

## **Capítulo 3. Diseño e implementación de circuitos y su configuración con LabVIEW 8.6**

### **3.1 Diseño y construcción de circuitos.**

La primer etapa del proyecto fue definir las prácticas y circuitos que conformarían el laboratorio de circuitos de RF. Decidí que el laboratorio constaría de 9 prácticas que ayudasen a comprender de forma simple los conceptos aprendidos en la teoría; para la selección de los circuitos tome en cuenta que estos fueran sencillos de construir, además de que utilizaran componentes económicos y fáciles de conseguir.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, las 9 prácticas propuestas para el proyecto fueron:

1. Polarización y ganancia del amplificador en configuración de emisor común.
2. Polarización y ganancia del amplificador en configuración de colector común.
3. Amplificador con transistores en cascada.
4. Amplificador push pull.
5. Respuesta en frecuencia de un amplificador de audio.
6. Amplificador MOSFET con alimentación común.
7. Amplificador diferencial.
8. Circuitos con amplificador operacional.
9. Osciladores con amplificador operacional.

Para la presentación del proyecto PAPIME decidí hacer en impreso cada uno de los circuitos utilizados, pero antes de esto, armé cada uno de los circuitos en una protoboard para hacer las mediciones necesarias en cada uno de estos y verificar que no hubiesen problemas de funcionamiento, ya que una vez construido el circuito impreso sería prácticamente imposible corregir cualquier falla.

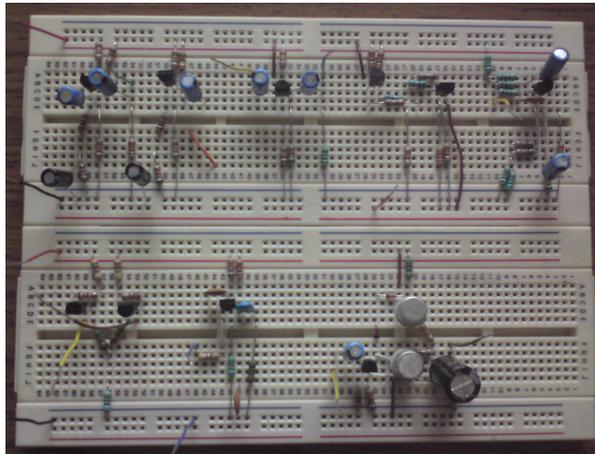


Figura 3.1 Circuitos armados en protoboard.

Para el diseño de los circuitos impresos utilicé el software EAGLE de la empresa CadSoft; el proceso de diseño y construcción de los circuitos impresos se detalla a continuación.

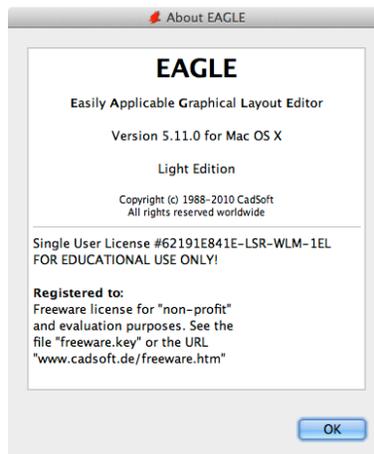


Figura 3.2 Pantalla de presentación del software EAGLE.

1. Se determina la dimensión de la placa fenólica sobre la cual se va a construir el circuito. Las dimensiones que utilicé fueron 5 cm x 5 cm y 10 cm x 5 cm, que corresponden a placas fenólicas que se consiguen en el mercado.

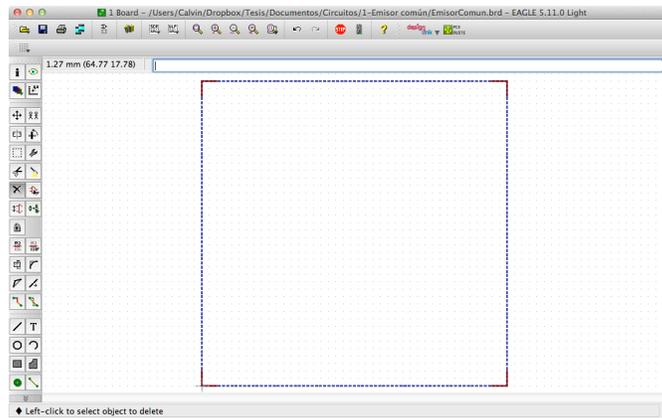


Figura 3.3 Dimensiones placa fenólica.

- De la biblioteca de componentes del programa se seleccionan los elementos que forman el circuito, teniendo cuidado de seleccionar correctamente el tamaño y presentación de cada componente.

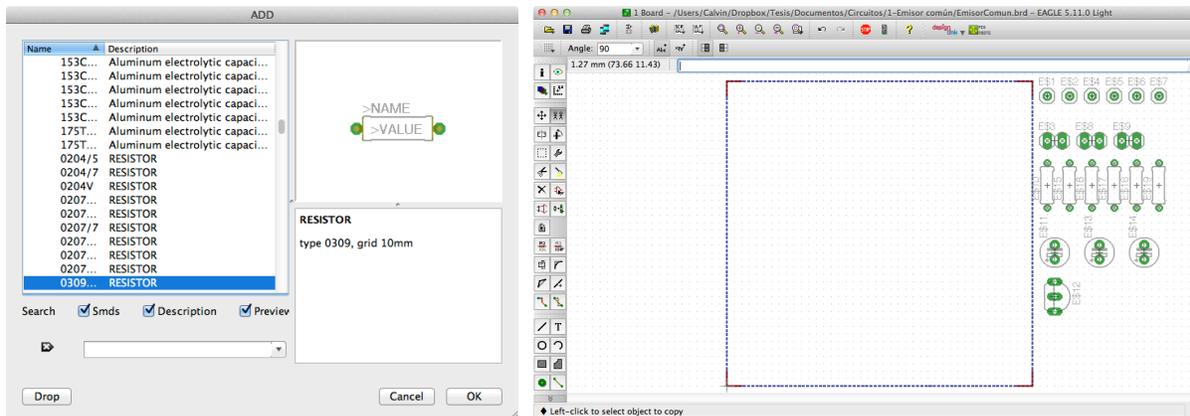


Figura 3.4 Componentes del circuito.

- Se cambian las etiquetas de nombre y valor de cada componente; este paso es importante porque ayuda a identificar cada uno de los elementos del circuito a la hora de soldar.

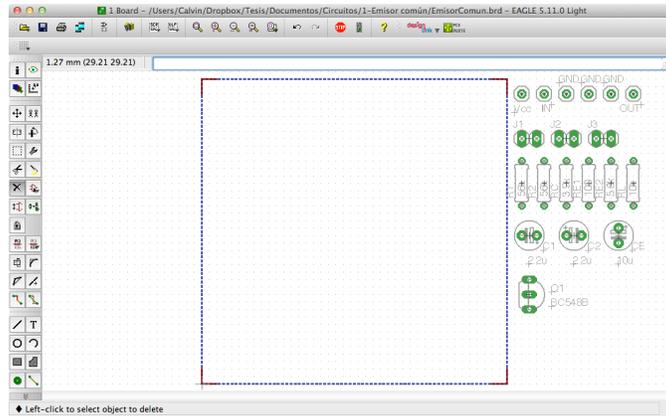


Figura 3.5 Cambio de nombre de componentes.

4. Se determina la ubicación de cada componente dentro de la placa fenólica. En este paso agregué pines sencillos y dobles en los puntos donde se polariza o se hacen mediciones en el circuitos; los pines dobles se usaron en puntos donde es necesario medir corriente, así con la ayuda de un jumper se abre o se cierra el circuito en el punto deseado.

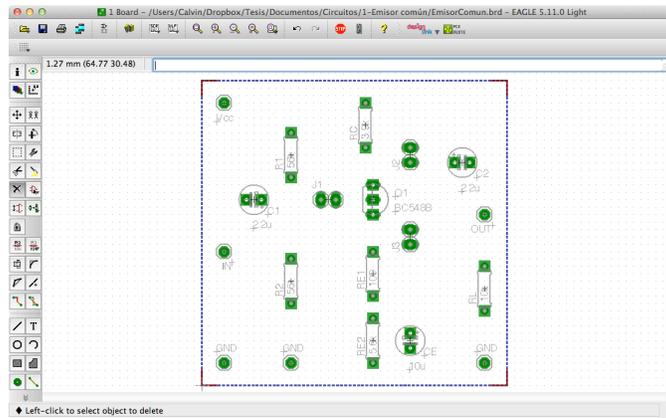


Figura 3.6 Ubicación de componentes.

5. Se dibujan las pistas que unen las diferentes terminales de los componentes.

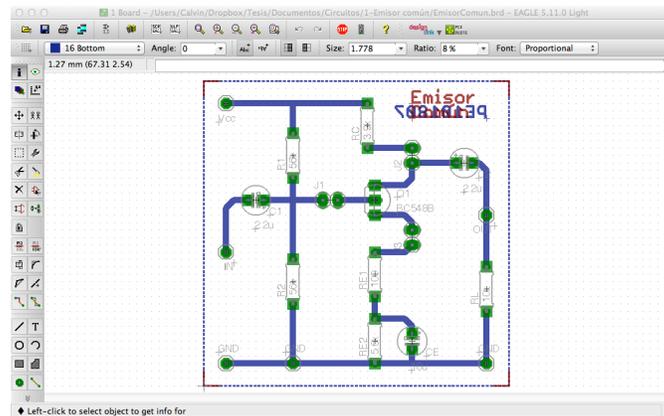


Figura 3.7 Trazado de pistas.

- Ya que se tiene el diseño terminado, se hace uso de la herramienta *ratsnest* para rellenar los espacios vacíos dentro del circuito y con esto reducir la cantidad de cobre a eliminar de la placa fenólica. Con ayuda de una impresora láser se hace la impresión del diseño sobre papel couché brillante. Es necesario hacer dos impresiones del diseño, una de la parte inferior del circuito, la cual contiene las pistas; y otra de la parte superior del circuito, en donde se muestran los componentes con sus nombres y valores.

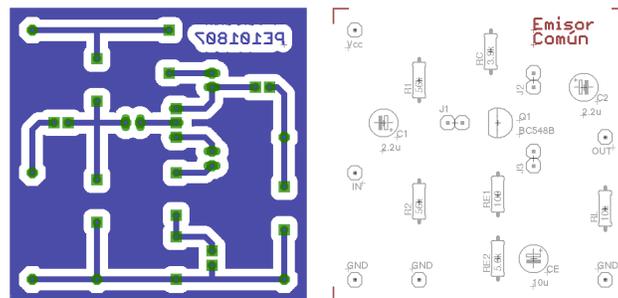


Figura 3.8 Impresiones circuito.

- Con una plancha caliente se transfiere la impresión de las pistas del circuito a la placa fenólica del lado del cobre, como si se tratara de un parche.

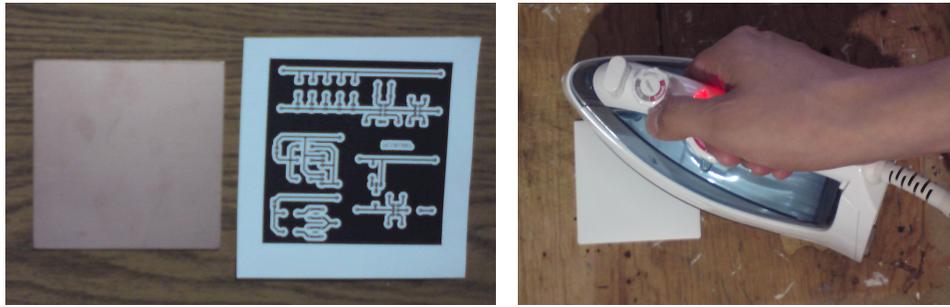


Figura 3.9 Transferencia del diseño a la placa fenólica.

8. Se quita el papel de la placa fenólica y se limpia teniendo cuidado de que todas las superficies en las cuales se desea retirar el cobre queden sin ningún rastro de papel o tóner.

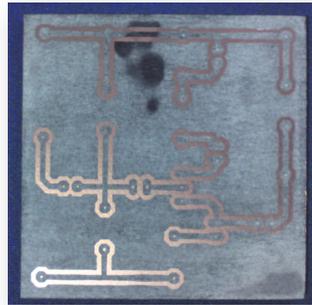


Figura 3.10 Diseño transferido a la placa fenólica.

9. Se sumerge la placa fenólica en una solución de cloruro férrico hasta que el cobre haya desaparecido de las zonas que no están cubiertas por el tóner.

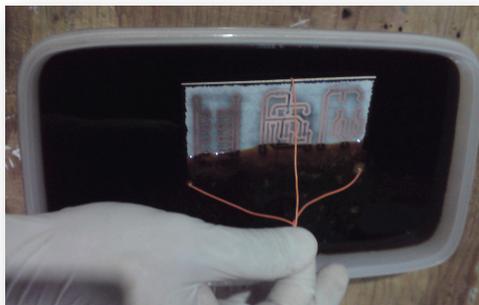


Figura 3.11 Inmersión de placa fenólica en cloruro férrico.

10. Se realizan las perforaciones por donde pasarán las terminales de los componentes.



Figura 3.12 Perforaciones en la placa fenólica.

11. Con ayuda de una fibra metálica se retira el tóner adherido al cobre.

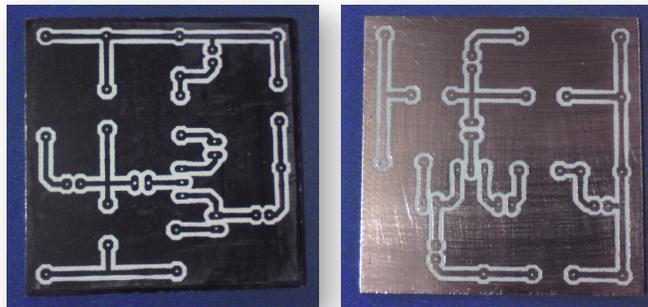


Figura 3.13 Retirar tóner de la placa fenólica.

12. Haciendo uso nuevamente de la plancha se transfiere la impresión de los componentes del circuito en la cara superior de la placa fenólica.

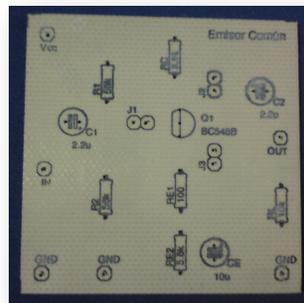


Figura 3.14 Transferencia de ubicación de componentes.

13. Finalmente se sueldan los componentes del circuito.

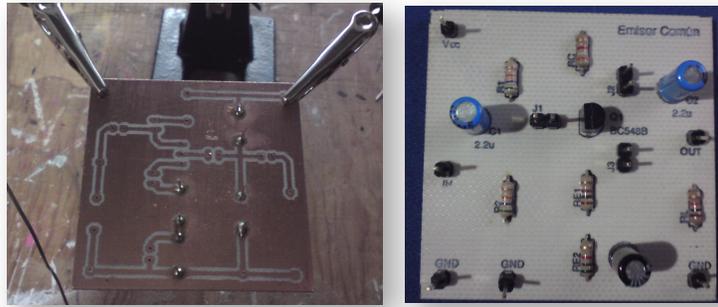


Figura 3.15 Soldado de componentes.

### 3.2 Implementación de la plataforma de medición con LabVIEW 8.6.

Antes de empezar con la implementación de la aplicación hice un análisis de la estructura que ésta debía tener, para obtener un patrón de diseño que facilitara la programación y que permitiera generar la menor cantidad de código posible. La base del análisis fue cómo está organizada una práctica de laboratorio, para de ahí empezar a definir los distintos módulos que compondrían la aplicación, así como la información a mostrarse en cada pantalla. De este análisis se obtuvo el flujo básico que debía tener la aplicación, el cual se muestra en la figura 3.16.

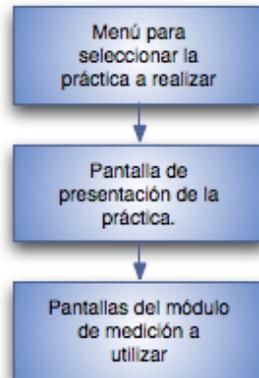


Figura 3.16 Flujo básico de la aplicación

La primer parte del programa consiste en un menú del cual el alumno seleccionará la práctica a realizar y posteriormente se iniciará con el desarrollo de la misma. En primera instancia pensé en hacer un subprograma por cada práctica, pero si lo hacía de esta

forma iba a existir mucho código repetido, lo cual genera problemas a la hora de solucionar errores. Así que tomando en cuenta que los módulos de medición usados en las prácticas son 4 diferentes, pensé en hacer un módulo genérico que tuviera como parámetro de entrada una variable que le indicara la práctica que seleccionó el alumno, y a partir de esta variable el programa buscara un archivo de configuración el cual tuviera la información necesaria para que el programa mostrara los módulos de medición necesarios en cada caso. El diagrama de flujo del menú principal se muestra en la figura 3.17.

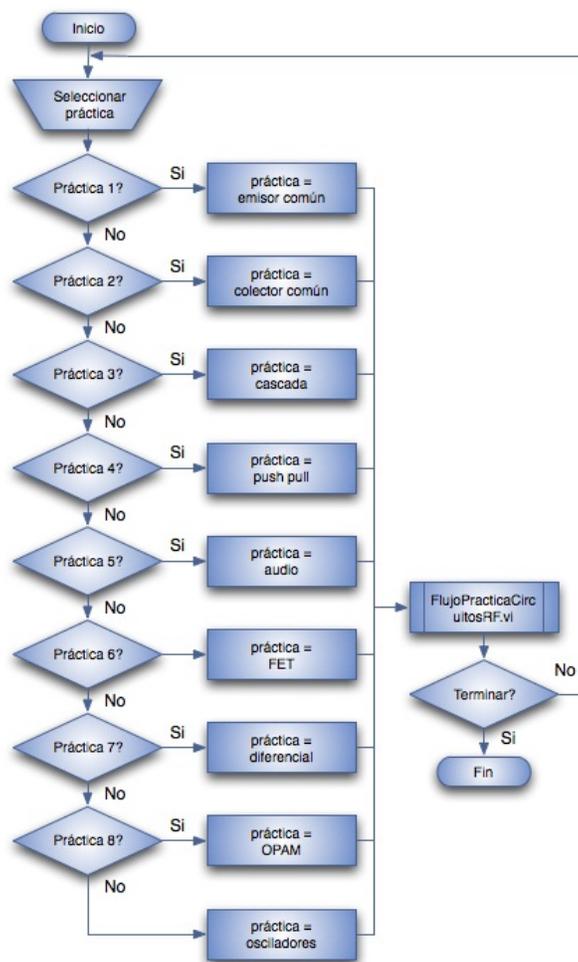


Figura 3.17 Diagrama de flujo del menú principal

Después de que el alumno haya seleccionado la práctica que va a realizar, se ejecuta un subprograma llamado FlujoPracticaCircuitosRF.vi, el cual va a ser el flujo de la aplicación. Inicialmente va a mostrar una pantalla con la información de la práctica a realizar y posteriormente se hace la toma de mediciones, las cuales se realizan utilizando uno de los 4 módulos de medición que componen la aplicación.

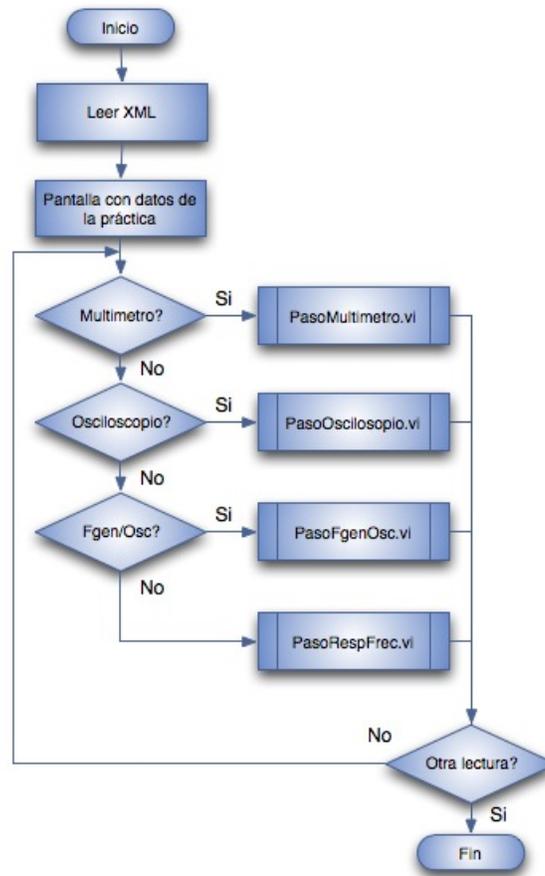


Figura 3.18 Diagrama de flujo del subprograma FlujoPracticaCircuitosRF.vi

Los módulos de medición que se utilizan en las prácticas son:

- **PasoMultimetro.vi:** Se utiliza para realizar mediciones de voltaje, corriente y resistencia con el multímetro.
- **PasoOsciloscopio.vi:** Sirve para realizar mediciones con ayuda del osciloscopio.

- **PasoFgenOsc.vi:** Integra el uso del generador de funciones y el osciloscopio en una sola pantalla.
- **PasoRespFrec.vi:** Módulo para realizar un barrido en frecuencia con ayuda del generador de funciones y el osciloscopio.

Todos los módulos de medición se diseñaron para tener un comportamiento similar, en el cual primero se muestra una pantalla donde se indica el tipo de medición a realizar junto con un dibujo de cómo conectar el o los instrumentos de medición al circuito y después se muestra la pantalla en la cual se realizará la medición; una vez hechas las mediciones los resultados se guardarán en un archivo.



Figura 3.19 Diagrama de flujo de los módulos de medición

Ya que tuve definido el flujo de la aplicación y las pantallas a mostrar, empecé a desarrollar la aplicación. Lo primero fue crear un proyecto en LabVIEW para agrupar todo el contenido de la aplicación y así tener los archivos ordenados por tipo y función. Las carpetas que componen el proyecto son:

- **Controles:** En esta carpeta se guardan los controles personalizados para la aplicación, como son botones e indicadores.

- **Documentación:** Esta carpeta contiene archivos de texto que describen el funcionamiento de la aplicación, para que en un futuro pueda ser modificada por alguien más.
- **Imágenes:** Aquí se guardan las imágenes a mostrar en la aplicación, las cuales se agrupan en subcarpetas por laboratorio y nombre de práctica a la cual pertenecen.
- **Propiedades:** En esta carpeta se guardan los archivos de configuración de cada práctica, agrupados en subcarpetas por laboratorio.
- **SubVIs:** Aquí se almacenan todos los subprogramas que se utilizan en la aplicación.

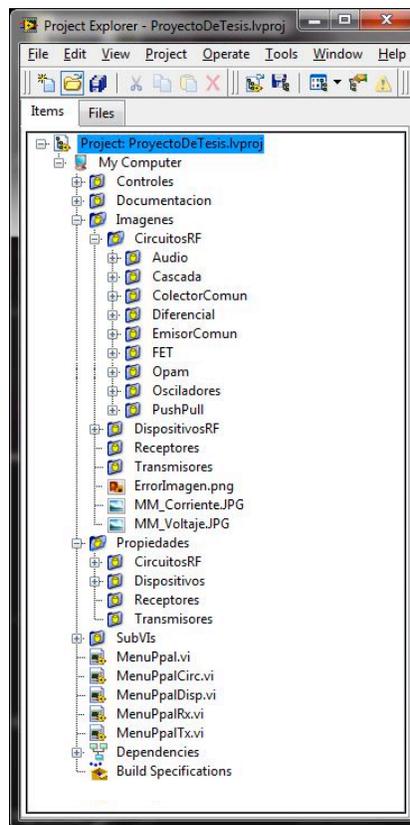


Figura 3.20 Estructura del proyecto en LabVIEW.

El primer VI que compone la aplicación es MenuPpal.vi desde donde se selecciona el laboratorio al cual se desea acceder. Este módulo basa su funcionamiento en una

estructura de eventos, en la que se realizan diferentes acciones de acuerdo a lo que ocurra en la ventana de la aplicación. Se tienen cuatro botones que corresponden a cada uno de los laboratorios que componen el proyecto y un quinto botón que cierra la aplicación. Los eventos manejados por el programa corresponden a hacer click en cada uno de los botones, para el caso de los botones de las prácticas se ejecuta el subprograma con el menú del laboratorio correspondiente y, como ya se mencionó, al dar click sobre el botón de cerrar, se termina con la ejecución del programa.

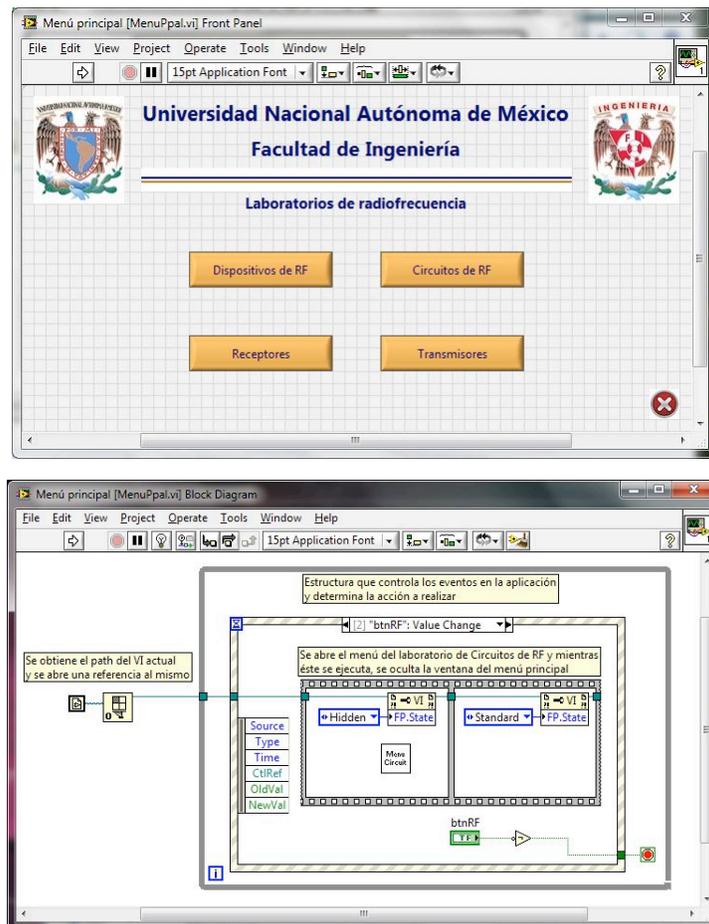


Figura 3.21 Panel y diagrama de bloques de MenuPpal.vi.

El menú del laboratorio de circuitos de RF se llama MenuPpalCirc.vi y también funciona con base a una estructura de eventos. Se tienen nueve botones, los cuales corresponden a cada una de las prácticas que conforman el laboratorio y un décimo botón para terminar con la ejecución de este programa. Por cada botón de práctica se

manejan 3 eventos, el primero es cuando el cursor se posiciona sobre el botón, cuando esto ocurre se muestra el nombre de la práctica y una imagen del circuito a utilizarse en la práctica, el segundo caso es cuando el cursor deja de estar sobre el botón, entonces se ocultan el nombre y la imagen de la práctica, y el tercer caso es cuando se da click en el botón, aquí se manda a llamar el subVI que maneja el flujo de las prácticas. Al dar click sobre el botón salir se termina con la ejecución del programa de circuitos de RF y se regresa al menú principal de laboratorios.

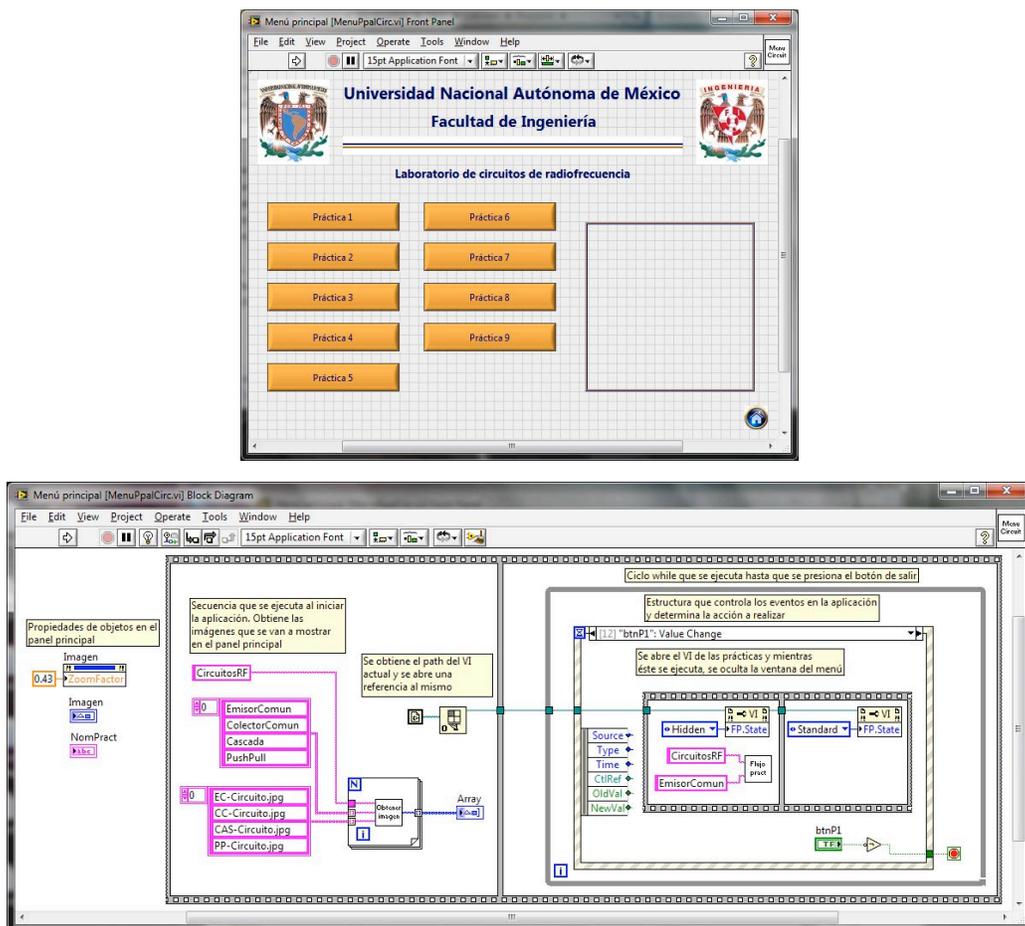


Figura 3.22 Panel y diagrama de bloques de MenuPpalCirc.vi.

Existen muchos casos en los que los subprogramas creados para la aplicación no tienen una ventana para mostrar, este es el caso de FlujoPracticaCircuitosRF.vi que maneja el flujo de las prácticas y ejecuta otros programas. Este VI recibe como parámetros de entrada el laboratorio y la práctica que se van a realizar, con esta

información busca el archivo de configuración correspondiente a la práctica seleccionada y a partir de éste se decide el flujo que va a llevar la práctica. Otra funcionalidad de este subprograma es la de crear la carpeta en donde se guardaran los resultados obtenidos en las prácticas; después de crear la carpeta se pasa la ruta de la misma a los distintos módulos de medición para que almacenen ahí los resultados. Cuando el alumno finaliza la práctica aparece una ventana indicando la ruta de la carpeta en donde se guardaron los resultados para que pueda copiarlos y haga el reporte de la práctica.

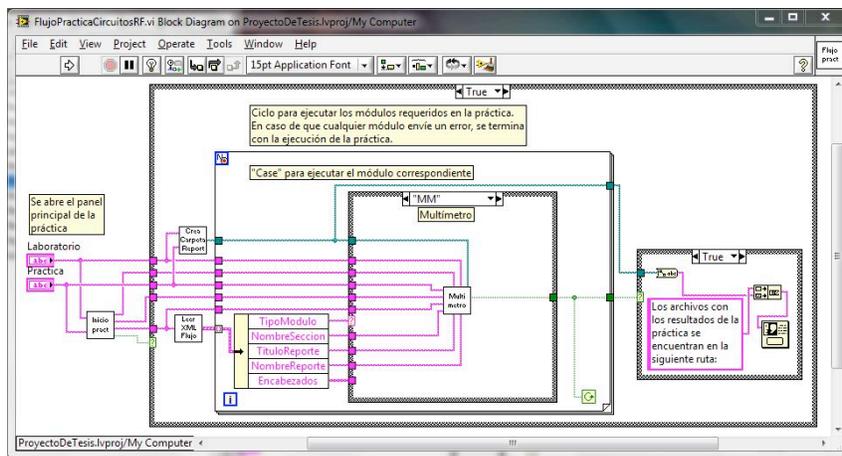


Figura 3.23 Diagrama de bloques de FlujoPracticaCircuitosRF.vi.

La pantalla de presentación de la práctica se llama InicioPractica.vi y contiene el número y nombre de la práctica, objetivo, procedimiento y una imagen del circuito que se va a utilizar. Esta pantalla cuenta con dos botones, uno para continuar con el desarrollo de la práctica y otro para regresar al menú del laboratorio.

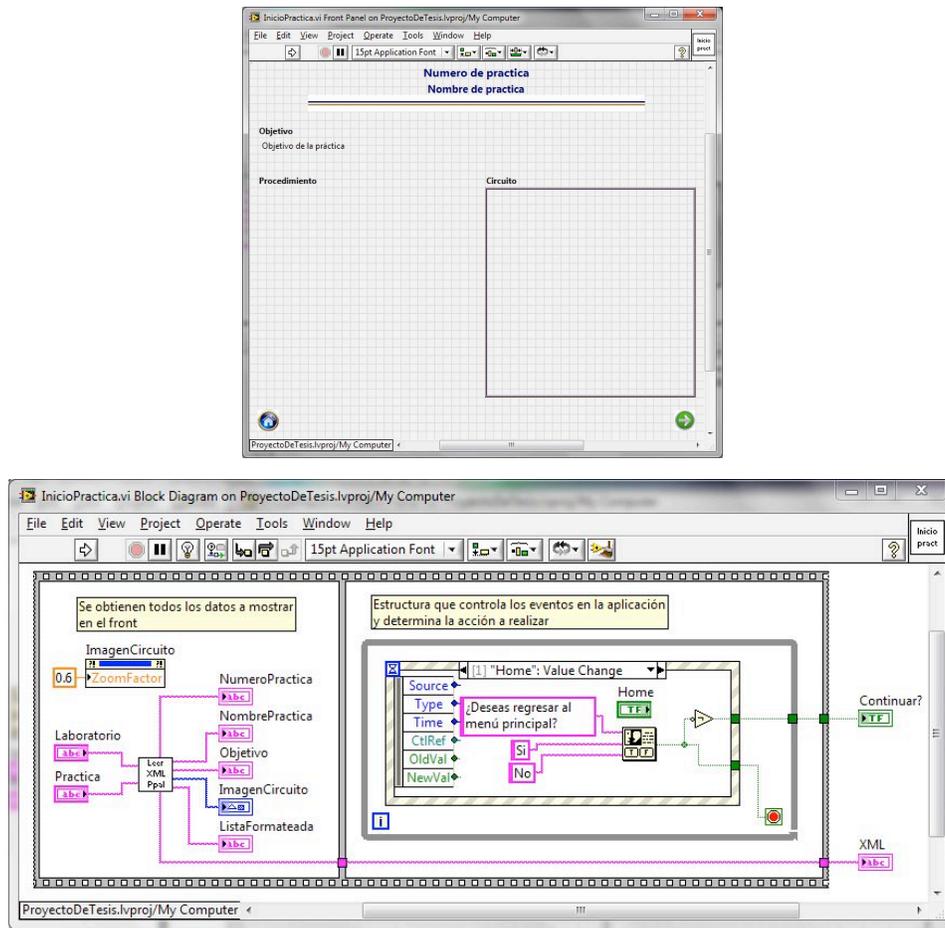


Figura 3.24 Panel y diagrama de bloques de InicioPractica.vi.

Al continuar con la práctica el programa lee el archivo de configuración de donde hace una lista de los módulos de medición que se van a utilizar en la práctica; esta lista se pasa a un ciclo *for* para ejecutar uno a uno dichos módulos. Dentro del ciclo *for* se tiene un *case* que lee el identificador del módulo de medición y determina qué subprograma se debe ejecutar. Es gracias a este VI que se logró reducir la cantidad de código generado para la aplicación, porque un mismo módulo de medición se puede ejecutar tantas veces como sea necesario y en cada caso mostrar información diferente de acuerdo a las necesidades de la práctica y también guardar los resultados de las mediciones en un archivo distinto en cada caso.

El primer módulo de medición implementado fue el del multímetro, cuando se manda llamar este módulo lo primero que se hace es verificar que el dispositivo esté conectado

a la computadora, porque al tratarse de un dispositivo USB se puede dar el caso de que no este conectado y por consiguiente no se pueda realizar la práctica. En caso de que el programa no encuentre el dispositivo se muestra una ventana indicando el error para que el alumno revise la conexión del dispositivo y pueda continuar con el desarrollo de la práctica.

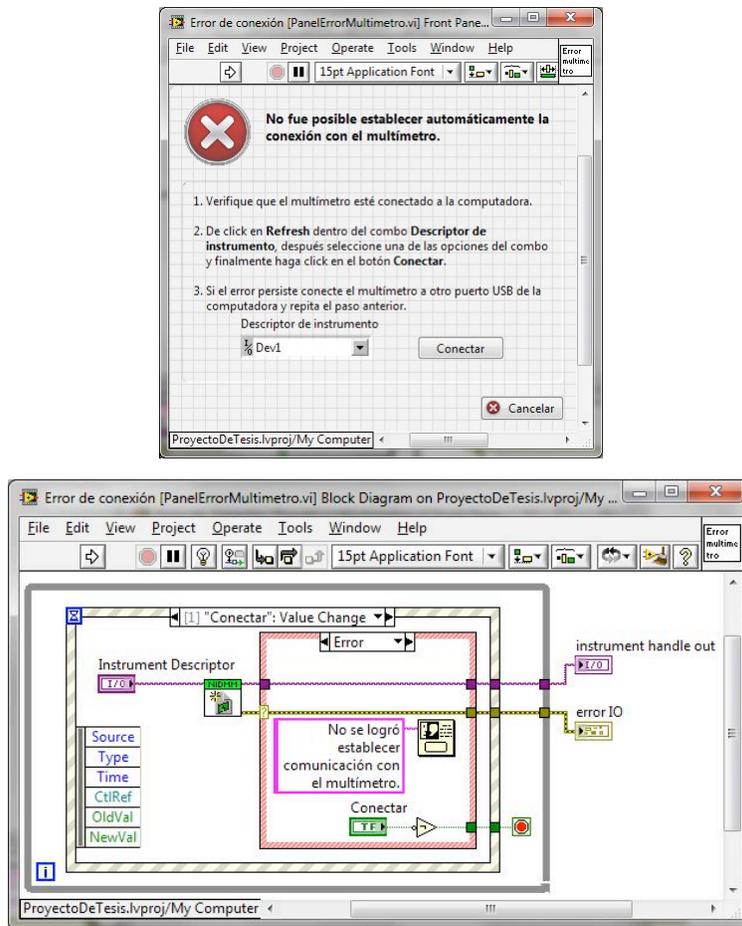


Figura 3.25 Panel y diagrama de bloques de PanelErrorMultimetro.vi.

Multimetro.vi es el programa que se encarga de controlar el flujo de las mediciones con el multímetro. Lo primero que hace es extraer la lista de mediciones del archivo de configuración y al mismo tiempo abre la conexión con el dispositivo, la cual se mantiene abierta hasta que se terminan de hacer las mediciones. La lista de mediciones se pasa a un ciclo *for* que obtiene una a una las mediciones a realizar y esta se pasa a un *case*

para determinar si la medición a realizar va ser de voltaje, corriente o resistencia; y con ello configurar el dispositivo.

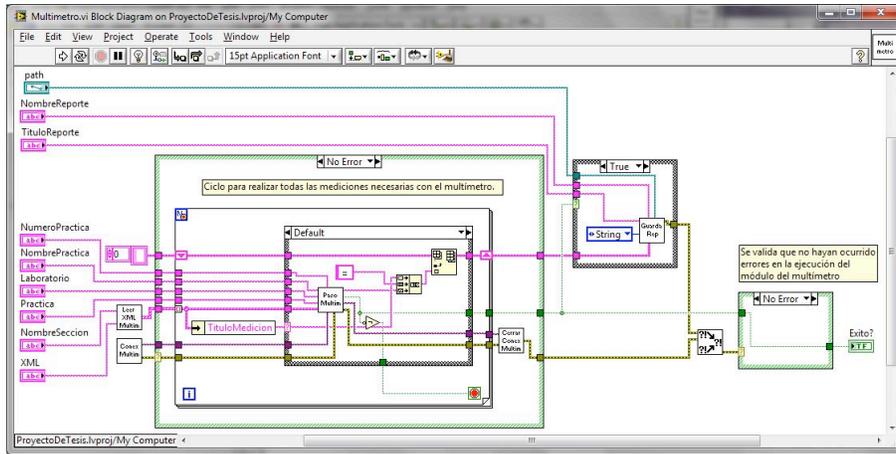


Figura 3.26 Diagrama de bloques de Multimetro.vi.

El subprograma *PasoMultimetro.vi* muestra la información correspondiente a la medición que se va a realizar, indicando el nombre de la medición y una explicación del procedimiento a realizar, al igual que una imagen donde se observa en qué puntos del circuito se debe conectar el dispositivo. Este VI tiene tres botones, el primero es para acceder a realizar la medición, el segundo para continuar con la práctica y el último para regresar al menú principal; el botón de continuar se mantiene desactivado hasta que se haya realizado al menos una medición.

Para realizar la medición se usa el subprograma *PanelMultimetro.vi*, el cual consiste en un *display* donde se observa el valor medido y un botón que sirve para realizar la captura de la medición. Cuando se hace la medición se regresa a la pantalla de *PasoMultimetro.vi* y en esta se muestra el valor capturado por el dispositivo; en caso de que exista algún error en la medición es posible realizar nuevamente la medición al dar click en el botón de “Realizar medición”.



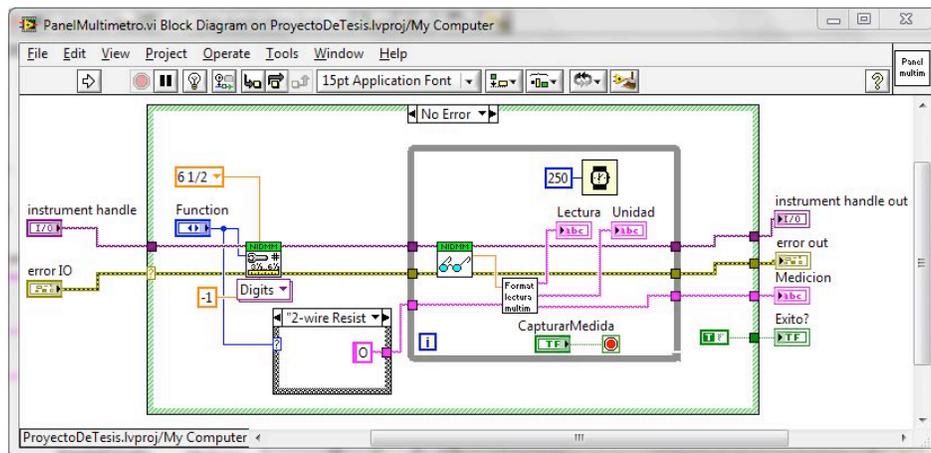
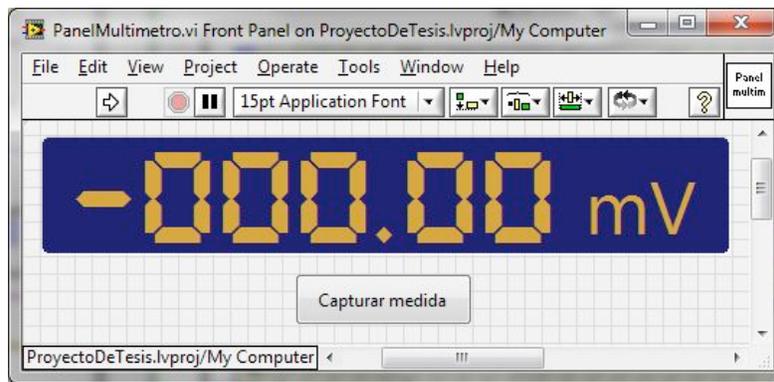


Figura 3.28 Panel y diagrama de bloques de PanelMultimetro.vi

El segundo módulo de medición es del osciloscopio, en este caso al tratarse de un dispositivo que está conectado directamente a la *motherboard* de la computadora, por medio de un puerto *PCI*, no es necesario validar que éste se encuentre conectado. La información de la medición a realizar se muestra en la ventana de PasoOsciloscopio.vi que contiene los mismos elementos que PasoMultimetro.vi. Al dar Click en “Realizar medición” se muestra el panel del osciloscopio en donde se tiene un display en el cual se van a observar las señales leídas por el osciloscopio y dos botones; el botón de “Medir” sirve para realizar una medición con el osciloscopio y el de “Salir” para regresar a la pantalla de PasoOsciloscopio.vi, este botón se mantiene inactivo hasta que se haya realizado al menos una medición.

Los osciloscopios usados actualmente en los laboratorios de electrónica leen constantemente los canales de entrada y presentan las señales en el *display*, además en estos es necesario ajustar manualmente las escalas de tiempo y amplitud para

obtener la mejor vista de las señales capturadas. El funcionamiento de este módulo dentro del programa es diferente ya que aquí no se observa todo el tiempo la señal, sino que se toma una muestra de la señal cada vez que se da click en el botón “Medir”; lo que hace el programa en este caso es abrir la conexión con el dispositivo, toma una muestra de las señales de entrada que se tiene en uno o ambos canales del osciloscopio, realiza el auto-ajuste en las escalas, muestra las señales leídas y por último cierra la conexión. Al trabajar de esta forma se obtiene un número finito de puntos que representan las señales medidas, los cuales son suficientes para obtener las características de estas. Estos datos se guardan en una tabla que tiene dos o tres columnas dependiendo de si se realizaron mediciones con uno o ambos canales de entrada del osciloscopio; la primer columna corresponde al tiempo medido en segundos y las otras dos columnas representan la amplitud de las señales en volts. El archivo generado por la aplicación es de tipo html y fácilmente se puede abrir con Excel o cualquier otro programa para graficar las señales y poder mostrarlas en el reporte de la práctica.

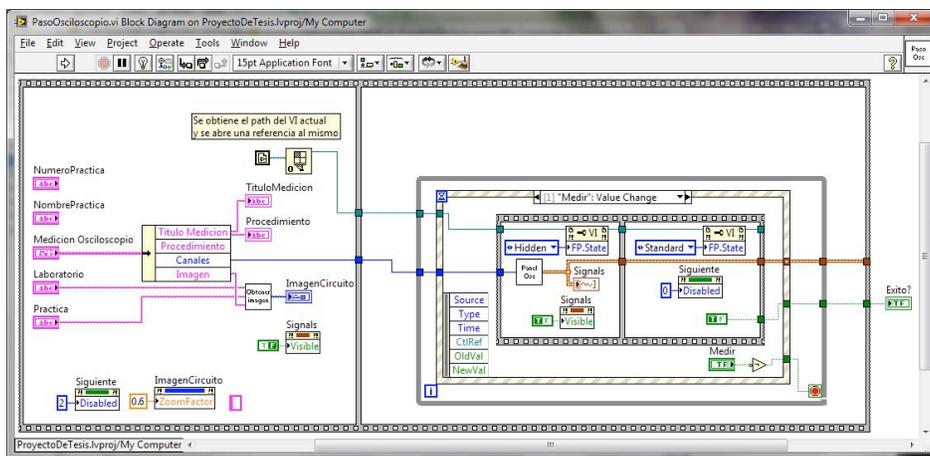
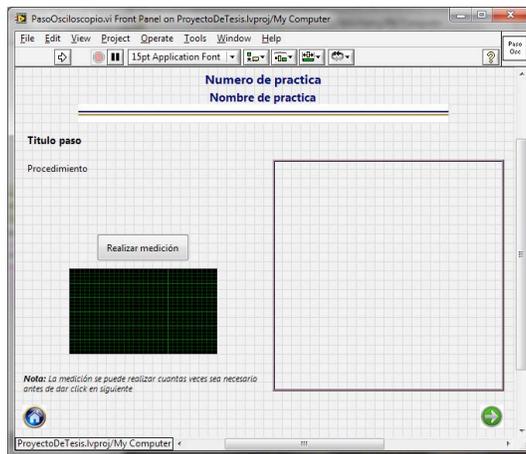


Figura 3.29 Panel y diagrama de bloques de PasoOsciloscopio.vi.

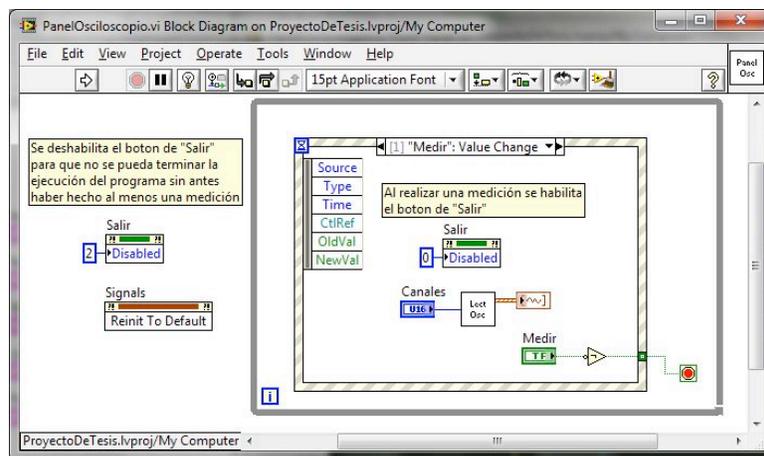
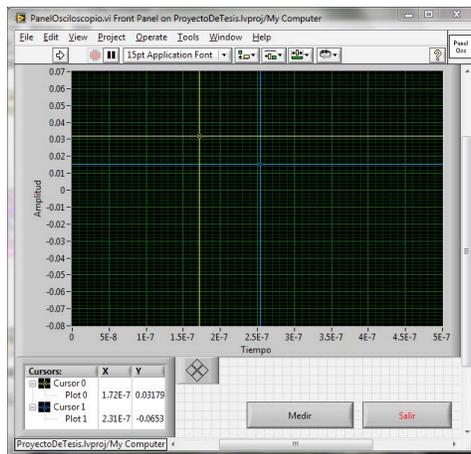


Figura 3.30 Panel y diagrama de bloques de PanelOsciloscopio.vi.

El tercer módulo de medición hace uso del generador de funciones y el osciloscopio, este modulo se usa en el caso de que el circuito requiera una señal de entrada. El funcionamiento es prácticamente el mismo que en el caso del osciloscopio, la información de la medición a realizar se muestra con el subprograma PasoFgenOsc.vi y al dar click en el botón “Realizar medición” se abre el subprograma PanelFgenOsc.vi, en donde se muestra un *display* donde se van a observar las señales capturadas por el osciloscopio y los botones de “Medir” y “Salir”, pero además del lado izquierdo se tiene un panel con controles que sirven para determinar las características de la señal que va a ser creada por el generador de funciones. En este panel se puede seleccionar el tipo de señal a generar, así como su frecuencia, amplitud, offset y ciclo de trabajo, en caso de que se trate de una señal cuadrada.

Para usar este módulo primero es necesario indicar las características de la señal con la que se va a alimentar el circuito, una vez hecho esto se da click en el botón “Medir” y el programa hace las mediciones correspondientes. El flujo realizado por el programa inicia configurando el generador de funciones con las características de la señal deseada, después se configura el osciloscopio, se comienza a generar la señal de salida y una vez que el generador de funciones esta entregando señal, se realiza la lectura con el osciloscopio; ya que se tiene capturada la medición se muestra en el display y se cierran las conexiones con el osciloscopio y el generador de funciones. Las señales capturadas en este módulo se guardan igual que como se hace con el módulo que sólo utiliza el generador de funciones.

El cuarto y último módulo de medición corresponde al de respuesta en frecuencia, este módulo también hace uso del generador de funciones y del osciloscopio, pero a diferencia del módulo anterior aquí no se observan las señales de entrada y salida del circuito, sino que se determina la ganancia de voltaje del circuito con respecto a la frecuencia. La información correspondiente a la medición que se va a realizar se muestra en el subprograma PasoRespFrec.vi, al dar click en el botón “Realizar medición” se ejecuta el subprograma PanelRespFrec.vi.

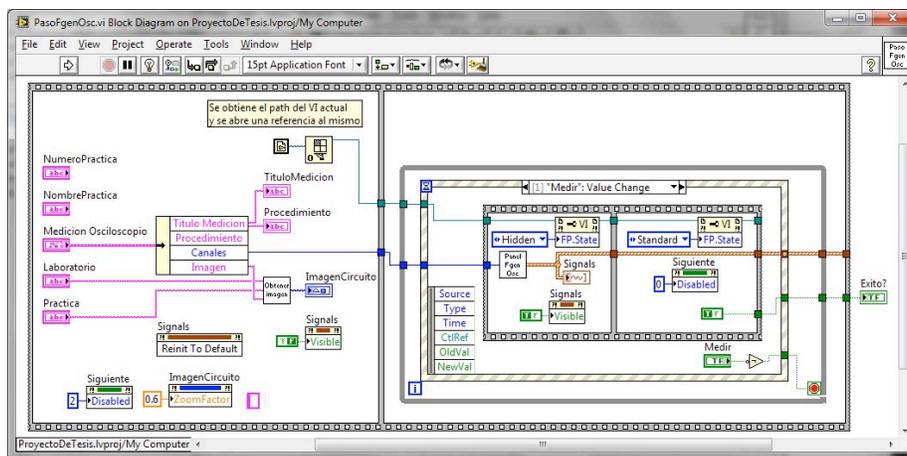
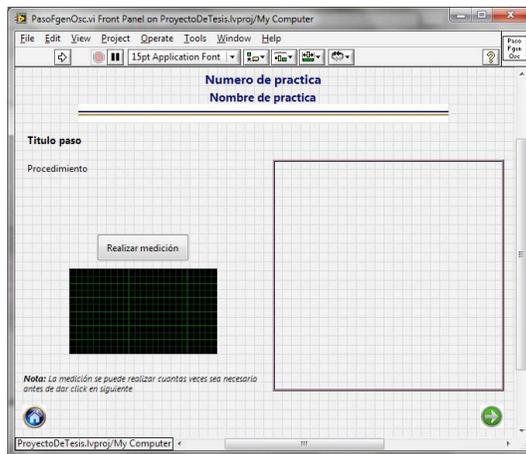


Figura 3.31 Panel y diagrama de bloques de PasoFgenOsc.vi.

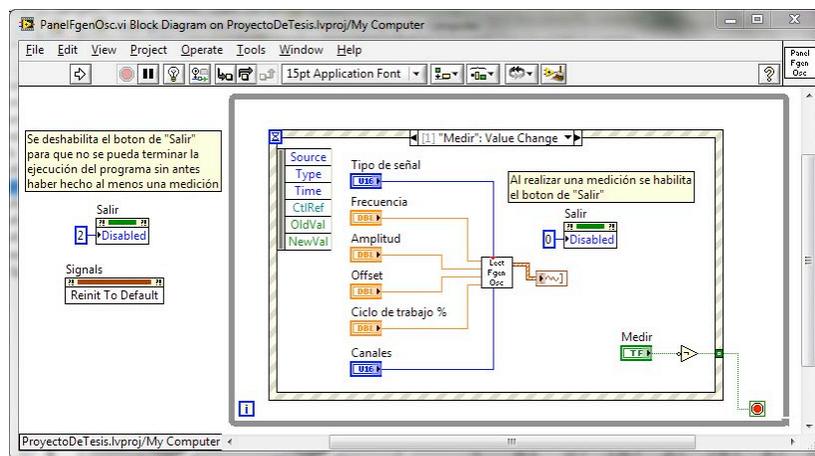
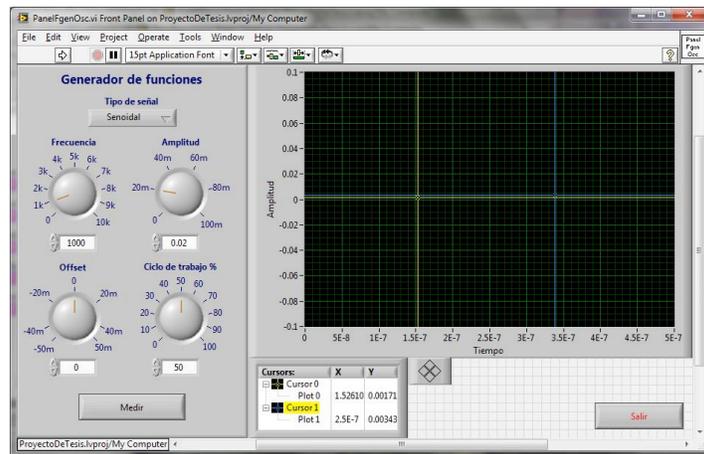


Figura 3.32 Panel y diagrama de bloques de PanelFgenOsc.vi.

En el panel de medición se observa un *display* donde se va a mostrar la gráfica de respuesta en frecuencia, del lado izquierdo del panel se tienen controles para indicar las frecuencias inicial y final del barrido, al igual que el número de puntos que se desean obtener en la gráfica; antes de iniciar con la medición es necesario indicar los tres valores antes mencionados. Cuando se da click en el botón “Ejecutar” el programa empieza a hacer la medición.

El flujo de este proceso inicia tomando los valores de los controles de frecuencia y número de puntos a graficar, con estos datos se calculan todas las frecuencias intermedias en las cuales se va a realizar la medición, estos valores se almacenan en un arreglo que posteriormente se pasa a un ciclo *for* dentro del cual se hacen las mediciones de las señales de entrada y salida del circuito para cada una de las

frecuencias que componen el arreglo. Para determinar la ganancia de voltaje del circuito en una determinada frecuencia se configura el generador de funciones para que genere una señal senoidal de la frecuencia deseada, después con ayuda del osciloscopio se obtienen las señales de entrada y salida del circuito, de estas señales se obtiene su amplitud y se aplica la fórmula:

$$G_v [dB] = 20 \log \left( \frac{V_{in}}{V_{out}} \right)$$

Estos valores se almacenan en una tabla que contiene dos columnas, una para la frecuencia medida en hertz y otra para la ganancia medida en decibeles; estos resultados también se guardan en un archivo html para que el alumno pueda graficar el resultado obtenido en la práctica.

Para hacer más eficiente el funcionamiento de este módulo de medición las conexiones con el generador de funciones y el osciloscopio se abren antes de realizar las mediciones y se cierran hasta que estas se terminan de hacer.

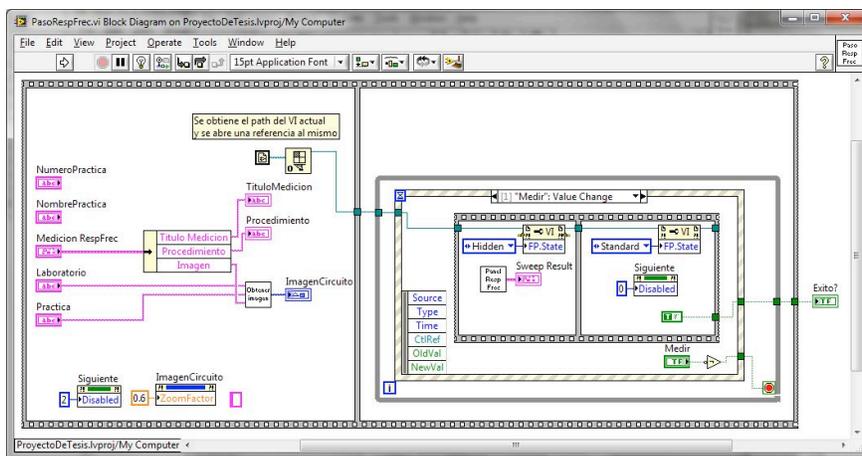
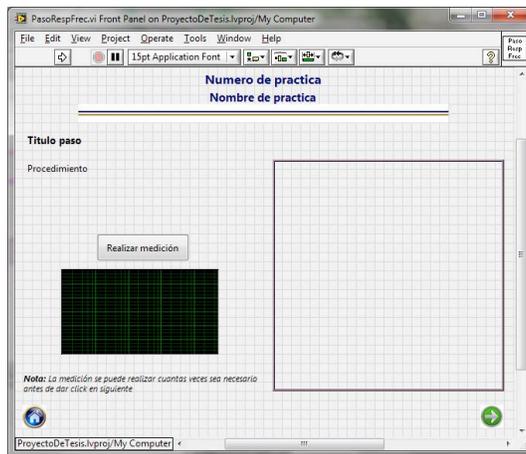


Figura 3.33 Panel y diagrama de bloques de PasoRespFrec.vi.

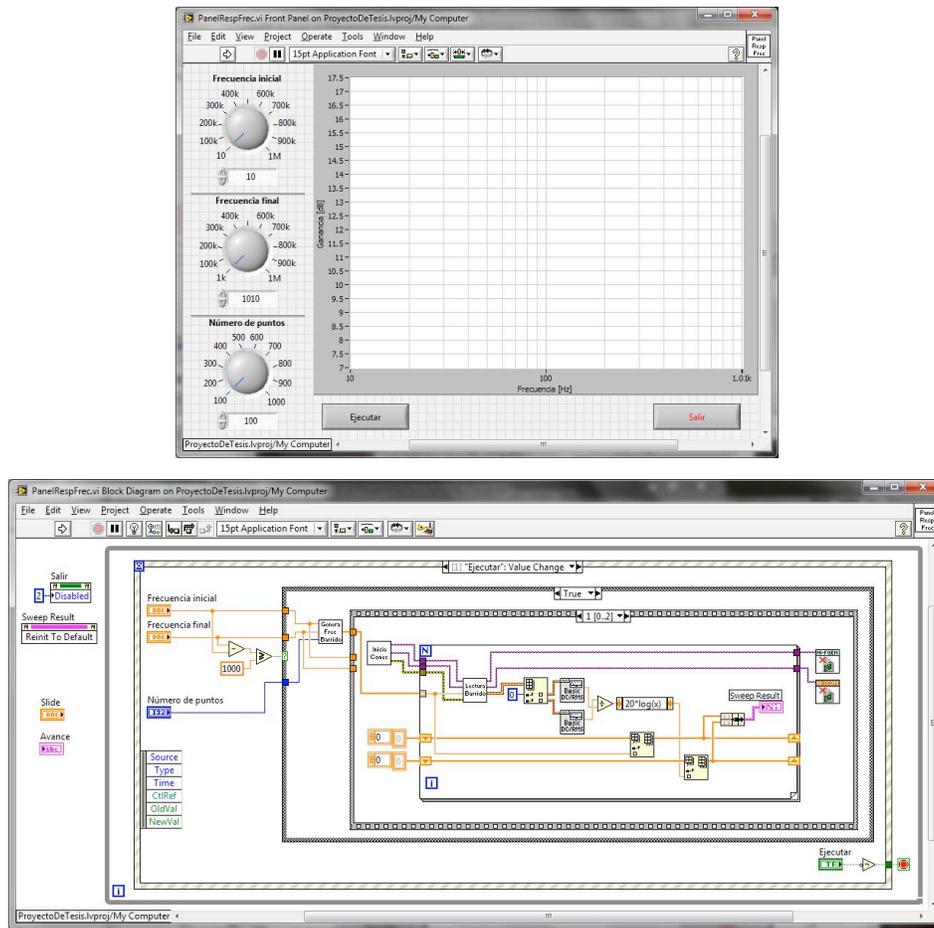


Figura 3.34 Panel y diagrama de bloques de PanelRespFrec.vi.

El archivo de configuración en donde se almacena la información de las prácticas es de tipo XML (lenguaje de marcas extensible por sus siglas en inglés), elegí este tipo de archivo porque permite almacenar información de forma estructurada mediante el uso de etiquetas. La estructura del archivo de configuración consta de tres secciones:

- **Principal:** Dentro de esta sección se almacena la información a mostrar en la pantalla de presentación de la práctica (InicioPractica.vi). La información esta contenida dentro de una estructura tipo *cluster*, la cual permite agrupar información de distintos tipos de datos.
- **Flujo:** En esta sección se definen los módulos de medición a utilizar dentro de la práctica, se pueden usar tantos módulos como sea necesario. Esta información está contenida en un arreglo de *clusters*, los cuales contienen el identificador del

módulo que se va a utilizar, el nombre con el cual se va a identificar la medición en la sección de mediciones, el nombre con el que se va a guardar el reporte, el título que va llevar el reporte y los nombres de los encabezados de las columnas de la tabla en donde se van a almacenar los resultados.

- **Sección mediciones:** La sección de mediciones contiene tantos elementos como tenga el arreglo de *clusters* de la sección Flujo y cada elemento va a ser identificado con el “Nombre medición” que se le haya asignado. En estos elementos se almacena el nombre de la medición, el procedimiento y la imagen que se muestra en los paneles de PasoMultimetro.vi, PasoOsciloscopio.vi, PasoFgenOsc.vi y PasoRespFrec.vi.

Generar el archivo de configuración desde un editor de texto es una tarea muy complicada, porque es necesario conocer perfectamente la estructura del archivo, así como las etiquetas que conforman cada sección; para facilitar esta tarea y evitar que se generen errores, creé una aplicación que genera de forma automática estos archivos con simplemente ir llenando formularios con la información que se requiere en cada sección del archivo.

La principal ventaja de que toda la información de las prácticas se almacene dentro del archivo de configuración es que si se desea agregar una nueva práctica al laboratorio, casi no va a ser necesario modificar el código de la aplicación, pues sólo hay que generar el nuevo archivo de configuración, crear las imágenes que se van a mostrar en cada pantalla y guardarlas en la carpeta que les corresponda dentro de la carpeta de imágenes del proyecto. La única modificación al código se haría en el menú del laboratorio para agregar el botón de la nueva práctica y los eventos asociados a éste.

```

<?xml version='1.0' standalone='yes' ?>
<LVData xmlns="http://www.ni.com/LVData">
  <Version>8.6</Version>

  <Principal>
    <Cluster>
      *Número de práctica
      *Título
      *Objetivo
      *Procedimiento
      *Imagen
    </Cluster>
  </Principal>

  <Flujo>
    <Array>
      <Cluster>
        *Tipo módulo
        *Nombre medición
        *Título reporte
        *Nombre reporte
        *Encabezados
      </Cluster>
    </Array>
  </Flujo>

  <!-- Inicio sección de mediciones -->
  <Nombre medición 1>
    <Array>
      <Cluster>
        *Título medicion
        *Procedimiento
        *Imagen
      </Cluster>
    </Array>
  </Nombre medición 1>

  ...

  <Nombre medición n>
    ...
  </Nombre medición n>
  <!-- Fin sección de mediciones -->
</LVData>

```

Figura 3.35 Estructura del archivo XML de configuración.