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

ANÁLISIS DE RESPUESTA EN FRECUENCIA CON SISTEMA FRA

SERGIO MAURICIO MUÑOZ OSPINA

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Julián Peláez Restrepo

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

28/02/2017

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

RESUMEN

El objeto de este trabajo es demostrar que el FRA (Frequency Response Analyzer) funciona de manera exacta y adecuada para los filtros RC y RLC, además para analizar la función de transferencia de cualquier circuito o su diagrama de bode. A pesar de tener muchas más aplicaciones; el equipo debe empezar por un funcionamiento básico para pasar a aplicaciones mucho más avanzadas. A metodología usada para demostrar el buen funcionamiento del equipo fue experimental.

Se realizaron montajes y simulaciones de filtros por medio de aplicaciones como multisim y filterlab. De ellos se obtuvo una función de transferencia y diagramas de bode simulados para luego conectar el equipo FRA a la entrada y salida de los filtros y así obtener de manera real lo que se había simulado inicialmente.

Los resultados fueron comprobados por los docentes que precedían el trabajo y de igual manera fueron comparados en este mismo trabajo, resaltando el buen funcionamiento del equipo FRA en cuanto a los resultados obtenidos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

RECONOCIMIENTOS

Debemos realizar especial reconocimiento por su apoyo a los profesores Sergio Ignacio Serna, Julián Peláez Restrepo. Su conocimiento, apoyo y guía fue fundamental para lograr entender el funcionamiento del FRA. Asimismo al asistente de laboratorio Santiago Acevedo quien nos facilitó todos los elementos necesarios para realizar las practicas. A nuestras familias quienes fueron un soporte fundamental para poder llegar hasta el final de la entrega de producto de laboratorio. Al ITM por darnos un espacio de conocimiento que podemos aprovechar todos los estudiantes de la ciudad de Medellín.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

ACRÓNIMOS

En esta sección se listan los acrónimos, siglas, símbolos y abreviaturas propias, no halladas en diccionarios, que son utilizados en la escritura del reporte técnico. Deben incluirse como una lista sin viñetas, por ejemplo:

FRA Frequency Response Analyzer

CKT Circuito

FPB Filtro Pasa Bajo

FPA Filtro Pasa Alta

FPAncho Filtro Pasa Ancho

RC Resistencia y Capacitor

RLC Resistencia, bobina y capacitor

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

TABLA DE CONTENIDO

1. MARCO TEÓRICO	
2. METODOLOGÍA	
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	
4. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	
REFERENCIAS	
APÉNDICE.....	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Bode.	9
Figura 2. Imagen de filtro RC pasabaja.	10
Figura 3. Equipo FRA.	12
Figura 4. Parte posterior de conexiones del FRA.	13
Figura 5. Ventana de configuración de Windows para modelos de FRA.	14
Figura 6. Proceso para modelos 4XXX/6XXX/7XXX/8XXX y 350C.	16
Figura 7. Circuito RC para toma de datos.	19
Figura 8. Configuración barrido de datos.	20
Figura 9. Propiedades de toma de datos.	21
Figura 10. Función de transferencia medida en un filtro RC pasabaja.	22
Figura 11. Circuito RC.	23
Figura 12. Ingreso de valores en la ventana de simulación.	23
Figura 13. Valores de frecuencia, voltios, fase, nodo.	25
Figura 14. Datos tomados del análisis del circuito.	25
Figura 15. Ventana de cambios, nodo de salida, entrada y escala.	26
Figura 16. Datos graficados desde el modelamiento de datos para un filtro pasabajas RC. 27	
Figura 17. Filtro pasa alta en multisim.	28
Figura 18. Diagrama de bode para la ganancia.	29
Figura 19. Diagrama de bode para la fase.	29
Figura 20. Diagrama de bode filtro pasaalta FRA.	30
Figura 21. Filtro pasaalta con sus valores en filterlab.	31
Figura 22. Diagrama de bode más aproximado al comportamiento del FRA con filterlab ..	32
Figura 23. Filtro RC pasabanda.	33
Figura 24. Valores del filtro pasabanda.	34
Figura 25. Gráfica de ganancia vs fase.	35
Figura 26. Gráfica de filtro RC pasabanda con punto de intersección.	36
Figura 27. Ganancia Filtro pasabanda Multisim.	37

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

Figura 28. Fase filtro pasabanda multisim.....38

Figura 29. Valores del filtro pasabajo.....39

Figura 30. Diagrama de bode filtro RC pasabajo.40

Figura 31. Diagrama de bode circuito RC pasabajo con sistema FRA.....41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de valores para el circuito simulado.28

Tabla 2. Tabla de valores para elementos usados.35

Tabla 3. Tabla de valores del filtro pasabaja RC.....39

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

INTRODUCCIÓN

El FRA es un equipo analizador de respuesta de frecuencia utilizado para generar diagramas de bode, funciones de transferencia, reconocimiento de impedancias en un circuito electrónico. Debido a su complejidad no había sido aún utilizado a cabalidad y no se habían probado sus funciones, por lo tanto, se hacía necesario investigar cómo realizar las conexiones y ponerlo en funcionamiento. En si el FRA es un sistema de modelado de medidas y análisis de respuesta en frecuencia, en este equipo se toman medidas de ganancia, fase y voltaje contra frecuencia.

En este trabajo se aborda el funcionamiento paso a paso del equipo FRA, se realiza una descripción básica de como conectar el equipo, como leer y entender los gráficos además de cómo realizar circuitos básicos para entender el funcionamiento del sistema.

El primer objetivo es realizar un manual donde se indique paso a paso como trabajar con el equipo, haciendo una descripción del mismo con sus funciones y resultados.

Aprender a utilizar el equipo realizando filtros básicos para generar su diagrama de bode y función de transferencia.

Comparar las simulaciones con los valores reales obtenidos en el FRA y así comparar su funcionamiento.

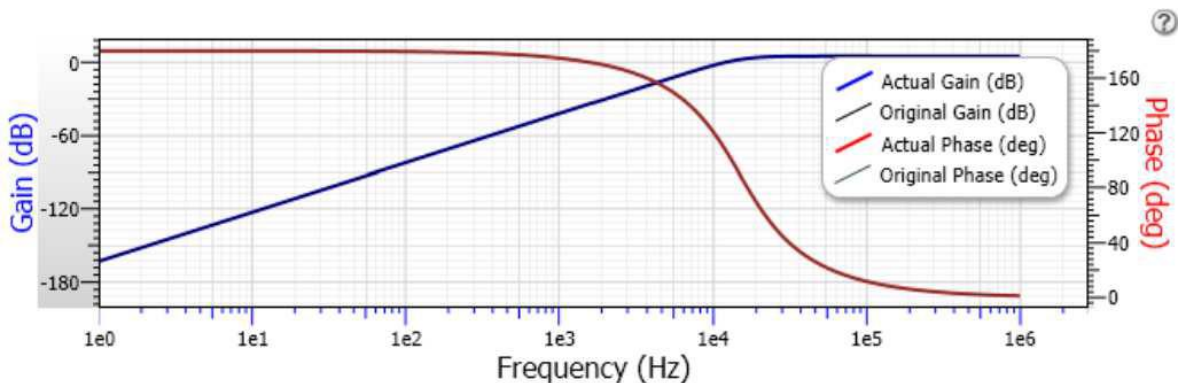
Aquí se abordan los temas de funcionamiento básico, conocimiento de un diagrama de bode, análisis de respuesta en frecuencia, como implementar un filtro y como hacer el uso del FRA para hallar funciones de transferencia.

1. MARCO TEÓRICO

Los conceptos principales a conocer en este producto de laboratorio son diagramas de bode, función de transferencia, análisis de respuesta en frecuencia y filtros RC o RLC.

Un diagrama de Bode es una representación gráfica 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 1. Diagrama de Bode.



Fuente: Simulación Filterlab.

Una función de transferencia es un modelo matemático que a través de un cociente relaciona la respuesta de un sistema (modelada) con una señal de entrada o excitación (también modelada). En dichos casos la función de transferencia se halla como la transformada de Laplace de señal de respuesta sobre la transformada de Laplace de la señal de entrada.

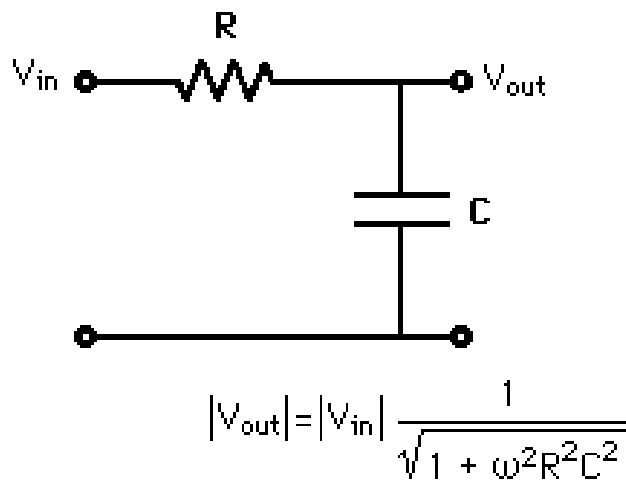
El análisis de la respuesta en frecuencia por el método de barrido frecuencial SFRA (Sweep Frequency Response Analysis) es una técnica de diagnóstico para detectar deformaciones y desplazamientos (entre otras fallas eléctricas y mecánicas) en filtros con amplificadores ideales. tal como se demuestra en este producto de laboratorio. Se realiza un

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

barrido de frecuencia que en nuestro caso es por décadas a través de la representación gráfica de la ganancia y la fase de los circuitos.

Filtro RC Paso Bajo es aquel que la reactancia capacitiva disminuye con la frecuencia, el circuito RC mostrado discrimina a las altas frecuencias. El circuito es un divisor de voltaje de CA con una salida que cae en las frecuencias altas a razón de 6 dB por octava.

Figura 2. Imagen de filtro RC pasabaja.



Fuente: Principios básicos de electrónica, calculo filtro RC.

Las fuentes que fueron tomadas como referencia para realizar este trabajo fueron:

Manual de operación FRA de venable instruments tomado de la página web:

<http://venable.biz/products/frequency-response-analyzers/model-6320-20mhz/>

Análisis de respuesta en frecuencia, Peter E. Wellstead & Marco Antonio Pérez Cisneros.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

2. METODOLOGÍA

La metodología realizada para poner en funcionamiento el FRA fue experimental pues se buscaron artículos de internet, información relevante sobre como conectar dicho dispositivo y no se halló mayor información al respecto. Es así como se llamó a proveedor “venable instruments” nos dieron varias indicaciones sobre cómo usar el dispositivo pero lo primordial fue que usáramos el manual de instrucciones. Se tomó el manual y se desglosó parte de la información provista en él. De manera experimental se hicieron simulaciones para interpretar como funcionaría el sistema, las conexiones y acondicionamiento del equipo están detallados entonces en este producto de laboratorio.

La persona que nos ayudó desde venable instruments es el ingeniero senior de staff Michael Gray con número telefónico 512-9493125.

Se utilizaron los implementos de laboratorio de parque I, fuentes de voltaje y corriente, Multímetro. De parte de los estudiantes se utilizaron software de diseño de filtros como filterlab, filterlab de national instruments, además de programas de simulación como psim y multisim.

Lo primero que se hizo fue instalar el software controlador de venable instruments para asegurar la conexión entre el PC y el mismo FRA. Luego se realizaron las conexiones provistas en el manual de funcionamiento como el sanity check y el filtro RC. Después de ello se comenzó con la simulación de filtros más completos para ser montados con el sistema FRA y conectarlos a la entrada y salida del circuito para así obtener su diagrama de bode.

Se pudo entonces comparar las simulaciones con los resultados del equipo encontrando que este funciona de manera correcta y sin mayores alteraciones.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Instrucciones de uso:

El FRA puede ser controlado de dos maneras:

- A través de un cable de USB utilizando los controladores proporcionados en el CD de Agilent versión 16.3 o versiones superiores. (La versión de Windows XP 64 bit no es soportada)
- A través de una tarjeta de national instruments GPIB que usa la versión 2.8.1 o la versión superior de national instruments NI488.2 usando controladores de Windows XP.

Figura 3. Equipo FRA.



Fuente: Venable – 5-3-4- Manual.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

Figura 4. Parte posterior de conexiones del FRA.



Fuente: Venable – 5-3-4- Manual

El software proveído en el CD contiene la interface de modelación para respuesta de frecuencia en circuitos AC. Los resultados de modelación y los resultados de prueba se encuentran en el mismo formato y pueden ser mostrados simultáneamente para fácil comparación.

Primero se debe instalar el software para Windows de venable.

Inserte el CD en la unidad de CD, luego presione el botón de instalar. Asegúrese de tener el número de serial del software a la mano y siga las instrucciones.

El software de venable está protegido contra la copia y uso ilegal. Para poder instalar el software debe primero activar la licencia del programa. En la instalación, el programa queda accesible desde el menú de inicio.

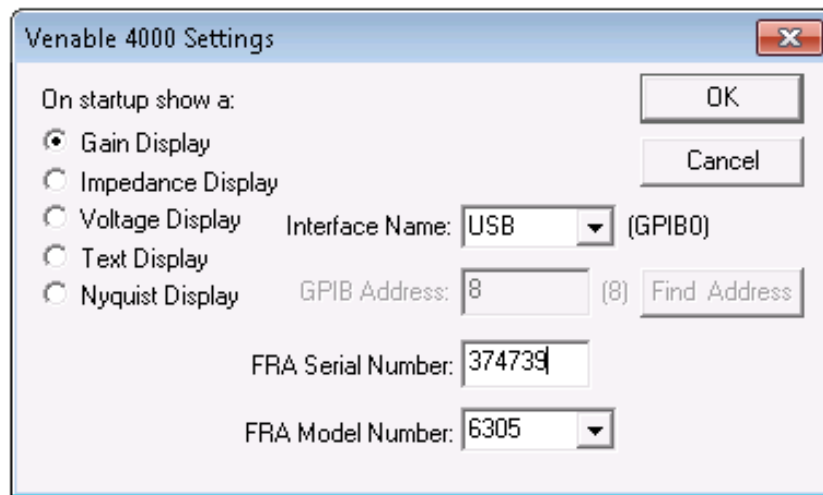
Inicio>Todos los programas>Licencia de software venable. Después que usted haya activado su primera licencia, este acceso directo es remplazado por otro acceso directo al software de venable correspondiente a esa licencia; en este caso usted puede iniciar el software de venable y escoger el menú, ayuda>licencias para luego presionar el botón de cambiar licencia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

Después de realizar los pasos de instalación del software puede conectar un cable USB al analizador. Conecte la otra punta del cable dentro de un puerto USB en el PC, luego encienda el analizador FRA.

Configure las opciones del software. Abra el software de venable: Inicio>menú>Programas>Seleccione el tipo de software de venable. Vaya a la opción de “view” en la barra de herramientas del programa y luego de click a la opción “settings”. Seleccione el nombre de la interface y escoja USB. Seleccione el número de modelo del FRA para finalizar ingrese el número de serie del analizador en la ventana para el número de serie del FRA.

Figura 5. Ventana de configuración de Windows para modelos de FRA.



Fuente: Venable – 5-3-4- Manual

Una vez se apaga la aplicación, los valores se almacenan en el registro.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

Procedimiento de instalación para un adaptador GPIB

Para la instalación del controlador se debe usar primero el CD que se encuentra en el manual del FRA. Este CD contiene el controlador para la conexión GPIB, cuando lo inserte en el PC este se iniciará de manera automática realizando la instalación requerida.

Siempre se debe instalar el controlador como primera medida de lo contrario el adaptador GPIB no funcionara.

Después de realizar el proceso de instalación del software se debe realizar una prueba básica para medir la salida del oscilador.

Este chequeo se llama “Sanity Check”. Esta es la mejor manera de verificar que el equipo funcione de manera adecuada.

1. Enganche el BNC a los minisujetadores que vienen con el sistema a la salida del oscilador y a cada una de las entradas del FRA. Conecte todos los minujetadores negros juntos y todos los rojos también.
2. Abra el software de venable y le da click en el botón “analyzer control” que se encuentra en

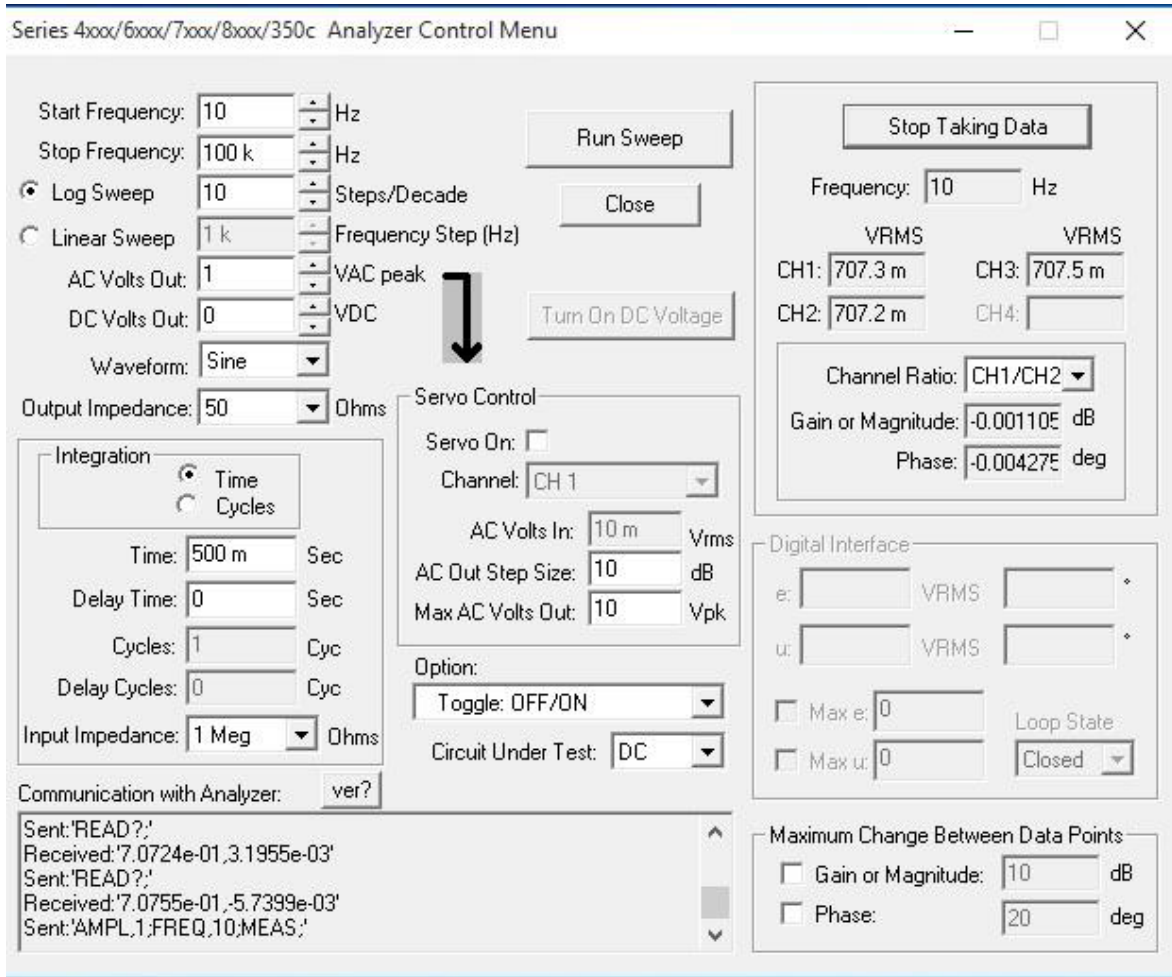


la barra de herramientas.

3. Seleccione la frecuencia de inicio a 10 Hz. Para otros modelos de FRA seleccione los voltios AC a 1 voltio pico, seleccione también la forma de la señal a “sine” seno. Dele click a “take data at start frequency”. La ventana en la parte inferior sombreada en gris deberá mostrar entonces los valores basados en el tipo de analizador.

Los datos tomados por el FRA serán mostrados en la comunicación con la venta del analizador como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 6. Proceso para modelos 4XXX/6XXX/7XXX/8XXX y 350C.



Series 4xxx/6xxx/7xxx/8xxx/350c Analyzer Control Menu

Start Frequency: 10 Hz
 Stop Frequency: 100 k Hz
 Log Sweep 10 Steps/Decade
 Linear Sweep 1 k Frequency Step (Hz)
 AC Volts Out: 1 VAC peak
 DC Volts Out: 0 VDC
 Waveform: Sine
 Output Impedance: 50 Ohms

Run Sweep
 Close
 Turn On DC Voltage

Stop Taking Data
 Frequency: 10 Hz
 VRMS CH1: 707.3 m CH3: 707.5 m
 VRMS CH2: 707.2 m CH4:
 Channel Ratio: CH1/CH2
 Gain or Magnitude: -0.00110E dB
 Phase: -0.00427E deg

Integration
 Time
 Cycles
 Time: 500 m Sec
 Delay Time: 0 Sec
 Cycles: 1 Cyc
 Delay Cycles: 0 Cyc
 Input Impedance: 1 Meg Ohms

Servo Control
 Servo On:
 Channel: CH 1
 AC Volts In: 10 m Vrms
 AC Out Step Size: 10 dB
 Max AC Volts Out: 10 Vpk
 Option: Toggle: OFF/ON
 Circuit Under Test: DC

Digital Interface
 e: VRMS
 u: VRMS
 Max e: 0 Loop State
 Max u: 0 Closed

Communication with Analyzer: ver?
 Sent: 'READ?.'
 Received: '7.0724e-01,3.1955e-03'
 Sent: 'READ?.'
 Received: '7.0755e-01,-5.7399e-03'
 Sent: 'AMPL,1,FREQ,10,MEAS;'

Maximum Change Between Data Points
 Gain or Magnitude: 10 dB
 Phase: 20 deg

3215 Analyzer Control Menu

Start Frequency: 10 Hz
 Stop Frequency: 100 k Hz
 Log Sweep: 10 Steps/Decade
 Linear Sweep: 1 k Frequency Step (Hz)
 AC Volts Out: 1 VAC peak
 DC Volts Out: 0 VDC

Input Coupling: AC
 Input Type Ch. 1: Main
 Integration Time: Medium
 Integration Cycles: 1
 Delay Time: 0 Sec

Communication with Analyzer:
 Sent: 'AMPLIT,1;FREQUE,10;GAINP'
 Received: '1.00000E1,6.94332E-1,6.9'
 Sent: 'AMPLIT,1;FREQUE,10;GAINP'

Run Sweep
 Stop Taking Data
 Close
 DC Voltage is On

Frequency: 10 Hz
 CH1: 694.3 m Vrms
 CH2: 694.4 m Vrms

Channel Ratio: CH2/CH1
 Gain or Magnitude: 0.000663 dB
 Phase: -0.02896 deg

Maximum Change Between Data Points
 Gain or Magnitude: 10 dB
 Phase: 20 deg

Servo Control
 Servo On:
 Channel: CH 1
 AC Volts In: 10 m Vrms
 AC Out Step Size: 10 dB
 Max AC Volts Out: 10 Vpk

350 Analyzer Control Menu

Start Frequency: 10 Hz
 Stop Frequency: 100 k Hz
 Log Sweep: 10 Steps/Decade
 Linear Sweep: 1 k Frequency Step (Hz)
 AC Volts Out: 1 VAC peak
 DC Volts Out: 0 VDC
 Waveform: Sine

Time Automatic
 Cycles
 Integration Time (secs): 1
 Delay Time (secs): 0
 Integration Time (Cycl): 1
 Delay Time (cycl): 0
 Automatic Channel: 1
 Automatic Mode: Short

Run Sweep
 Stop Taking Data
 Close
 DC Voltage is On

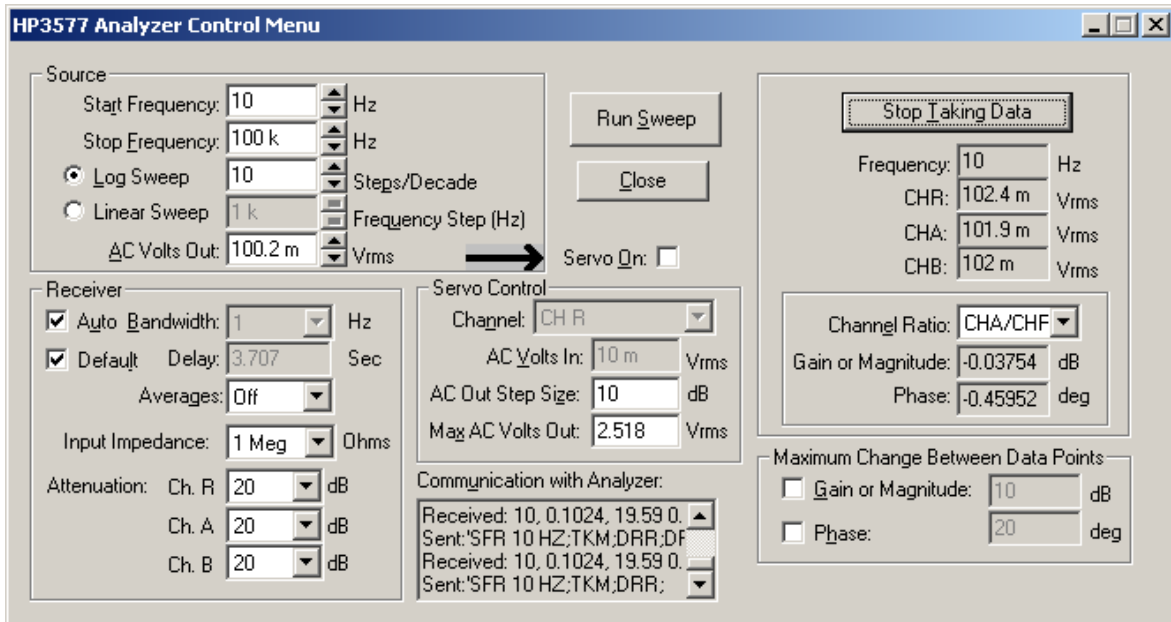
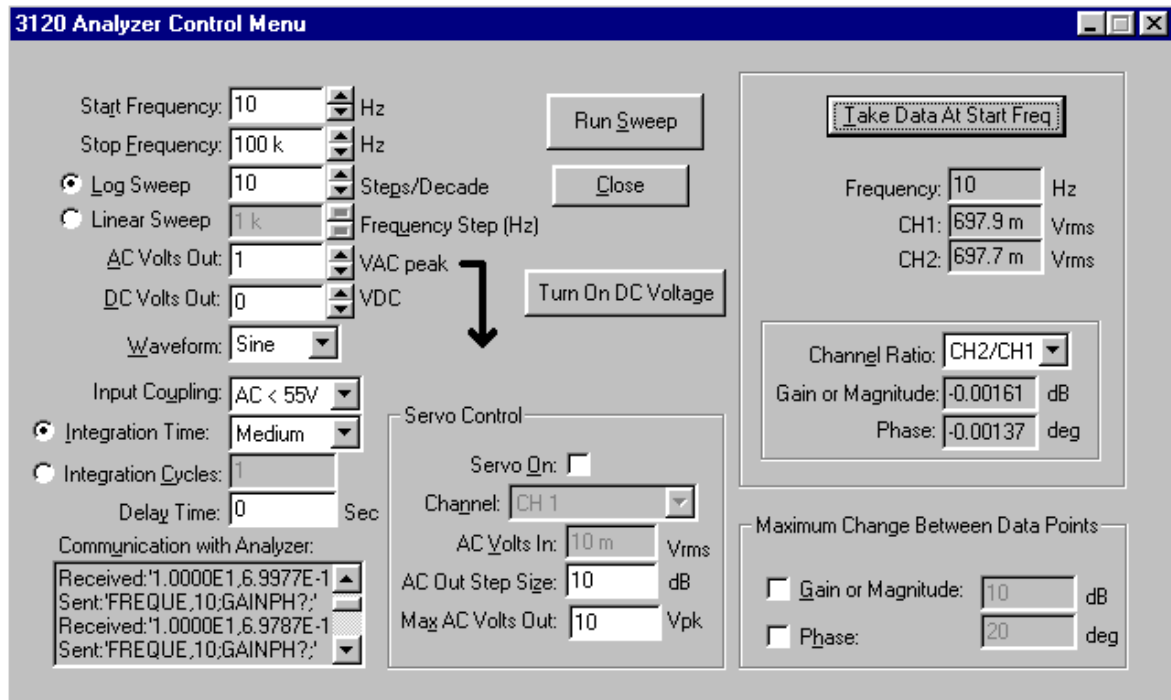
Frequency: 10 Hz
 CH1: 706.9 m Vrms
 CH2: 707.1 m Vrms
 CH3: 707.2 m Vrms

Channel Ratio: CH2/CH1
 Gain or Magnitude: 0.002825 dB
 Phase: 0 deg

Maximum Change Between Data Points
 Gain or Magnitude: 10 dB
 Phase: 20 deg

Servo Control
 Servo On:
 Channel: CH 1
 AC Volts In: 10 m Vrms
 AC Out Step Size: 10 dB
 Max AC Volts Out: 10 Vpk

Communication with Analyzer:
 Received: RV 7.0682E-01,DBV -3.01,DEG 0.00,OFR 10.00E+00, RV 7.070
 Sent: 'OFR 10;MSI.'
 Received: RV 7.0686E-01,DBV -3.01,DEG 0.00,OFR 10.00E+00, RV 7.070
 Sent: 'OFR 10;MSI.'



Fuente: Venable – 5-3-4- Manual.

Estas son las diferentes ventanas de datos que pueden mostrar por modelo de FRA.

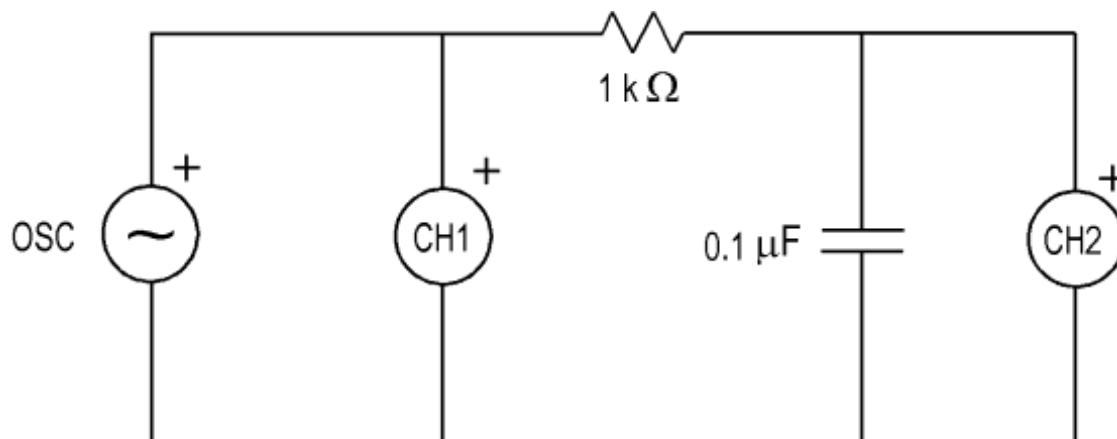
Si se muestran datos es porque el sistema está enganchado y trabajando correctamente.

Si el chequeo inicial funciona de manera correcta entonces se puede proceder con un circuito RC.

Medición de función de transferencia de un filtro pasabaja RC

Como medida inicial se debe tener conocimiento de un resistor y un capacitor, sus valores; luego conectarlos en serie. Usando los cables de la misma manera que los uso antes conecte la salida del oscilador y la entrada principal del canal 1 a través de ambas partes con la punta negra conectada al capacitor. Conecte los dos canales a través del capacitor con la punta negra al mismo lugar que las otras dos puntas. Calcule la frecuencia en la esquina del filtro con la fórmula $f = 1/2\pi RC$. También puede realizar esta tarea con una resistencia de 1 K y un capacitor de 0.1 uF, así la frecuencia en la esquina será de 1.6 KHz.

Figura 7. Circuito RC para toma de datos.



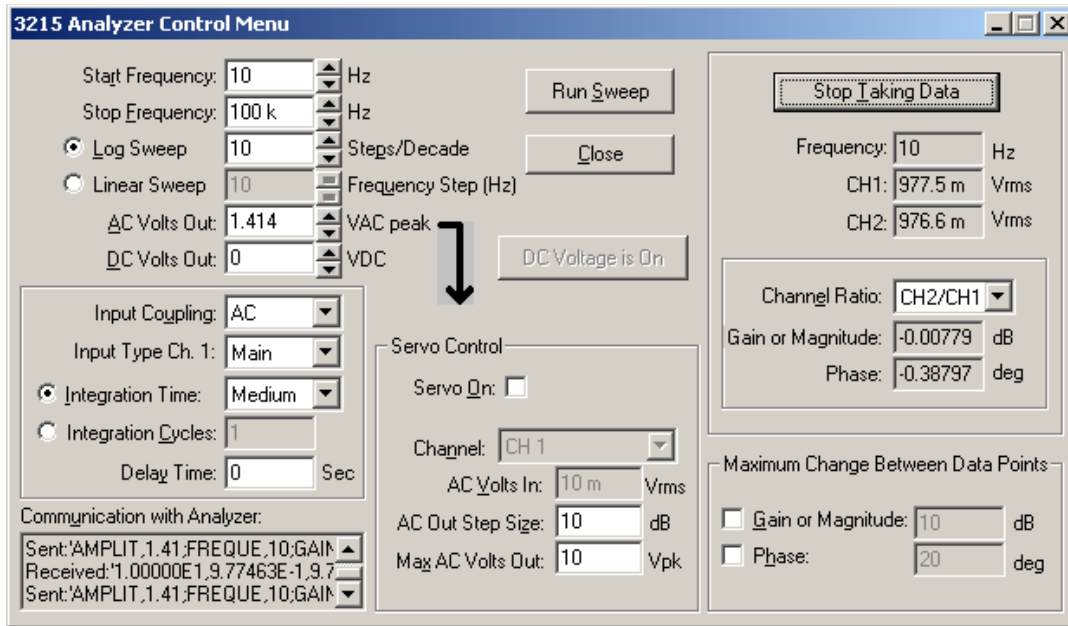
Fuente: Venable – 5-3-4- Manual

1. De nuevo de click en el botón de “analyzer control” para abrir la ventana de análisis de la herramienta. Seleccione el barrido desde aproximadamente 2 décadas por debajo de la frecuencia hasta aproximadamente 2 décadas por encima de la frecuencia. (10 Hz a 100 KHz si usted usa 1K y 0.1uF)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

En algunos modelos puede seleccionar el barrido a 10 pasos por década, 1.414 voltios pico AC o 1 Vrms, 0 voltios DC con un tiempo de integración medio y tiempo de retardo en 0.

Figura 8. Configuración barrido de datos.



Fuente: Venable – 5-3-4- Manual

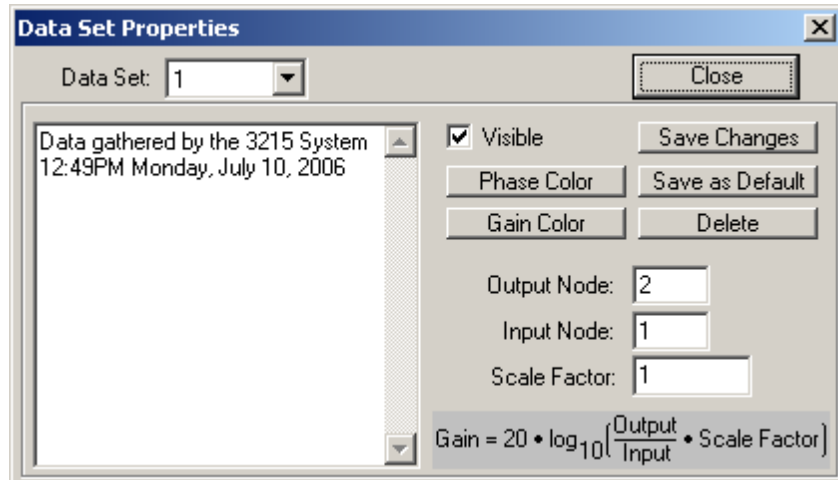
Dependiendo del modelo de FRA se deben realizar las configuraciones apropiadas para barrido, voltios DC, AC, tiempo integración, etc.

Después de escoger los valores selección “runsweep”

- Después de darle click a la opción “RunSweep” se abrirá la ventana de selección de propiedades dándole la opción de escoger el nodo de salida (número de canal), numero de nodo de entrada (número de canal) y factor de escala. Las configuraciones predeterminadas son nodo de salida=2, nodo de entrada =1, factor de escala = 1 serían los correctos para esta medida. Cuando usted ya ha seleccionado los valores dele click a cerrar (close).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

Figura 9. Propiedades de toma de datos.



Fuente: Venable – 5-3-4- Manual

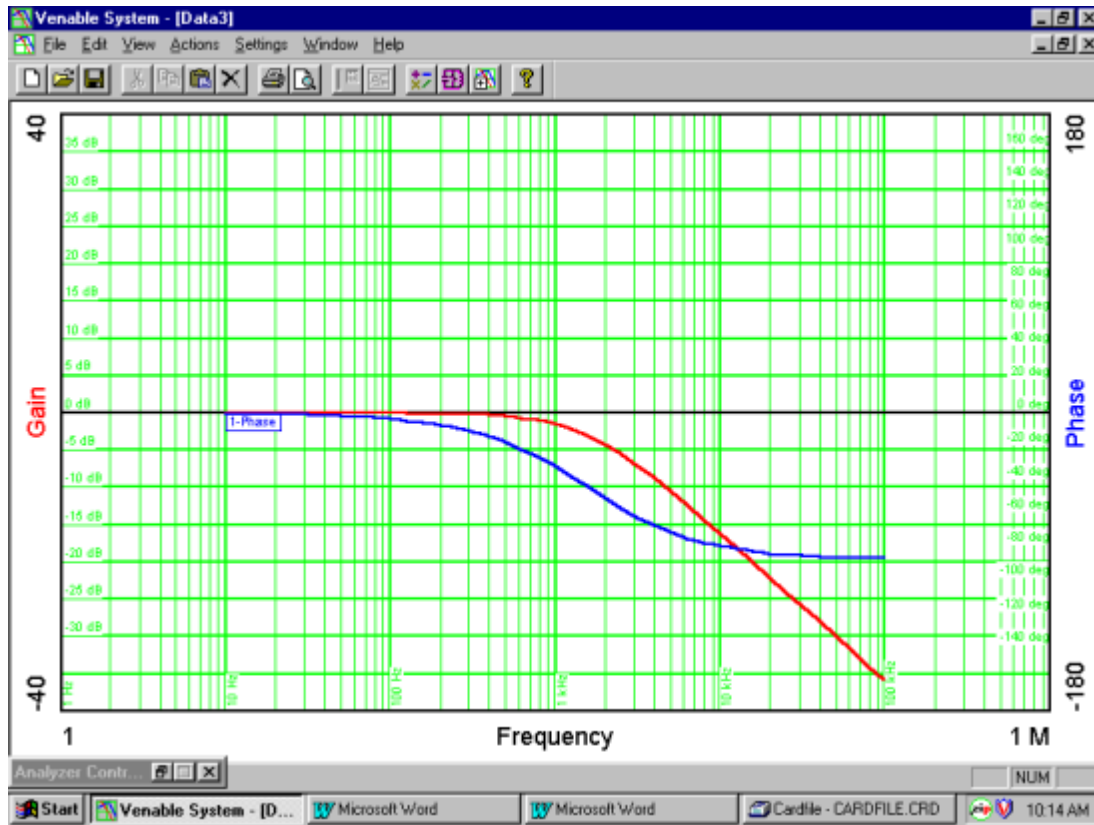
La ventana se cerrará y el analizador comenzará a tomar datos a través de los rangos de frecuencia seleccionados.

3. El barrido comenzará, la ventana de análisis del controlador no se minimizará de inmediato.

Usted puede mover la ventana o minimizarla para que observe el gráfico de la señal tomada en tiempo real. El gráfico de ganancia resultante deberá ser plano a 0 dB fuera de la frecuencia de ángulo, luego caerá a -20 dB por década, la fase deberá ser de 0 grados a baja frecuencia, -45 grados en el ángulo y asíntota cerca de los -90 grados a alta frecuencia.

Si esto trabaja es porque el equipo está conectado correctamente.


Figura 10. Función de transferencia medida en un filtro RC pasabaja.



Fuente: Venable – 5-3-4- Manual

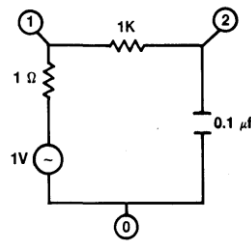
Cómo modelar la función de transferencia de un filtro pasabaja RC

Tomando como referencia la simulación anterior donde se uso una resistencia de 1K y un condensador de 0.1 uF. Para iniciar dicho proceso se debe dar click en el botón “error amps and

circuits”. 

Una vez vse abre la ventana después de presionar dicho botón debe seleccionar la opción “circuit (ckt) model”. Si aparece alguna información el cuadro de dialogo lo elimina e inserta los siguientes valores que corresponden al circuito de la figura.

Figura 11. Circuito RC.



Fuente: Venable – 5-3-4- Manual

Esquema de ingreso de valores en la ventana:

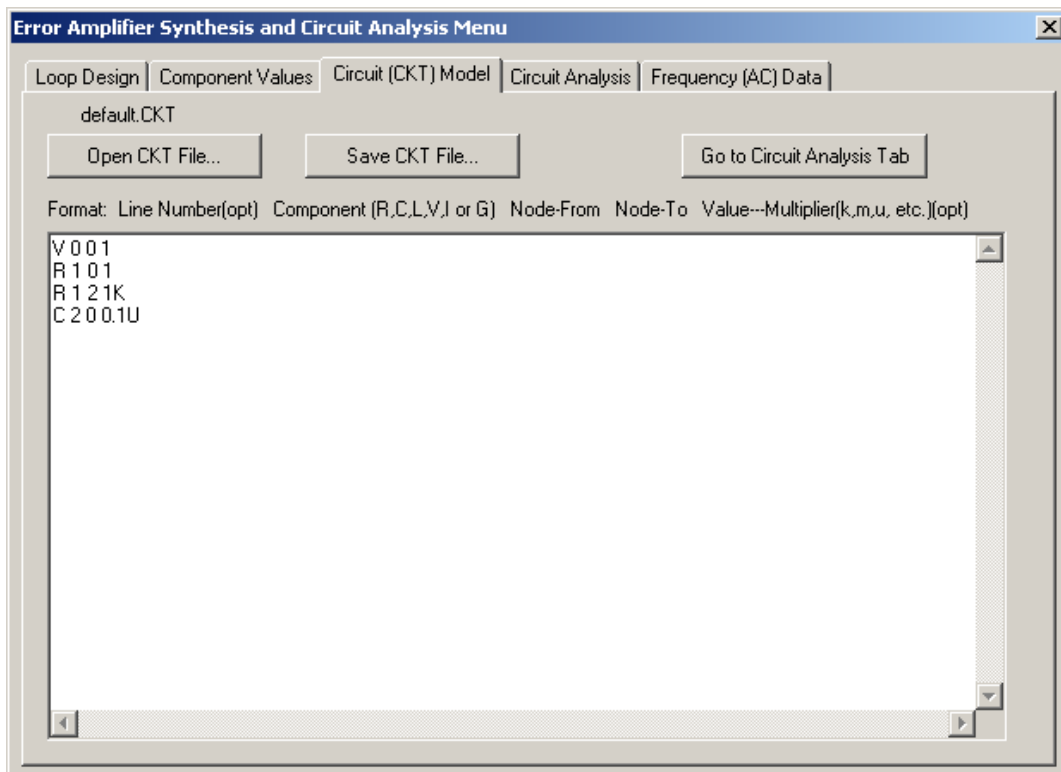
V 0 0 1

R 1 0 1

R 1 2 1 K

C 2 0 0.1U

Figura 12. Ingreso de valores en la ventana de simulación.



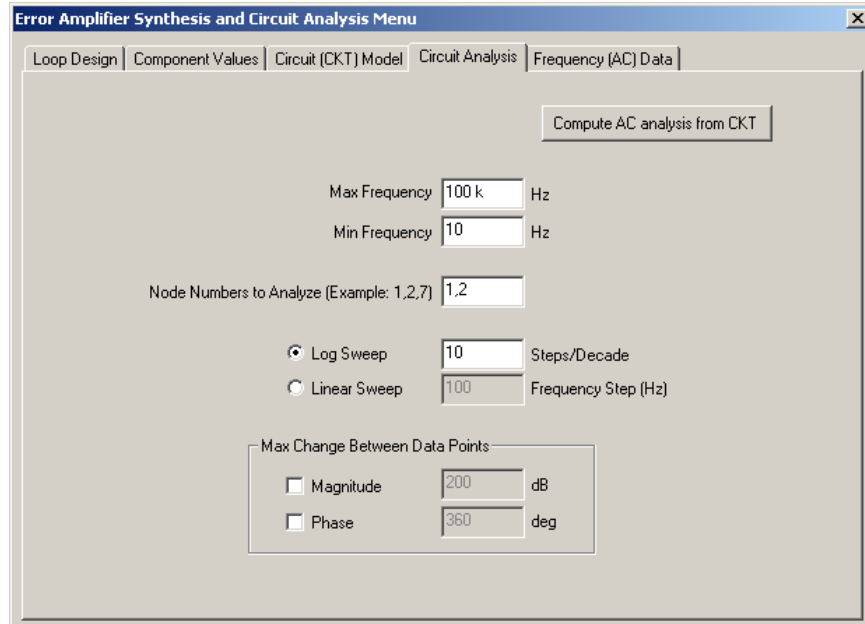
Fuente: Venable – 5-3-4- Manual

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

Las primeras dos líneas representan la fuente de voltaje fijo con una magnitud de 1 voltio y una resistencia interna de 1 ohm, conectado en el nodo 1 (nodo de entrada) al nodo 0 (tierra). LA tercera línea representa un resistor de 1 K conectado desde el nodo 1 hacia el nodo 2 (salida). La línea final, línea 4, representa el condensador conectado desde el nodo 2 (salida) al nodo 0 (tierra) con un valor de 0.1 microfaradios. El análisis será realizado desde el nodo 1 hasta el nodo 2. La resistencia interna de la fuente no tiene mayor relevancia desde que no afecte la magnitud del voltaje en los nodos 1 y 2.

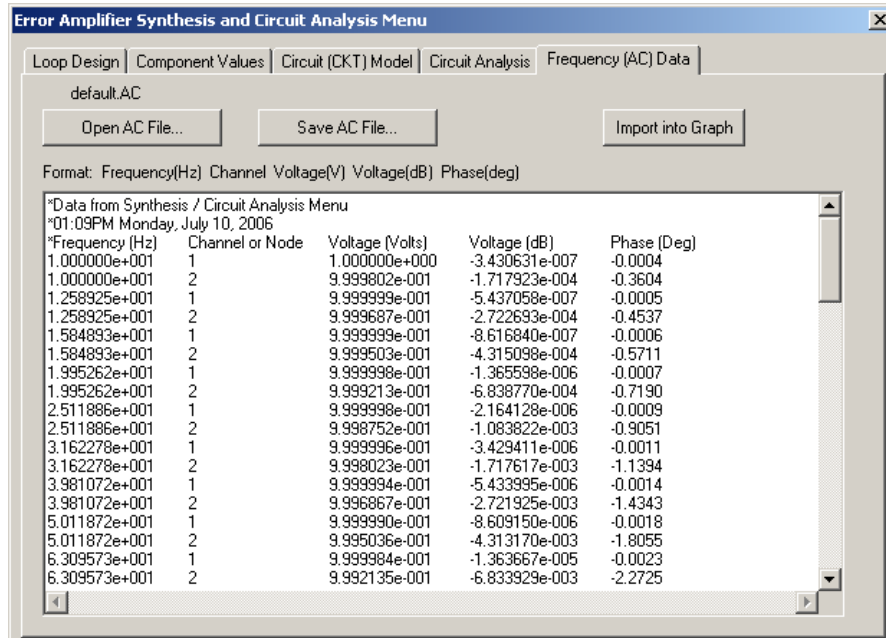
Después de haber ingresado los valores debe darle click al botón “go to circuit analysis tab”. Seleccione las frecuencias máxima y mínima deseadas. (Serian las mismas seleccionadas en el circuito anterior), el registro de barrido seria a 10 pasos por década; cuando todas las variables han sido correctamente ingresadas se debe presionar el botón “compute analysis from CKT”. De inmediato será enviado a la pestaña “frequency (AC) data” luego se le mostrara un texto en ASCII que tiene el formato estándar de venable con 5 columnas a saber: Frecuencia, numero de nodo, voltaje en voltios, voltaje en dB y fase en grados.

Figura 13. Valores de frecuencia, voltios, fase, nodo.



Fuente: Venable – 5-3-4- Manual.

Figura 14. Datos tomados del análisis del circuito.

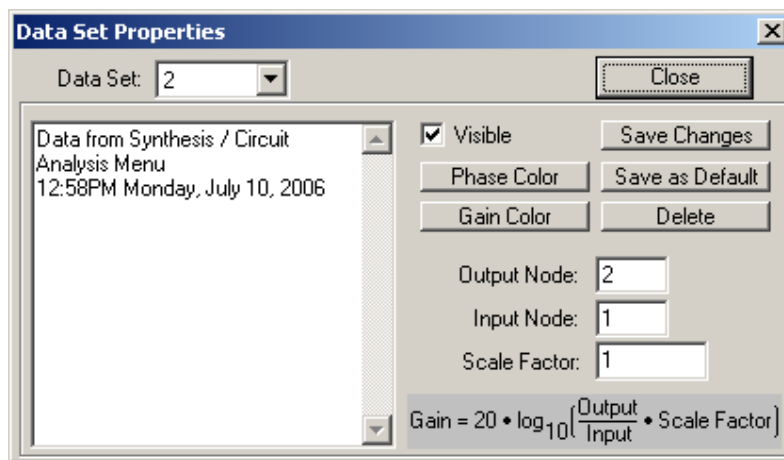


Fuente: Venable – 5-3-4- Manual

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

Después de haber realizado el análisis puede tomar tal información puede importar la información dando click en el botón “import into graph”. Ahí podrá observar la ganancia o la impedancia, se abrirá una ventana dándole la opción de escoger el número del nodo de salida, numero de nodo de entrada, y el factor de escala. Una vez usted escoja estos valores, guarde la información y cierre la ventana.

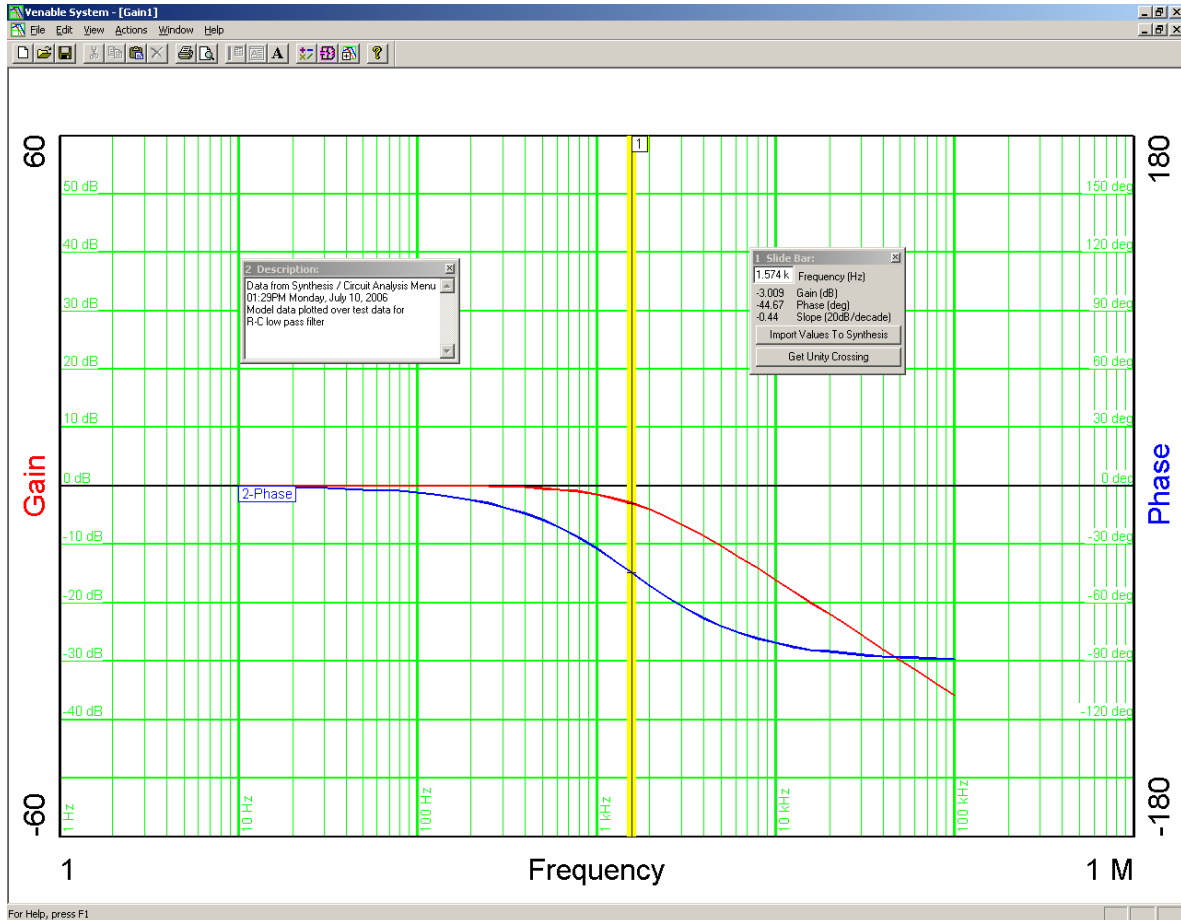
Figura 15. Ventana de cambios, nodo de salida, entrada y escala.



Fuente: Venable – 5-3-4- Manual

En el momento de guardar los cambios y cerrar la ventana entonces se mostrara la función de transferencia del filtro RC pasabaja.

Figura 16. Datos graficados desde el modelamiento de datos para un filtro pasabajas RC.

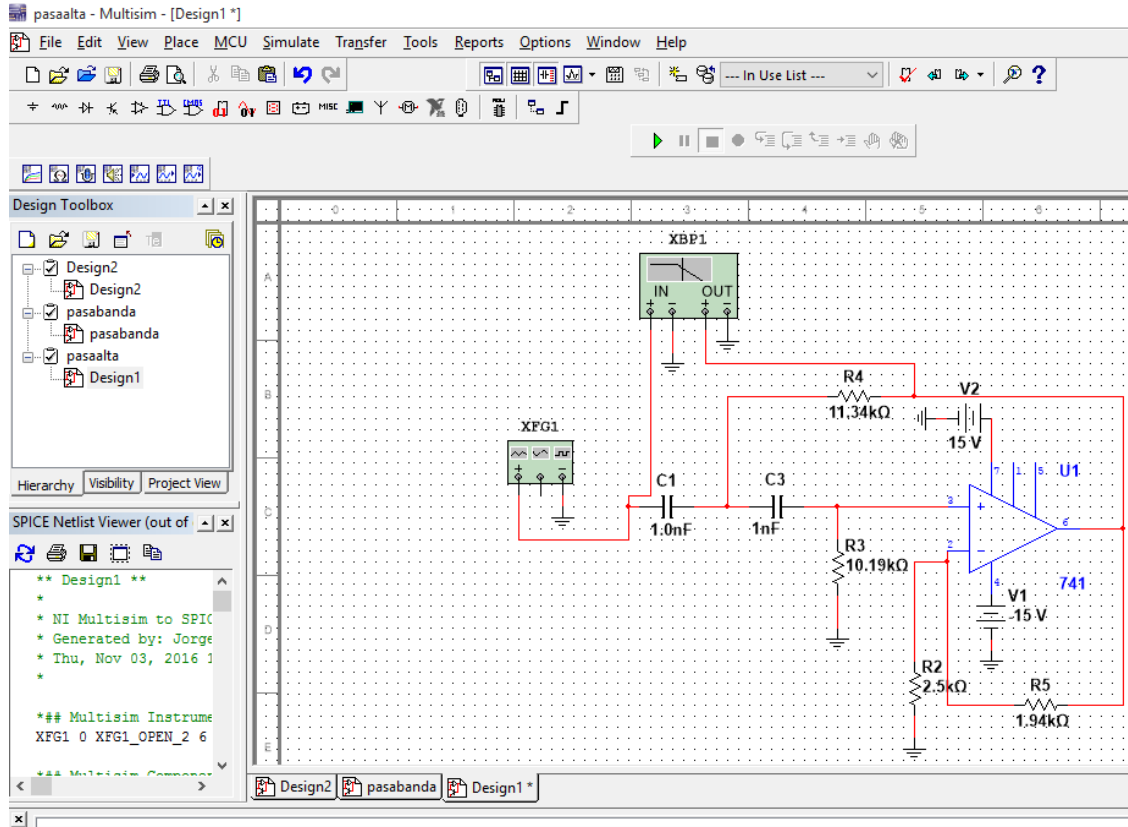


Fuente: Venable – 5-3-4- Manual

Para la verificación de la eficacia del FRA, se realizó el montaje de filtros pasabanda, pasaalta, pasabaja con topología sellen key y montaje RC. Además de un filtro pasabanda RLC.

Se realiza el montaje de un filtro pasaalta modelado en multisim con la siguiente configuración: El filtro pasaalta tenía una topología sellenkey, chebyshev de 0,5 dB, de orden 2, frecuencia de paso 10 kHz y frecuencia de ángulo calculada de 4,999 dB, ganancia de 1,778 V/V (4,999 dB).

Figura 17. Filtro pasa alta en multisim.



Fuente: Simulador multisim

Se realizó el montaje con condensadores de 1 nF, una fuente de alimentación de voltaje con 15 voltios, las resistencias fueron: R4 de 11,34KΩ, R3 de 10,19 KΩ, R2 de 2,5KΩ y R5 de 1,94KΩ.

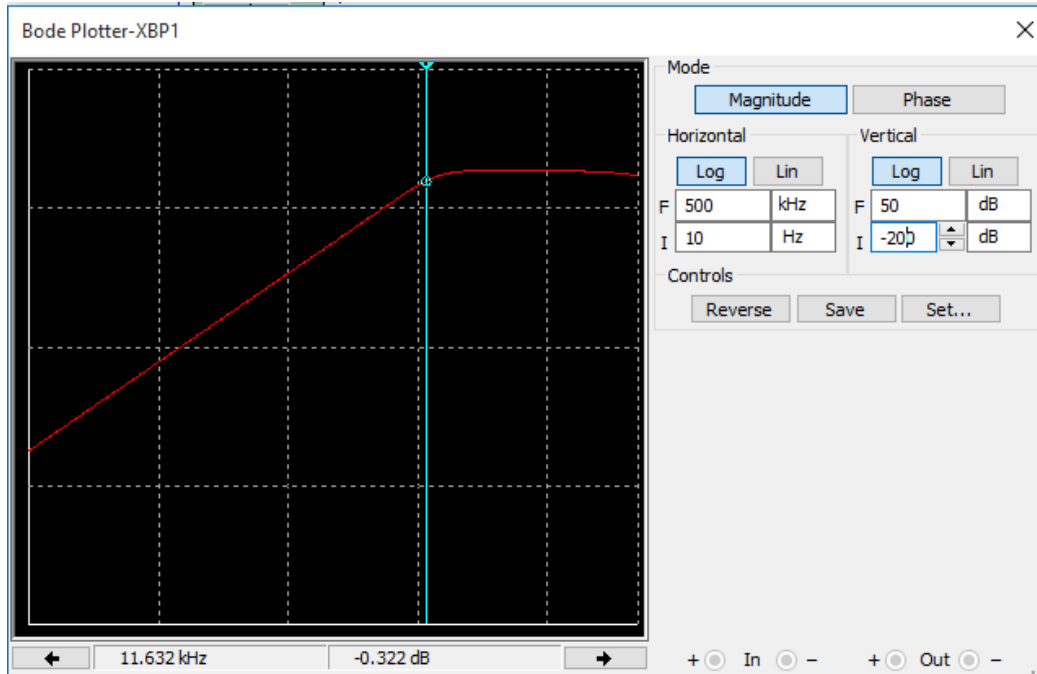
Tabla 1. Tabla de valores para el circuito simulado.

Id del elemento	Cantidad	Valor	Descripción
R1	1	10,9 KΩ	Resistor
R2	1	2,5 KΩ	Resistor
R3	1	11,34 KΩ	Resistor
R4	1	1,94 KΩ	Resistor
C1	1	1 nF	Capacitor
C2	1	1 nF	Capacitor
Amplificador operacional	1	Amplificador ideal	Amplificador ideal

Fuente: Simulación desde Filterlab.

De ello se obtuvo la siguiente curva en el simulador para el diagrama de bode.

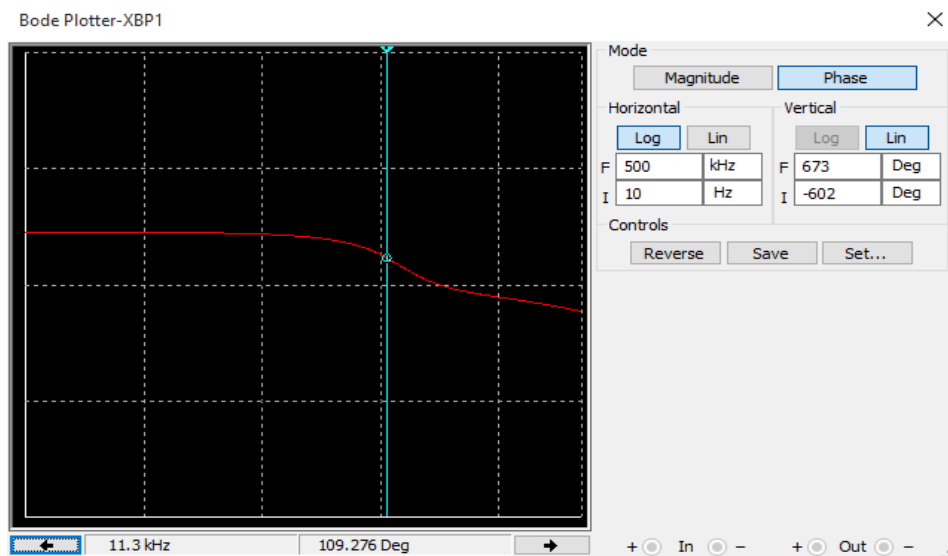
Figura 18. Diagrama de bode para la ganancia.



Fuente: Simulador multisim

Para la fase se obtuvo la siguiente gráfica:

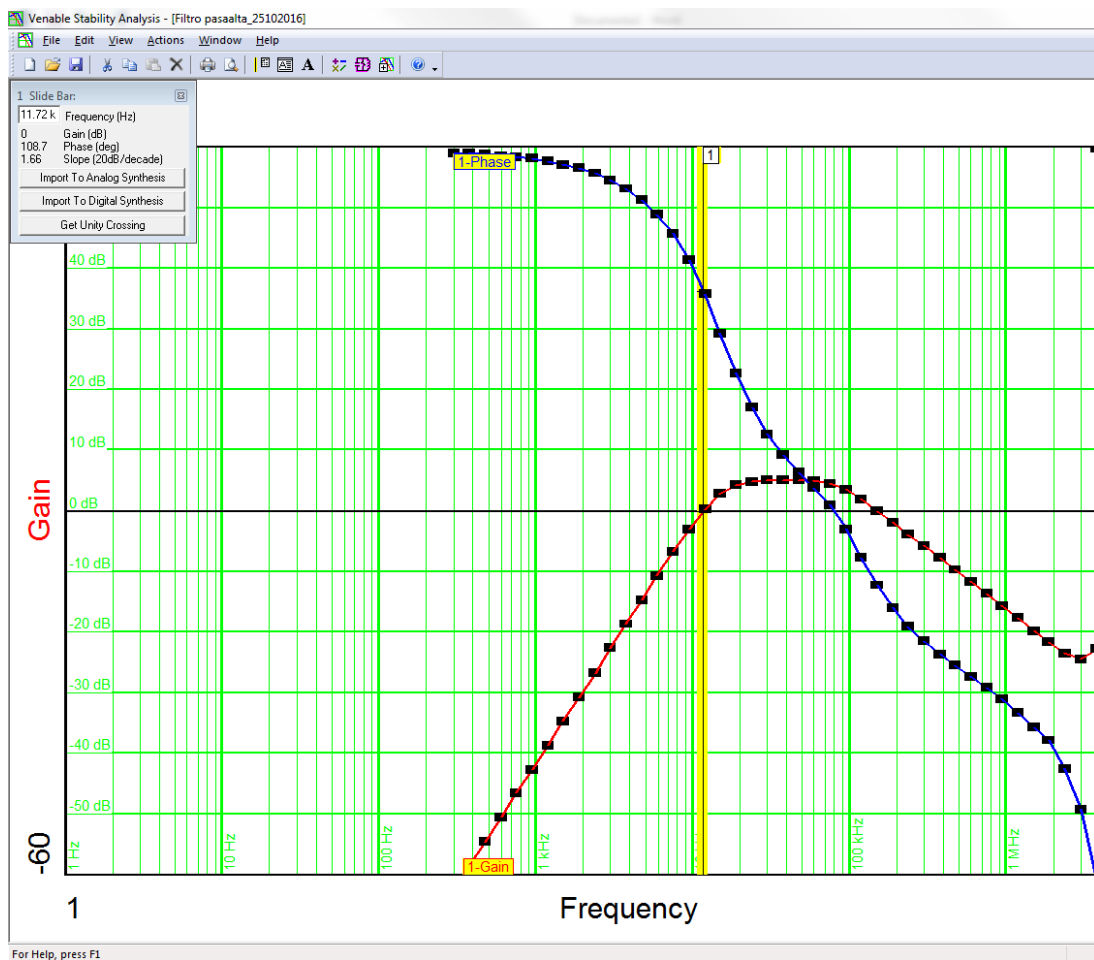
Figura 19. Diagrama de bode para la fase.



Fuente: Simulador multisim

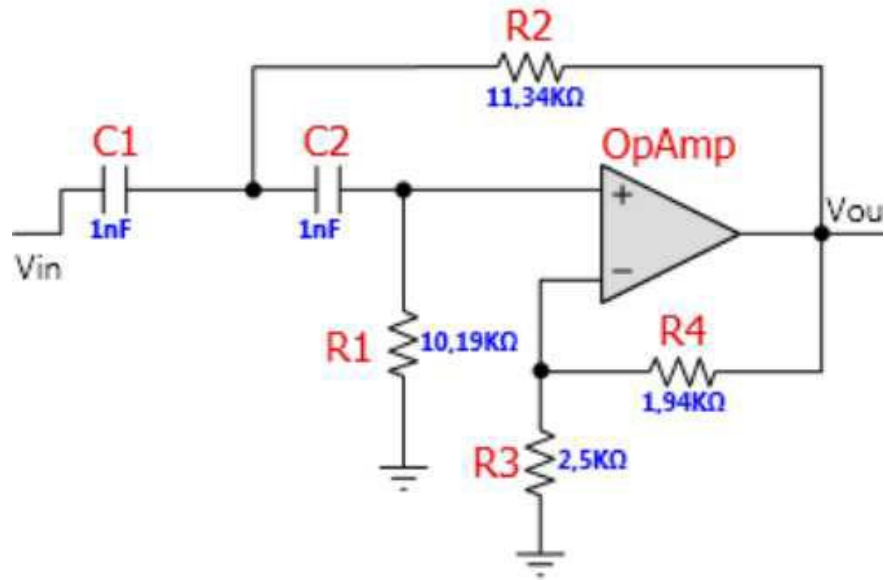
La comparación con el diagrama de bode mostrado por el FRA es coherente. Cabe anotar que como se hace referencia durante el inicio del procedimiento para exportar los archivos del FRA se puede hacer en la pestaña de “export”, esta opción nos exportará un archivo de extensión, el cual solo puede abrirse con la aplicación de visor de venable instruments.

Figura 20. Diagrama de bode filtro pasaalta FRA.



Fuente: Simulador FRA.

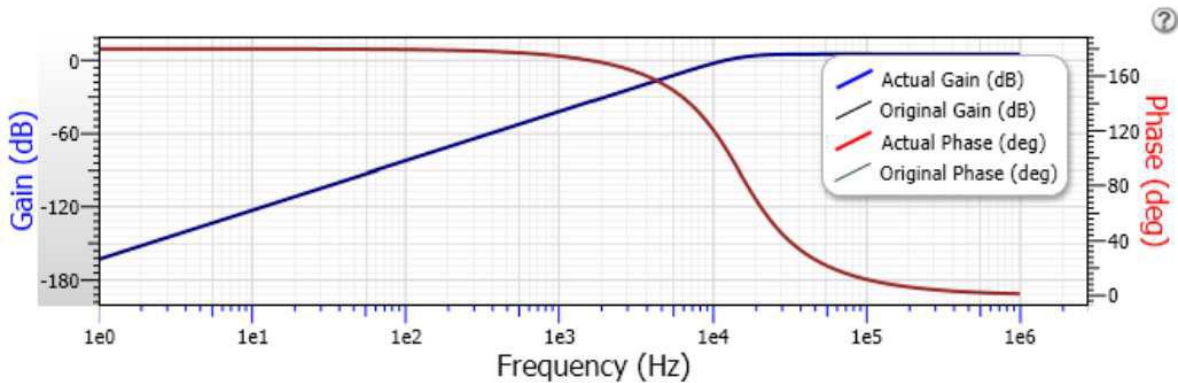
Figura 21. Filtro pasaalta con sus valores en filterlab.



Filter Stage: 1
 Passband Gain(Ao) : 1.778
 Cutoff Frequency(fn): 8,1212 kHz
 QualityFactor (Q): 0,864
 Filter Response: Chebyshev05dB
 Circuit Topology: SallenKey
 Min GBW reqd.: 1,2476 MHz

Fuente: Sumilador Filterlab.

Figura 22. Diagrama de bode más aproximado al comportamiento del FRA con filterlab



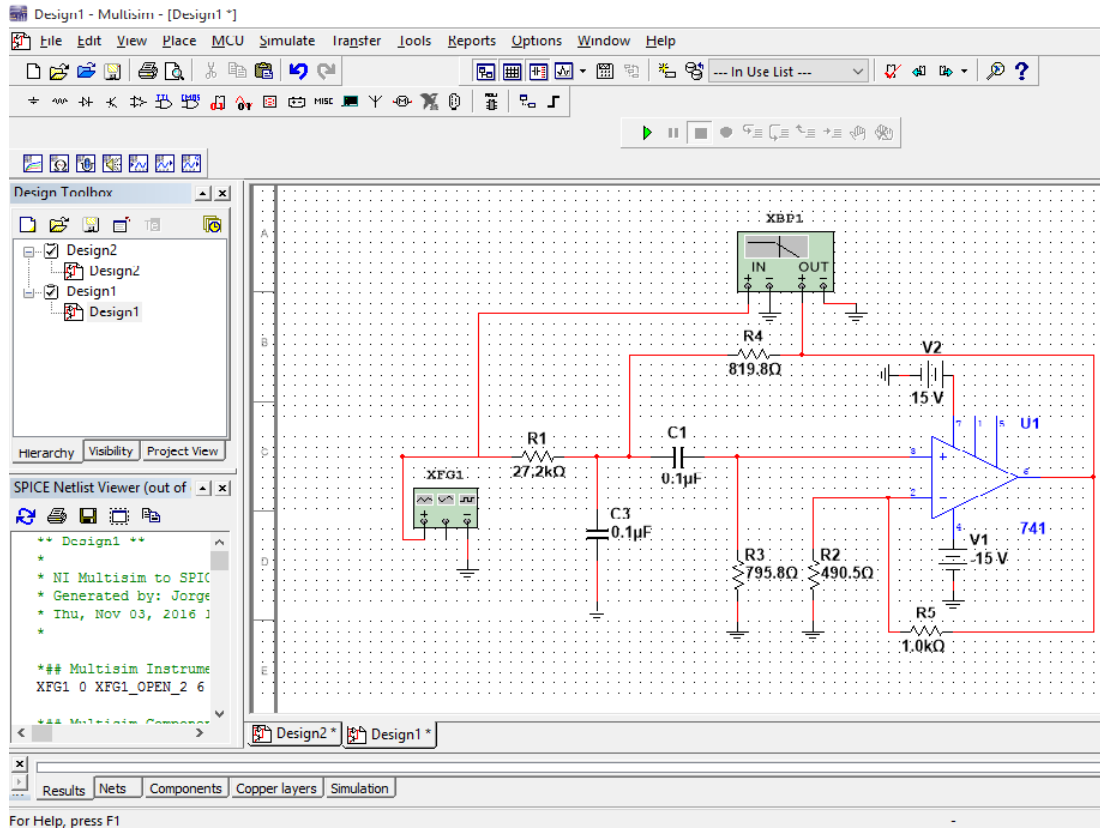
Fuente: Sumilador Filterlab.

De igual manera se utilizó el software de elaboración de filtro filterlab con el cual documentamos los valores tomados para el filtro y así hacer una analogía del comportamiento del FRA, dadas las condiciones el equipo FRA hace una elaboración del diagrama de bode más precisa pues tiene en cuenta perdidas en el circuito a tal punto que se deben llevar los elementos a valores casi exactos de montaje.

Filtro RC pasabanda

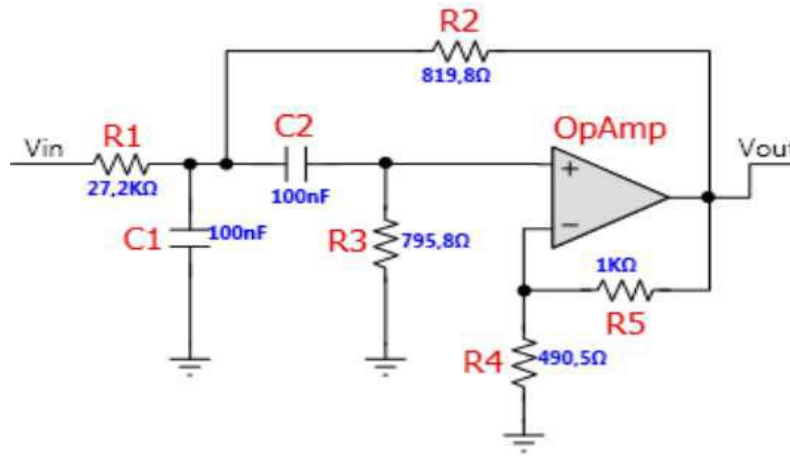
Este filtro fue construido con la topología sallenkey, chebyshev 0,5 dB, orden 2, ganancia 4,999 dB, onda pasabanda permitida 1 dB, frecuencia central 2 kHz, atenuación en la frecuencia de ángulo de 4,999 dB y ancho de banda pasabanda de 100 Hz.

Figura 23. Filtro RC pasabanda.



Fuente: Simulador multisim.

Figura 24. Valores del filtro pasabanda.

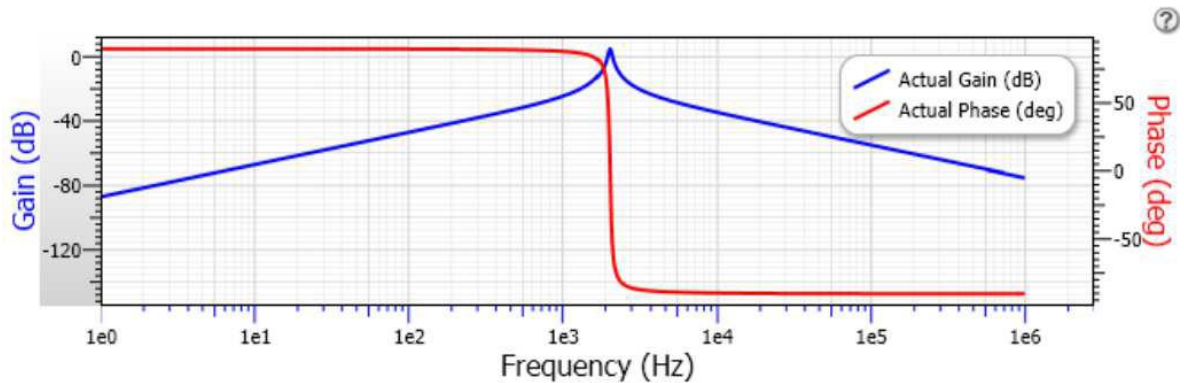


Filter Stage: 1
 Passband Gain(Ao) : 1.778
 Center Frequency (fo): 2 kHz
 QualityFactor (Q): 20
 Passband BW. (BW): 100 Hz
 Filter Response: Chebyshev05dB
 Circuit Topology: SallenKey
 Min GBW reqd.: 7,112 MHz

Fuente: simulador filterlab

En esta imagen se puede observar la gráfica de ganancia contra fase del diagrama de bode del filtro.

Figura 25. Gráfica de ganancia vs fase.



Fuente: Simulador filterlab

Tabla 2. Tabla de valores para elementos usados.

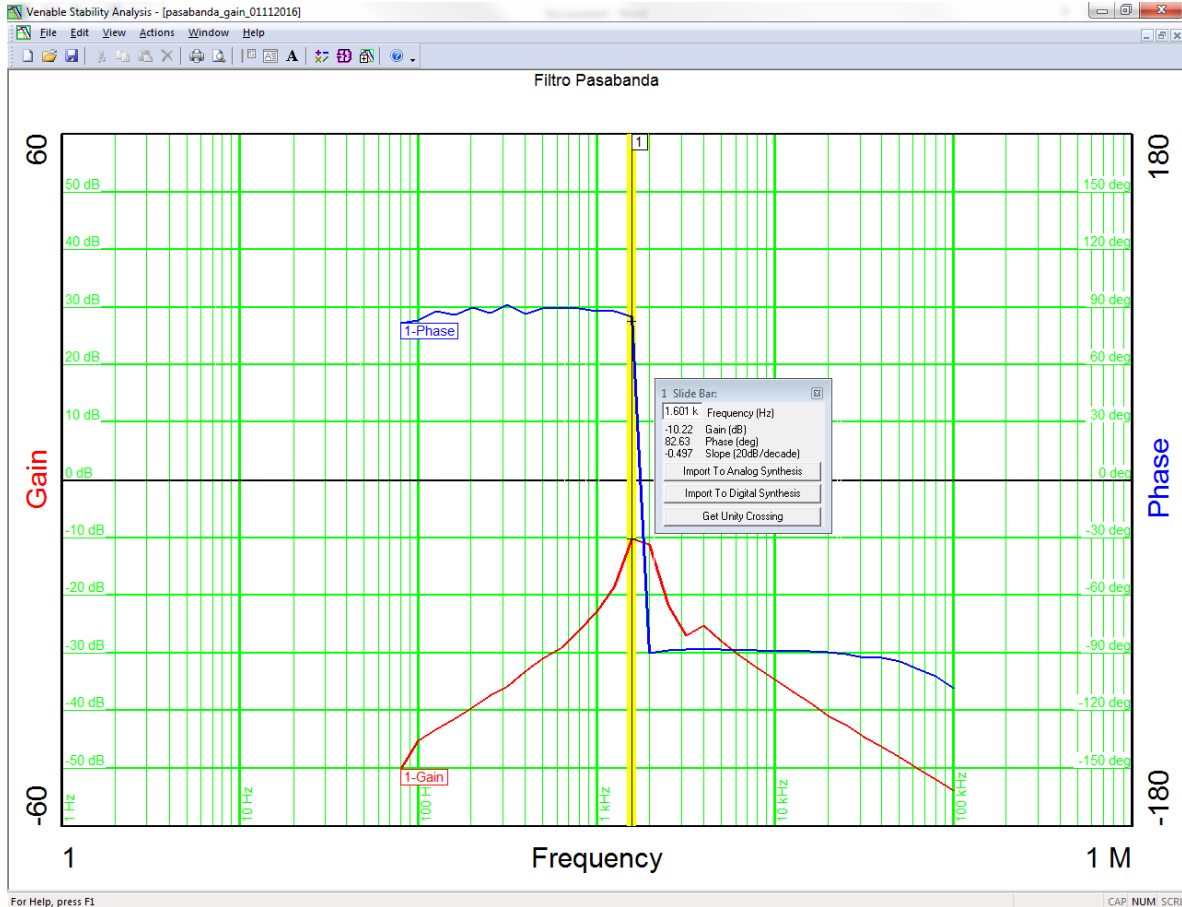
Id del elemento	Cantidad	Valor	Descripción
R1	1	27,2 K Ω	Resistor
R2	1	819,8 Ω	Resistor
R3	1	795,8 Ω	Resistor
R4	1	490,5 Ω	Resistor
R5	1	1 K Ω	Resistor
C1	1	100 nF (0,1 uF)	Capacitor
C2	1	100 nF (0,1 uF)	Capacitor
Amplificador operacional	1	Amplificador ideal	Amplificador ideal

Fuente: Simulación desde Filterlab.

Después de realizar la simulación se conectó el filtro a los canales 1 y 2 del FRA, así como el generador de frecuencia embebido en el FRA para obtener la siguiente gráfica de bode.

Los valores de graficación del FRA fueron desde 1 Hz hasta 1 MHz.

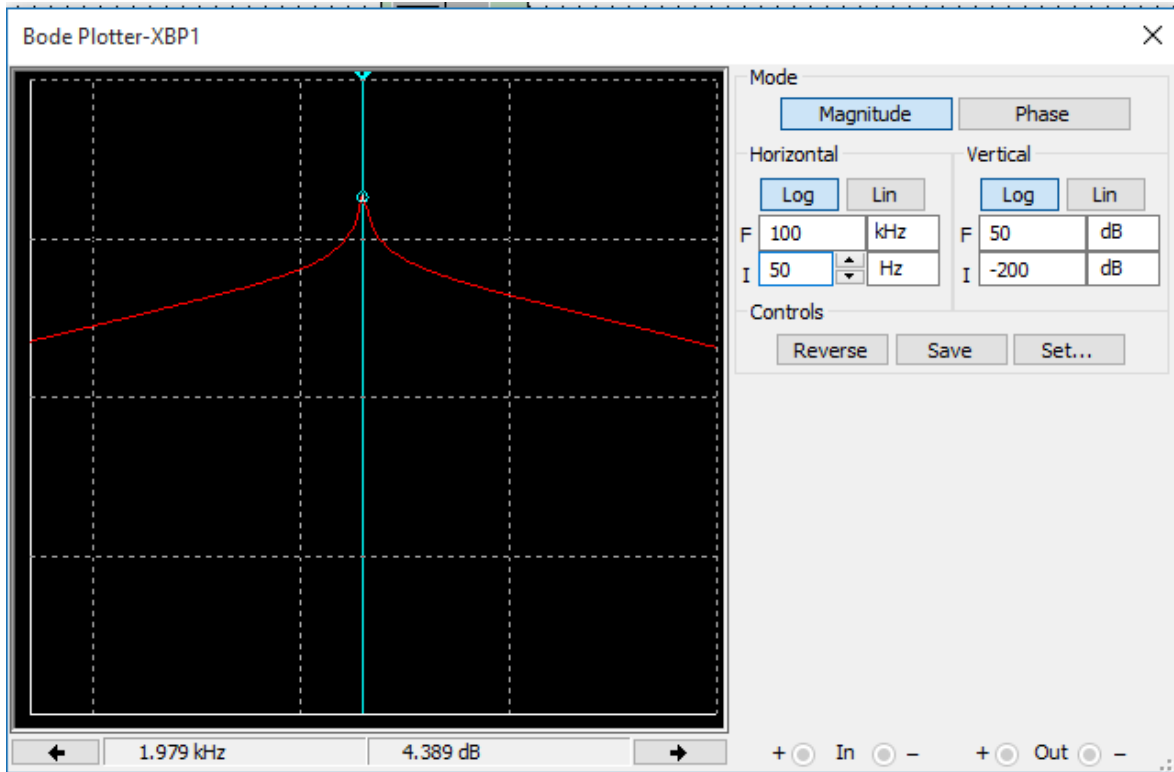
Figura 26. Gráfica de filtro RC pasabanda con punto de intersección.



Fuente: Simulador FRA.

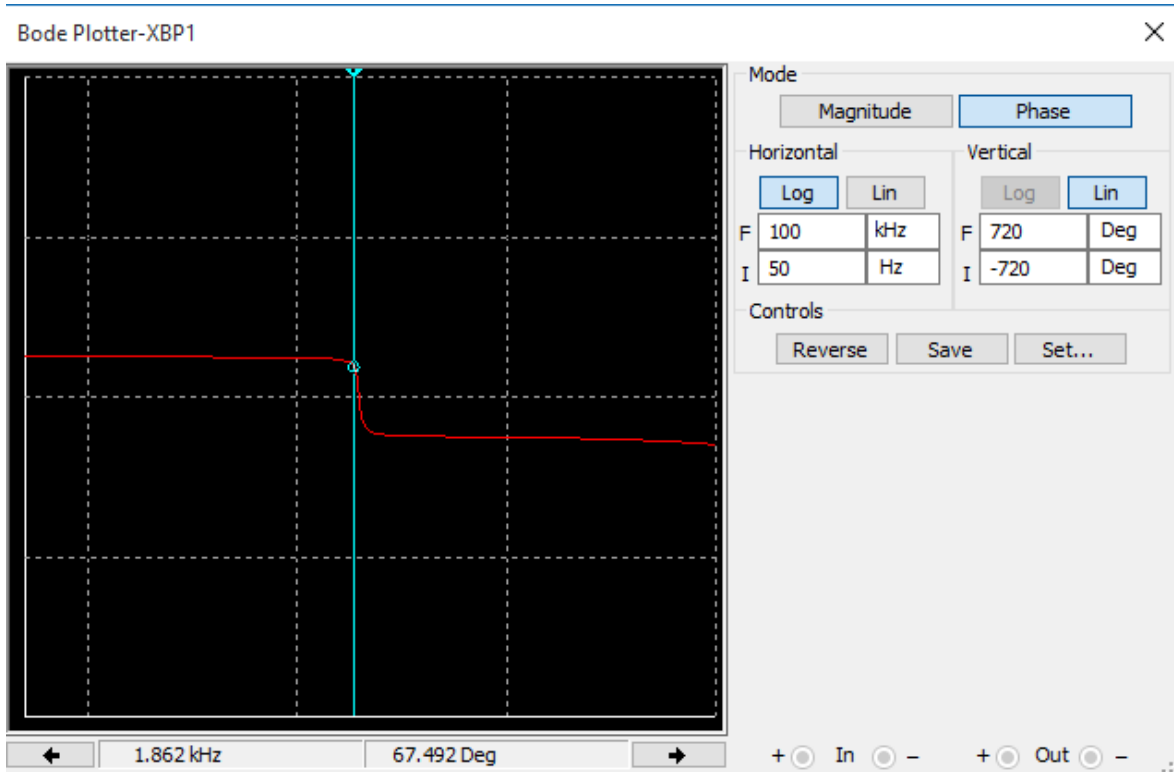
En esta gráfica y en las simulaciones se observa la correspondencia entre cada una de ellas. De igual manera se observa la ganancia y la fase como puede variar de acuerdo a los valores reales de los componentes físicos en la board.

Figura 27. Ganancia Filtro pasabanda Multisim.



Fuente: Simulador multisim

Figura 28. Fase filtro pasabanda multisim.

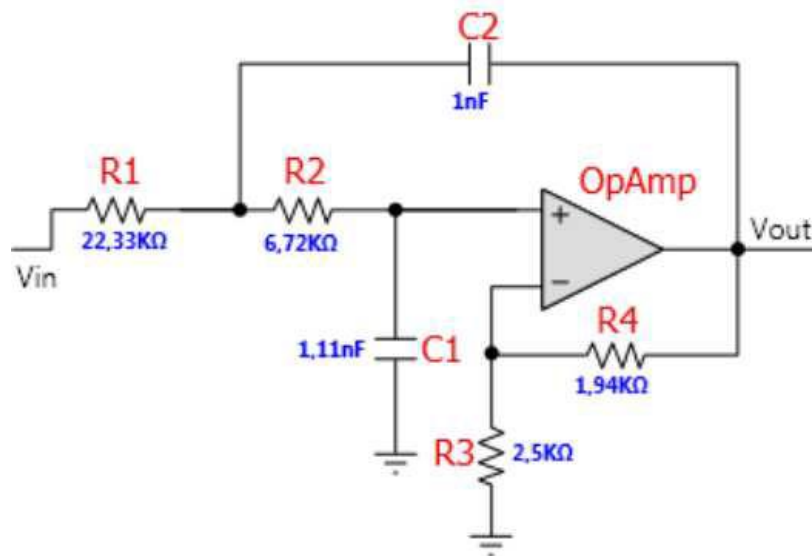


Fuente: Simulador multisim.

Filtro Pasabajo RC

El filtro pasabajo se diseñó con una topología sallenkey, chebyshev de 0,5 dB, orden 2, ganancia de 1,778 V/V, onda pasabanda permitida de 1 dB, frecuencia de paso de 10 KHz, frecuencia de atenuación en el ángulo de 4,999 dB.

Figura 29. Valores del filtro pasabajo.



Filter Stage: 1
 Passband Gain(Ao) : 1,778
 Cutoff Frequency (fn): 12,3134 kHz
 QualityFactor (Q): 0,864
 Filter Response: Chebyshev05dB
 Circuit Topology: SallenKey
 Min GBW reqd.: 1,8916 MHz

Fuente: Simulador filterlab.

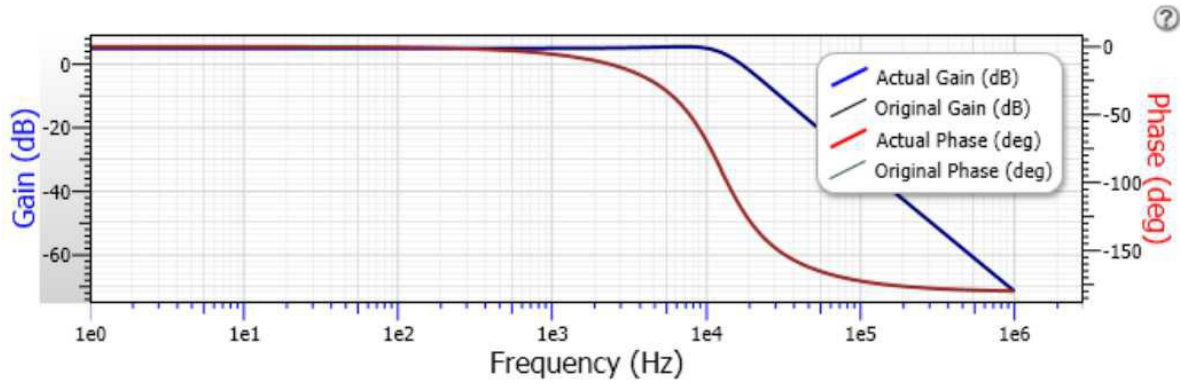
Tabla 3. Tabla de valores del filtro pasabaja RC.

Id del elemento	Cantidad	Valor	Descripción
R1	1	22,33 KΩ	Resistor
R2	1	6,72 KΩ	Resistor
R3	1	2,5 KΩ	Resistor
R4	1	1,94 KΩ	Resistor
R5	1	1 KΩ	Resistor
C1	1	1 nF	Capacitor
C2	1	1 nF	Capacitor
Amplificador operacional	1	Amplificador ideal	Amplificador ideal

Fuente: Simulación desde Filterlab.

Para esta topología se obtuvo la siguiente simulación del circuito en su diagrama de bode.

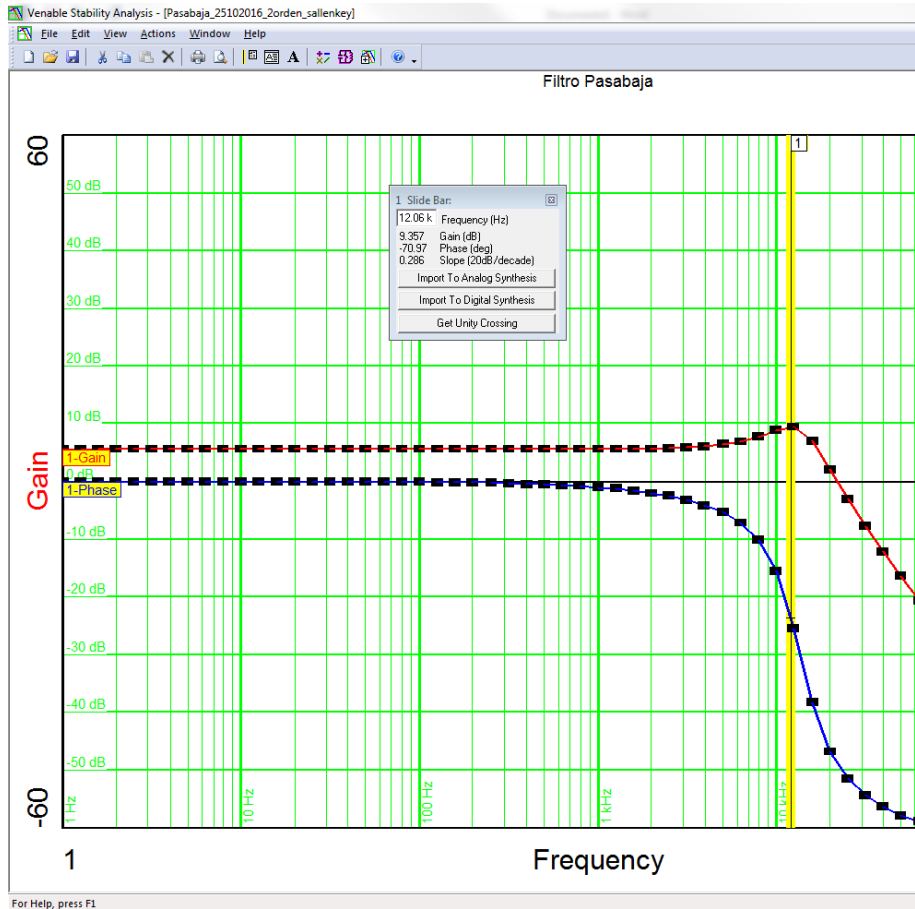
Figura 30. Diagrama de bode filtro RC pasabaja.



Fuente: Simulador filterlab.

Después de realizar la simulación se tomó el circuito físico y se obtuvo el siguiente diagrama de bode del equipo FRA.

Figura 31. Diagrama de bode circuito RC pasabajo con sistema FRA.



Fuente: Simulador FRA

Después de verificar las gráficas mostradas por el equipo FRA con respecto a las simulaciones en multisim y filterlab, se evidencia que el equipo funciona de manera apropiada para los diagramas de bode y función de transferencia en filtros RC.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

4. CONCLUSIONES,

RECOMENDACIONES Y TRABAJO

FUTURO

- Se prueba de manera satisfactoria el funcionamiento del equipo FRA a través de los diagramas de bode generados por el sistema y comparados con los simuladores de filtros usados para apoyar la teoría.
- 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 o su función de transferencia. Esta es una pequeña restricción al sistema pues puede variar la gráfica de manera mínima, pero podría hacerlo.
- Una recomendación inicial es primero conocer como conectar las puntas del equipo FRA, pues si no se conoce como van conectadas se podría generar un corto circuito o inclusive el daño del equipo.
- 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.
- Para el trabajo futuro se podría realizar las mediciones de impedancia en circuitos RLC, así como medición de funciones de transferencia en convertidores dc-dc. Estas mediciones se podrían obtener gracias a la fundamentación que se realiza en este trabajo de desarrollo de laboratorio.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

REFERENCIAS

Venable – 5-3-4- Manual for models 350a/350b/220/250/3120/3215/3225/3235/HP3577
and Series 43xx/51xx/63xx/74xx/88xx/350c.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

APÉNDICE

No aplica

FIRMA ESTUDIANTES



FIRMA ASESOR



FECHA ENTREGA: 28/02/2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO_ ACEPTADO____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES_____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2016-11-28

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____