

Capítulo 4. Análisis y discusiones de resultados con la plataforma implementada.

Una vez que el programa estuvo terminado, me di a la tarea de realizar cada una de las prácticas que componen el laboratorio de circuitos de RF. El banco de trabajo utilizado para realizar las prácticas consta de una fuente de poder, un multímetro y una computadora que a su vez contiene las tarjetas del generador de funciones y el osciloscopio.

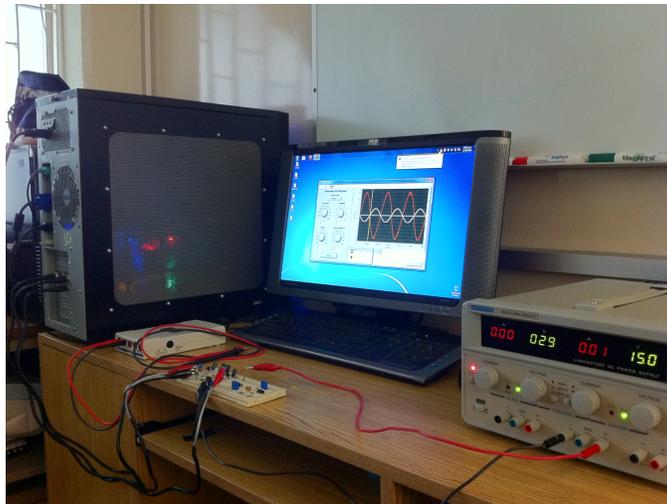


Figura 4.1 Banco de trabajo.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la realización de cada una de las prácticas.

4.1 Amplificador en configuración de emisor común.

La primer práctica corresponde al amplificador en configuración de emisor común; el circuito impreso utilizado para esta práctica se muestra en la figura 4.2.

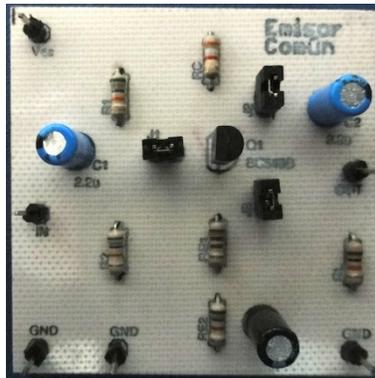


Figura 4.2 Circuito impreso emisor común.

Al elegir la práctica 1 se muestra la pantalla de presentación, en donde se observan el objetivo de la práctica, el procedimiento a seguir y una imagen del circuito a utilizar.

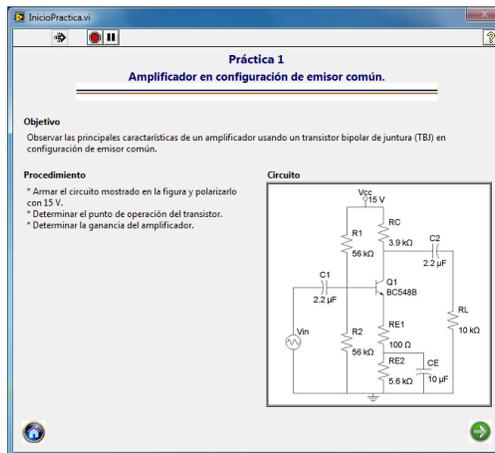


Figura 4.3 Presentación práctica 1.

Para medir el punto de operación del transistor se hace uso del módulo del multímetro, este módulo primero muestra una pantalla indicando el nombre de la medición y muestra cómo se deben conectar las terminales del multímetro al circuito; una vez realizada la medición se vuelve a mostrar la misma pantalla de medición, pero esta vez aparece el valor capturado por el multímetro. Este flujo se repite seis veces; tres para medir voltajes y tres para medir corrientes.

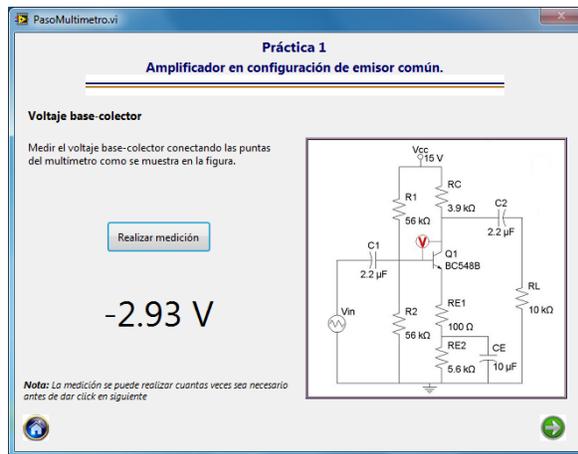
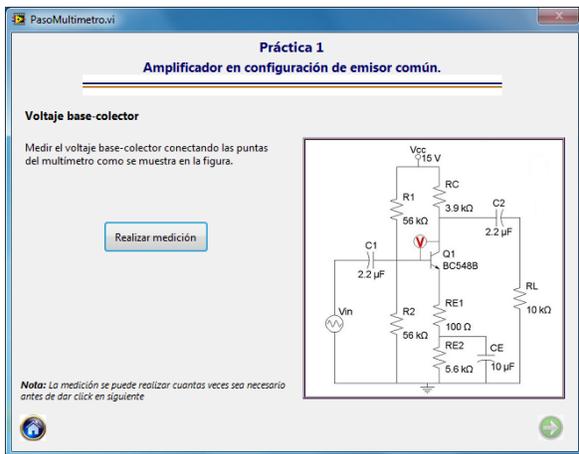


Figura 4.4 Pantalla Voltaje base-colector antes y después de la medición.

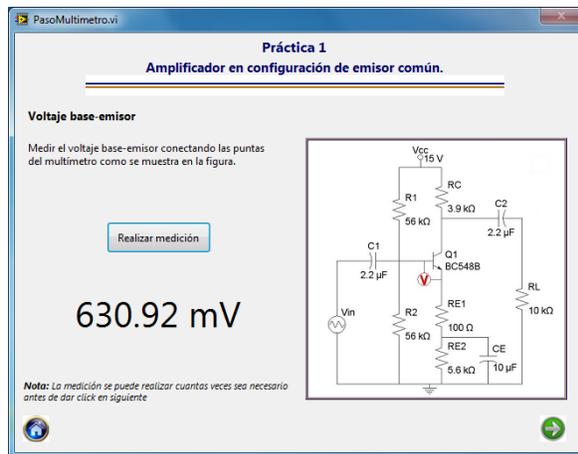
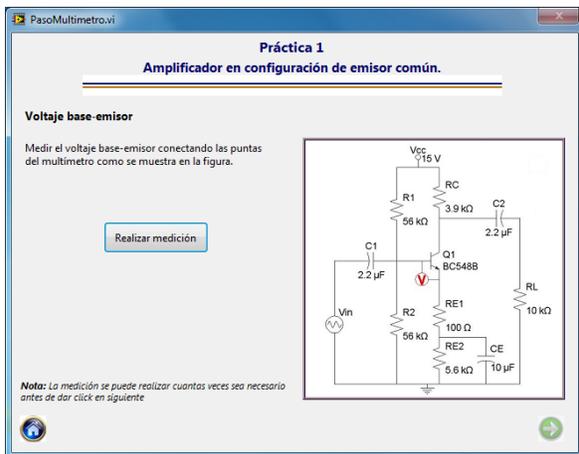


Figura 4.5 Pantalla Voltaje base-emisor antes y después de la medición.

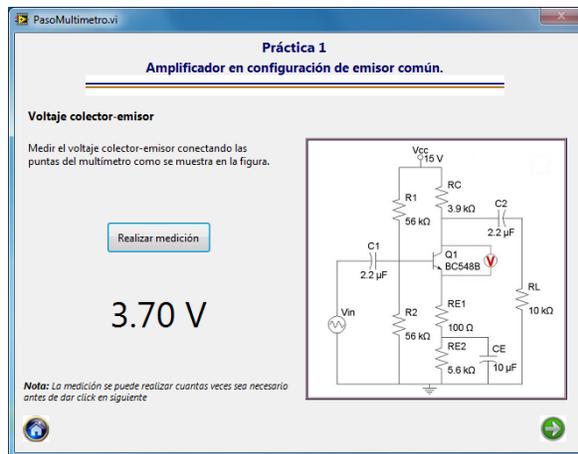
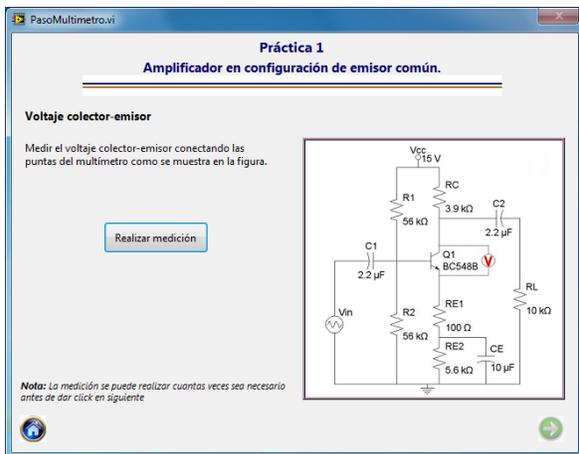


Figura 4.6 Pantalla Voltaje colector-emisor antes y después de la medición.

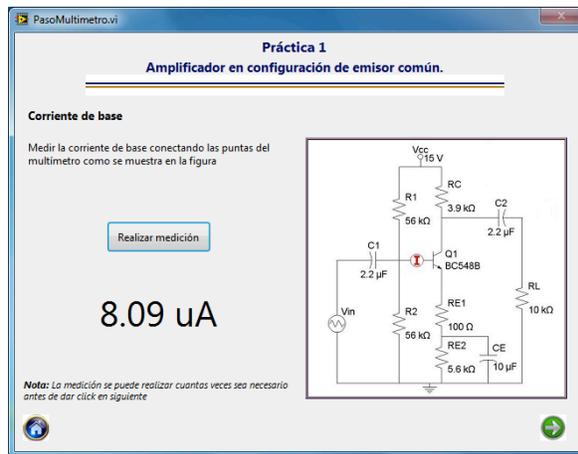
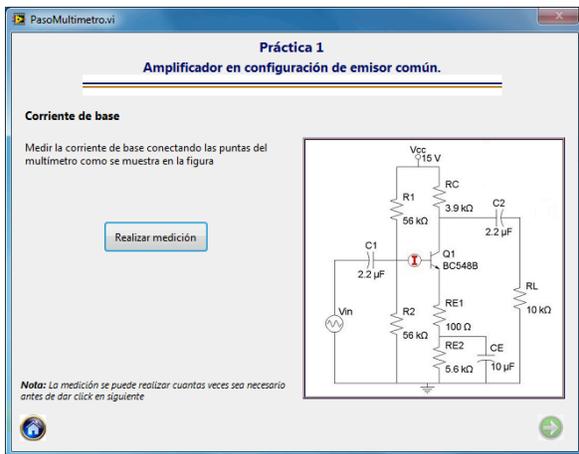


Figura 4.7 Pantalla corriente de base antes y después de la medición.

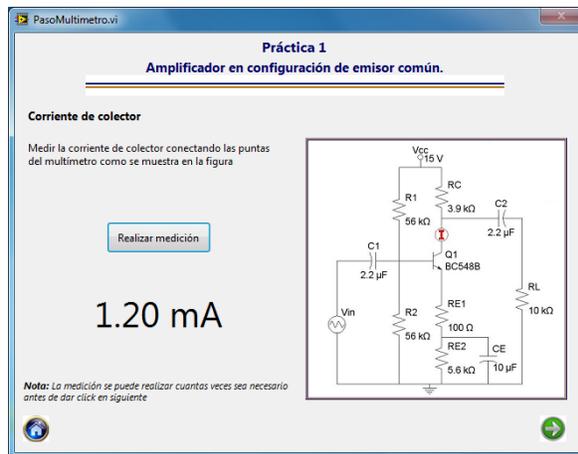
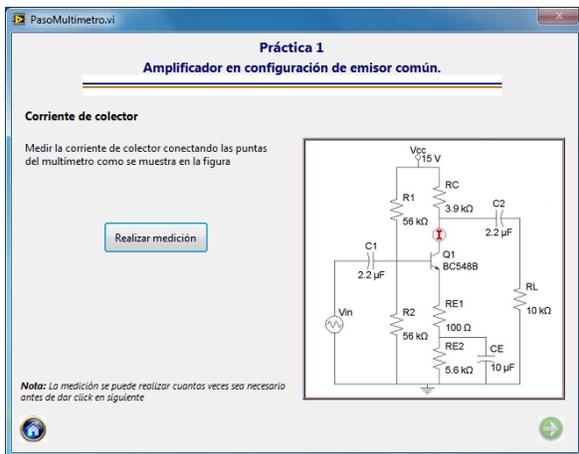


Figura 4.8 Pantalla corriente de colector antes y después de la medición.

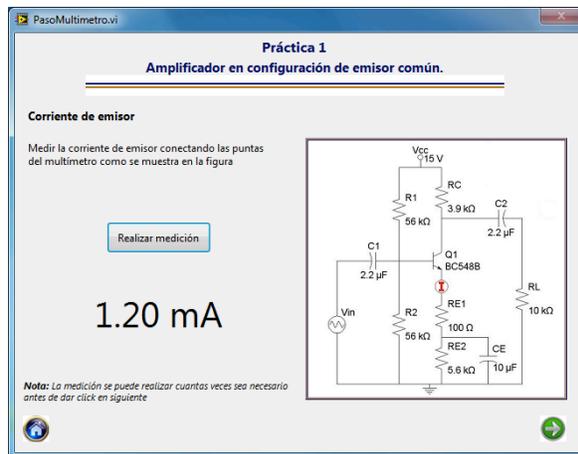
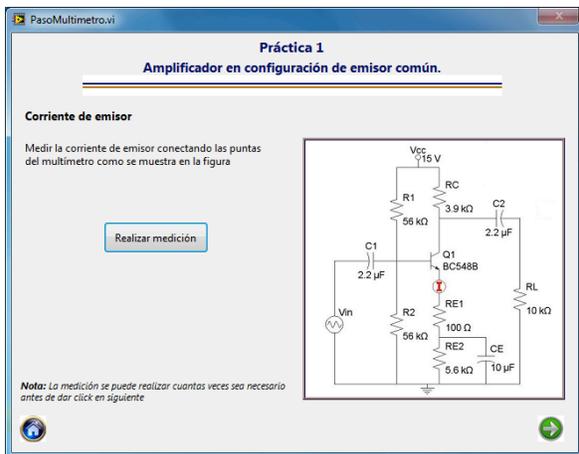


Figura 4.9 Pantalla corriente de emisor antes y después de la medición.

Después de obtener el punto de operación del transistor, se determina la ganancia del amplificador, para esto se hace uso del módulo que agrupa el funcionamiento del generador de funciones y del osciloscopio. La primer pantalla muestra el nombre de la medición e indica cómo se deben conectar las terminales del generador de funciones y del osciloscopio al circuito.

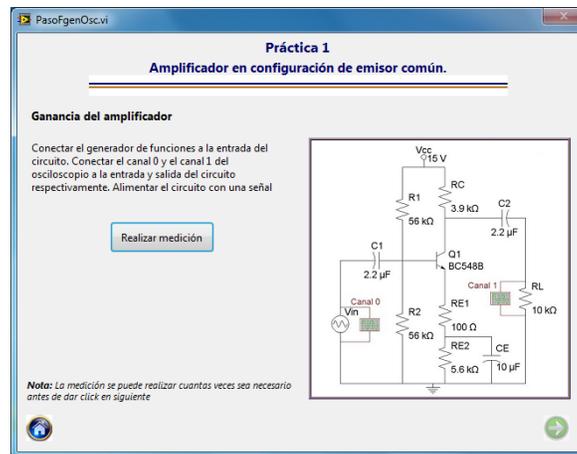


Figura 4.10 Presentación módulo de medición generador de funciones / osciloscopio.

Posteriormente se muestra el panel de medición en donde se ajustan los valores de la señal que se va a crear con el generador de funciones y se da click en medir para obtener las gráficas de las señales.

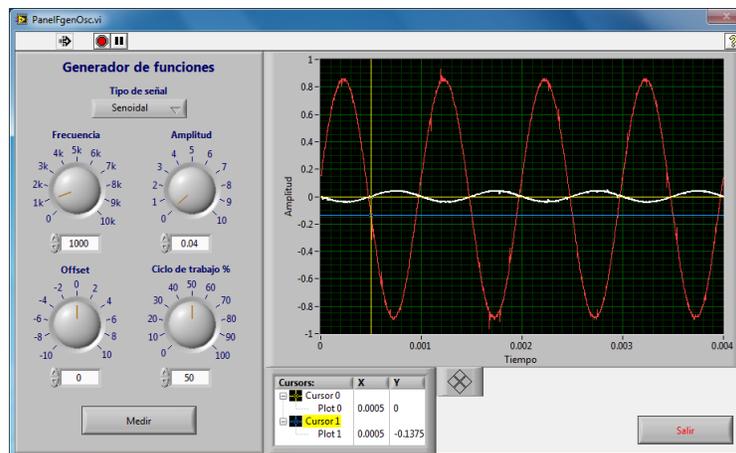


Figura 4.11 Panel módulo de medición generador de funciones / osciloscopio.

Al terminar la medición se regresa a la pantalla de presentación del módulo, la cual ahora muestra una miniatura de las señales capturadas.

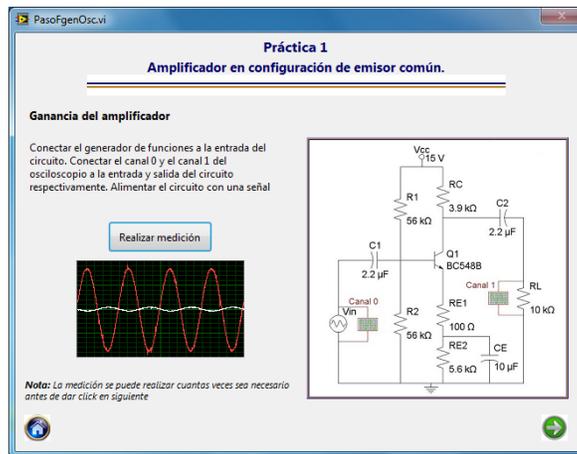


Figura 4.12 Presentación módulo de medición generador de funciones / osciloscopio con miniatura.

Al terminar la práctica se muestra una ventana emergente indicando la ruta de la carpeta en donde se guardaron los resultados.

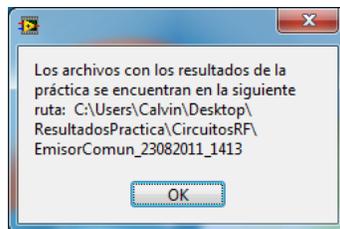


Figura 4.13 Ruta de la carpeta de resultados.

Los resultados de la práctica se guardan en archivos de tipo html, los cuales se pueden abrir con un navegador o con Excel para graficar los resultados.

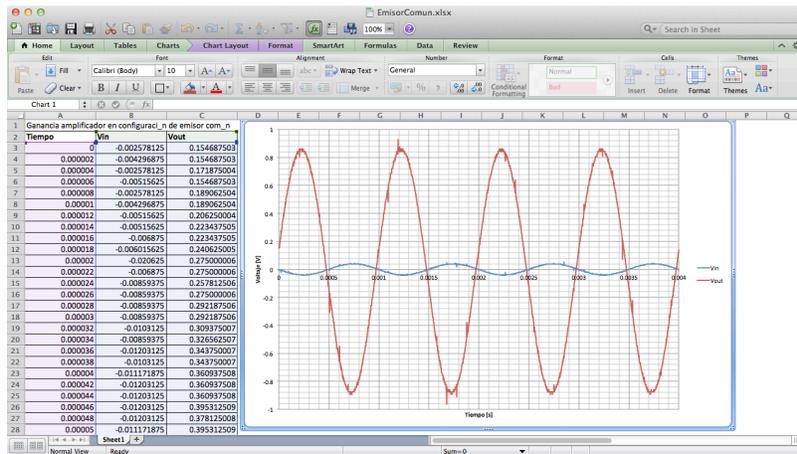


Figura 4.14 Gráfica de resultados en Excel.

4.2 Amplificador en configuración de colector común (emisor-seguidor).

La práctica 2 corresponde al amplificador en configuración de colector común o emisor-seguidor; el circuito impreso utilizado en esta práctica se muestra en la figura 4.15.



Figura 4.15 Circuito impreso colector común.

La pantalla de presentación de la práctica muestra el objetivo de la práctica, el procedimiento que se llevará a cabo y una imagen del circuito que se va a utilizar en la práctica.

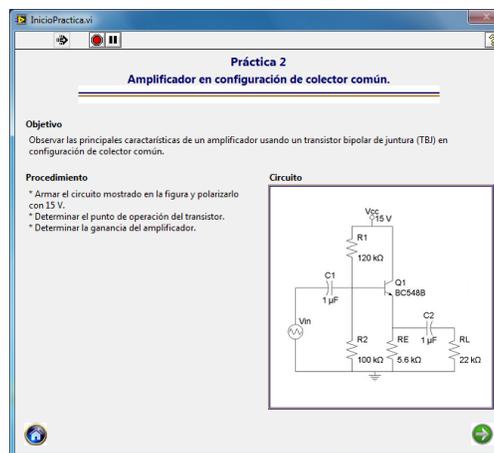


Figura 4.16 Presentación práctica 2.

El primer paso del procedimiento consiste en determinar el punto de operación del transistor, para lo cual se hace uso del módulo de medición del multímetro.

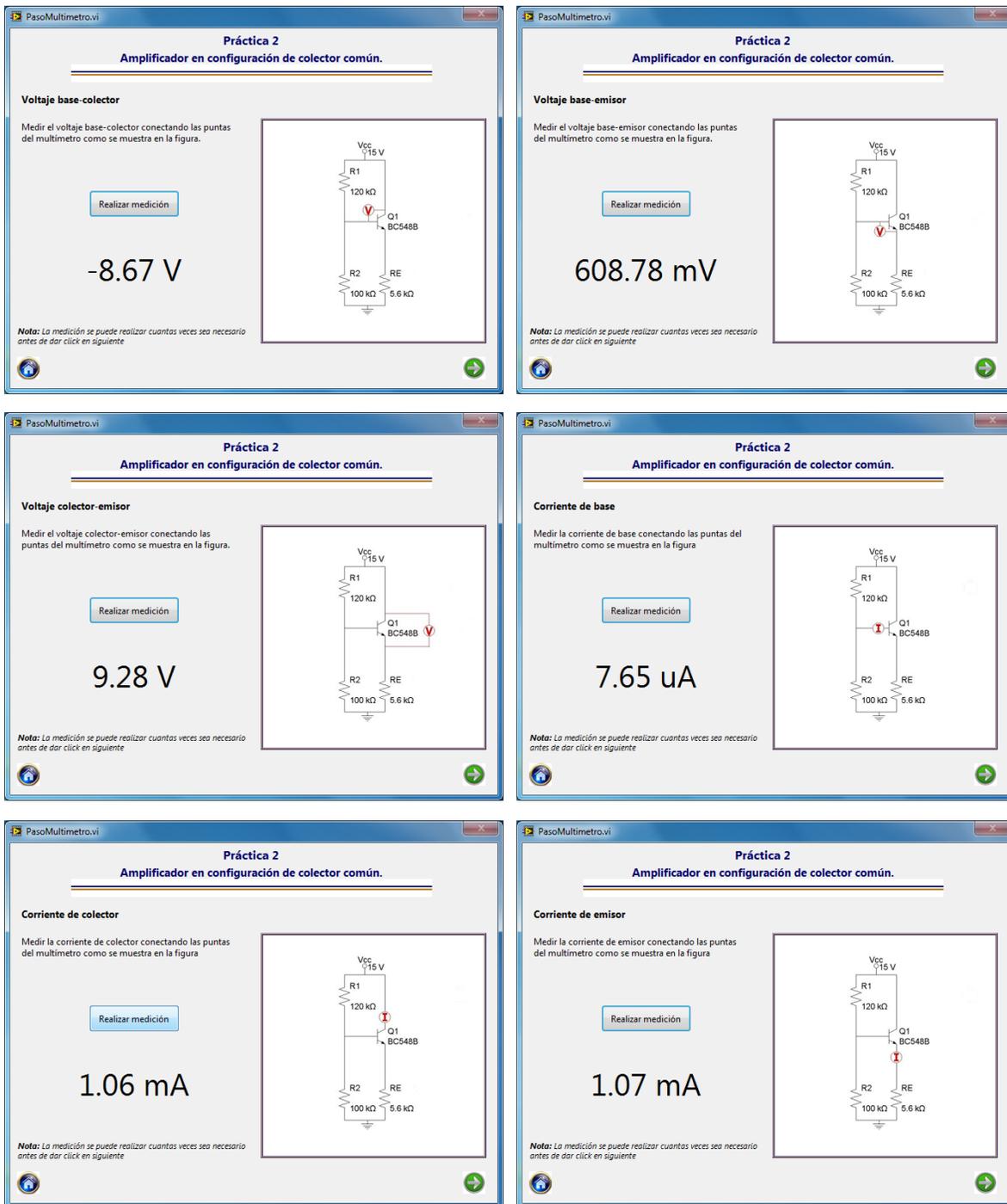


Figura 4.17 Punto de operación colector común.

El siguiente paso en el procedimiento es determinar la ganancia del circuito, para lo cual se hace uso del módulo de medición del generador de funciones y el osciloscopio.

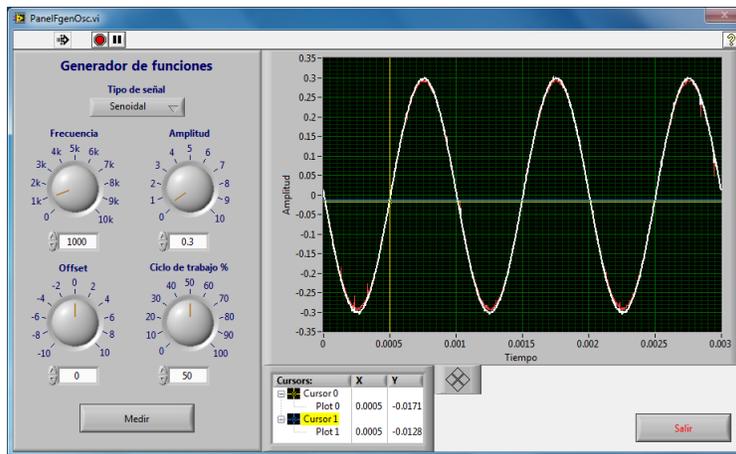


Figura 4.18 Panel módulo de medición generador de funciones / osciloscopio.

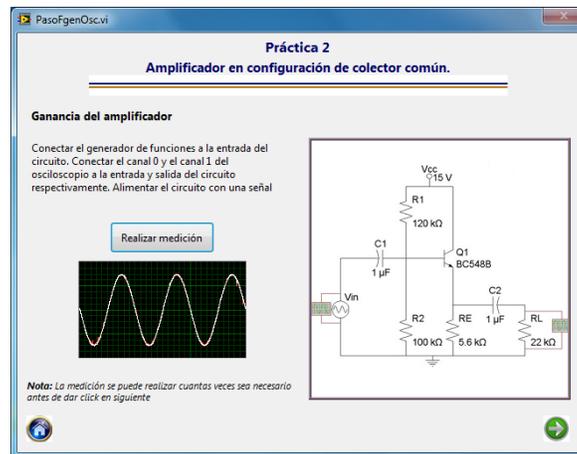


Figura 4.19 Presentación módulo de medición generador de funciones / osciloscopio con miniatura.

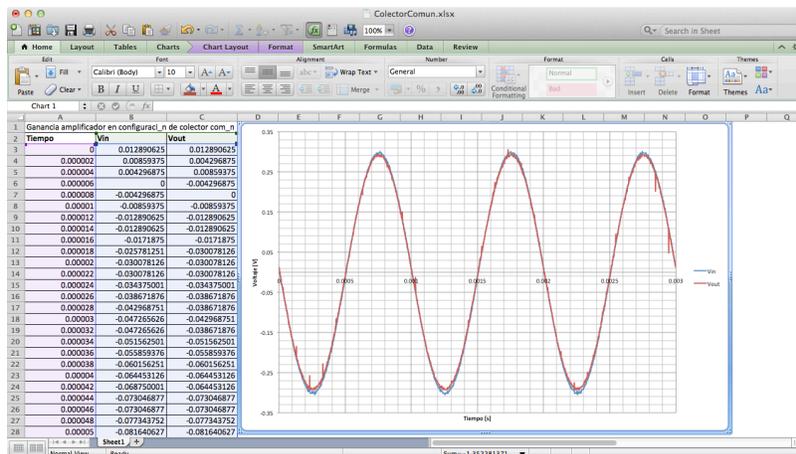


Figura 4.20 Gráfica de resultados en Excel.

4.3 Amplificador con transistores en cascada.

La tercer práctica del laboratorio de circuitos de RF es la de amplificador con transistores en cascada; el circuito utilizado se muestra en la figura 4.21.



Figura 4.21 Circuito impreso amplificadores en cascada.

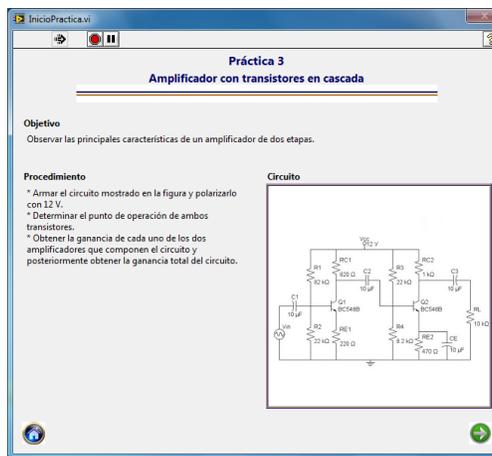


Figura 4.22 Presentación práctica 2.

El primer paso del procedimiento es determinar el punto de operación de los transistores que componen el circuito, en este caso al tenerse dos transistores en el circuito se tienen que realizar 12 mediciones, seis de voltaje y seis de corriente.

PasoMultimetro.vi

Práctica 3

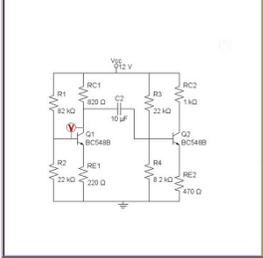
Amplificador con transistores en cascada

Voltaje base-colector Q1

Medir el voltaje base-colector del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

-4.06 V



Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 3

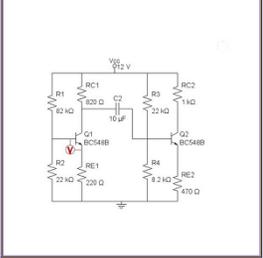
Amplificador con transistores en cascada

Voltaje base-emisor Q1

Medir el voltaje base-emisor del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

669.36 mV



Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 3

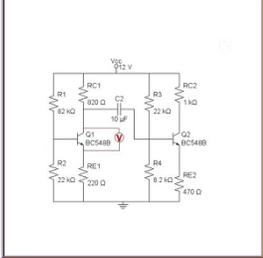
Amplificador con transistores en cascada

Voltaje colector-emisor Q1

Medir el voltaje colector-emisor del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

4.68 V



Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 3

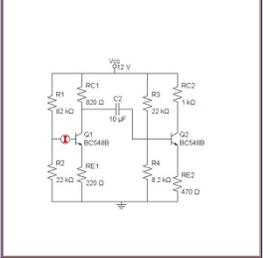
Amplificador con transistores en cascada

Corriente de base Q1

Medir la corriente de base del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

25.24 uA



Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 3

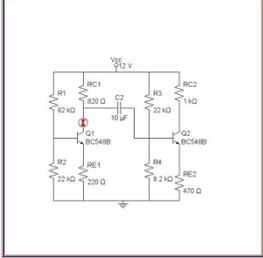
Amplificador con transistores en cascada

Corriente de colector Q1

Medir la corriente de colector del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

6.83 mA



Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 3

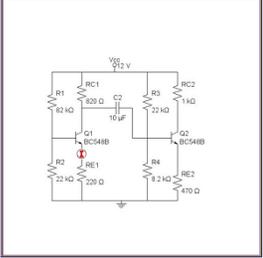
Amplificador con transistores en cascada

Corriente de emisor Q1

Medir la corriente de emisor del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

6.85 mA



Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

Figura 4.23 Mediciones punto de operación transistor 1.

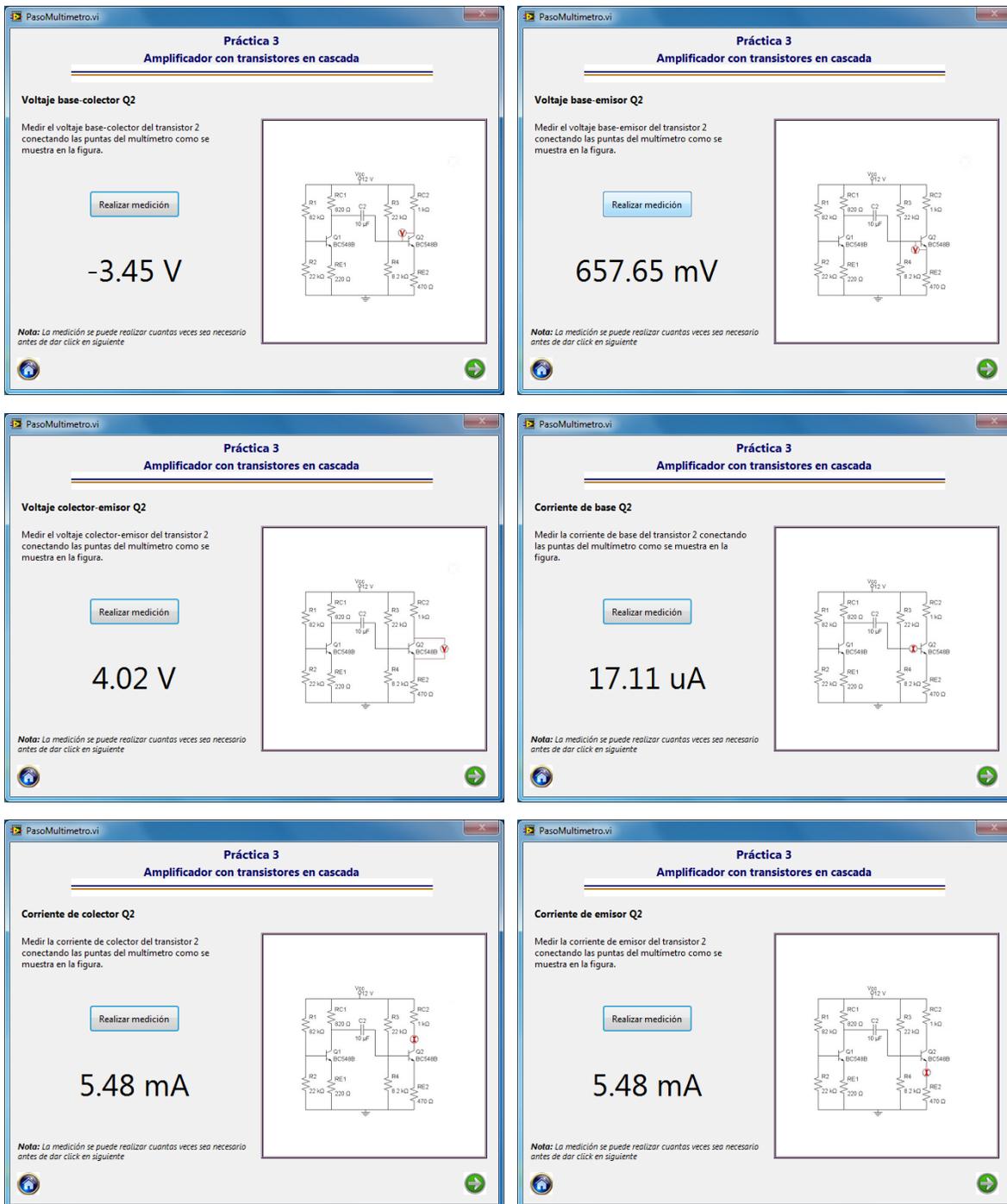


Figura 4.24 Mediciones punto de operación transistor 2.

El siguiente paso en el procedimiento de la práctica consiste en determinar la ganancia de cada una de las dos etapas que componen el amplificador y después la ganancia total del circuito.

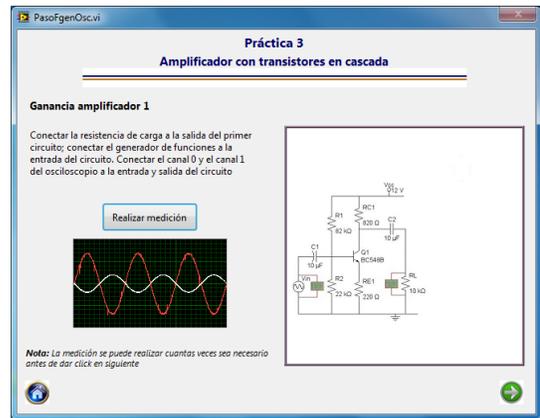
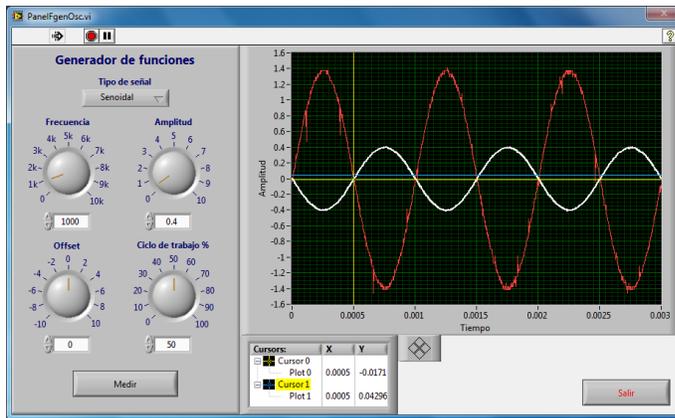


Figura 4.25 Ganancia amplificador etapa 1.

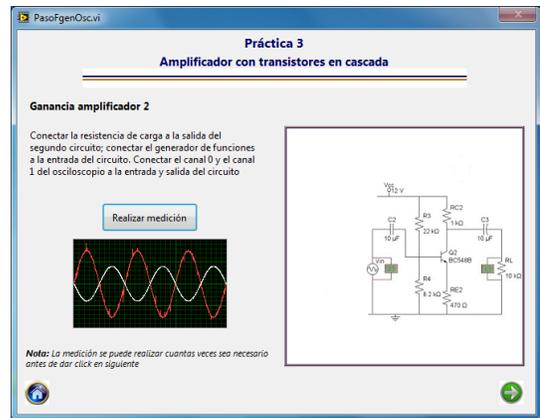
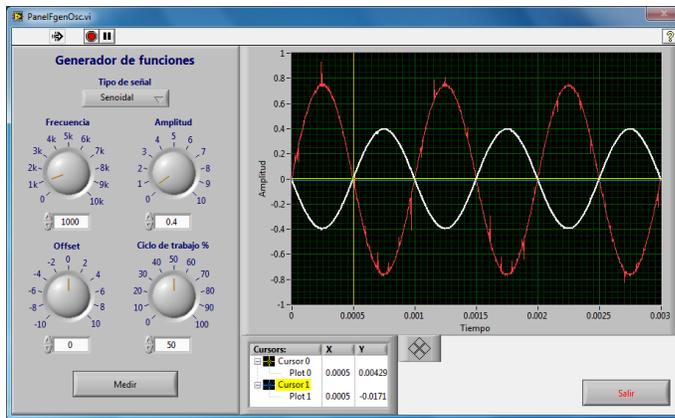


Figura 4.26 Ganancia amplificador etapa 2.

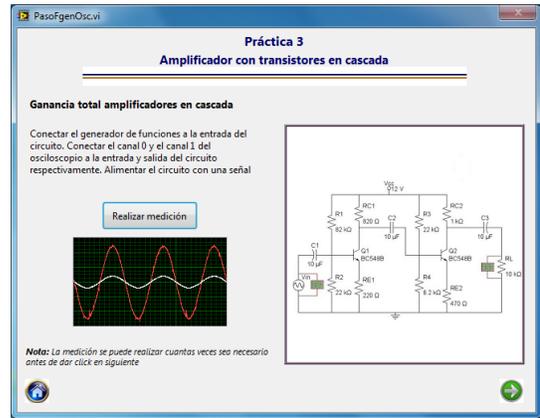
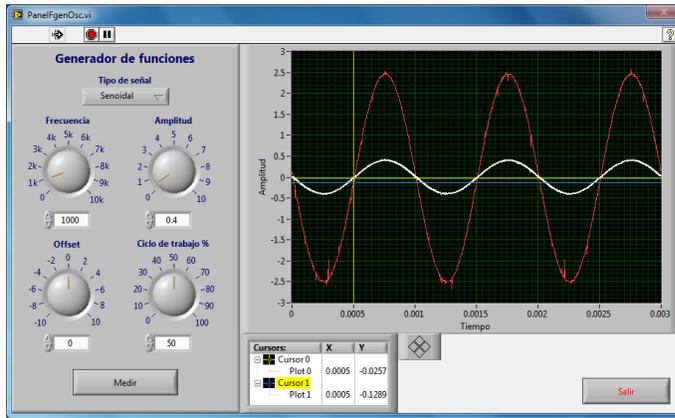


Figura 4.27 Ganancia total del amplificador.

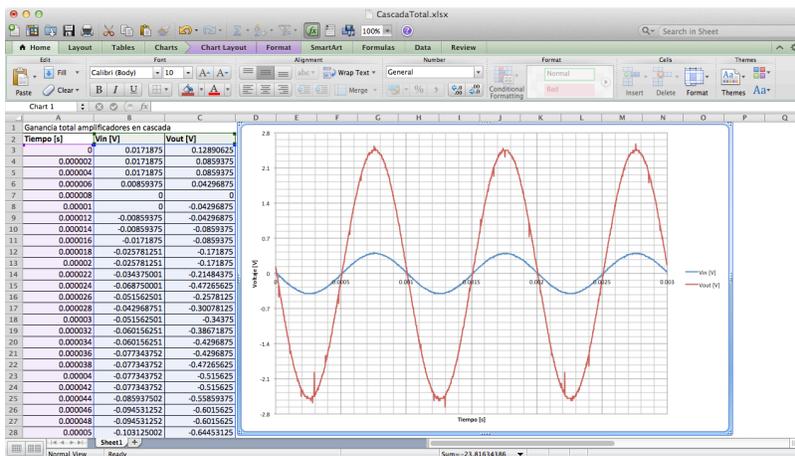
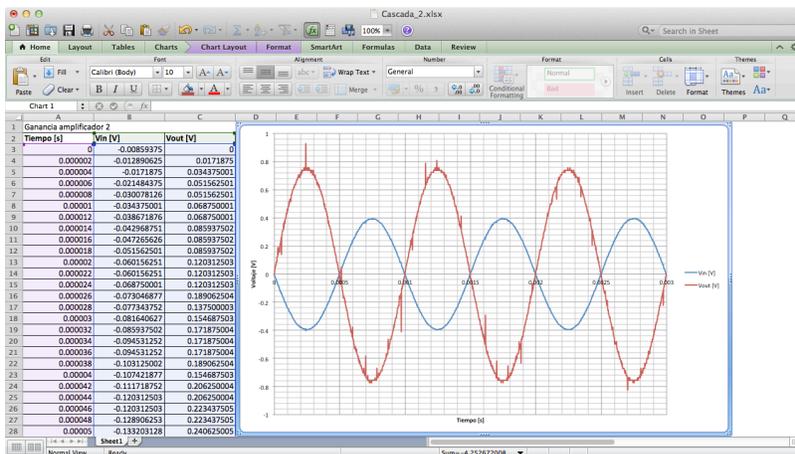
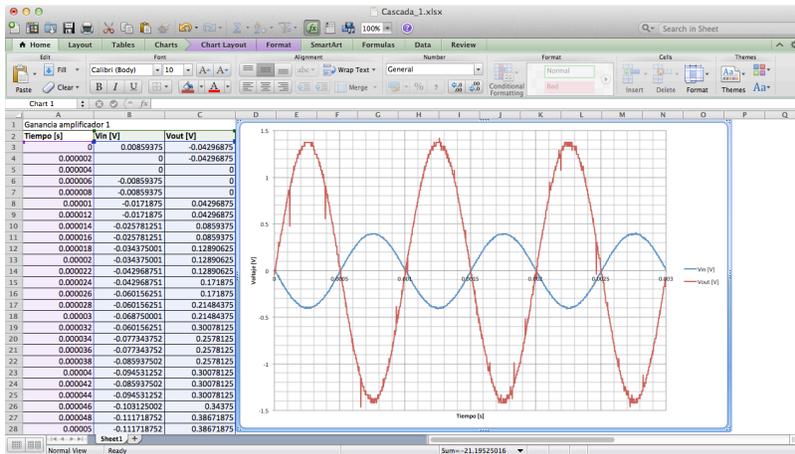


Figura 4.28 Gráfica de resultados en Excel.

4.4 Amplificador push pull.

La cuarta práctica corresponde al amplificador push-pull, el circuito impreso utilizado se muestra en la figura 4.29.



Figura 4.29 Circuito impreso push-pull.

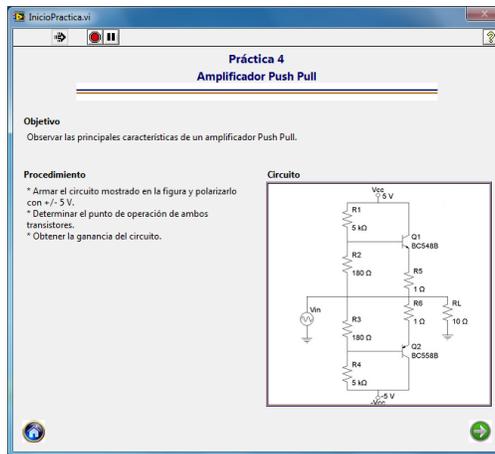


Figura 4.30 Presentación práctica 4.

Este circuito también consta de 2 transistores, por lo tanto se requieren doce mediciones con el multímetro para determinar el punto de operación de ambos transistores.

PasoMultimetro.vi

Práctica 4 Amplificador Push Pull

Voltaje base-colector Q1

Medir el voltaje base-colector del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

-4.89 V

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 4 Amplificador Push Pull

Voltaje base-emisor Q1

Medir el voltaje base-emisor del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

197.16 mV

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 4 Amplificador Push Pull

Voltaje colector-emisor Q1

Medir el voltaje colector-emisor del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

5.08 V

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 4 Amplificador Push Pull

Corriente de base Q1

Medir la corriente de base del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

8.76 uA

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 4 Amplificador Push Pull

Corriente de colector Q1

Medir la corriente de colector del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

6.68 uA

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 4 Amplificador Push Pull

Corriente de emisor Q1

Medir la corriente de emisor del transistor 1 conectando las puntas del multímetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

63.51 uA

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

Figura 4.31 Mediciones punto de operación transistor 1.

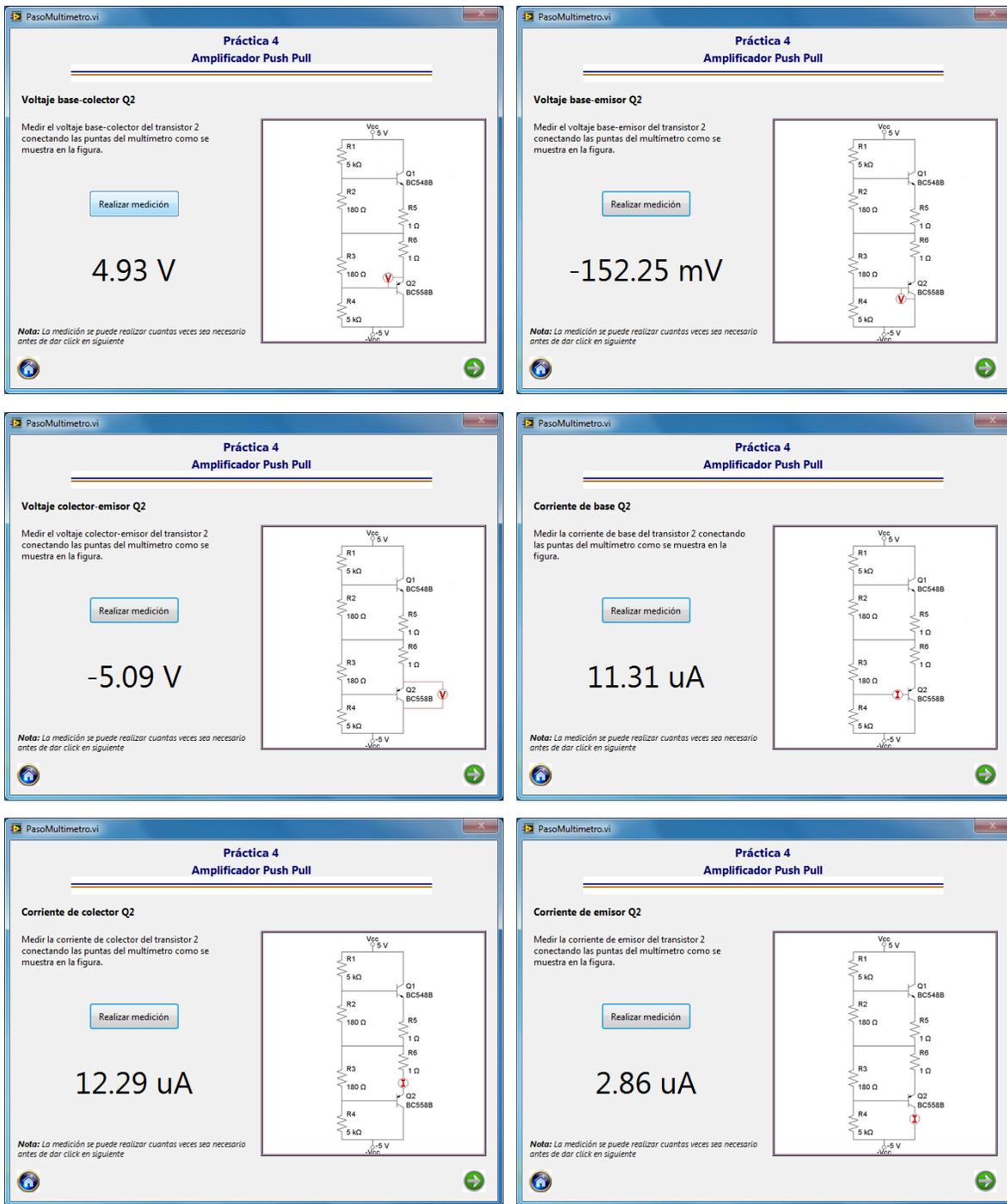


Figura 4.32 Mediciones punto de operación transistor 2.

Para determinar la ganancia del amplificador se realizan dos mediciones con señales de entrada de diferente amplitud para poder observar como se modifica la distorsión de cruce en la señal de salida.

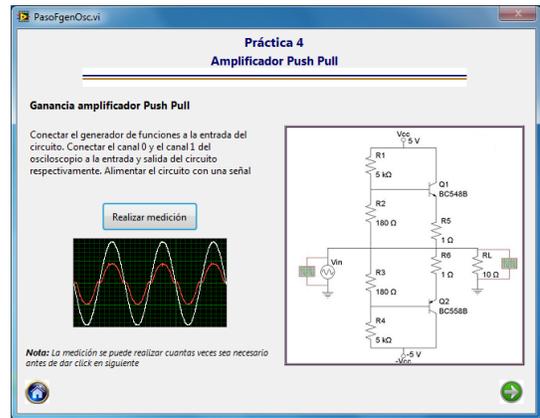
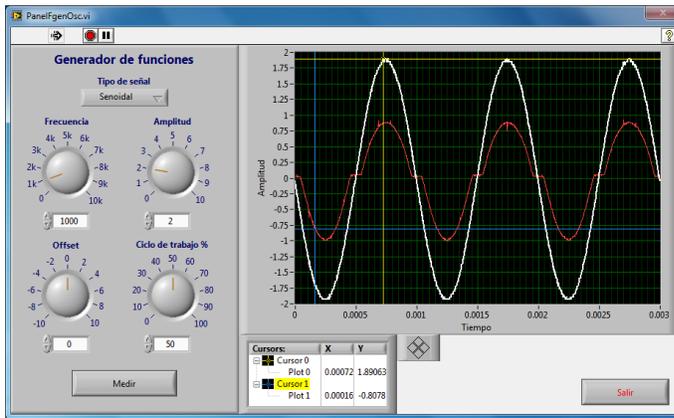
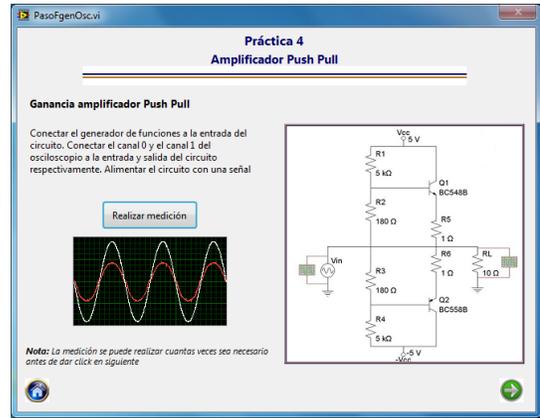
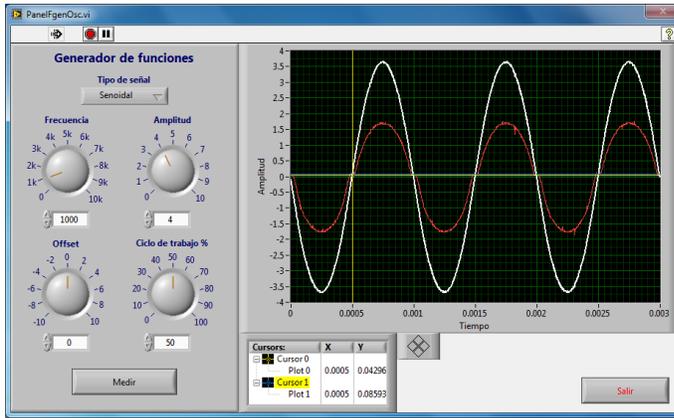


Figura 4.33 Ganancia del amplificador push-pull.

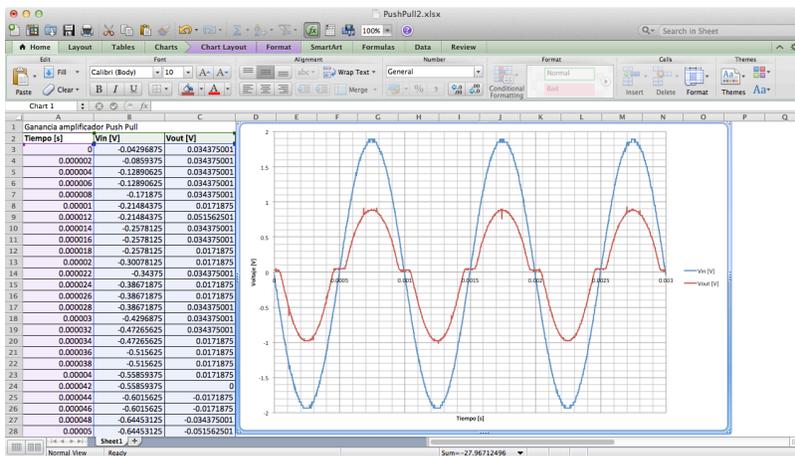
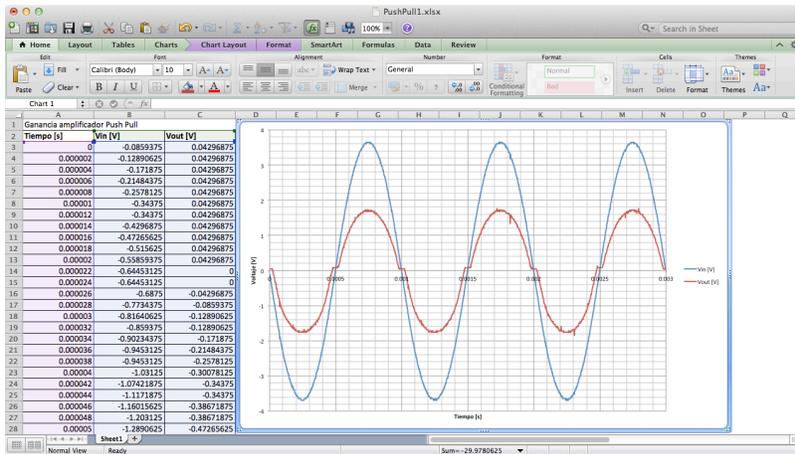


Figura 4.34 Gráfica de resultados en Excel.

4.5 Respuesta en frecuencia de un amplificador de audio.

La respuesta en frecuencia de un amplificador de audio corresponde a la práctica número 5 del laboratorio de circuitos de RF. En la figura 4.35 se muestra el circuito utilizado.



Figura 4.35 Circuito impreso amplificador de audio.

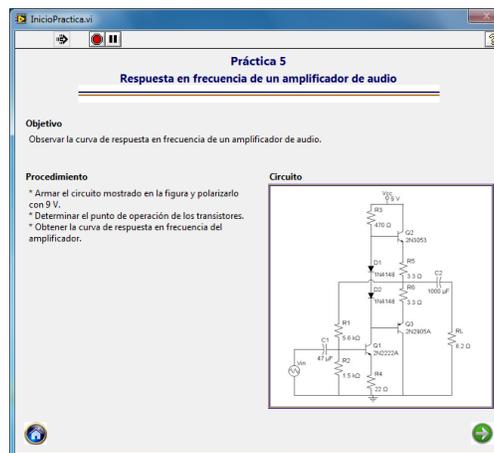


Figura 4.36 Presentación práctica 5.

El amplificador de audio está compuesto por 3 transistores, por lo que para determinar el punto de operación de cada uno de estos es necesario realizar dieciocho mediciones con el módulo del multímetro.

PasoMultimetro.vi

Práctica 5
Respuesta en frecuencia de un amplificador de audio

Voltaje base-colector Q2

Medir el voltaje base-colector del transistor 2 conectando las puntas del multimetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

-3.98 V

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 5
Respuesta en frecuencia de un amplificador de audio

Voltaje colector-emisor Q2

Medir el voltaje colector-emisor del transistor 2 conectando las puntas del multimetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

4.66 V

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 5
Respuesta en frecuencia de un amplificador de audio

Voltaje base-emisor Q2

Medir el voltaje base-emisor del transistor 2 conectando las puntas del multimetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

647.67 mV

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 5
Respuesta en frecuencia de un amplificador de audio

Corriente de base Q2

Medir la corriente de base del transistor 2 conectando las puntas del multimetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

92.45 uA

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 5
Respuesta en frecuencia de un amplificador de audio

Corriente de colector Q2

Medir la corriente de colector del transistor 2 conectando las puntas del multimetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

14.13 mA

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

PasoMultimetro.vi

Práctica 5
Respuesta en frecuencia de un amplificador de audio

Corriente de emisor Q2

Medir la corriente de emisor del transistor 2 conectando las puntas del multimetro como se muestra en la figura.

Realizar medición

10.26 mA

Nota: La medición se puede realizar cuantas veces sea necesario antes de dar click en siguiente

Figura 4.38 Punto de operación transistor 2.

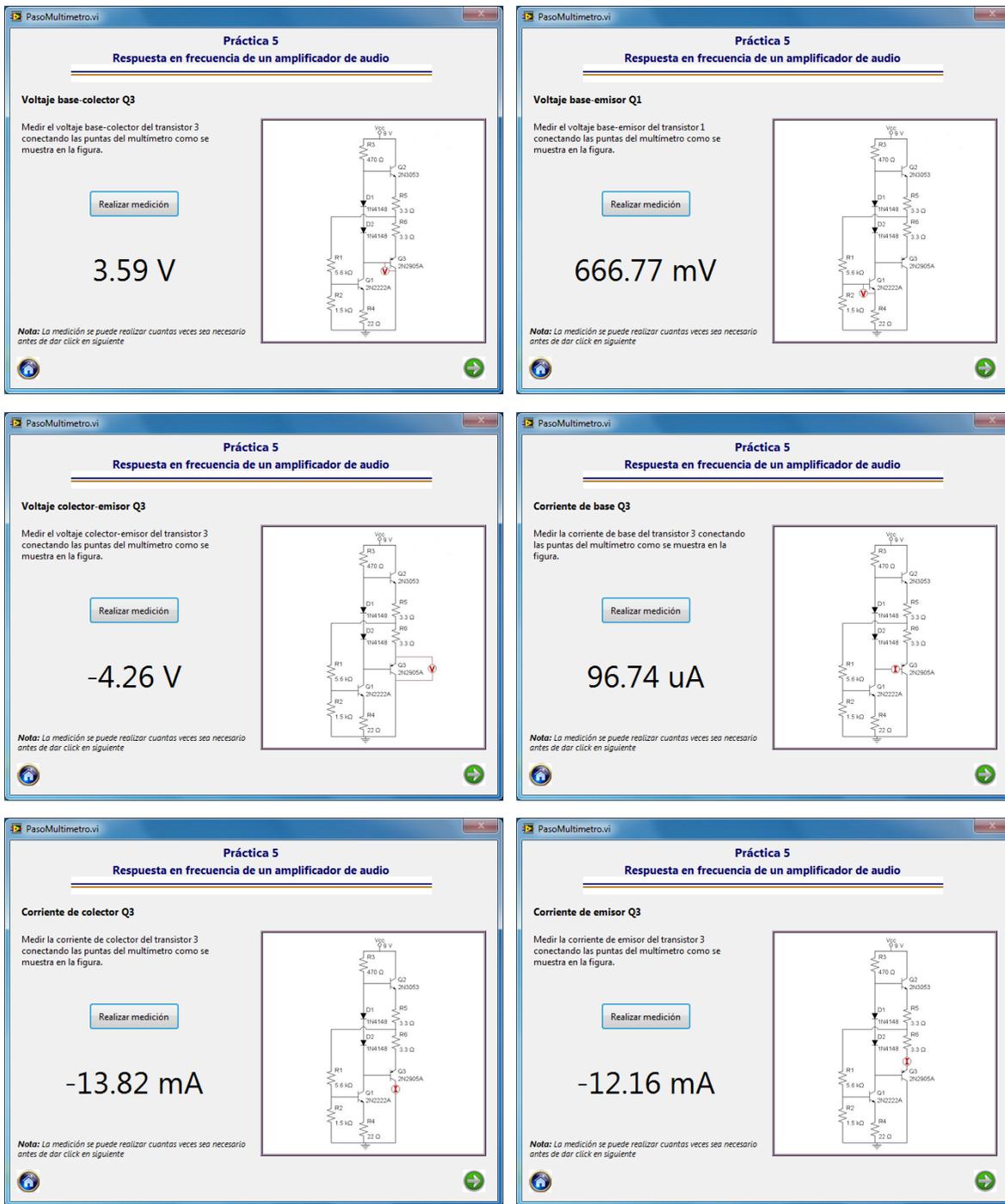


Figura 4.39 Punto de operación amplificador 3.

El siguiente paso en la práctica es determinar la ganancia del circuito, para lo cual se hace uso del módulo del generador de funciones y el osciloscopio.

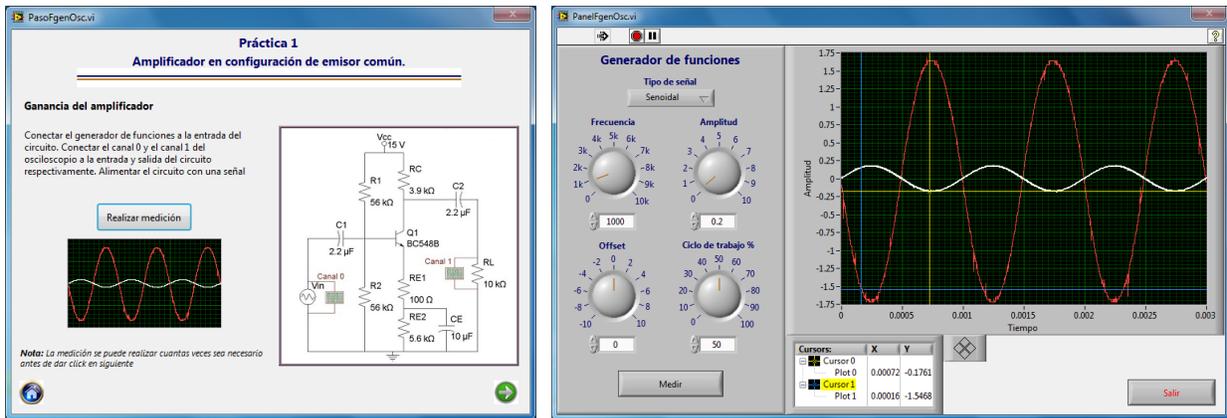


Figura 4.40 Ganancia del amplificador de audio.

Finalmente con ayuda del módulo de respuesta en frecuencia se determina la respuesta en frecuencia del amplificador de audio. Primero se muestra una pantalla indicando la medición que se va a realizar y cómo se deben conectar al circuito las terminales del generador de funciones y del osciloscopio.

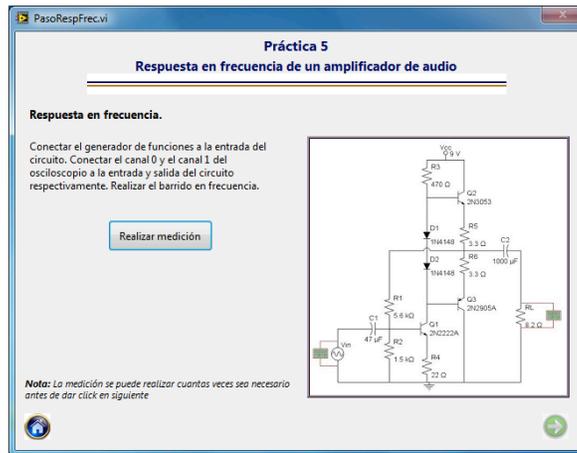


Figura 4.41 Presentación módulo de respuesta en frecuencia.

Para realizar la medición de la respuesta en frecuencia se tiene un panel en el cual se indica se indica el rango de frecuencias dentro del cual se quiere hacer el análisis, además de esto también se indica el número de puntos que se desean calcular en éste intervalo de frecuencias.

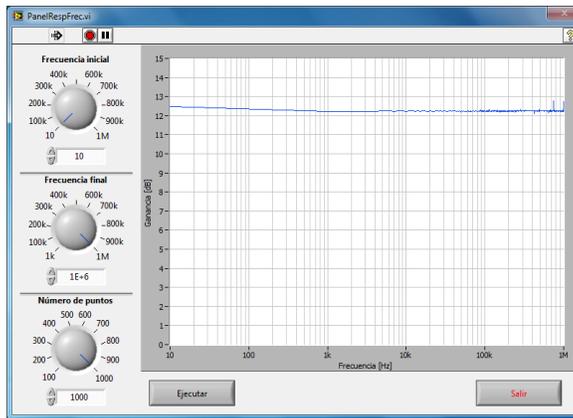


Figura 4.42 Panel respuesta en frecuencia.

Una vez realizada la medición, se regresa a la pantalla de presentación del módulo de medición, en el cual se observa una miniatura de la gráfica de respuesta en frecuencia.

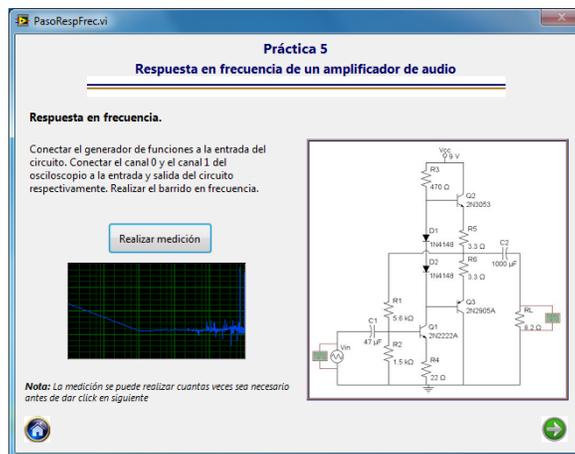


Figura 4.43 Presentación módulo de respuesta en frecuencia con miniatura.

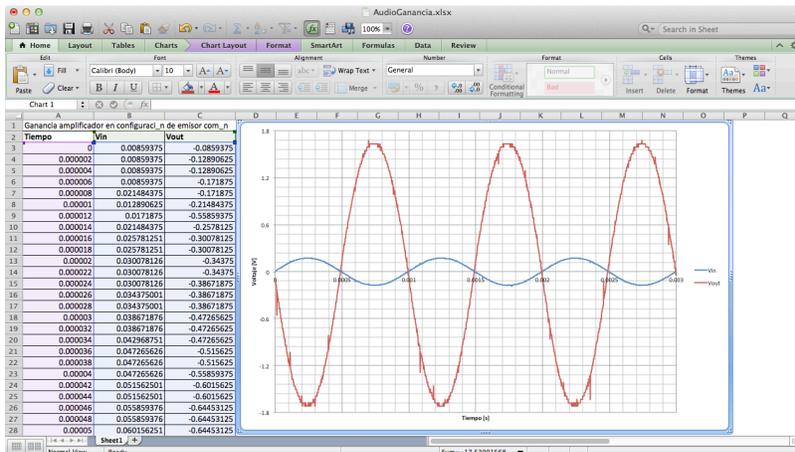


Figura 4.44 Gráfica de ganancia en Excel.

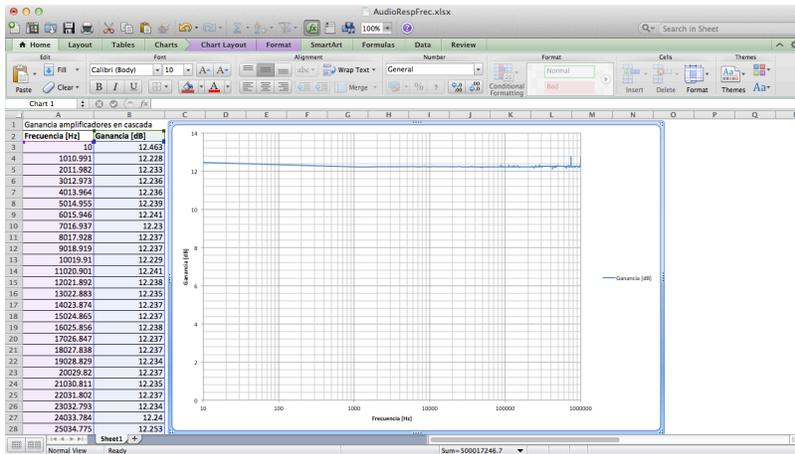


Figura 4.45 Gráfica de respuesta en frecuencia en Excel.

4.6 Amplificador MOSFET en configuración de fuente común.

La práctica número 6 es la de MOSFET en configuración de fuente común. El circuito utilizado se muestra en la figura 4.46.

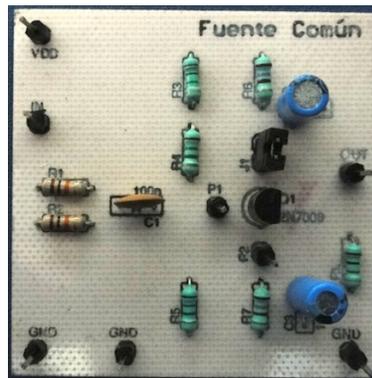


Figura 4.46 Circuito impreso MOSFET

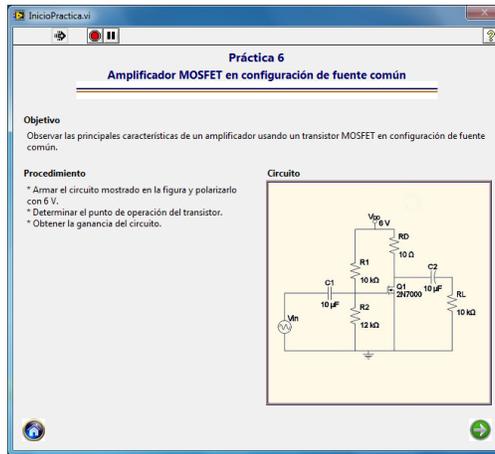


Figura 4.47 Presentación práctica 6.

Para determinar el punto de operación del transistor MOSFET se requieren tres mediciones con el multímetro.

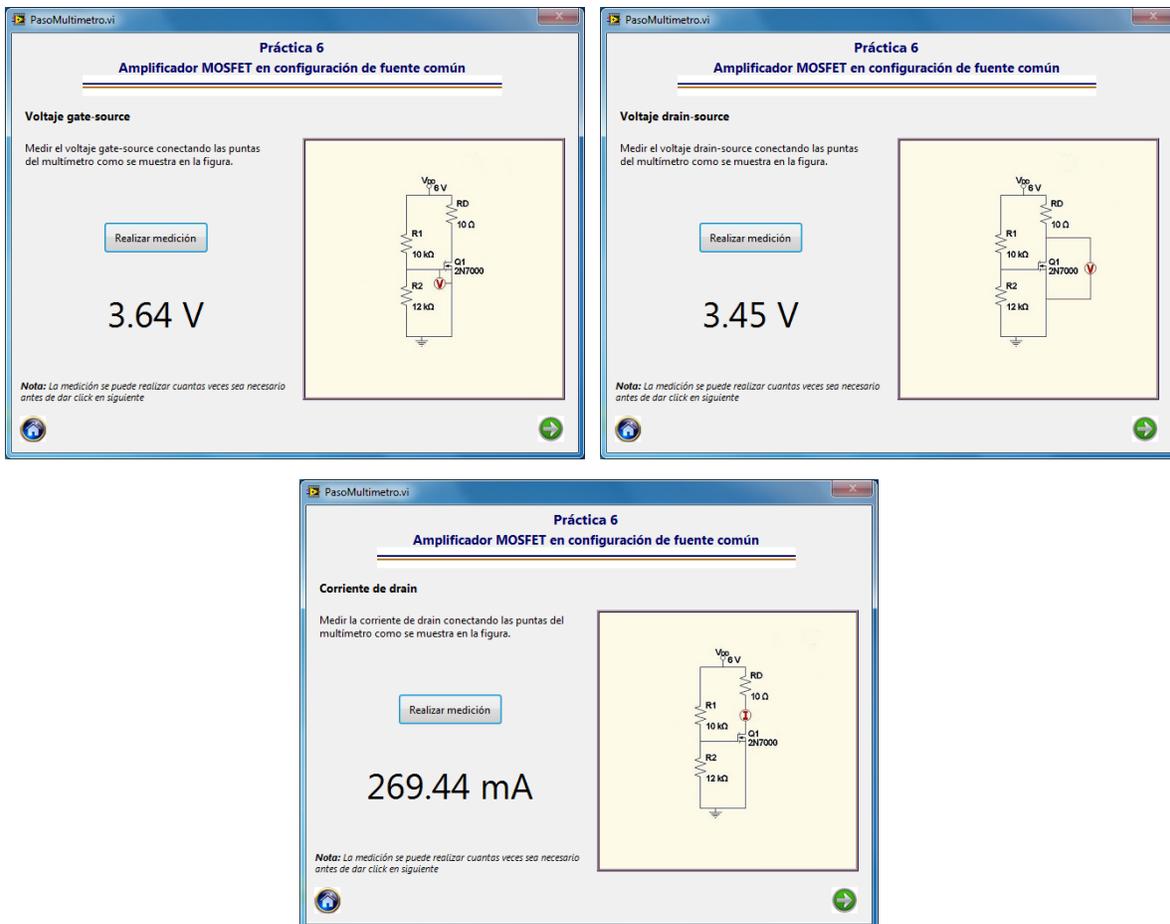


Figura 4.48 Punto de operación del transistor MOSFET.

El siguiente paso en la práctica es determinar la ganancia del amplificador, para lo cual se utiliza el módulo del generador de funciones y el osciloscopio.

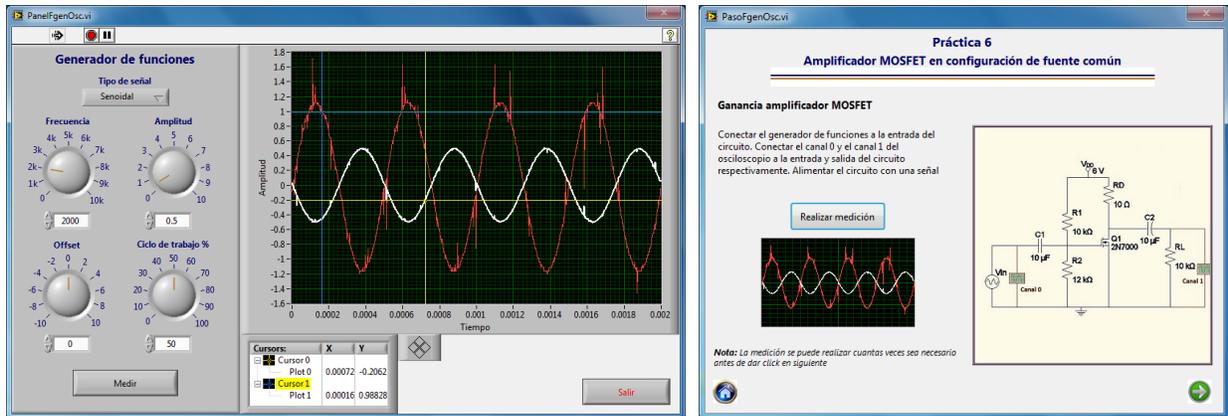


Figura 4.49 Ganancia del amplificador MOSFET.

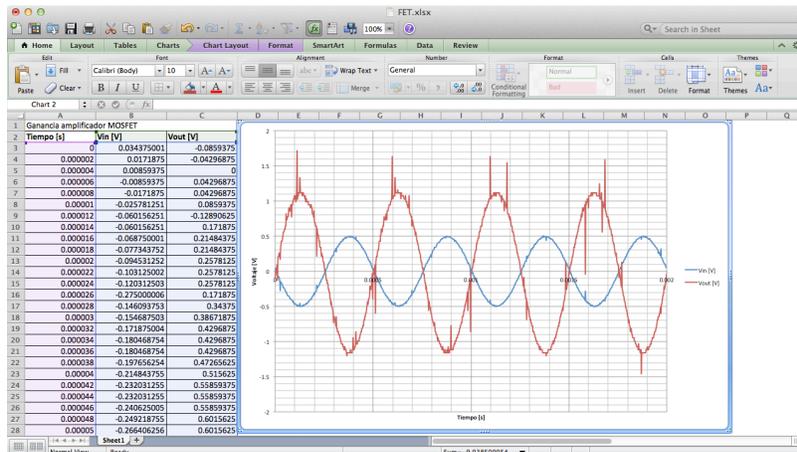


Figura 4.50 Gráfica de resultados en Excel.

4.7 Amplificador diferencial.

El amplificador diferencial se utiliza en la práctica número 7 del laboratorio de RF; el circuito empleado para esta práctica se muestra en la figura 4.51.



Figura 4.51 Circuito impreso diferencial.

Figura 4.52 Presentación práctica 7.

La primer parte de la práctica consiste en determinar el punto de operación de cada uno de los dos transistores que componen el circuito.

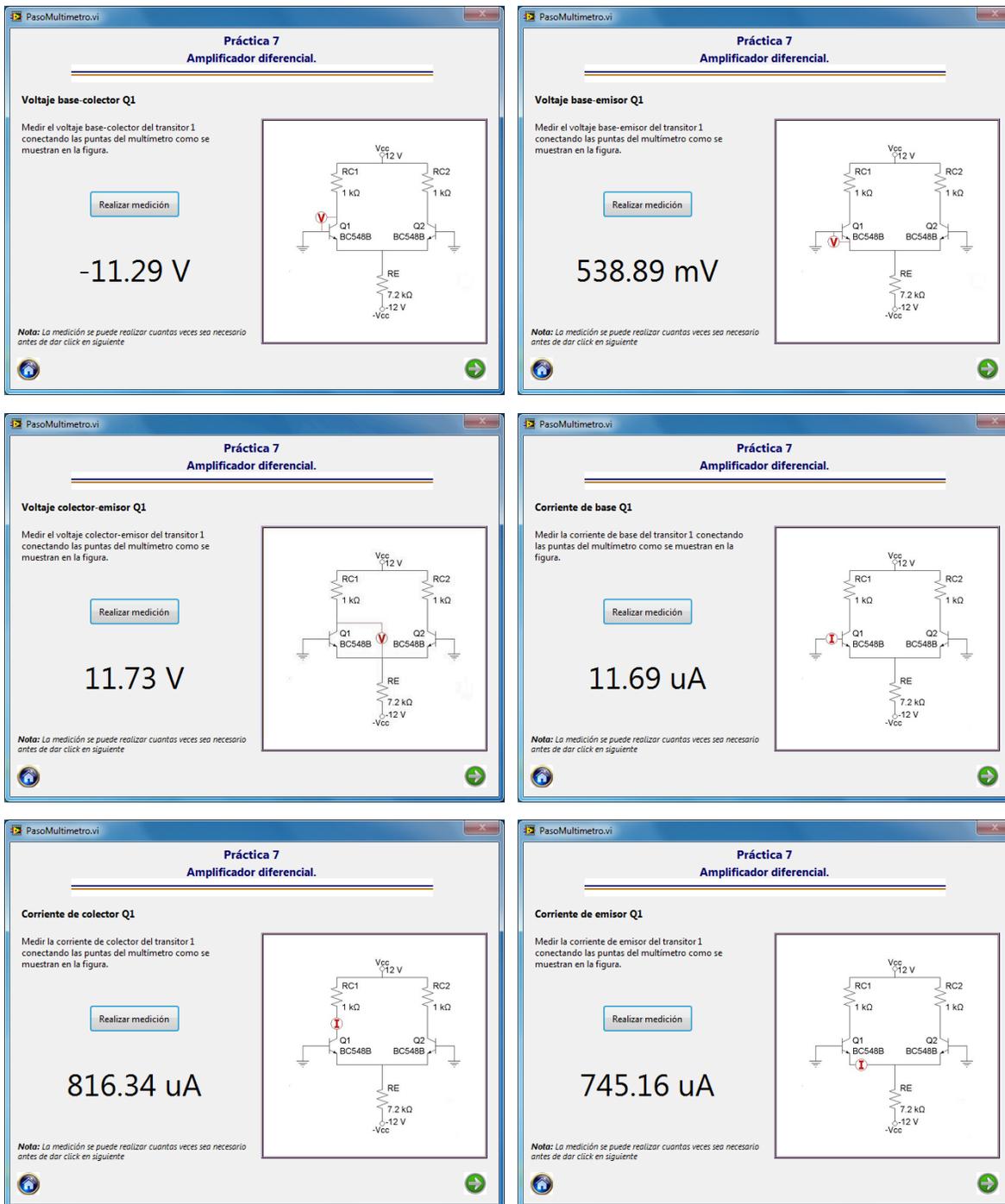


Figura 4.53 Punto de operación transistor 1.

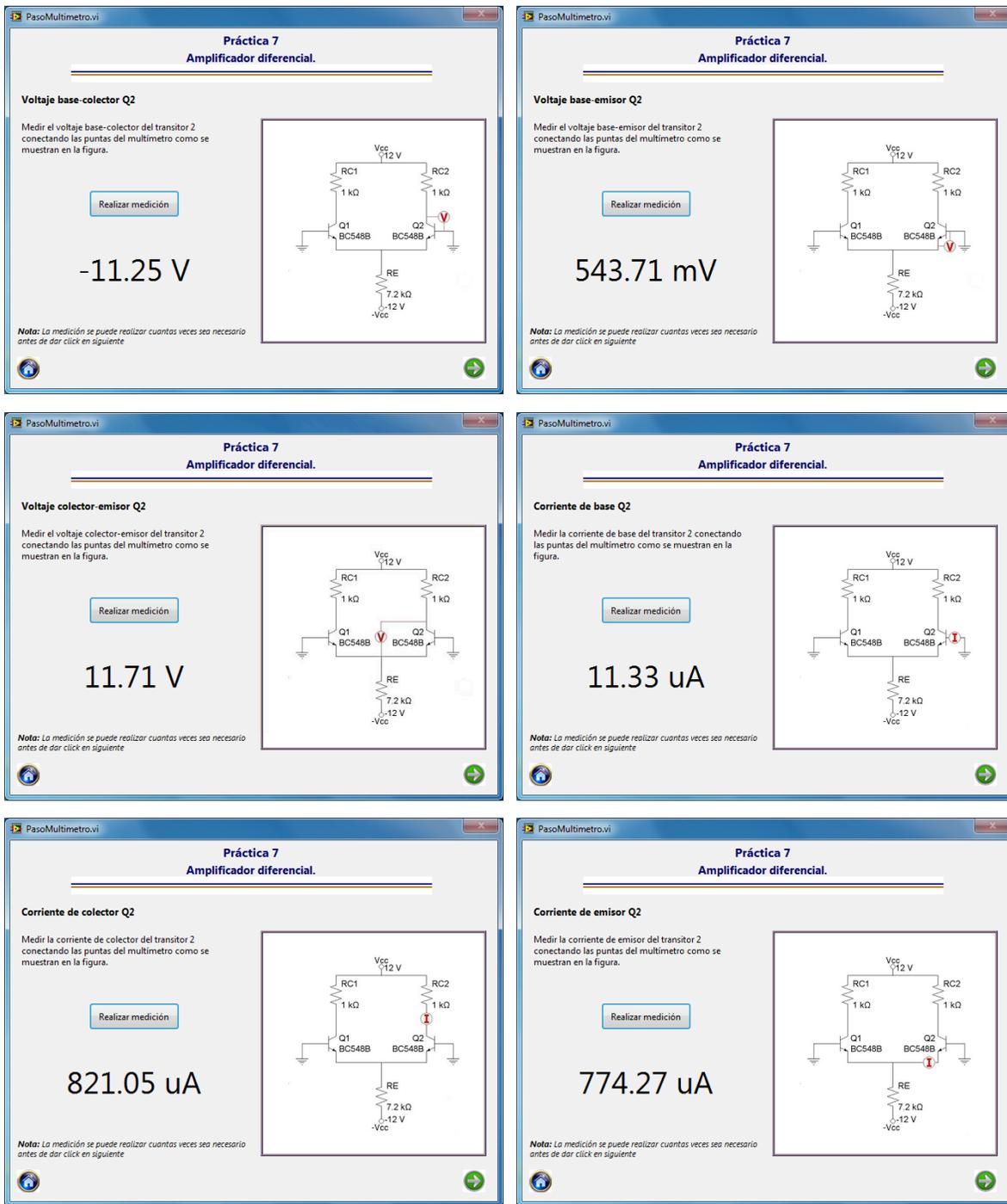


Figura 4.54 Punto de operación transistor 2.

El siguiente paso en la práctica es determinar la ganancia del amplificador en modo común y en modo diferencial, para esto se recurre al módulo de medición que integra el uso del generador de funciones y el osciloscopio.

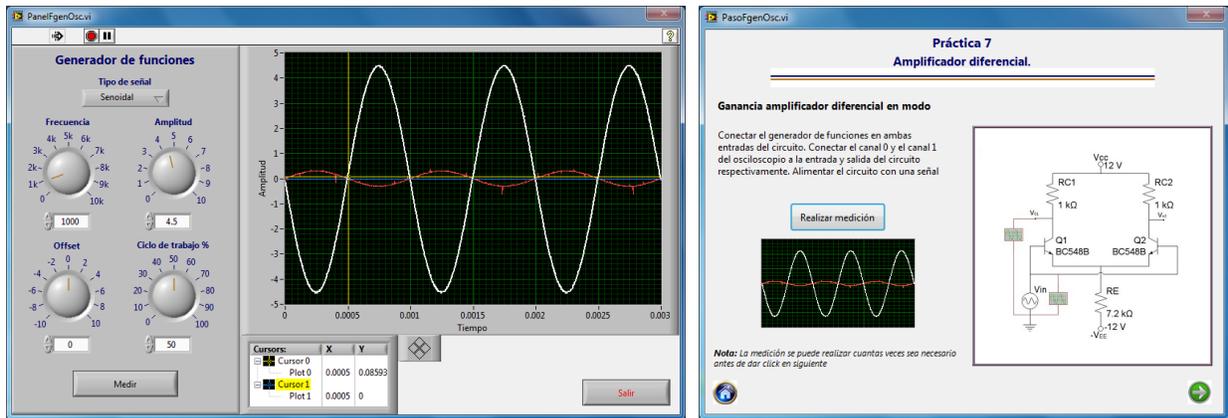


Figura 4.55 Ganancia del amplificador en modo común.

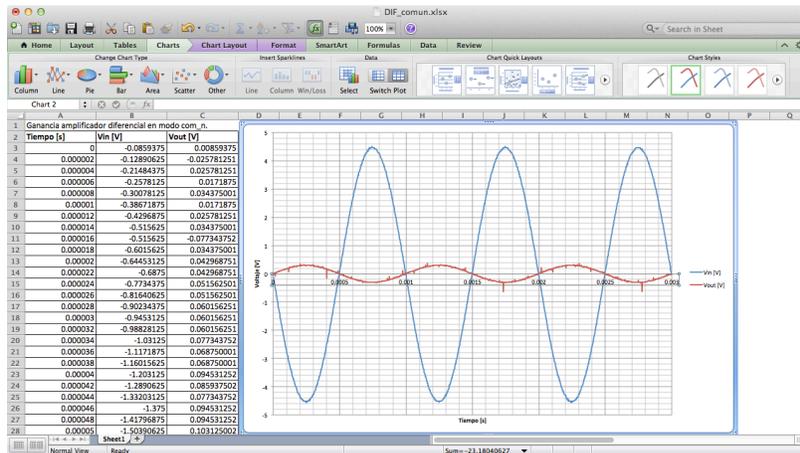


Figura 4.56 Gráfica en Excel de ganancia en modo común.

Para determinar la ganancia del amplificador en modo diferencial se necesitan dos señales de entrada con la misma frecuencia y amplitud pero con 180° de diferencia en la fase, para lograr esto se recurre al uso de un circuito inversor basado en un amplificador operacional. Primero se observan las señales de entrada y posteriormente se observa únicamente la señal de salida del circuito.

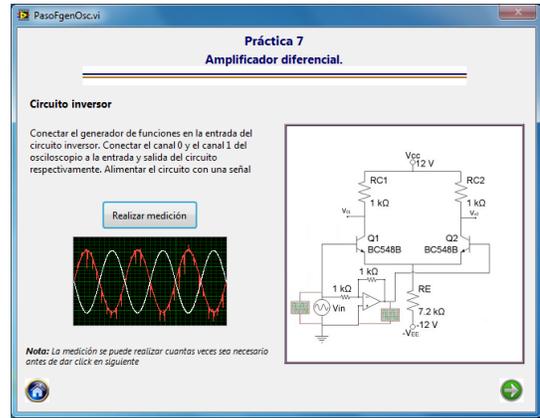
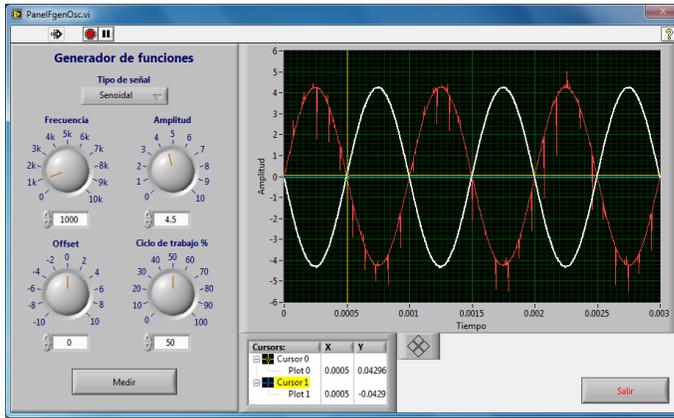


Figura 4.57 Ganancia amplificador inversor.

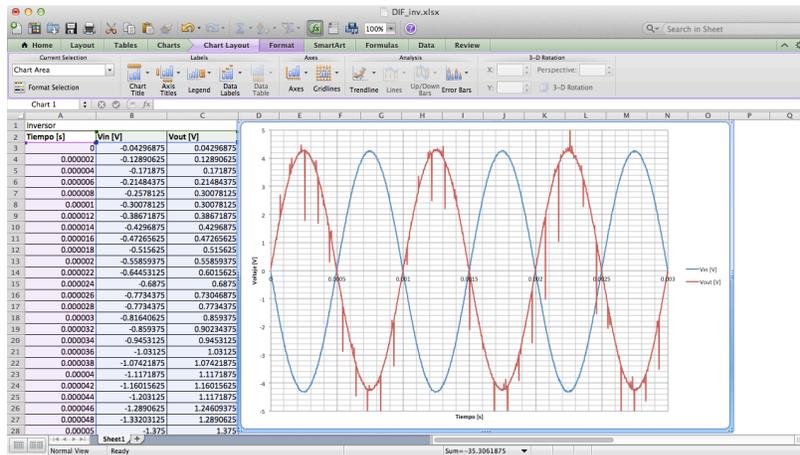


Figura 4.58 Gráfica en Excel de ganancia de amplificador inversor.

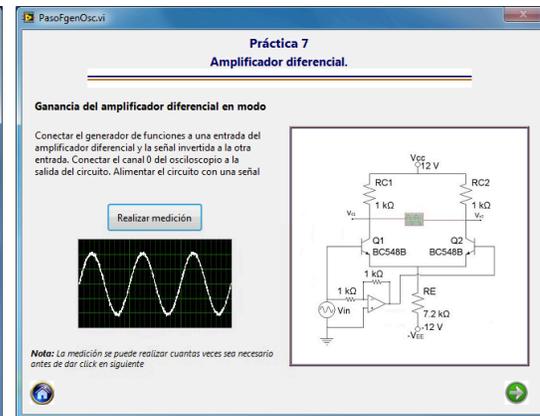
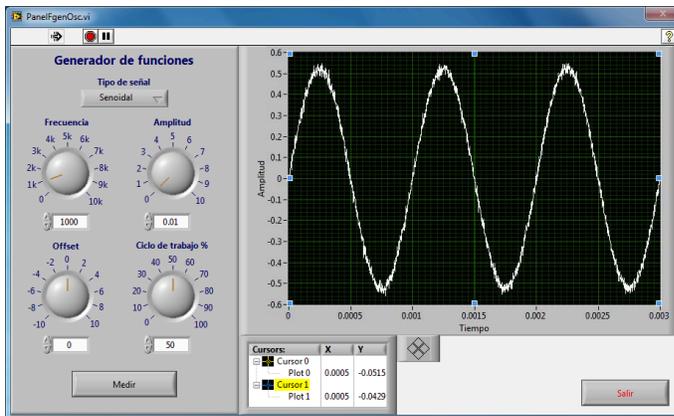


Figura 4.59 Ganancia del amplificador en modo diferencial.

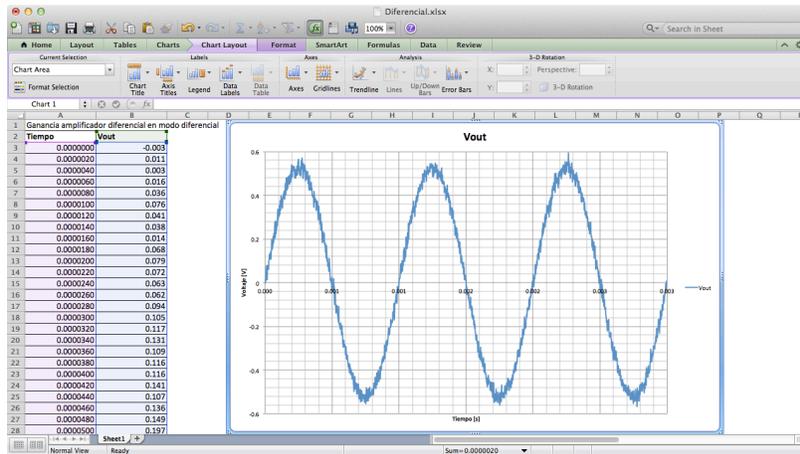


Figura 4.60 Gráfica en Excel de ganancia en modo diferencial.

4.8 Amplificador operacional.

La octava práctica del laboratorio de circuitos de RF corresponde al amplificador operacional, implementándolo en cuatro circuitos diferentes; dichos circuitos se muestran en la figura 4.#.

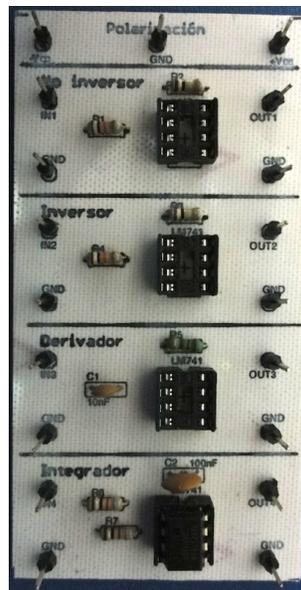


Figura 4.61 Circuito impreso amplificador operacional.

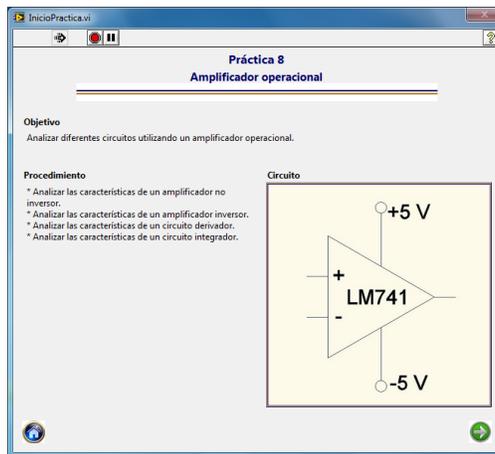


Figura 4.62 Presentación práctica 8

En el desarrollo de la práctica se trabaja con cuatro circuitos que utilizan el amplificador operacional en distintas configuraciones, estas son: amplificador no inversor, amplificador inversor, derivador e integrador. Para observar las características de las señales de entrada y salida de estos circuitos se hace uso del módulo del generador de funciones y el osciloscopio.

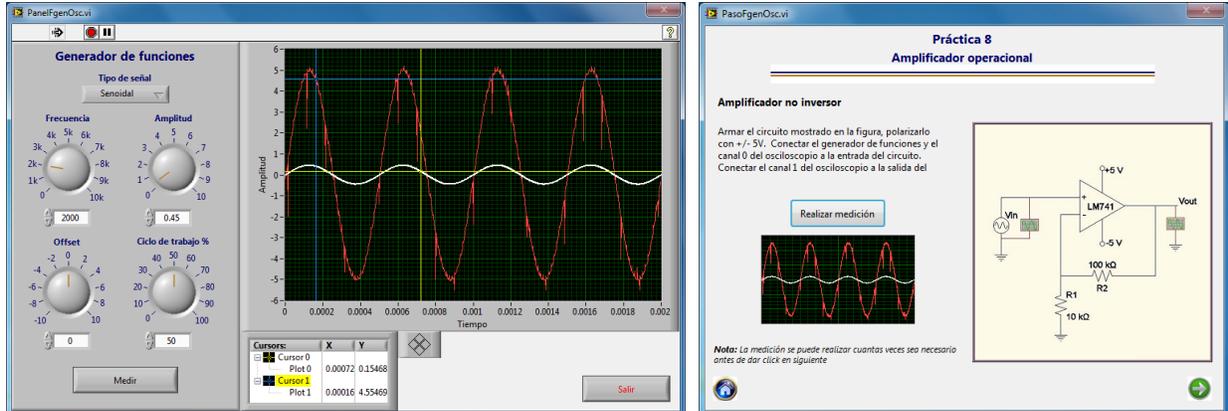


Figura 4.63 Señales amplificador no inversor.

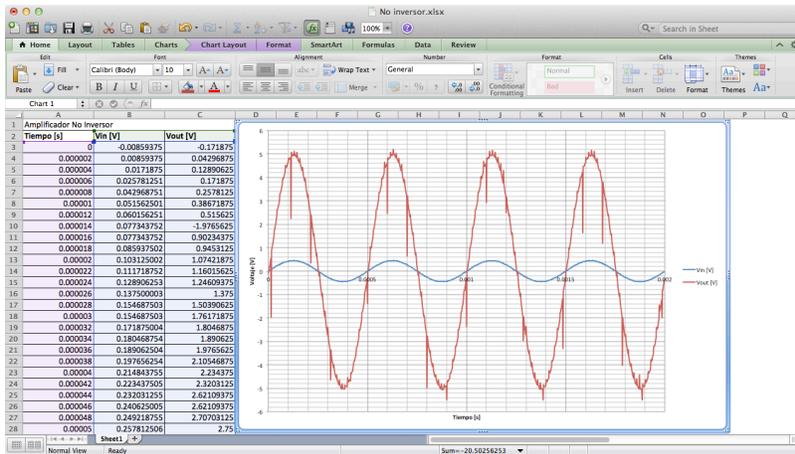


Figura 4.64 Gráfica amplificador no inversor en Excel.

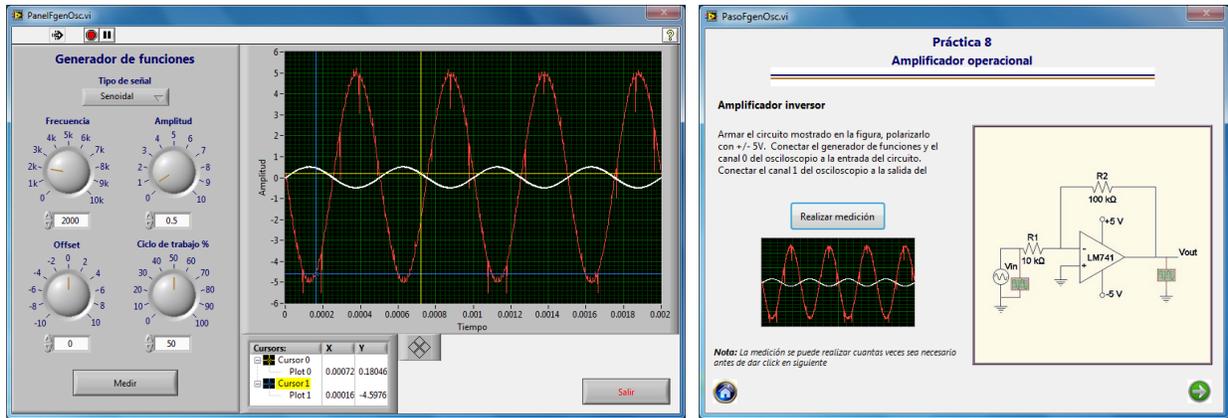


Figura 4.65 Señales amplificador inversor.

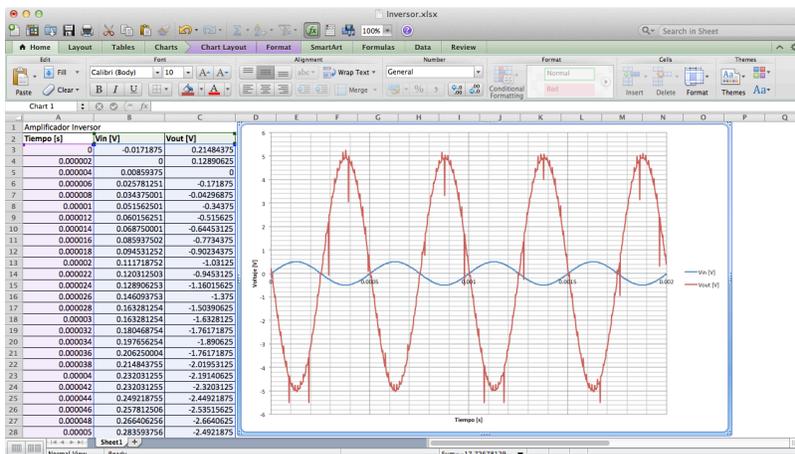


Figura 4.66 Gráfica amplificador inversor en Excel.

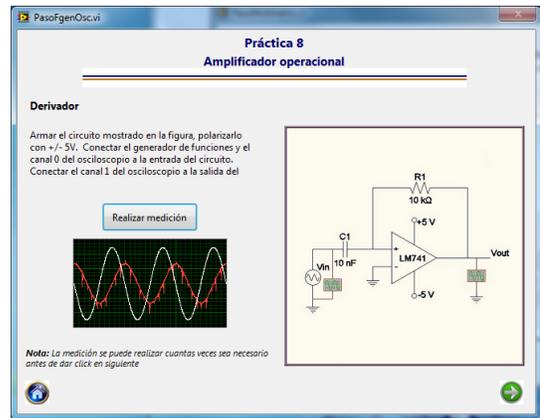
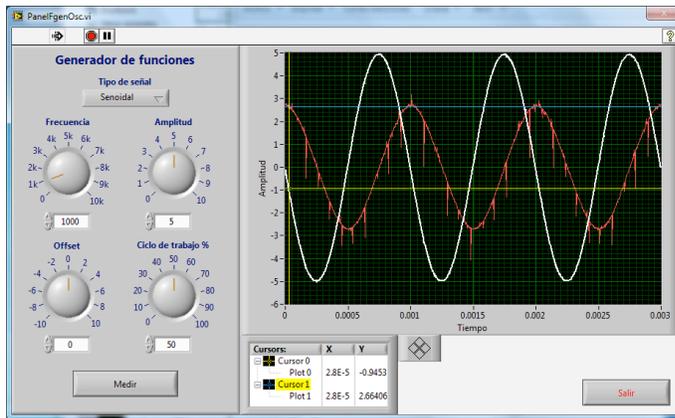


Figura 4.67 Señales derivador.

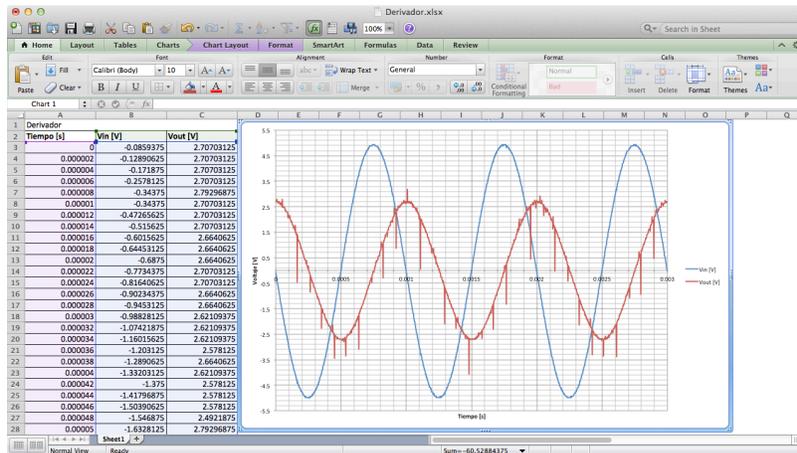


Figura 4.68 Gráfica derivador en Excel.

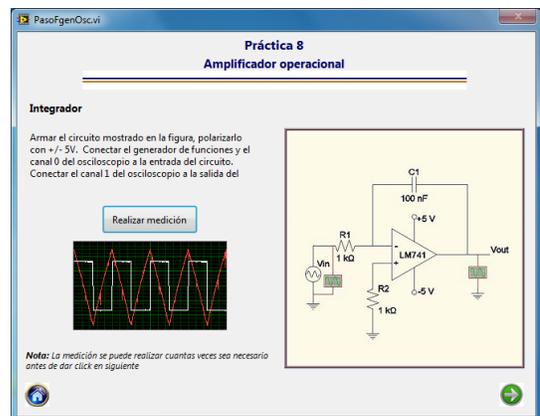
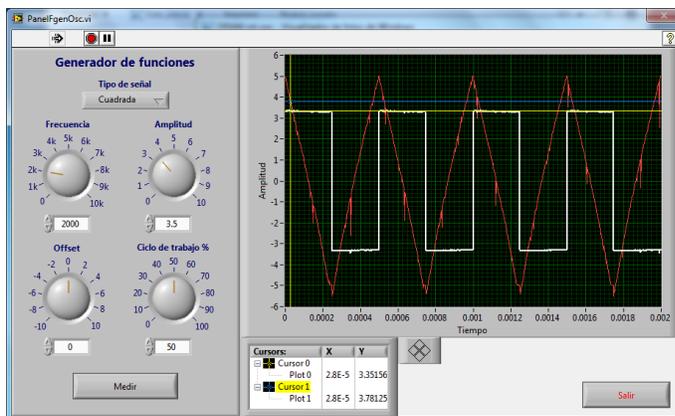


Figura 4.69 Señales integrador.

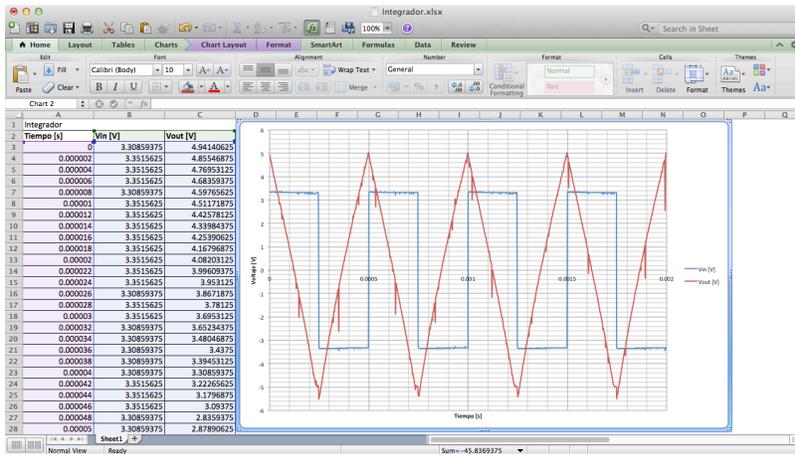


Figura 4.70 Gráficas integrador en Excel.

4.9 Osciladores con amplificador operacional.

La última práctica del laboratorio es la de osciladores con amplificador operacional. Para esta práctica se utilizaron dos circuitos osciladores, el primero es un oscilador tipo puente de Wien y el segundo es un oscilador por corrimiento de fase.



Figura 4.71 Circuito impreso osciladores.

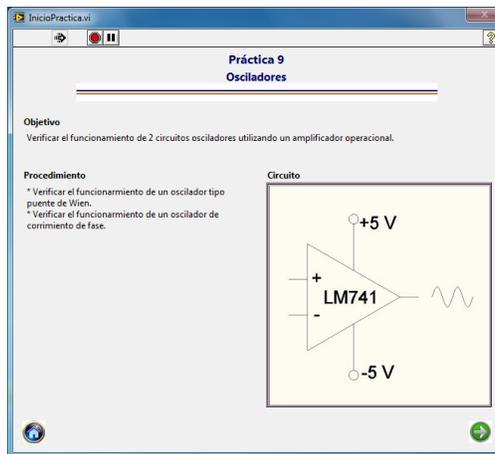


Figura 4.72 Presentación práctica 9.

Para ambos experimentos de esta práctica se utiliza el módulo que implementa el uso solamente del osciloscopio, porque los circuitos que se utilizan no requieren de una señal de entrada para generar la señal de salida. El módulo de medición del oscilador primero presenta una pantalla en la cual se observa el nombre de la medición que se va a realizar, el procedimiento a seguir y una imagen indicando cómo conectar las terminales del osciloscopio al circuito.

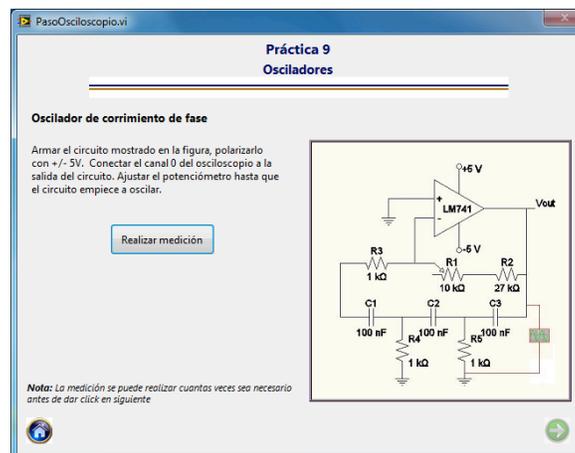


Figura 4.73 Presentación módulo osciloscopio.

Para realizar la medición con el osciloscopio no es necesario configurar ningún parámetro, sólo basta con presionar el botón de medir para observar la señal o señales capturadas por el dispositivo. Para la práctica es necesario ajustar un potenciómetro hasta que el circuito empiece a oscilar.

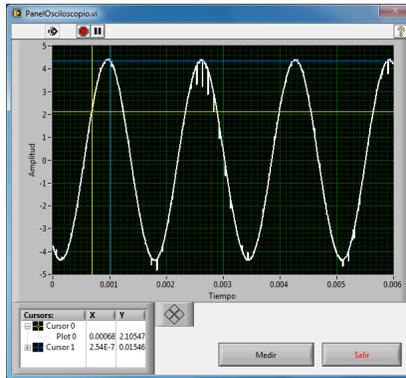


Figura 4.74 Panel medición osciloscopio.

Una vez realizada la medición con el osciloscopio se regresa a la pantalla de la medición y en esta se muestra una miniatura de la señal capturada.

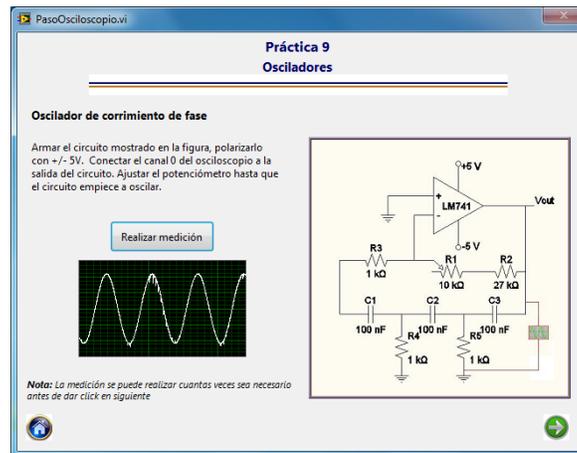


Figura 4.75 Presentación módulo osciloscopio con miniatura.

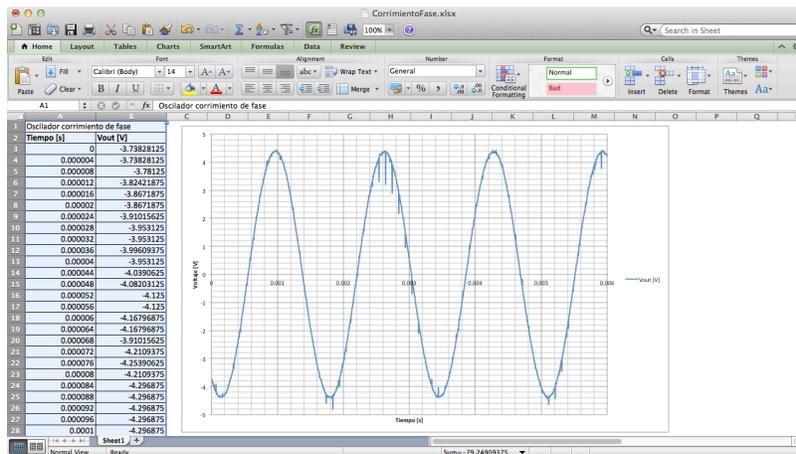


Figura 4.76 Gráfica en excel de oscilador de corriente de fase.

Finalmente con ayuda del multímetro de lee el valor del potenciómetro.

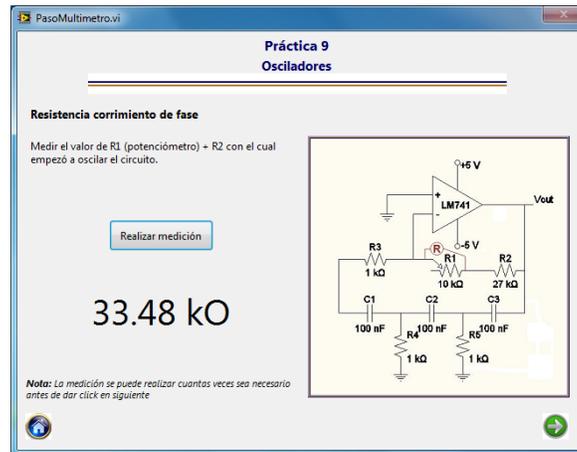


Figura 4.77 Lectura potenciómetro.

Los mismos pasos realizados para el oscilador de corrimiento de fase se realizan para el oscilador tipo puente de Wien.

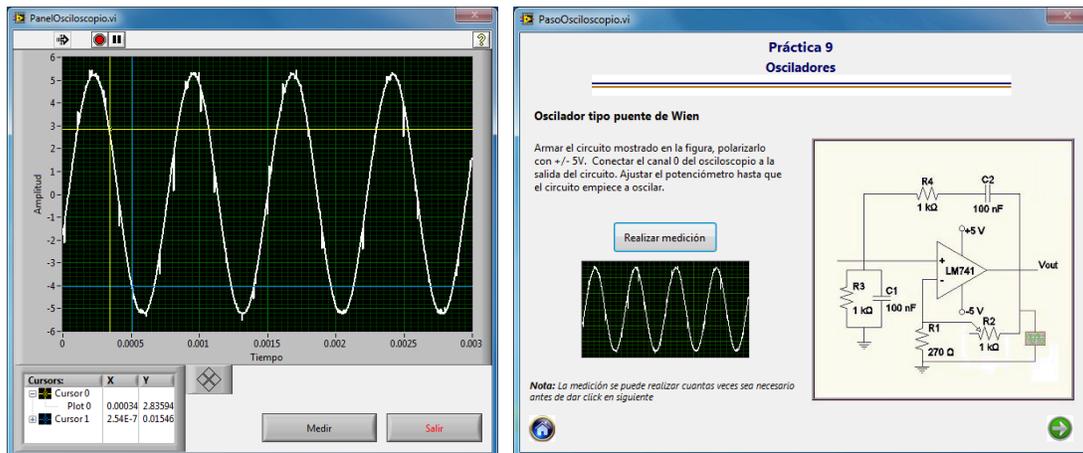


Figura 4.78 Medición osciloscopio puente de Wien.

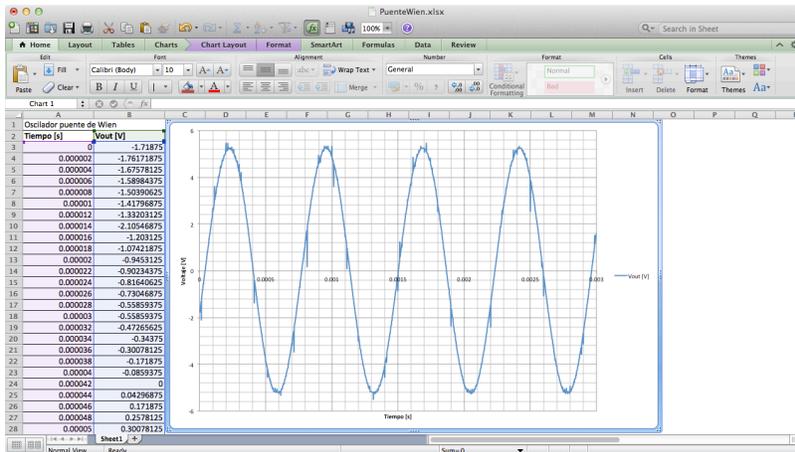


Figura 4.79 Gráfica en Excel de oscilador tipo puente de Wien.

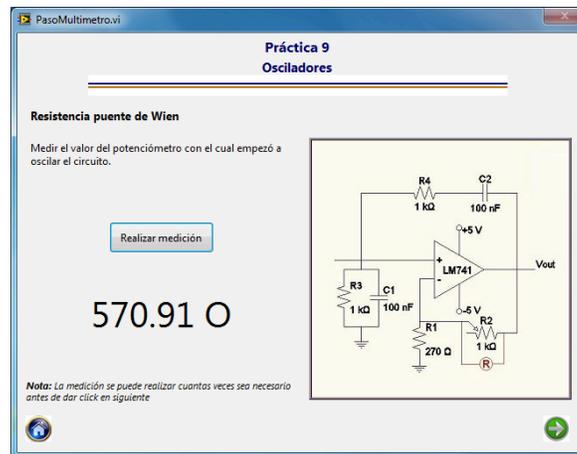


Figura 4.80 Medición potenciómetro puente de Wien.