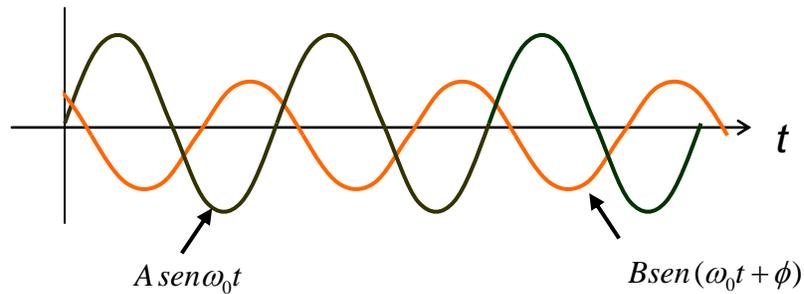


Figura 12. Sistema con entrada sinusoidal y respuesta en el tiempo.

Adaptada de <https://es.slideshare.net/JesusRios16/analisis-frecuencia-tema-7> (Rios, 2015)

Una de las formas de representar gráficamente le respuesta en frecuencia es el **diagrama de Bode**, que sirve para caracterizar la respuesta en frecuencia de un sistema. Normalmente consta de dos gráficas separadas, una que corresponde con la magnitud de dicha función y otra que corresponde con la fase.

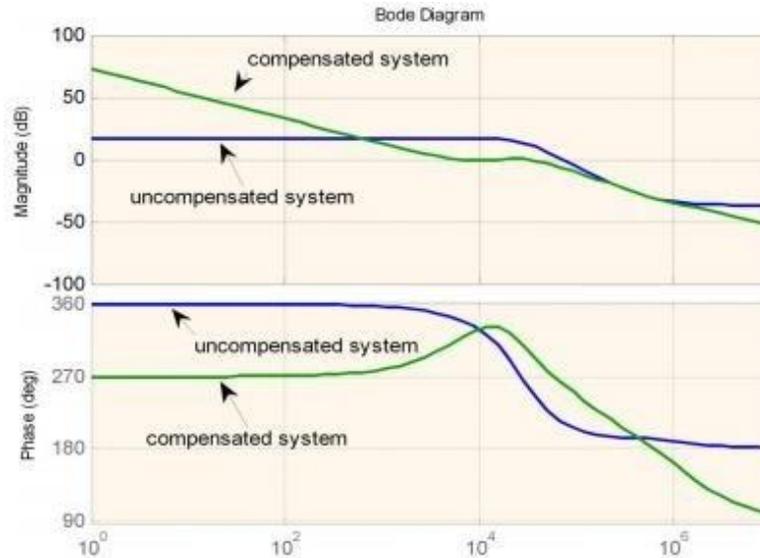


Figura 13. Diagrama de Bode convertidor DC/DC Boost. Tomada de Li-Ion Battery Charging with a Buck-Boost Power (Shiau & Ma, 2013, p. 1687) (Ma, 2013)

El análisis de la respuesta en frecuencia por el método de barrido frecuencial SFRA (Sweep Frequency Response Analysis) es una técnica de diagnóstico para detectar deformaciones y desplazamientos (entre otras fallas eléctricas y mecánicas) en circuitos, tal como se demuestra en este producto de laboratorio. Se realiza un barrido de frecuencia por décadas a través de la representación gráfica de la ganancia y la fase de los circuitos. (Ing. Sergio Alejandro Chedid, 2008)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

3. Metodología

Las fuentes que fueron tomadas como referencia para realizar este trabajo fueron: Manual de operación FRA de venable instruments que se encuentra en el Laboratorio de Electrónica del Instituto Tecnológico Metropolitano. (ITM, 2017)

La metodología realizada para realizar la caracterización de los convertidores fue la siguiente:

- Convertidor Buck: Se obtiene diagrama de bode con el Equipo FRA y posteriormente se compara con su diagrama de bode ideal y simulación en PSIM.
- Convertidor Boost: Se obtiene diagrama de bode con el Equipo FRA y posteriormente se compara con el diagrama obtenido de la simulación con el software PSIM.

Los equipos de laboratorio “PARQUE I” que se utilizaron fueron: fuente de voltaje y corriente, Multímetro, FRA, PC con el software del FRA y generador de carga. De parte del estudiante se utilizó el software de simulación PSIM.



Figura 14. Vistas equipo FRA modelo 6320. Tomada de
<https://venable.biz/data-sheets/Venable%20Model%206300%20-Channel%20FRAs.pdf>



Figura 15. Fuente de voltaje y corriente BK Precision Model 1672.
Tomada de *<http://www.bkprecision.com/products/power-supplies/1672-triple-output-quad-display-dc-power-supply-2-0-32v-0-3a-15v-3a.html>*



Figura 16. Vista frontal BK Precision Model 8502. Tomada de

<https://www.bkprecision.com/products/dc-electronic-loads/8502-300-w-500-v-programmable-dc-electronic-load.html>

3.1. Procedimiento General de Conexión

Lo primero fue realizar las conexiones necesarias para validar funcionamiento de los circuitos a caracterizar de la siguiente manera, Alimentados con una fuente de voltaje BK PRECISION 1672 tanto para la parte de potencia como para la parte de control, del FRA 6320 su generador fue conectado a un circuito seguidor y la salida de este al pin de entrada del duty de cada convertidor y de esta manera poder variar el ciclo de trabajo de estos, el canal 1 a la salida del circuito seguidor y el canal 2 a la salida del convertidor donde se conectó la carga. Para simular la carga en los convertidores se utilizó el equipo BK PRECISION 8502 300W Programmable DC Loada. Las conexiones y acondicionamiento de los equipos están detallados en este producto de laboratorio.

Las pruebas a realizar para la caracterización de los convertidores se observan en la tabla 1:

Tabla 1. Convertidores a caracterizar y sus respectivas pruebas

PRUEBA	DESCRIPCION	CONVERTIDOR	CONVERTIDOR	CONVERTIDOR
		BUCK	BOOST 1.3	BOOST 1.2
1	Bode de Vout vs D (Vin fijo con fuente de voltaje y carga pidiendo Corriente constante).	√	√	√
2	Bode de Vin vs D (corriente de entrada fija con fuente de corriente y carga pidiendo voltaje Constante).	√	√	N/D

Nota. Elaboración propia

La prueba numero 2 no fue posible realizársela al convertidor boost 1.2 ya que este presentaba problemas de funcionamiento con este modo de trabajo.

3.2. Flujoograma de Conexión

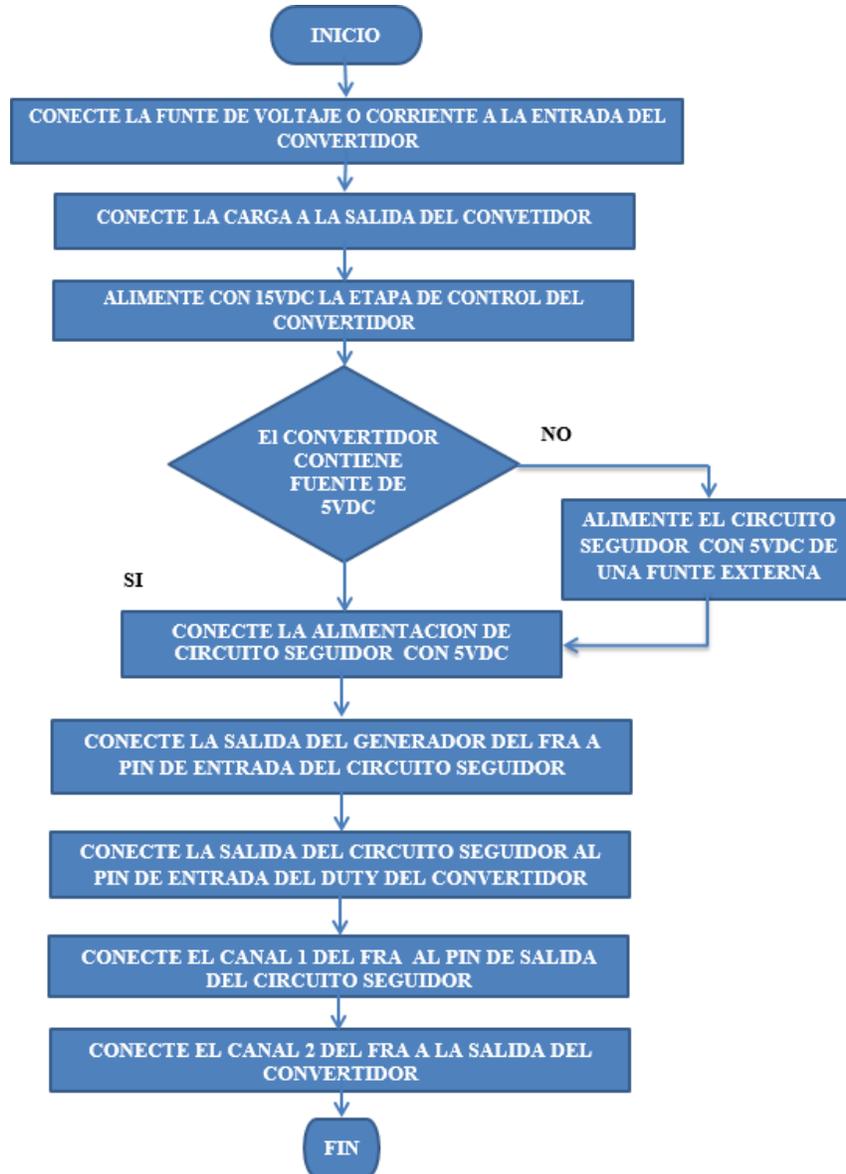


Figura 17. Flujoograma de conexión. Elaboración propia.

4. Resultados y Discusión

4.1. Convertidor Buck 1.4

Prueba 1: En esta prueba se grafica con el FRA el diagrama Bode de V_{out} vs D

(Vin fijo con fuente de voltaje y carga pidiendo corriente constante).

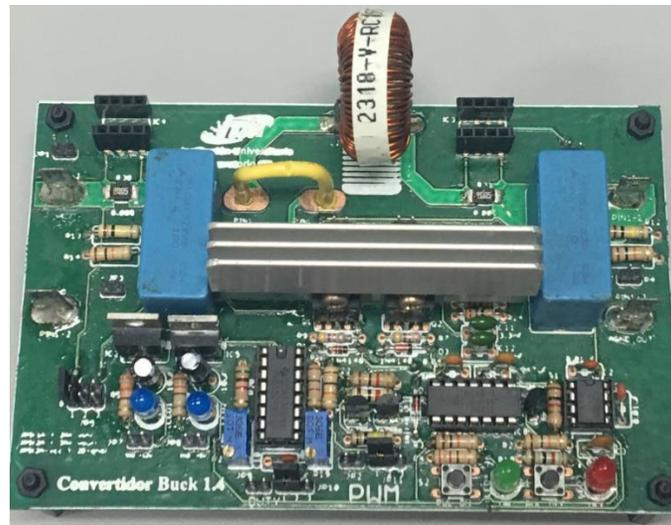


Figura 18. Imagen real convertidor Buck 1.4. Elaboración propia.

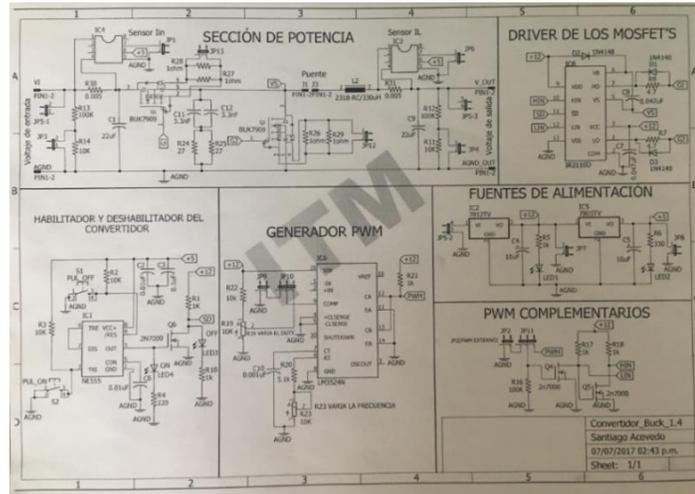


Figura 19. Esquemático etapas convertidor buck 1.4. Elaboración propia.

Para esto se conecta a la entrada del convertidor una fuente BK 1672 con un voltaje fijo y a su salida un generador de carga BK PRECISION 8502.

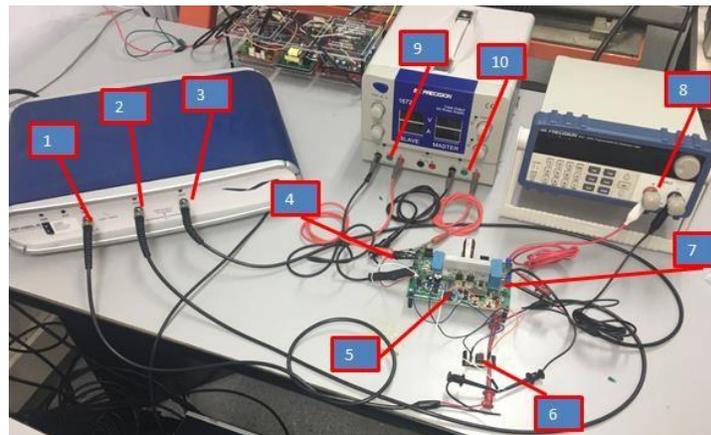


Figura 20. Imagen conexión real convertidor Buck 1.4. Elaboración propia.

1. Generador del FRA.
2. Canal 1 del FRA.

3. Canal 2 del FRA.
4. Terminales de entrada del convertidor.
5. Pin entrada del ciclo de trabajo (Duty).
6. Circuito seguidor.
7. Terminales de salida del convertidor.
8. Salida Generador de carga.
9. Salida fuente de voltaje conectada a terminales de entrada del convertidor.
10. Salida fuente de voltaje para alimentar etapa de control del convertidor.

En la fuente de voltaje utilizamos las dos salidas que esta posee, la primera la regulamos a 30Vdc para alimentar la parte de potencia del convertidor y la segunda la regulamos a 15Vdc para alimentar el circuito seguidor.



Figura 21. Fuente de Voltaje con valores de alimentación para el convertidor Buck 1.4. Elaboración propia.

El generador configuramos una carga constate de 2 amperios, en este también podemos observar el voltaje de salida que es de 15 voltios por tratarse de un convertido tipo Buck o reductor.



Figura 22. Generador de carga en corriente con valores da salida de convertidor Buck1.4.

Elaboración propia.

Para conectar el FRA 6320 al convertidor utilizamos sus dos canales y su generador de la siguiente manera:

- Generador se conecta a la entrada de un circuito seguidor compuesto por un circuito por un OPA350.

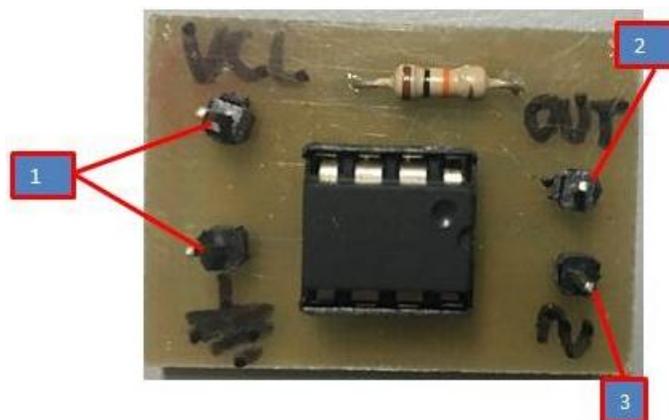


Figura 23. Circuito seguidor. Elaboración propia.

1. Voltaje alimentación.
2. Pin de salida hacia el convertidor.
3. Pin entrada de señal del generador del FRA.

- El canal 1 se conecta a la salida del circuito seguidor para medir la señal de entrada del ciclo de trabajo (Duty) del convertidor.
- El canal 2 se conecta a la salida del convertidor.

Luego de tener todo conectado como se indicó anteriormente procedemos a abrir el software, y le damos clic en el botón “analyzer control” que se encuentra en la barra de herramientas de este.

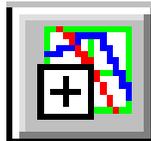


Figura 24. Icono analyzer control de la barra herramientas software FRA. Elaboración propia adaptada de pantallazo del computador y recorte el icono de la aplicación.

Tras darle clic al botón nos arroja la siguiente ventana donde encontramos el menú de control del analizador, en esta podemos configurar los límites de barrido como la frecuencia de Start que para este caso es 100Hz y la frecuencia de Stop que es 100KHz, también podemos configurar los parámetros del generador, este es muy importante ya que el generador alimenta el ciclo de trabajo (Duty) del convertidor y es

este el que controla la relación de transformación. Para este caso se quiere que sea del 50%, lo que nos dio como resultado un voltaje de 2.199 VDC en el parámetro DC Volts Out. Una vez ingresados los parámetros le damos RUN Sweep.

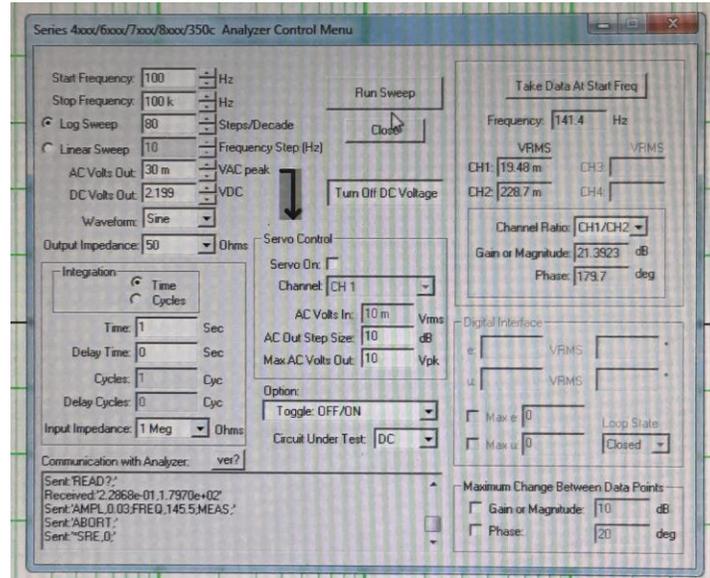


Figura 25. Menú de control del analizador con valores configurados para convertidor Buck1.4.

Elaboración propia adaptada de pantallazo del computador de los parámetros con lo que se hizo la prueba.

Después de hacer el análisis del circuito el resultado arrojado es el siguiente:

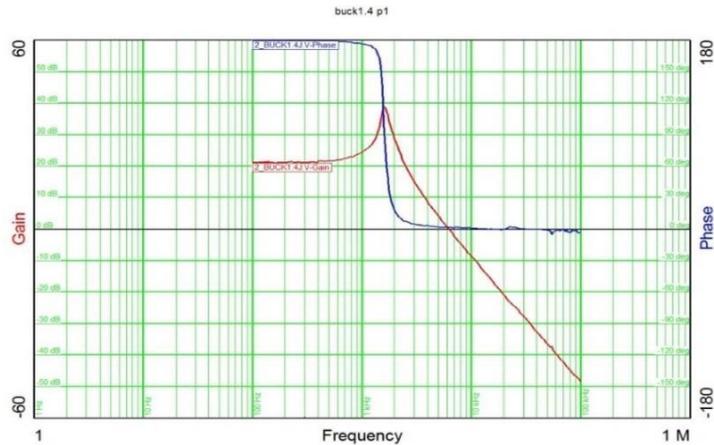


Figura 26. Diagrama Bode convertidor Buck 1.4 prueba 1. Elaboración propia adaptada de pantallazo de la gráfica del resultado de la prueba realizada en el laboratorio.

En la figura anterior podemos observar el comportamiento de Ganancia y fase del convertidor Buck 1.4 entre 100Hz y 100KHz de frecuencia. Se evidencia que durante todo el periodo de muestreo el comportamiento del convertidor es estable y la gráfica resultante es similar a la gráfica característica para este tipo de convertidores.

Prueba 2: En esta prueba se grafica con el FRA el diagrama Bode de V_{in} vs D (corriente de entrada fija con fuente de corriente y carga pidiendo voltaje constante).

Para esto se conecta a la entrada del convertidor una fuente BK 1672 con una corriente fija y a su salida un generador de carga BK PRECISION 8502.

En la fuente de voltaje utilizamos las dos salidas que esta posee, la primera la configuramos como fuente de corriente y regulamos 2 amperios y la segunda la regulamos a 15vdc para alimentar el circuito seguidor.



Figura 27. Fuente de corriente. Elaboración propia con valores de prueba.

El generador lo configuramos con una carga constante de 15 voltios dc, en este también podemos observar la corriente que consume a su salida que es de 1.7 amperios por tratarse de un convertido tipo Buck o reductor.

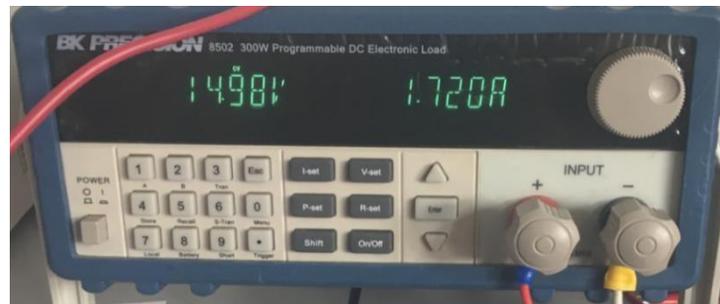


Figura 28. Generador de carga en voltaje con valores da salida de convertidor Buck 1.4.

Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Para esta prueba se conserva el mismo tipo de conexión de la prueba anterior. Luego de tener configurados, encendidos los equipos y el software abierto procedemos a darle clic en el botón “analyzer control” que se encuentra en la barra de herramientas de este.

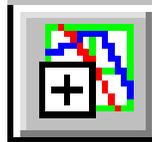


Figura 29. Icono analyzer control de la barra herramientas software FRA. Elaboración propia adaptada de pantallazo del computador y recorte el icono de la aplicación.

Conservamos los parámetros configurados en el menú de control del analizador y damos clic en Run Sweep.

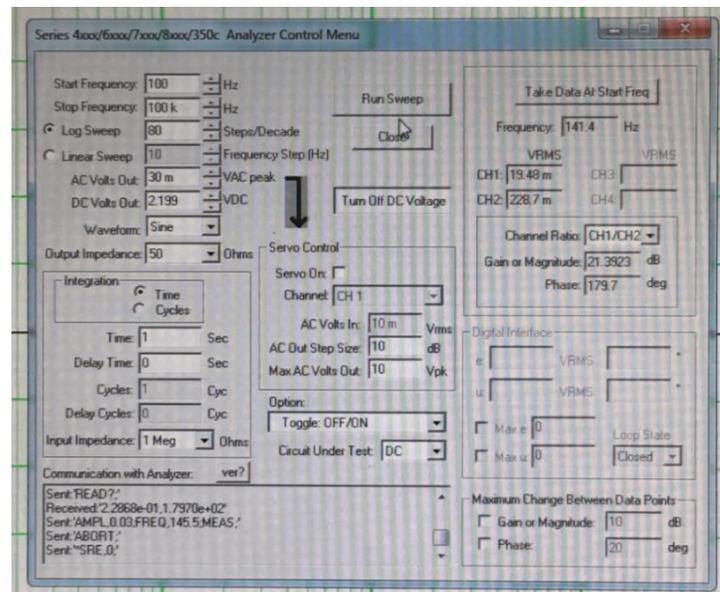


Figura 30. Menú de control del analizador con valores configurados para convertidor Buck

1.4. Elaboración propia adaptada de pantallazo del computador de los parámetros con lo que se hizo la prueba.

Después de hacer el análisis del circuito con los cambios realizados el resultado arrojado es el siguiente:

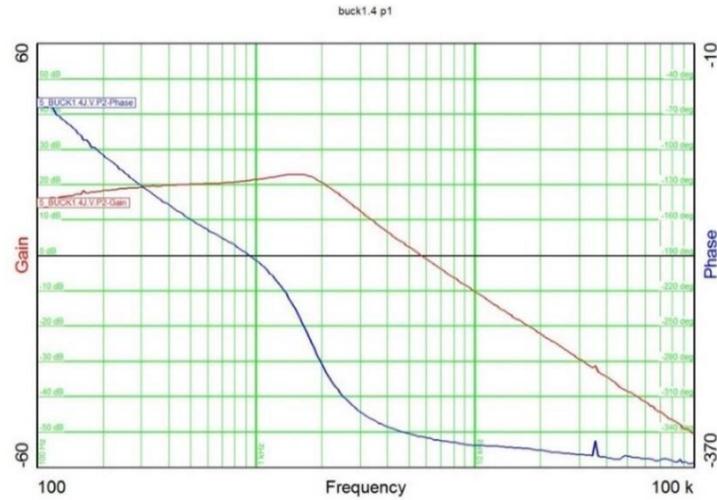


Figura 31. Diagrama Bode convertidor Buck 1.4 prueba 2. Elaboración propia pantallazo

resultado de prueba.

Como se puede observar el comportamiento es estable durante el periodo de muestreo, esto quiere decir que el circuito funciona de manera correcta.

Simulación convertidor Buck en PSIM.

Se implementó el circuito de la figura 32, se hizo el análisis de respuesta en frecuencia con el PSIM para la prueba 1 (Bode de V_{out} vs D , V_{in} fijo con fuente de voltaje y carga pidiendo corriente constante).

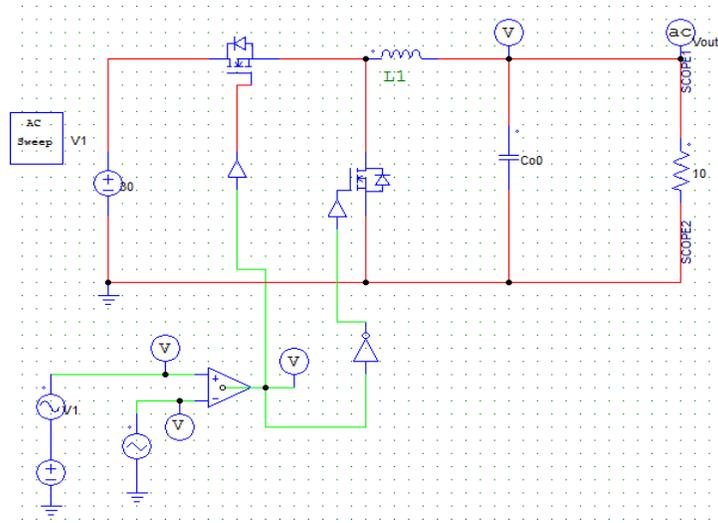


Figura 32. Convertidor Buck en PSIM. Elaboración propia pantallazo de Circuito diseñado en software PSIM.

Tabla 2. Valores de componentes utilizados en el circuito simulado en PSIM

PARÁMETRO	VALOR
L	100uH
R	10Ω
C	279uF

Nota. Elaboración propia

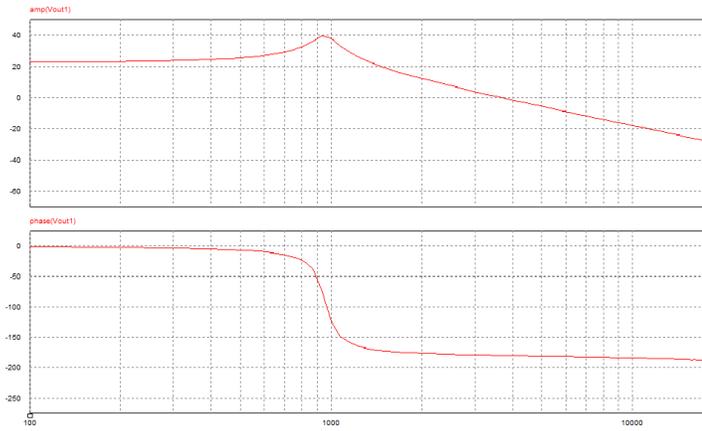


Figura 33. Diagrama bode de esquema de la figura anterior. Elaboración propia pantallazo resultado de prueba.

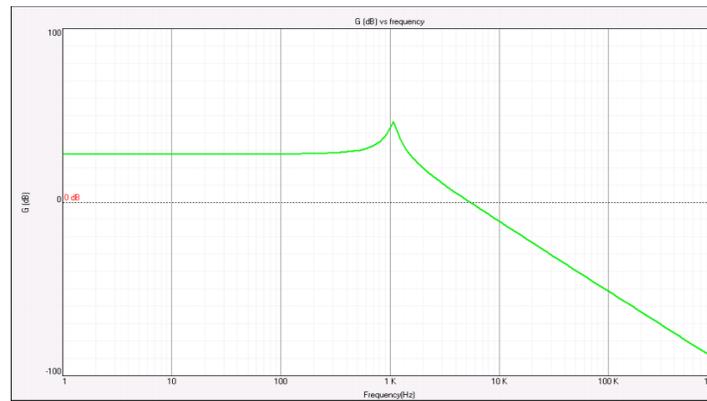


Figura 34. Bode ideal convertidor Buck G Vs Frecuency. Elaboración propia pantallazo de simulación.

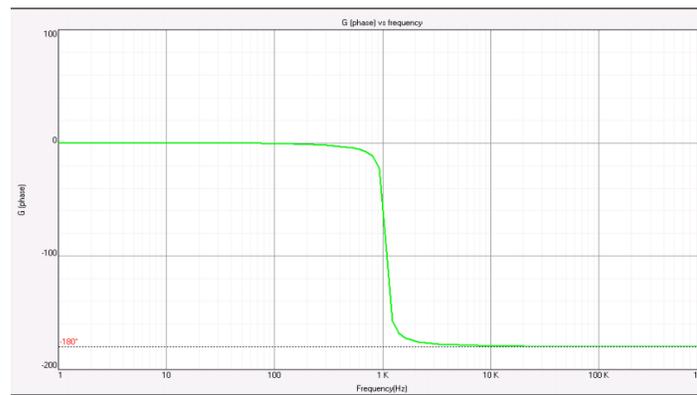


Figura 35. Bode ideal convertidor Buck Phase Vs Frecuency. Elaboración propia pantallazo de simulación.

Como se puede observar el resultado obtenido experimentalmente con el FRA del convertidor Buck tiene un comportamiento estable durante todo el tiempo de muestreo como se mencionó anteriormente, la gráfica es muy similar a la obtenida con el modelo simulado en PSIM y las gráficas del modelo ideal.

4.2. Convertidor Boost 1.3

Prueba 1: En esta prueba se grafica con el FRA el diagrama Bode de V_{out} vs D (Vin fijo con fuente de voltaje y carga pidiendo corriente constante).

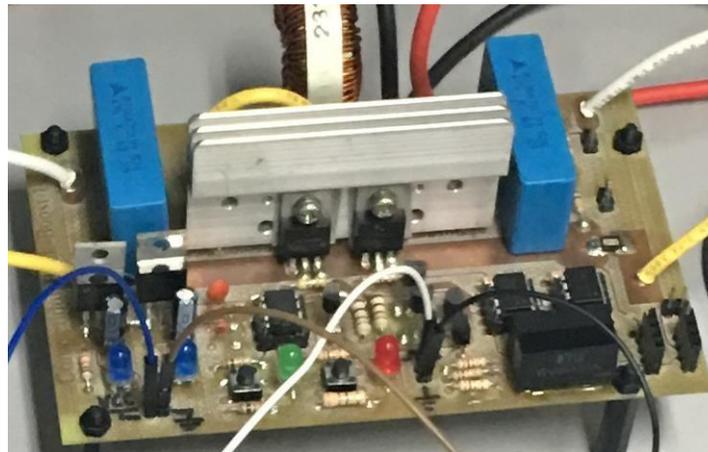


Figura 36, Imagen real convertidor Boost 1.3. Elaboración propia.

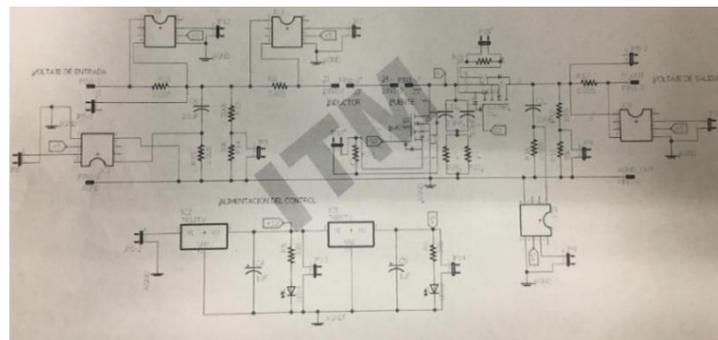


Figura 37. Esquemático 1 etapas convertidor Boost 1.3. Elaboración propia

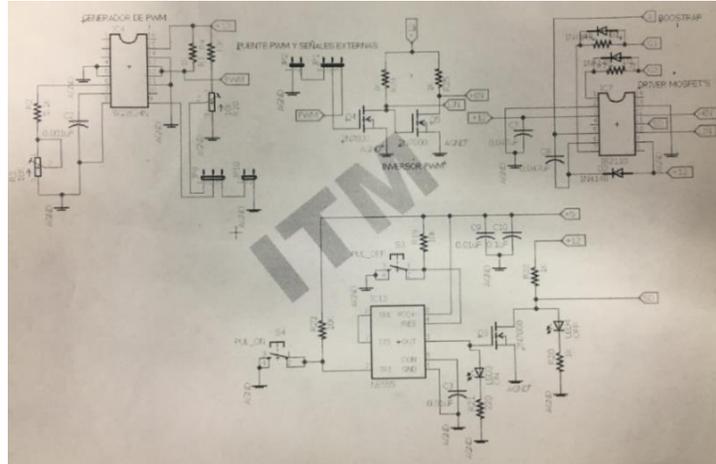


Figura 38. Esquemático 2 etapas convertidor Boost 1.3. Elaboración propia.

Para esto se conecta a la entrada de convertidor una fuente de voltaje BK 1672 con un voltaje fijo y a su salida un generador de carga BK PRECISION 8502.

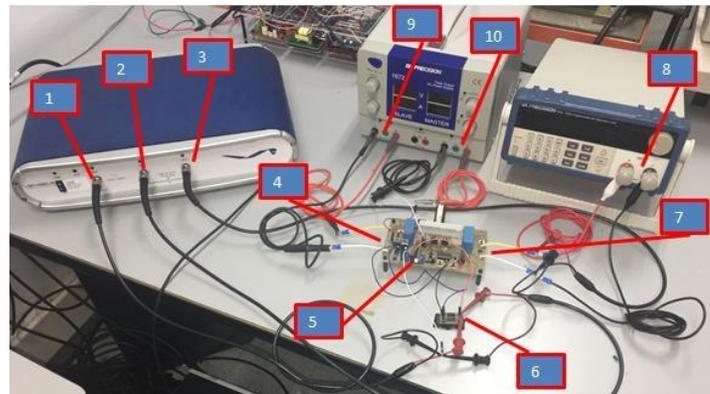


Figura 39. Imagen conexión real convertidor boost 1.3. Elaboración propia

1. Generador del FRA.
2. Canal 1 del FRA.
3. Canal 2 del FRA.
4. Terminales de entrada del convertidor.

5. Pin entrada del ciclo de trabajo (Duty).
6. Circuito seguidor.
7. Terminales de salida del convertidor.
8. Salida Generador de carga.
9. Salida fuente de voltaje conectada a terminales de entrada del convertidor.
10. Salida fuente de voltaje para alimentar etapa de control del convertidor.

En la fuente de voltaje utilizamos las dos salidas que esta posee, la primera la regulamos a 15vdc para alimentar la parte de potencia del convertidor y la segunda la regulamos a 15vdc para alimentar el circuito seguidor.



Figura 40. Fuente de voltaje con valores de alimentación para convertidor Boost 1.3. Elaboración propia.

El generador configuramos una carga constate de 1 amperio, en este también podemos observar el voltaje de salida que es de 30 voltios por tratarse de un convertido tipo Boost o elevador.



Figura 41. Generador de carga en corriente con valores de salida convertidor Boost1.3.

Elaboración propia.

Para conectar el FRA 6320 al convertidor utilizamos sus dos canales y su generador de la siguiente manera:

- Generador se conecta a la entrada de un circuito seguidor compuesto por un circuito por un OPA350.

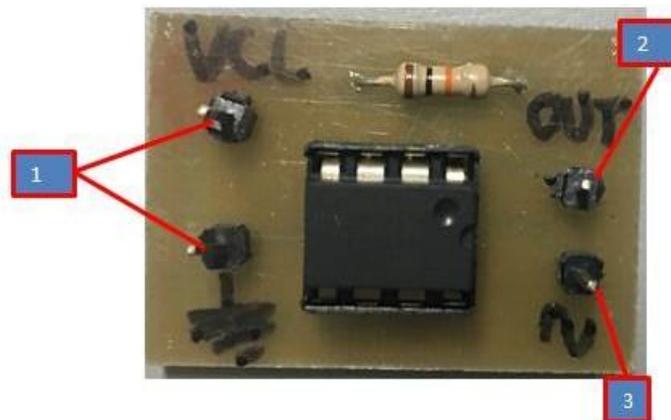


Figura 42. Circuito seguidor. Elaboración propia.

1. Voltaje alimentación.
 2. Pin de salida hacia el convertidor.
 3. Pin entrada de señal del generador del FRA.
- El canal 1 se conecta a la salida del circuito seguidor para medir la señal de entrada del ciclo de trabajo (Duty) del convertidor.
 - El canal 2 se conecta a la salida del convertidor.

Luego de tener todo conectado como se indicó anteriormente procedemos a abrir el software, y le damos clic en el botón “analyzer control” que se encuentra en la barra de herramientas de este.

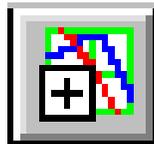


Figura 43. Botón analyzer control de la barra herramientas software FRA. Elaboración propia adaptada de pantallazo del computador y recorte el icono de la aplicación.

Tras darle clic al botón nos arroja la ventana donde encontramos el menú de control del analizador, en esta podemos configurar los límites de barrido como la frecuencia de Start que para este caso es 100Hz y la frecuencia de Stop que es 100KHz, también podemos configurar los parámetros del generador, este es muy importante ya que el generador alimenta el ciclo de trabajo (Duty) del convertidor y

es este el que controla la relación de transformación. Para este caso se quiere que sea del 50%, lo que nos dio como resultado un voltaje de 2.129 VDC en el parámetro DC Volts Out. Una vez ingresados los parámetros le damos RUN Sweep.

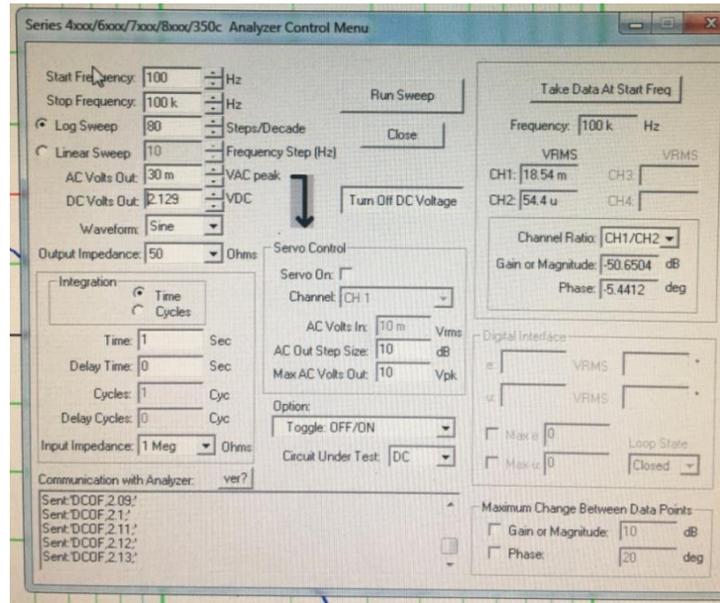


Figura 44. Menú de control del analizador con valores configurados para convertidor Boost 1.3.

Elaboración propia adaptada de pantallazo del computador de los parámetros con lo que se hizo la prueba.

Después de hacer el análisis del circuito el resultado arrojado es el siguiente:

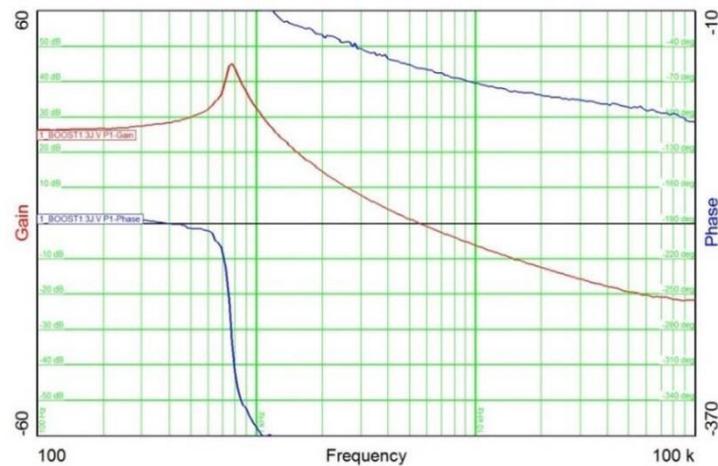


Figura 45. Diagrama Bode convertidor Boost 1.3 prueba 1. Elaboración propia pantallazo resultado de prueba.

Prueba 2: En esta prueba se grafica con el FRA el diagrama Bode de V_{in} vs D y las condiciones son: corriente de entrada fija con fuente de corriente y carga pidiendo voltaje constante.

Para esto se conecta a la entrada del convertidor una fuente BK 1672 con una corriente fija y a su salida un generador de carga BK PRECISION 8502.

En la fuente de voltaje utilizamos las dos salidas que esta posee, la primera la configuramos como fuente de corriente y regulamos 2 amperios y la segunda la regulamos a 15vdc para alimentar el circuito seguidor.



Figura 46. Fuente de corriente con valores de alimentación convertidor Boost 1.3.

Elaboración propia

El generador configuramos una carga constate de 30 voltios dc, en este también podemos observar la corriente que consume la carga que es de 1 amperio.



Figura 47. Generador de carga en voltaje con valores de salida convertidor Boost1.3.

Elaboración propia.

Para esta prueba se conserva el mismo tipo de conexión de la prueba anterior. Luego de tener configurados, encendidos los equipos y el software abierto procedemos a darle clic en el botón “analyzer control” que se encuentra en la barra de herramientas de este.

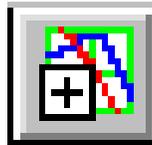


Figura 48. Botón analyzer control de la barra herramientas software FRA. Elaboración propia adaptada de pantallazo del computador y recorte el icono de la aplicación.

Conservamos los parámetros configurados en el menú de control del analizador y damos clic en Run Sweep.

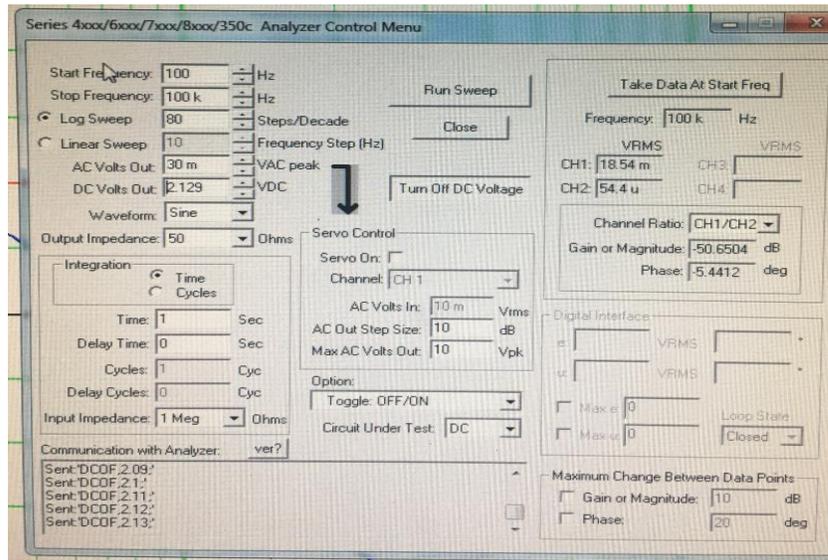


Figura 49. Menú de control del analizador con valores configurados para convertidor Boost

1.3. Elaboración propia adaptada de pantallazo del computador de los parámetros con lo que se hizo la prueba.

Después de hacer el análisis del circuito con los cambios realizados el resultado arrojado es el siguiente:

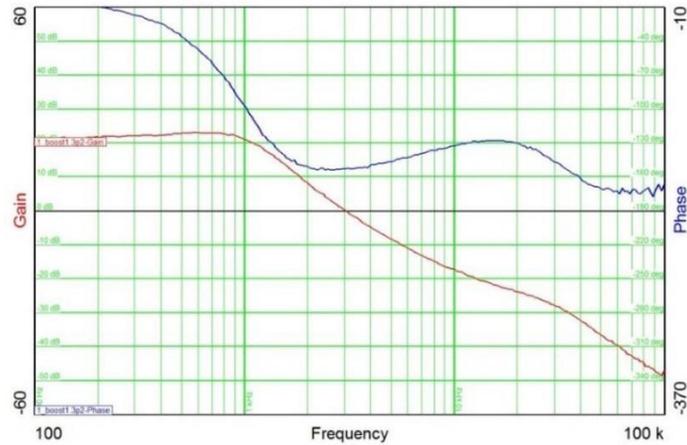


Figura 50. Diagrama Bode convertidor Boost 1.3 prueba 2. Elaboración propia pantallazo resultado de prueba.

4.2.1. Simulación convertidor Boost PSIM.

Se implementó el circuito de la figura 51, se hizo el análisis de respuesta en frecuencia con el PSIM para la prueba 1 (Bode de V_{out} vs D , V_{in} fijo con fuente de voltaje y carga pidiendo corriente constante).

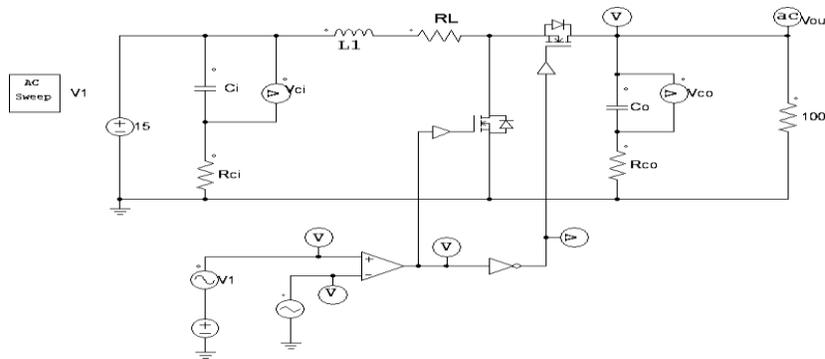


Figura 51. Convertidor Boost síncrono. Elaboración propia foto de circuito simulado en PSIM.

Las condiciones del análisis *AC sweep* en PSIM se observan en la figura 52, el barrido en frecuencia se hizo entre 100Hz y 100KHz, V1 es la fuente de perturbación con un valor pico de 30mV.

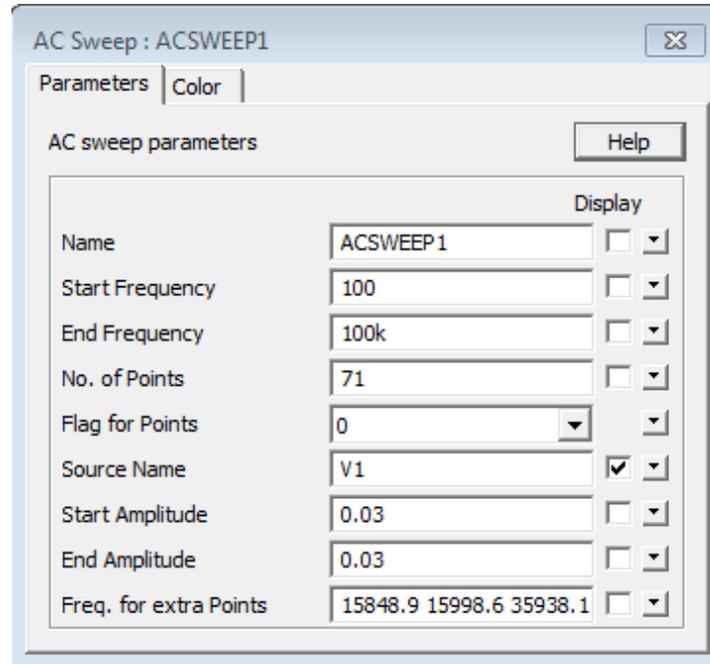


Figura 52. AC Sweep PSim. Elaboración propia pantallazo de los valores de los componentes del circuito simulado.

En la figura 53 se observan los diagramas de bode (magnitud y fase) obtenidos para el convertidor Boost síncrono de la figura 51. Las líneas en azul muestran los resultados obtenidos con el FRA en el circuito real y las líneas rojas son los datos obtenidos en PSIM.

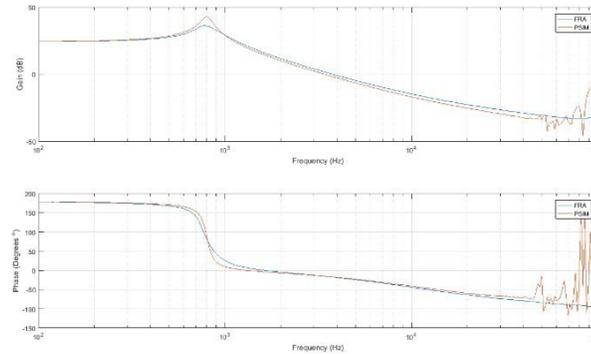


Figura 53. Comparación de los diagramas de bode obtenidos en PSIM y el FRA. Elaboración propia pantallazo resultado de prueba.

Los parámetros del convertidor se observan en la tabla 3, los valores de capacitores, inductor y resistencias serie fueron obtenidos usando el FRA.

Tabla 3. Valores De Los Elementos Del Convertidor Boost Síncrono

PARÁMETRO	VALOR
L	426uH
RL	58.84mΩ
Ci	27.69uF
Rci	5.923mΩ
Co	27.69uF
Rco	5.923mΩ

Nota. Elaboración propia

En Figura 54 se indican la frecuencia de resonancia y la ganancia para los datos obtenidos experimentalmente y los datos simulados en PSIM.

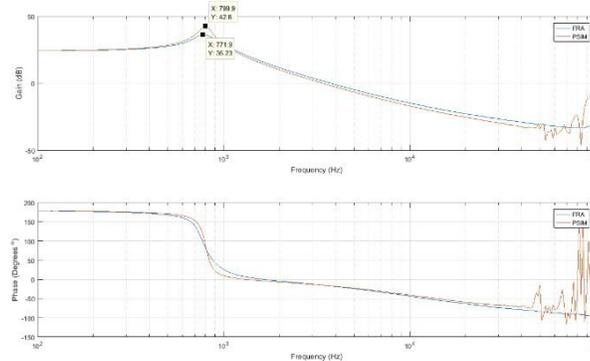


Figura 54. Diagrama de bode con valores de resonancia. Elaboración propia pantallazo resultado de prueba.

Como podemos observar las gráficas de fase y ganancia Vs Frecuency son casi iguales. La variación presentada estada por las condiciones de operación de equipos y componentes pero podemos concluir que el convertidor Boost 1.3 funciona correctamente en la simulación y en la práctica.

4.3.Convertidor Boost 1.2

Prueba 1: En esta prueba se grafica con el FRA el diagrama Bode de Vout vs D (Vin fijo con fuente de voltaje y carga pidiendo corriente constante).

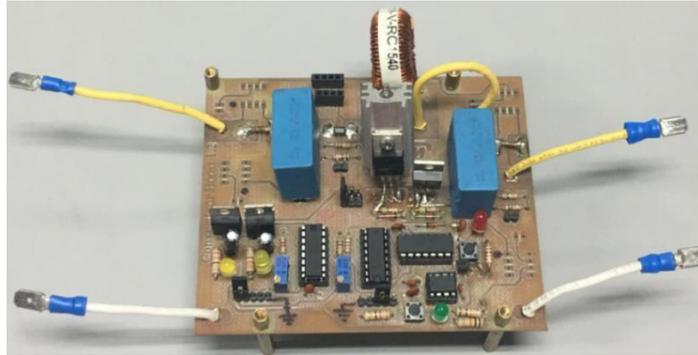


Figura 55. Imagen real convertidor Boost 1.2. Elaboración propia.

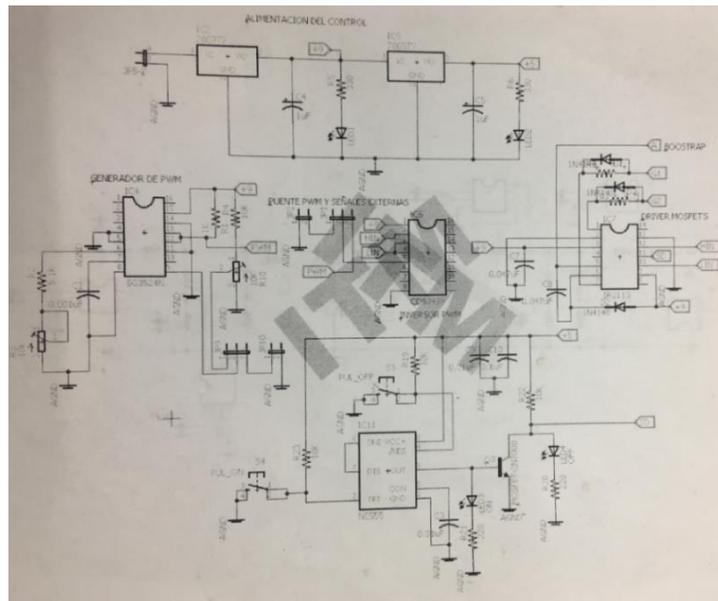


Figura 56. Esquemático etapa control real convertidor Boost 1.2. Elaboración propia.

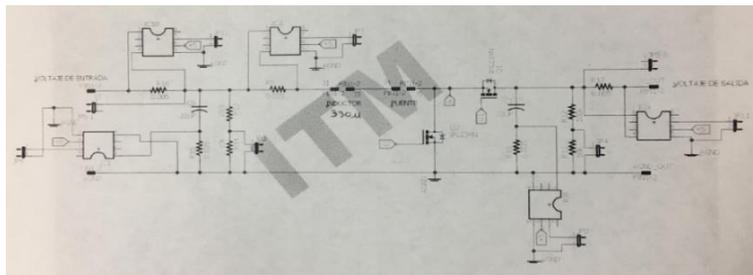


Figura 57. Esquemático etapa conversión. Elaboración propia.

Para esto se conecta a la entrada de convertidor una fuente de voltaje BK 1672 con un voltaje fijo y a su salida un generador de carga BK PRECISION 8502.

En la fuente de voltaje utilizamos las dos salidas que esta posee, la primera la regulamos a 15vdc para alimentar la parte de potencia del convertidor y la segunda la regulamos a 15vdc para alimentar el circuito seguidor. Adicional en como este modelo de convertidor no posee dentro de su diseño un PWM, fue necesario alimentar otro convertidor en su parte de control y de esta manera utilizar su PWM para poder realizar la prueba como se observa en la siguiente imagen.

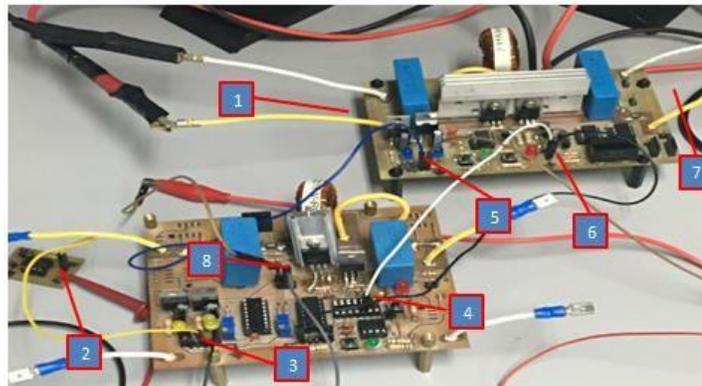


Figura 58. Interconexión entre convertidor Boost.1.2 y Boost 1.3. Elaboración propia.

1. Terminales de entrada convertidor boost 1.2.
2. circuito seguidor.
3. Pines entrada etapa salida circuito seguidor.
4. Salida PWM Convertidor boost 1.3.
5. Pines de alimentación etapa de control convertidor boost 1.2.

6. Pines entrada ciclo de trabajo convertidor boost 1.2.
7. Salida convertidor boost 1.2.



Figura 59. Fuente de voltaje con valores de alimentación para convertidor Boost 1.2. Elaboración propia.

El generador configuramos una carga constante de 0.9 amperios ya que el convertidor no soporta una carga superior por que comienza a generar error en la conmutación, en este también podemos observar el voltaje de salida que es de 30 voltios por tratarse de un convertido tipo Boost o elevador.



Figura 60. Generador carga en corriente con valores de salida de convertidor Boost 1.2.

Elaboración propia.

Para conectar el FRA 6320 al convertidor utilizamos sus dos canales y su generador de la siguiente manera:

- Generador se conecta a la entrada de un circuito seguidor compuesto por un circuito por un OPA350.

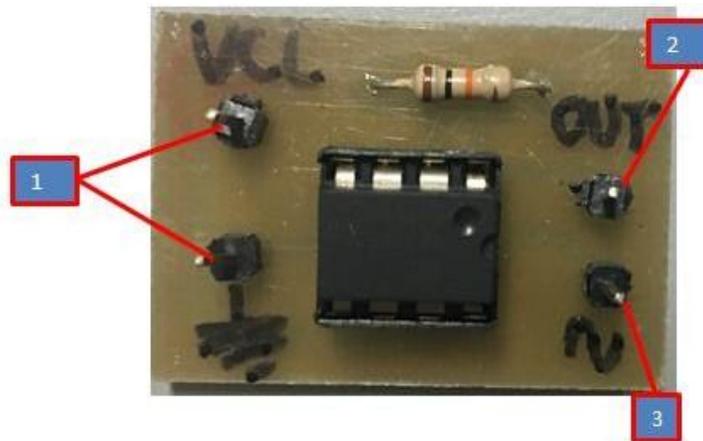


Figura 61. Circuito seguidor. Elaboración propia.

1. Voltaje alimentación.
2. Pin de salida hacia el convertidor.
3. Pin entrada de señal del generador del FRA.

- El canal 1 se conecta a la salida del circuito seguidor para medir la señal de entrada del ciclo de trabajo (Duty) del convertidor.

- El canal 2 se conecta a la salida del convertidor boost 1.2.

Luego de tener todo conectado como se indicó anteriormente procedemos a abrir el software, y le damos clic en el botón “analyzer control” que se encuentra en la barra de herramientas de este.

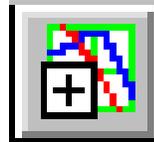


Figura 62. Icono analyzer control de la barra herramientas software FRA. Elaboración propia adaptada de pantallazo del computador y recorte el icono de la aplicación.

Tras darle clic al botón nos arroja la siguiente ventana donde encontramos el menú de control del analizador, en esta podemos configurar los límites de barrido como la frecuencia de Start que para este caso es 100Hz y la frecuencia de Stop que es 100KHz, también podemos configurar los parámetros del generador, este es muy importante ya que el generador alimenta el ciclo de trabajo del convertidor y es este el que controla la relación de transformación. Para este caso se quiere que sea del 50%, lo que nos dio como resultado un voltaje de 2.079 VDC en el parámetro DC Volts Out. Una vez ingresados los parámetros le damos RUN Sweep.

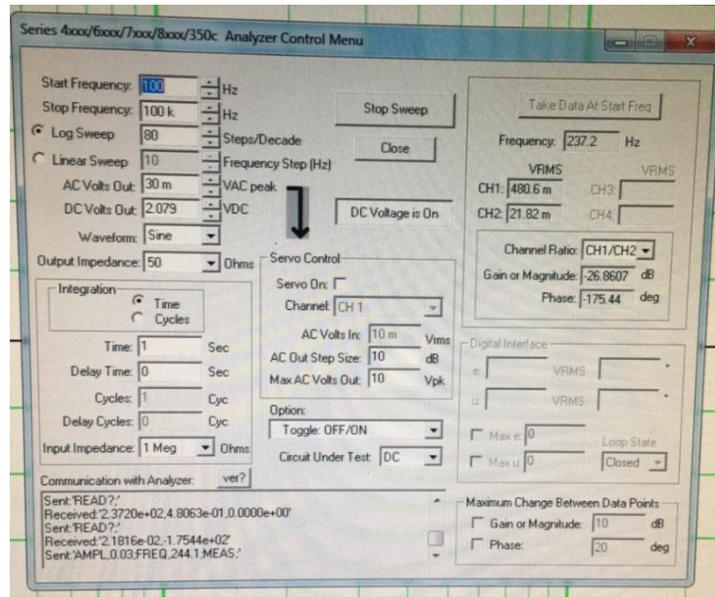


Figura 63. Menú de control del analizador convertidor Boost 1.2. Elaboración propia adaptada de pantallazo del computador de los parámetros con lo que se hizo la prueba.

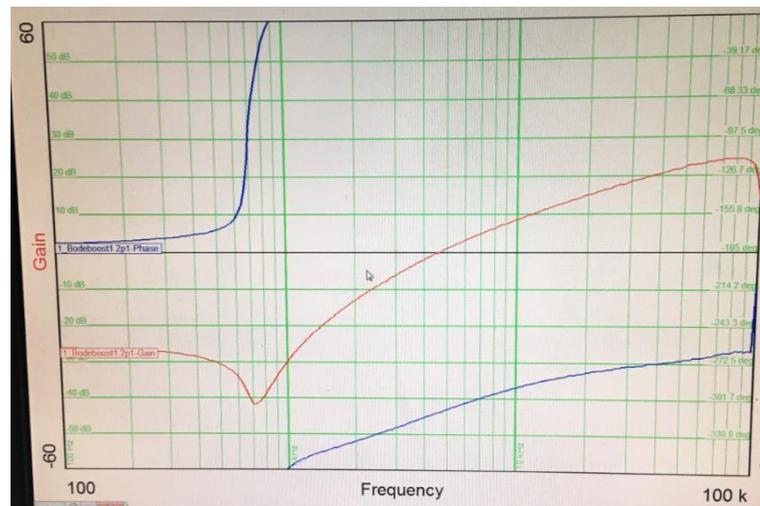


Figura 64. Diagrama Bode convertidor Boost 1.2 prueba 1. Elaboración propia pantallazo resultado de prueba.

Como se puede observar el comportamiento en todo el ciclo de muestreo es estable aunque contrario al comportamiento del convertidor boost 1.3 al parecer por problemas de funcionamiento del convertidor lo cual también impidió realizar la prueba 2.

4.4. Ejemplo de Aplicaciones usando los Convertidores DC/DC.

- Fotovoltaicas.



Figura 65. Convertidor DC/DC para aplicación fotovoltaica. Adaptada de

<http://www.convertronic.net/Convertidores/convertidor-dc-dc-para-aplicaciones-fotovoltaicas.html>

El convertidor DC/DC permite la conexión directa a la tensión de string. De este modo se pueden alimentar, por ejemplo, sistemas de monitorización de strings directamente de la instalación fotovoltaica y se ahorran así costes de instalación adicionales. Con su entrada de amplio alcance, el equipo convierte tensiones de entrada de 300 V a 1000 Vdc en una tensión de salida de 24 Vdc separada galvánicamente. (MARTINEZ, 2016)

- Vehículos



Figura 66. Convertidor DC/DC para aplicación Vehicular. Adaptada de

<http://www.cerc.es/convertidores-dc-dc-para-aplicaciones-en-vehiculos---dc-dc-converters-for-vehicle-applications.html>

Este modelo de convertidor tiene la ventaja de Protección contra condiciones ambientales desfavorables tales como vibraciones, golpes, variaciones en la tensión, humedad, atmósfera agresiva, entre otros. También es usado en el campo de vehículos de manipulación de materiales y camiones industriales por ejemplo, carretillas elevadoras, sistemas automáticos vehículo guiado. (CERC INGENIERIA)

5. Conclusiones, Recomendaciones y Trabajo Futuro

Se prueba el funcionamiento de los convertidores DC/DC con equipo FRA a través de los diagramas de bode generados por el sistema y comparados con los simuladores arrojando un resultado satisfactorio.

Se puede establecer que la exactitud de los elementos para ser usados en los montajes debe ser óptima pues un valor mayor o menor puede cambiar la distribución del gráfico de diagrama de bode generando perturbación durante el ciclo de trabajo

Es de vital importancia conocer de manera precisa cómo funcionan cada uno de los equipos utilizados para realizar las pruebas ya que una mala conexión puede generar un daño en el circuito o peor aún en los equipos.

Se recomienda utilizar valores exactos en las simulaciones, así como en los accesorios a medir, estos pueden ser obtenidos con multímetro o demás equipos que se encuentran en el laboratorio de investigación de parque i.

6. Referencias

CERC INGENIERIA. (s.f.). *CERC INGENIERIA*. Recuperado el FEBRERO de 2018, de CERC INGENIERIA : <http://www.cerc.es/convertidores-dc-dc-para-aplicaciones-en-vehiculos--dc-dc-converters-for-vehicle-applications.html>

Convertidores DC/DC. (2016). *Convertidores DC/DC. Apuntes de la asignatura de Electrónica de Potencia*.

Domingo Cagigal, J. (2017). *SIMULACIÓN EN PSIM Y SIMULINK*. Valladolid.

Ing. Sergio Alejandro Chedid, A. I. (2008). *Análisis de Respuesta en Frecuencia (FRA)* . Montevideo.

ITM, S. M. (2017). *Manual de operación FRA de venable instruments*. MEDELLIN.

Ma, J.-K. S.-W. (2013). Li-Ion Battery Charging with a Buck-Boost Power Converter. *OPEN ACCESS ENERGIES*, TAIWAN.

MARCELA GONZÁLEZ VALENCIA, A. A. (2009). *Diseño estático de un convertidor DC/DC*. PEREIRA.

MARTINEZ, C. (2016). Convertidor DC/DC para aplicaciones fotovoltaicas. *CONVERTRONIC.NET*.

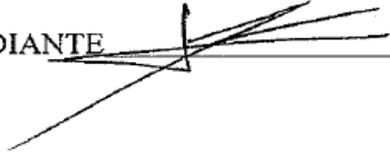
Rios, J. (2015). *ANALISIS DE LA RESPUESTA EN FRECUENCIA*. MARACAIBO .

Wikipedia Enciclopedia Libre. (22 de FEBRERO de 2018). *Wikipedia Enciclopedia Libre*. Recuperado el FEBRERO de 2018, de Wikipedia Enciclopedia Libre: https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Buck

Wikipedia Enciclopedia Libre. (20 de Febrero de 2018). *Wikipedia Enciclopedia Libre*. Recuperado el febrero de 2018, de Wikipedia Enciclopedia Libre: https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Boost

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ANEXOS.

FIRMA ESTUDIANTE 
FIRMA ASESOR: 
FECHA ENTREGA: <u>13-08-2018</u>

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____
ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA _____
RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___
ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____