



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE SEÑALES Y SISTEMAS



**DISEÑO DE UNA APLICACIÓN PARA EL CONTROL, ANÁLISIS Y
ADQUISICIÓN DE DATOS DEL ANALIZADOR HP 4396B.**

PARADA ESTEFFANI
TAVERA ANTHONNY

Bárbula, 31 de Marzo del 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE SEÑALES Y SISTEMAS



**DISEÑO DE UNA APLICACIÓN PARA EL CONTROL, ANÁLISIS Y
ADQUISICIÓN DE DATOS DEL ANALIZADOR HP 4396B.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD DE
CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES

PARADA ESTEFFANI
TAVERA ANTHONNY

Bárbula, 31 de Marzo del 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE SEÑALES Y SISTEMAS



AVAL DEL TUTOR

Quien suscribe César Ruiz, titular de la cédula de identidad 11.155.040, en mi carácter de TUTOR del Trabajo Especial de Grado titulado:

**DISEÑO DE UNA APLICACIÓN PARA EL CONTROL, ANÁLISIS Y ADQUISICIÓN
DE DATOS DEL ANALIZADOR HP 4396B.**

Y presentado por los bachilleres PARADA ESTEFFANI, cédula de identidad 21.653.629, TAVERA ANTHONNY, cédula de identidad 20.955.365, para optar al Título de Ingeniero de Telecomunicaciones, hago constar que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se le designe

Firma

Prof. CÉSAR RUIZ

CI: 11.155.040

TUTOR

Bárbula, 31 de Marzo del 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE SEÑALES Y SISTEMAS



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado «DISEÑO DE UNA APLICACIÓN PARA EL CONTROL, ANÁLISIS Y ADQUISICIÓN DE DATOS DEL ANALIZADOR HP 4396B.», realizado por los bachilleres PARADA ESTEFFANI, cédula de identidad 21.653.629, TAVERA ANTHONNY, cédula de identidad 20.955.365, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Firma

Prof. CÉSAR RUIZ

TUTOR

Firma

Prof. FABIÁN ROBLEDO

JURADO

Firma

Prof. AHMAD OSMAN

JURADO

Bárbula, 31 de Marzo del 2016

Dedicatoria

*Dedicado a Dios, a mis padres, a mis hermanas,
y a mi familia por darme todo el amor, la ayuda
y el apoyo necesarios para cumplir este objetivo.*

PARADA ESTEFFANI

*Dedicado a mis padres, abuela, hermanos y
familiares porque siempre estuvieron a mi
lado brindándome su apoyo absoluto para
poder llegar a esta instancia de mi carrera.*

TAVERA ANTHONNY

Agradecimientos

Le agradezco a Dios que me ha permitido llegar a esta etapa de mi vida, llenándome de muchas bendiciones, fortaleza y sabiduría a lo largo de mi carrera, guiándome siempre por el camino del bien.

Agradezco a mis padres Marcos Tavera y Daniela Marcano, a mi segunda madre Mayela Perdomo, a mis abuelos Carmen Tavera y Gabriel Marcano, a mi tía Yaneth Tavera y a mis hermanos y hermana por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, por creer en mí, por darme ánimos en los momentos más difíciles y siempre apoyarme de forma incondicional durante toda mi vida y proceso de formación profesional. A cada uno de mis familiares que siempre estuvieron apoyándome y pendiente de los resultados en mi formación profesional. Los amo de todo corazón y de verdad muchas gracias.

Agradezco inmensamente a Esteffani Parada por acompañarme en este proceso de culminación de nuestra carrera, brindándome de forma incondicional su amor, amistad, paciencia y apoyo. Sin ti no hubiese sido posible. Gracias.

A cada uno de mis compañeros, que formaron parte de este proceso, por su apoyo, ayuda, por estudiar conmigo y compartir conocimientos y momentos inolvidables.

A mi Alma Mater Universidad de Carabobo, por regalarme experiencias inolvidables y profesores de excelente calidad. Gracias por compartir sus conocimientos para que contribuyeran a mi formación profesional.

A mi asesor César Ruiz por darme la oportunidad de formar parte de este proyecto y guiarme al final de mi carrera.

Muchas gracias a todos y que Dios los bendiga.

Tavera M. Anthonny D.

Quisiera expresar mi mayor agradecimiento a Dios, por darnos, fuerza, salud y vida a mí y a mi compañero, para lograr culminar este proyecto y nuestra carrera.

A mis padres, Nancy Bayona y Ernesto Parada, en especial a mi madre, por guiarme, apoyarme, y darme todo lo necesario a lo largo de mi carrera y de mi vida, nunca me alcanzaran las palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí.

A mis hermanas y a mi familia, quienes me han apoyado e impulsado a seguir adelante para culminar esta meta.

A Anthonny Tavera por brindarme su amistad, su amor, ayuda y apoyo incondicional en todo momento.

Al Sr. Marcos Tavera porque sin su aporte no hubiese sido posible realizar este proyecto.

Al profesor César Ruiz, por permitirme formar parte de este trabajo.

A todos mis compañeros y amigos que de alguna u otra forma estuvieron allí para apoyarme y darme ánimo a lo largo de mi carrera.

A cada uno de los profesores que ayudaron en mi formación académica a lo largo de mi vida.

Muchísimas gracias a todos!.

Parada B. Esteffani C.

Índice general

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas	XIX
Acrónimos	XXI
Resumen	XXIII
I. Introducción	1
1.1. MOTIVACIÓN	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Especificos	3
1.3. ALCANCES	4
II. Marco conceptual	5
2.1. GPIB	5
2.2. Historia y Evolución del Bus GPIB	5
2.3. Estructura del bus GPIB	6
2.4. Modos de operación de un equipo conectado al bus GPIB	9
2.5. Analizador HP 4396B	12
2.6. Agilent 82357B	12
2.7. Analizador de Espectros	13
2.8. Analizador de Redes	14
2.9. Analizador de Impedancias	14
2.10. Balun	15
2.11. Método de medición de la impedancia propia de una antena	17
2.11.1. Requisitos previos de medición	17
2.11.2. Procedimiento de medición	18
2.12. Modulación AM	20
2.13. Python	22
2.14. Librería PyVISA	23
2.15. Interfaz gráfica de usuario (GUI)	23

2.16. Librería Matplotlib	24
2.17. Librería NumPy	24
III. Procedimientos de la investigación	27
3.1. Proceso de investigación y documentación	27
3.2. Selección del lenguaje de programación apropiado	28
3.3. Investigación y estudio del lenguaje de programación seleccionado	29
3.4. Determinación del accesorio para establecer la comunicación entre el instrumento y el computador	30
3.4.1. Agilent 82350B	30
3.4.2. Agilent 82357B	31
3.5. Diseño de la aplicación	32
3.5.1. Diseño de la interfaz	33
3.5.1.1. Ventana principal	33
3.5.1.2. Ventana del Módulo Analizador de Espectros	37
3.5.1.3. Ventana cálculo de índice de modulación de una se- ñal AM	42
3.5.1.4. Ventana Analizador de Impedancia	44
3.5.1.5. Ventana Calibración Guiada del Módulo Analiza- dor de Impedancia	45
3.5.1.6. Ventana Medición de Impedancia de una Antena	54
3.5.1.7. Ventana Factor de Transformación de un Balun	57
3.5.1.8. Ventana Módulo Analizador de Redes	60
3.5.1.9. Ventana calibración guiada del módulo Analizador de Redes:	61
3.5.2. Programación	96
3.5.2.1. Principal	97
3.5.2.2. Módulo Analizador de Espectros, Analizador de Re- des y Analizador de Impedancia	99
3.5.2.3. Módulo Graficar	101
3.5.2.4. Módulo guardar data	104
3.5.2.5. Módulo para la medición de una señal AM	106
3.5.2.6. Módulo medición del factor de transformación de un balun	108
3.5.2.7. Módulo medición de impedancia de una antena	110
3.5.2.8. Módulo calibración guiada del analizador de impe- dancia y redes	111
3.5.2.9. Creación del ejecutable de la aplicación	111
IV. Análisis, interpretación y presentación de los resultados	115
4.1. Interfaz Gráfica	115
4.2. Generación de Gráficos	150
4.3. Adquisición de Data	157

4.4. Ejecutable de la aplicación	159
V. Conclusiones y recomendaciones	161
5.1. Conclusiones	161
5.2. Recomendaciones	162

Referencias Bibliográficas	165
-----------------------------------	------------

Anexos

A. Calibración

B. Parámetros de Dispersión

C. Manual de Instalación

Índice de figuras

2.1. Líneas del bus GPIB.	7
2.2. Handshake de una operación con GPIB.	8
2.3. Analizador HP 4396B	12
2.4. Dispositivo Agilent 82357B.	13
2.5. a) Sistema Balanceado; b) Sistema Desbalanceado.	15
2.6. Balun bidireccional.	16
2.7. Balun conectado a un dipolo.	17
2.8. Sistemas simétricos a) Sin desbalance de corriente; b) Con desbalance de corriente.	18
2.9. Altura del sistema emisor.	18
2.10. a) Línea en c.c; b) Línea con antena conectada.	19
2.11. Modulación AM a) Dominio del Tiempo; b) Dominio de la Frecuencia.	21
2.12. Índice de modulación en el dominio del tiempo.	21
2.13. Índice de modulación en el dominio de la frecuencia.	22
3.1. Parte posterior del Analizador HP 4396B y puerto HP-IB identificado con círculo rojo.	28
3.2. Tarjeta Agilent 82350B.	30
3.3. Tarjeta Agilent 82350B instalada en un computador y cable de terminación GPIB-GPIB.	32
3.4. Menú Bar.	34
3.5. Etiquetas de la ventana principal.	34
3.6. Etiqueta que representa la imagen del equipo.	34
3.7. Labels o etiquetas que representan flechas.	35
3.8. Label y Botón que representan el módulo Documentación.	35
3.9. Label y Botón que representan el módulo Analizador de Redes.	35
3.10. Label y Botón que representan el módulo Analizador de Impedancia.	36
3.11. Label y Botón que representan el módulo Analizador de Espectros.	36
3.12. Botón conectar.	36
3.13. Fragmento de código utilizado para conectar el instrumento al computador.	37
3.14. Labels del Módulo Analizador de Espectros.	38
3.15. Dial.	38

3.16. Sección Active Channel.	39
3.17. Sección Measurement.	39
3.18. Estructura de cada Menú.	40
3.19. Sección Marker.	40
3.20. Sección Sweep.	40
3.21. Sección Instrument State.	41
3.22. Sección Adquisition and Analisis.	41
3.23. Labels que identifican la marca y el modelo del equipo.	42
3.24. Labels que identifican la sección Modulación de una señal AM.	42
3.25. Label que representan la manera de conectar la señal AM.	43
3.26. Botón Calcular de la sección Modulación de una señal AM.	43
3.27. Label Resultado.	43
3.28. Etiquetas que indican el valor de la frecuencia de portadora.	43
3.29. Etiquetas que indican el ancho de banda de la señal.	44
3.30. Etiquetas que indican el valor del índice de modulación.	44
3.31. Etiquetas correspondientes al Analizador de Impedancia.	44
3.32. Sección Adquisition and Analisis del módulo Analizador de Impe- dancia.	45
3.33. Etiquetas de la ventana calibración de impedancia.	46
3.34. Etiqueta con la imagen del kit utilizado para la calibración.	46
3.35. Etiqueta procedimiento.	46
3.36. Primer paso para la calibración.	47
3.37. Botón open.	47
3.38. Segundo paso para la calibración.	47
3.39. Botón SHORT deshabilitado y habilitado.	47
3.40. Tercer paso para la Calibración.	48
3.41. Botón LOAD deshabilitado, y habilitado.	48
3.42. Cuarto paso para la calibración.	48
3.43. Botón Done: Cal.	48
3.44. Botón Siguiente.	49
3.45. Etiqueta Configuración de longitud eléctrica el Test Fixture.	49
3.46. Etiqueta que muestra la manera de conectar el test fixture.	50
3.47. Etiqueta y Combo Box utilizados para seleccionar el Fixture.	50
3.48. Opciones que se despliegan del ComboBox.	50
3.49. Elementos utilizados para definir la extensión.	50
3.50. Botones aceptar y cancelar para Extensión de Fixture.	51
3.51. Etiqueta y LineEdit para colocar nombre al Fixture.	51
3.52. Botones aceptar y cancelar de las configuraciones del Label.	51
3.53. Etiqueta y botón Kit: Done.	51
3.54. Etiqueta y botón para guardar configuraciones del Fixture.	52
3.55. Etiqueta y botón para finalizar la creación del fixture.	52
3.56. Botón siguiente.	52

3.57. Etiqueta de Compensación del Fixture.	53
3.58. Etiqueta y botón SHORT.	53
3.59. Etiqueta y botón OPEN.	53
3.60. Etiqueta y botón LOAD.	53
3.61. Etiquetas y botón DONE: COMPEN.	54
3.62. Botón Finalizar.	54
3.63. Etiquetas que representan el encabezado de la ventana Medición de Impedancia de una Antena.	55
3.64. Elementos utilizados para introducir el valor de impedancia característica.	55
3.65. Etiqueta con la imagen de la conexión de una carga del tipo cortocircuito.	56
3.66. Etiqueta con la imagen de la conexión de una antena.	56
3.67. Botón Calcular de Medición de Impedancia de una Antena.	57
3.68. Botón Obtener Gráficas.	57
3.69. Botón Obtener Data.	57
3.70. Etiquetas que conforman el encabezado de la ventana factor de transformación del balun.	58
3.71. Etiqueta de la imagen del analizador con resistencia conectada.	58
3.72. Etiqueta con imagen del analizador conectado a un balun.	59
3.73. Botón Calcular.	59
3.74. Botón Resultado.	59
3.75. Etiquetas correspondientes al Analizador de Redes.	60
3.76. Sección Acquisition and Analysis del módulo Analizador de Redes.	61
3.77. Etiquetas que representan el encabezado de la ventana calibración del analizador de redes.	61
3.78. Etiqueta donde se muestra la conexión de los equipos.	62
3.79. Selección del CAL KIT.	62
3.80. Botón Listo.	62
3.81. Selección del método de Calibración.	63
3.82. Botón Listo.	63
3.83. Botón CANCELAR.	63
3.84. Elementos que aparecen al seleccionar alguna opción errónea.	64
3.85. Etiqueta que aparece al seleccionar cal kit: 3.5 mm.	65
3.86. Etiqueta que aparece al seleccionar cal kit: 7 mm.	65
3.87. GroupBox con las opciones para la medición de transmisión o reflexión.	66
3.88. Botón aceptar y botón cancelar.	66
3.89. Etiqueta Medición de Transmisión.	66
3.90. Etiqueta en la que se muestra la manera de conectar el THRU.	67
3.91. Etiqueta PROCEDIMIENTO.	67
3.92. Etiqueta Conexión del THRU.	67
3.93. Etiqueta y botón. Segundo paso para completar la calibración.	68

3.94. Etiqueta y botón. Último paso de la calibración.	68
3.95. Botón Finalizar.	68
3.96. Etiqueta Medición de Reflexión.	69
3.97. Etiqueta PROCEDIMIENTO.	69
3.98. Primer paso para la calibración.	69
3.99. Segundo paso para la calibración.	69
3.100 Último paso para culminar la calibración.	70
3.101 Botón Finalizar.	70
3.102 Etiqueta que identifica el método seleccionado.	70
3.103 Etiqueta que identifica el método seleccionado.	71
3.104 Elementos utilizados para seleccionar el tipo de calibración.	71
3.105 Etiqueta que identifica el tipo de calibración.	71
3.106 Elementos utilizados para seleccionar el tipo de conector utilizado por el usuario.	72
3.107 Botones aceptar y cancelar.	72
3.108 Elementos que conforman el primer paso para la calibración.	73
3.109 Segundo paso para completar la calibración.	73
3.110 Último paso para completar la calibración.	73
3.111 Botón Finalizar.	74
3.112 Primer paso para la calibración.	74
3.113 Segundo paso para completar la calibración.	74
3.114 Etiqueta que representa la opción que el usuario selecciono. Cal kit: 7mm y método: S11 1-Port.	75
3.115 Etiqueta que la opción el usuario selecciono. Cal kit: 3.5mm y méto- do: S11 1-Port.	75
3.116 Etiqueta que representa la opción que el usuario selecciono. Cal kit: 7mm y método: S22 1-Port.	75
3.117 Etiqueta que representa la opción que el usuario selecciono. Cal kit: 3.5mm y método: S22 1-Port.	75
3.118 Etiqueta Procedimiento.	75
3.119 Primer paso para completar la calibración. Método S11 1-Port.	76
3.120 Primer paso para completar la calibración. Método: S22 1-Port.	76
3.121 Segundo paso para completar la calibración. Método: S11 1-Port.	77
3.122 Segundo paso para completar la calibración. Método: S22 1-Port.	77
3.123 Elementos que corresponden al tercer paso de la calibración. Método: S11 1-Port.	77
3.124 Elementos que corresponden al tercer paso de la calibración. Método: S22 1-Port.	77
3.125 Último paso para terminar la calibración.	78
3.126 Botón Finalizar.	78
3.127 Etiqueta 50 Ω y S11 1-Port.	79
3.128 Etiqueta 75 Ω y S11 1-Port.	79

3.129Etiqueta 50 Ω y S22 1-Port.	79
3.130Etiqueta 75 Ω y S22 1-Port.	79
3.131Elementos correspondientes a la Selección del tipo de conector.	79
3.132Primer paso para la calibración, Conector macho. Método: S11 1-Port.	80
3.133Primer paso para la calibración, Conector hembra. Método: S11 1-Port.	80
3.134Primer paso para la calibración, Conector Macho. Método: S22 1-Port.	81
3.135Primer paso para la calibración, Conector Hembra. Método: S22 1-Port.	81
3.136Segundo paso para la calibración, Conector Macho. Método: S11 1-Port.	81
3.137Segundo paso para la calibración, Conector Hembra. Método: S11 1-Port.	82
3.138Segundo paso para la calibración, Conector Macho. Método: S22 1-Port.	82
3.139Segundo paso para la calibración, Conector Hembra. Método: S22 1-Port.	82
3.140Tercer paso para la calibración. Método: S11 1-Port.	83
3.141Tercer paso para la calibración. Método: S22 1-Port.	83
3.142Ultimo paso para completar la calibración.	83
3.143Botón Finalizar.	83
3.144Etiqueta que identifica el tipo de calibración seleccionada. Cal Kit: 7mm.	84
3.145Etiqueta que identifica el tipo de calibración seleccionada. Cal Kit: 3.5 mm.	84
3.146Etiqueta Reflexión.	84
3.147Imagen donde se identifican los puertos 1 y 2 del analizador.	85
3.148Etiqueta Procedimiento.	85
3.149Etiqueta Puerto 1.	85
3.150Primer paso de la calibración.	86
3.151Segundo paso de la calibración del puerto 1.	86
3.152Tercer paso para la calibración del puerto 1.	86
3.153Etiqueta Puerto 2.	86
3.154Primer paso de la calibración.	87
3.155Segundo paso de la calibración del puerto 2.	87
3.156Tercer paso para la calibración del puerto 2.	87
3.157Ultimo paso para terminar la calibración del puerto 2.	88
3.158Etiqueta conexión del THRU.	88
3.159Etiquetas primer paso de la calibración.	89
3.160Segundo paso de la calibración.	89
3.161Tercer paso para completar la calibración.	89
3.162Cuarto paso para completar la calibración.	90
3.163Ultimo paso de la calibración.	90

3.164	Isolation.	91
3.165	Etiqueta del primer paso del proceso de Isolation.	91
3.166	Etiqueta y botón del segundo paso del proceso de Isolation.	92
3.167	Etiqueta y botón del tercer paso del proceso de Isolation.	92
3.168	Completación de la calibración.	93
3.169	Botón Finalizar.	93
3.170	Etiqueta de CAL KIT 50 OHM y METODO FULL 2-PORT.	94
3.171	Etiqueta de CAL KIT 75 OHM y METODO FULL 2-PORT.	94
3.172	Selección del tipo de conector.	94
3.173	Botón de Aceptar y Cancelar.	94
3.174	Botón OPEN[F].	95
3.175	Botón SHORT[F].	95
3.176	Botón OPEN[M].	95
3.177	Botón de SHORT[M].	95
3.178	Diagrama general de la aplicación.	96
3.179	Código utilizado para importar librerías o módulos.	97
3.180	Fragmento de código del programa principal.	98
3.181	Código utilizado para cargar el archivo “.ui”.	98
3.182	Creación de la clase para la ventana principal.	98
3.183	Asignación de funciones a un botón.	99
3.184	Creación de una función.	99
3.185	Diagrama de programación de analizadores.	100
3.186	Botones adicionales para Guardar Data, Graficar y realizar Mediciones.	101
3.187	Librerías utilizadas en el módulo graficar.	101
3.188	Comandos utilizados para pedir la data al analizador.	102
3.189	Diagrama de codificación del módulo graficar.	103
3.190	Diagrama de codificación del módulo guardar data.	105
3.191	Diagrama de codificación del módulo para la medición de una señal AM.	107
3.192	Diagrama de codificación del módulo factor de transformación del balun.	109
3.193	Librerías y código usado para cargar el archivo “.ui”.	110
3.194	Línea de código que guarda en la variable “zo” el valor introducido por el usuario.	110
3.195	Código utilizado para la creación de algunos elementos.	111
3.196	Módulos de la aplicación.	112
3.197	Sistema de Símbolos.	112
3.198	Comandos para crear ejecutable.	113
4.1.	Ventana Principal con opciones bloqueadas.	116
4.2.	Ventana Principal con opciones desbloqueadas.	116
4.3.	Ventana Documentación.	117

4.4. Ventana Módulo Analizador de Espectros.	118
4.5. Ventana Módulo Analizador de Impedancias.	119
4.6. Ventana Módulo Analizador de Redes.	120
4.7. Ventana Módulación de una señal AM.	121
4.8. Proceso de calibración inicial Analizador de Impedancias.	122
4.9. Proceso de calibración para utilizar el kit fixture Analizador de Im- pedancias.	123
4.10. Definición del Fixture del Analizador de Impedancias.	124
4.11. Proceso de compensación del Fixture del Analizador de Impedancias.	125
4.12. Ventana Medición de Impedancia de una Antena.	126
4.13. Ventana Factor de Transformación del Balun.	127
4.14. Ventana principal del proceso de calibración del Analizador de Redes.	128
4.15. Selección del tipo de medición usando método de calibración RES- PONSE: a) CAL KIT:7 mm ; b) CAL KIT: 3.5 mm.	129
4.16. Ventana de Calibración para medición de transmisión usando méto- do RESPONSE.	130
4.17. Ventana de Calibración para medición de reflexión usando método RESPONSE CAL KIT 7 mm o 3.5 mm.	131
4.18. Selección del tipo de medición usando método de calibración RES- PONSE: a) CAL KIT:N 50Ω ; b) CAL KIT:N 75Ω.	132
4.19. Ventana de Calibración para medición de transmisión usando méto- do RESPONSE y CAL KIT N 50Ω o N 75Ω.	133
4.20. Ventana para especificar el tipo de conector para medición de refle- xión Método RESPONSE y CAL KIT N 50Ω o N 75Ω.	134
4.21. Ventana para medición de reflexión usando Conector Hembra, Mé- todo RESPONSE y CAL KIT N 50Ω o N 75Ω	135
4.22. Ventana para medición de reflexión usando Conector Macho, Méto- do RESPONSE y CAL KIT N 50Ω o N 75Ω	136
4.23. Proceso de calibración: a) Método S11 1-Port CAL KIT:7 mm ; b) Mé- todo S22 1-Port CAL KIT:7 mm ; c) Método S11 1-Port CAL KIT:3.5 mm ; d) Método S22 1-Port CAL KIT:3.5 mm.	137
4.24. Especificación de conexión: a) Método S11 1-Port CAL KIT:N 50Ω ; b) Método S22 1-Port CAL KIT:N 50Ω ; c) Método S11 1-Port CAL KIT:N 75Ω ; d) Método S22 1-Port CAL KIT:N 75Ω.	138
4.25. Procedimiento de calibración con conector hembra: a) Método S11 1- Port CAL KIT:N 50Ω ; b) Método S22 1-Port CAL KIT:N 50Ω ; c) Mé- todo S11 1-Port CAL KIT:N 75Ω ; d) Método S22 1-Port CAL KIT:N 75Ω.	139
4.26. Procedimiento de calibración con conector macho: a) Método S11 1- Port CAL KIT:N 50Ω ; b) Método S22 1-Port CAL KIT:N 50Ω ; c) Mé- todo S11 1-Port CAL KIT:N 75Ω ; d) Método S22 1-Port CAL KIT:N 75Ω.	140

4.27. Procedimiento de calibración al puerto 1 para medición de reflexión, Método FULL 2-Port.	141
4.28. Procedimiento de calibración al puerto 2 para medición de reflexión, Método FULL 2-Port.	141
4.29. Procedimiento de calibración para medición de transmisión, Método FULL 2-Port.	142
4.30. Elección de proceso de isolation, Método FULL 2-Port.	143
4.31. Procedimiento de isolation, Método FULL 2-Port.	143
4.32. Culminación del procedimiento de isolation y calibración, Método FULL 2-Port.	144
4.33. Culminación del procedimiento de calibración, Método FULL 2-Port.	144
4.34. Especificación de conexión: a) Método FULL 2-Port CAL KIT N50 Ω ; b) Método FULL 2-Port CAL KIT N75 Ω	145
4.35. Procedimiento de calibración con conector hembra: a) Método FULL 2-Port CAL KIT:N50 Ω Puerto 1 ; b) Método FULL 2-Port CAL KIT:N50 Ω Puerto 2 ; c) Método FULL 2-Port CAL KIT:N75 Ω Puerto 1 ; d) Método FULL 2-Port CAL KIT:N75 Ω Puerto 2.	146
4.36. Procedimiento de calibración con conector macho: a) Método FULL 2-Port CAL KIT:N50 Ω Puerto 1 ; b) Método FULL 2-Port CAL KIT:N50 Ω Puerto 2 ; c) Método FULL 2-Port CAL KIT:N75 Ω Puerto 1 ; d) Método FULL 2-Port CAL KIT:N75 Ω Puerto 2.	147
4.37. Especificación de conexión: a) Método FULL 2-Port CAL KIT N50 Ω ; b) Método FULL 2-Port CAL KIT N75 Ω	148
4.38. Especificación de conexión: a) Método FULL 2-Port CAL KIT N50 Ω Isolation; b) Método FULL 2-Port CAL KIT N75 Ω Isolation.	148
4.39. Procedimiento de isolation, Método FULL 2-Port.	149
4.40. Completación del procedimiento de isolation, Método FULL 2-Port.	149
4.41. Ventana de Advertencia.	150
4.42. Visor de gráficos tipo lineal del Analizador de Espectros.	151
4.43. Visor de gráficos tipo lineal del Analizador de Impedancias.	152
4.44. Visor de gráficos tipo logarítmico del Analizador de Impedancias.	153
4.45. Visor de gráficos tipo polar del Analizador de Impedancias.	153
4.46. Visor de gráficos tipo carta de Smith del Analizador de Impedancias.	154
4.47. Visor de gráficos tipo carta de Admitancia del Analizador de Impedancias.	155
4.48. Barra de Herramientas.	155
4.49. Barra de Herramientas.	156
4.50. Guardar Data.	157
4.51. Fragmento de data del Analizador de Espectros.	158
4.52. Fragmento de data del Analizador de Impedancias.	159
4.53. Archivos de la aplicación.	159
4.54. Archivo Ejecutable.	160
4.55. Drivers del cable USB-GPIB Agilent 82357B.	160

Indice de tablas

3.1. Características Generales Agilent 82350B.	30
3.2. Características Generales Agilent 82357B:	31

Acrónimos

GUI	G raphical U ser I nterface
GPIB	G eneral P urpose I nstrumentation B us
HP	H ewlett P ackard
HP-IB	H ewlett P ackard- I nstrumentation B us
IEC	I nternational E lectronic C omision
IEEE	I nstitute of E lectrical and E lectronics E ngineers
SCPI	S tandard C ommands for P rogrammable I nstruments
SNA	S pectrum N etwork A nalyzer

DISEÑO DE UNA APLICACIÓN PARA EL CONTROL, ANÁLISIS Y ADQUISICIÓN DE DATOS DEL ANALIZADOR HP 4396B.

por

PARADA ESTEFFANI y TAVERA ANTHONNY

Presentado en el Departamento de Señales y Sistemas
de la Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones
el 31 de Marzo del 2016 para optar al Título de
Ingeniero de Telecomunicaciones

RESUMEN

El Analizador HP-4396B debido a la cantidad de años que posee, presenta problemas a la hora de almacenar la data y gráficos en la unidad de disquete 3.5, por esta razón en este trabajo se desarrolla una aplicación que permita controlar, analizar y adquirir datos obtenidos del instrumento a un computador. Para esto primero se estudiaron las funciones y características del instrumento en sus diferentes modalidades, además de los protocolos de comunicación que pueden ser aplicados en el mismo, luego se seleccionó y estudio el lenguaje de programación utilizado “Python”, seguido se seleccionó el dispositivo que permitiese establecer la comunicación entre el instrumento-computador y por último se procedió al diseño de la aplicación. El dispositivo que se utilizó para establecer la comunicación con el

instrumento fue el cable USB-GPIB Agilent 82357B, a través de este cable se emiten comandos obtenidos del manual de programación del equipo que permiten controlar al instrumento desde un computador. La aplicación cuenta con una interfaz gráfica de fácil manejo donde los estudiantes además de poder controlar y almacenar data y gráficos directamente en el computador también por medio de módulos especializados podrán realizar procedimientos de calibración del analizador de redes e impedancia de forma rápida y sencilla, así como también mediciones de impedancia de una antena, factor de transformación de un balun y modulación AM abarcando principalmente medidas de índice de modulación, frecuencia de portadora y ancho de banda de la señal.

Palabras Claves: Controlar, Analizar, Adquirir, Interfaz, Comunicación

Tutor: CÉSAR RUIZ

Profesor del Departamento de Señales y Sistemas

Escuela de Telecomunicaciones. Facultad de Ingeniería

Capítulo I

Introducción

1.1. MOTIVACIÓN

Las materias como instrumentación electrónica, sistemas de ondas guiadas, antenas, teoría de las comunicaciones, microondas, diseño de circuitos de comunicaciones, entre otras, presentan un laboratorio donde los estudiantes deben familiarizarse en las mediciones eléctricas de parámetros espectrales, de impedancias y redes. En la realización de las prácticas de laboratorio de las materias antes mencionadas se utiliza un Analizador HP 4396B el cual posee tres tipos de funcionalidades como lo son: analizador de redes, analizador de espectros y analizador de impedancias. Entre las virtudes que posee este instrumento está la de almacenar la información de las mediciones realizadas en formatos tipo ASCII y binario, así como también el almacenamiento de gráficos en formato tipo TIFF, este proceso de almacenamiento es realizado mediante la utilización de una unidad de disquete 3.5, pero debido a que el instrumento ya tiene una cantidad de años en uso, aproximadamente 15 años, en la actualidad se encuentra presentando fallas, imposibilitándole en muchas ocasiones a sus usuarios poder grabar la data del equipo al disquete. Debido a estas constantes y repetidas fallas, la información espectral de los experimentos realizados solo puede ser visualizada en un número reducido de frecuencias, por lo que si se desea un análisis en todo el ancho de banda es

necesario un gasto mayor de tiempo. Anteriormente esto podía realizarse con el almacenamiento de los datos en la unidad de disquete 3.5 para todas las frecuencias seleccionadas en el ancho de banda a visualizar la información y que luego podía ser extraída a un computador para su posterior procesamiento.

El control del Instrumento HP 4396B permitiría la virtualización del mismo en una computadora, a través de una interfaz gráfica que permitiría realizar mediciones en las tres funcionalidades del instrumento (espectros, impedancia y redes), así como también realizar procedimientos de calibración, análisis y almacenamiento de datos, todas estas manejadas directamente desde un computador. Por lo tanto, de acuerdo con las necesidades que se presentan, podría integrarse en un software libre una aplicación que permita el control, análisis y almacenamiento de datos con el fin de agilizar las mediciones y el procesamiento de éstas para hacer que las prácticas de laboratorio sean más significativas en el proceso de aprendizaje.

Hoy en día existen laboratorios que poseen como complemento software para sus instrumentos que permiten procesos de mayor automatización.[1] Entre algunos de esos software que permiten el control de instrumentos se encuentran LabView o VEE PRO de Agilent, las cuales son herramientas de fácil uso en las que no es necesario tener grandes conocimientos de programación ya que trabajan con un lenguaje gráfico, donde los programas en vez de escribirse, son hechos a través de dibujos lo cual facilita su comprensión, cabe destacar que la licencia de estos software no es libre. Un ejemplo claro de la automatización de procesos en un laboratorio es el de Márquez M. y Raimundo H.[2], los cuales en su trabajo de grado implementaron el proceso de medición y calibración de un multímetro por su bus GPIB utilizando LabView.

El control de instrumentos puede ser fácilmente aplicado al Analizador HP 4396B ya que este cuenta en su parte posterior con un puerto HP-IB que permite establecer comunicación con la utilización de un computador a través del protocolo de comunicación GPIB, y así de esta forma poder contar con procesos automatizados, donde la adquisición de datos sea más eficiente y se pueda preservar el funcionamiento del equipo.

Para solventar los problemas que se plantearon anteriormente se propone la creación de una herramienta computacional que consistirá en una interfaz gráfica que le permitirá a los usuarios controlar, analizar y adquirir datos del Analizador HP 4396B con la utilización de un ordenador, facilitando de esta forma la adquisición de la data como medio alternativo de la unidad de disquete. Los usuarios tendrán la posibilidad de almacenar sin dificultad las medidas que realicen, esta aplicación también contará con documentación donde se podrá encontrar información acerca del instrumento lo cual será de mucha utilidad para estudiantes que utilicen el equipo por primera vez. Esta herramienta permitirá la utilización del equipo de forma automatizada y especializada lo cual podría dar lugar a la realización de proyectos mucho más ambiciosos donde se tenga la posibilidad de poder realizar el control y monitoreo desde un solo lugar.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Diseñar una aplicación que permita controlar, analizar y adquirir datos del Analizador HP 4396B.

1.2.2. Objetivos Especificos

- Estudiar la estructura, las funciones y las características del Analizador HP 4396B, para la comprensión del funcionamiento del equipo.
- Estudiar los protocolos de comunicación y los estándares aplicables al Analizador HP 4396B, para establecer la comunicación entre equipo y computador.
- Seleccionar el lenguaje de programación adecuado para el diseño de la aplicación.
- Determinar los accesorios o medios necesarios para establecer comunicación con el instrumento a través del bus de comunicación GPIB.

- Diseñar una interfaz grafica que permita a los usuarios el control, análisis y almacenamiento de datos en una computadora, aplicados a los procesos de análisis espectral, mediciones de impedancia y redes.

1.3. ALCANCES

El diseño de la aplicación propuesta estará conformado por una serie de secciones, como lo son documentaciones en las cuales se encontrara plasmada información del instrumento, procesos de medición, procesos de calibración y función de cada una de sus opciones. En caso de que el usuario desee realizar la calibración del instrumento, se encontrará una sección destinada específicamente a este proceso, donde a través de la selección de opciones en la interfaz gráfica se logrará calibrar el instrumento de acuerdo a la funcionalidad que haya elegido. Una sección destinada a la adquisición de datos o imágenes de las mediciones realizadas las cuales serán almacenadas directamente en el ordenador. Secciones donde el usuario podrá adquirir mediciones en los tres modos de operación y manipular el instrumento ya que estas secciones contarán con los botones y opciones de igual forma como se pueden apreciar en el panel frontal del equipo.

Capítulo II

Marco conceptual

2.1. GPIB

Es un estándar de conexión diseñado con la finalidad de controlar instrumentos de medición a través de un computador, se caracteriza por ser de corto alcance y también se le es conocido con el nombre de interfaz IEEE 488 nombre que adquirió cuando fue estandarizado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) en el año de 1975. Este estándar inicialmente fue desarrollado por la empresa de instrumentos Hewlett-Packard en el año de 1965 y el nombre que le dio fue bus (HP-IB), pero luego empresas de la competencia realizaron copias del bus HP-IB, dándole el nombre a sus invenciones de General Purpose Instrumentation Bus nombre más común con el que se le conoce hoy en día GPIB.[\[3\]](#)[\[4\]](#)

2.2. Historia y Evolución del Bus GPIB

Para el año de 1965 la empresa de instrumentos Hewlett Packard desarrollo el bus (HP-IB) con la finalidad de establecer comunicación con sus instrumentos programables a través de un computador, logrando de esta forma velocidades de transmisión de datos de hasta 1Mbytes/s, lo cual hizo que dicho bus adquiriera alta popularidad para la fecha. Para el año de 1975 con la finalidad de evitar que las

características de dicho bus se dispersaran sus principales fabricantes decidieron acordar sus características eléctricas y mecánicas para así ser estandarizado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) como el estándar IEEE-488 (488.1).[5] En el caso de los países fuera de los Estados Unidos el ente encargado de realizar la estandarización por ejemplo en Europa fue la International Electronic Comision (IEC), la cual aprobó el estándar IEC-625.1 del bus GPIB. La diferencia que existe entre el estándar IEEE-488.1 y el IEC-625.1 es que este segundo protocolo utilizaba un conector de 25 pines denominado DSUB, mientras que el del primer protocolo utilizaba uno de 24 pines, esto sin dejar a un lado que existen adaptadores que facilitan la utilización tanto del uno como del otro. Ya para el año de 1978 el bus era conocido por los nombres de GPIB, HP-IB, IEEE 488 bus y IEEE 488.1. Con el propósito de definir los formatos de mensaje, protocolos, códigos y comando comunes para todos los instrumentos la IEEE en 1987 aprobó una segunda estandarización IEEE-488.2 que permitió una mayor compatibilidad entre sistemas. En 1990 se introdujo el formato SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) en la estandarización de la IEEE-488.2 lo cual permitió una estructuración de las ordenes en los equipo mucho más coherente y brindando una compatibilidad mucho mayor.[3]

2.3. Estructura del bus GPIB

El bus GPIB [2] está basado en 16 líneas activas, además de la tierra. Estas 16 líneas se encuentran organizadas en tres buses como se aprecia en la Figura 2.1.

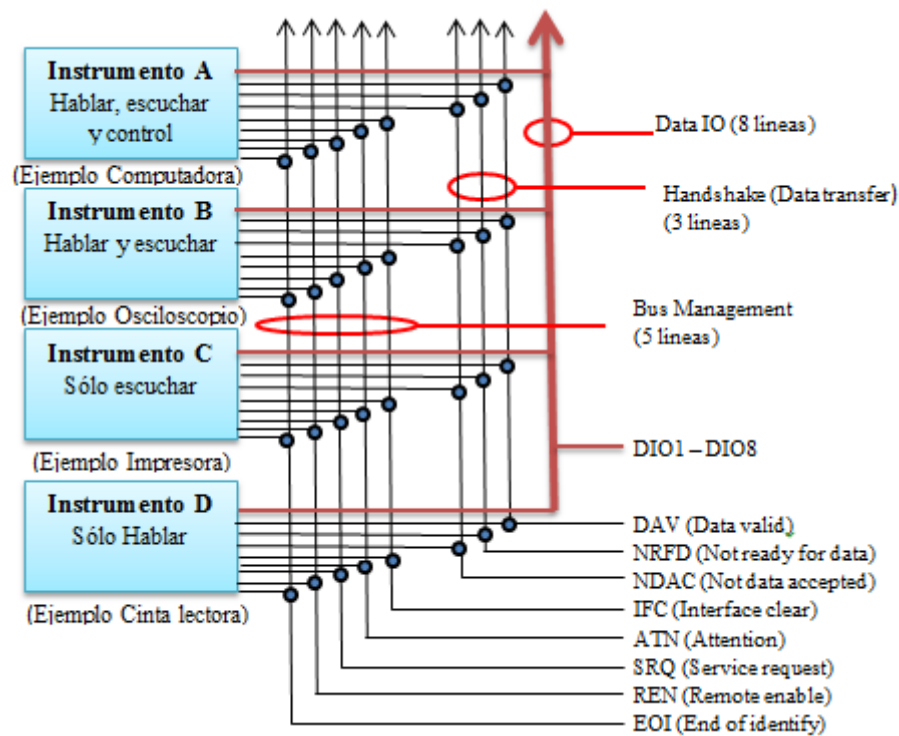


Figura 2.1: Líneas del bus GPIB.

- a) **Bus de datos (DIO1-DIO8) (Data input/output):** Es un bus bidireccional de 8 líneas orientado a la transferencia de byte o de caracteres ASCII. Las 8 líneas de datos permiten que el único equipo establecido como “Talker” o en otros caso el “Controller” envíe un byte en paralelo hacia todos aquellos equipos que en ese instante estén definidos como “Listener”.
- b) **Bus de sincronización de la transferencia de datos:** Es un conjunto de 3 líneas (DAV: Data Valid, NRFD: Not Ready For Data y NDAC: Not Data Accepted) que se utilizan de forma coordinada para asegurar la transferencia de datos entre los equipos. Véase en la Figura 2.2.
- **Data Valid (DAV):** Es una de las líneas de sincronización que permite la transferencia de datos por el bus de datos. Un TRUE lógico en esta línea significa que el equipo establecido como “Talker” activo ha establecido unos datos válidos sobre el bus de datos que deben ser leídos por todos los equipos establecidos como “Listener”.

- **Not Ready For Data (NRED):** Es una de las líneas de sincronización gobernada por los equipos establecidos como “Listener”. Cuando esta línea está en estado lógico TRUE, significa que algún equipo entre los “Listener” no está aún dispuesto para aceptar nuevos datos. Que esta línea se encuentre en estado lógico TRUE, inhibe al equipo “Talker” a que inicie el envío de un nuevo dato. Que esta línea se encuentre en estado lógico FALSE, significa que todos los equipos “Listener” se encuentran a la espera de un nuevo dato.
- **Not Data Accepted (NDAC):** Es la tercera línea de sincronización de datos, y es gobernada por los equipos que están establecidos como “Listener”. Cuando está en estado lógico TRUE, significa que alguno de los equipos establecidos como “Listener” aún está pendiente de leer un dato, y en consecuencia, el Talker debe esperar aún para retirar los datos. Cuando esta línea se encuentra en estado lógico FALSE significa que ya todos los equipos establecidos como “Listener” han leído el dato transferido.

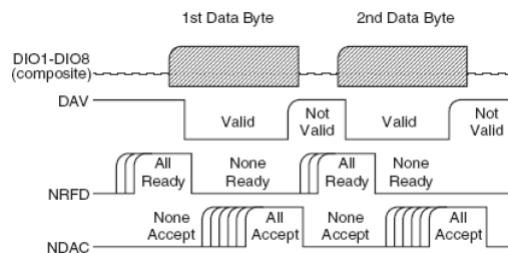


Figura 2.2: Handshake de una operación con GPIB.

c) **Bus de control:** Está constituido por 5 líneas (**ATN:** ATteNtio, **IFC:** InterFace Clear, **SRQ:** Service ReQuest, **REN:** Remote ENable y **EOI:** End Or Identify) que se utilizan para transferir comandos entre los equipos relativos al modo de interpretar los datos que se transfieren o comando básicos de gobierno de la interfaz del bus.

- **Attention (ATN):** Es una señal que establece el “Controller” para definir con un estado lógico TRUE en ella que el estado que se envía por el bus de datos es un comando enviado por el “Controller”. Cuando esta línea

toma el estado lógico FALSE indica que el byte del bus de datos debe ser considerado como un dato.

- **Interface Clear (IFC):** Esta bajo el exclusivo control del “System Controller”. Cuando es establecido en esta línea un estado lógico TRUE, todos los equipos conectado al bus deben ser reseteados, y todos ellos deben pasar a su estado base.
- **Service request (SRQ):** Es utilizado por los equipos conectados al bus para comunicar al “Controller” que requieren ser atendidos por alguna causa (ha concluido una actividad, se ha producido un error, existe algún dato para transferir, etc.). Cuando el “Controller” detecta un estado lógico TRUE en esta línea, debe iniciar una encuesta para determinar qué equipo causo el requerimiento, y en el caso de que proceda, satisfacer su demanda.
- **Remote Enable (REN):** Es una línea con la que el “Controller” establece un estado lógico TRUE y habilita a todos los equipos conectados al bus para que reciban datos o comandos.
- **End or Identify (EOI):** Esta línea tiene dos funciones:
 1. En primer lugar, cuando un dispositivo actúa como transmisor al bus y quiere finalizar esta transmisión, avisa a sus receptores y al controlador de que ha acabado conectando esta línea.
 2. En segundo lugar, esta línea es utilizada por el “Controller” para iniciar una encuesta paralela. En este caso el “Controller” debe poner simultáneamente a estado lógico TRUE las señales ATN y EOI, y como respuesta a ello, los equipos que previamente hayan sido configurados para participar en la encuesta paralela transfieren sus bits de status sobre el bus.

2.4. Modos de operación de un equipo conectado al bus GPIB

Los equipos conectados al bus GPIB pueden operar como o varios de los siguientes modos[3]:

a) **Controller:** La mayoría de los sistemas GPIB están conformados por un ordenador y varios instrumentos. En ese caso el ordenador suele ser el controlador del sistema. Si hay varios ordenadores conectados en un sistema, solo uno de ellos puede ser el controlador master, el llamado CIC (Controller In Charge). Este controlador puede pasar el control a otro que se encuentre inactivo. Las principales responsabilidades del controlador son definir las normas de comunicaciones, responder a los dispositivos que solicitan servicio, enviar comandos GPIB, pasar y recibir el control y establecer el protocolo necesario para indicar que dispositivos trabajaran como "Listeners" y cual como "Talker". Entre los tipos de controller están:

- **"System Controller":** Tiene la capacidad en hardware de tomar el control del bus en todo momento, a través de las líneas "IFC" y "REN". En un bus solo puede existir un único System Controller y está caracterizado por tener las capacidades especiales en hardware de poder establecer el estado de las líneas "IFC" y "REN".
- **"Active Controller":** Tiene la capacidad de transferir mensajes del tipo comando para:
 1. Establecer los modos de operación "Listener" y "Talker" en los restantes equipos.
 2. Enviar los comandos de inicialización y sincronización del bus.
 3. Supervisar mediante encuestas el status de los equipos.

Cada bus puede tener conectado uno o más dispositivos capaces de asumir la función de "Active Controller", aunque en cada momento, solo uno de esos equipos puede operar como tal. En una situación estándar, hay un computador conectado al bus que actúa a la vez como "System Controller" y como único "Active Controller".

En algún momento un equipo puede requerir del controlador del sistema su interés en convertirse en controlador activo, a fin de llevar a cabo una operación compleja, tal como transferir unos datos al "plotter", o almacenar un fichero en un disco. Como respuesta a este requerimiento el

controlador del sistema, transferirá el control al equipo que lo ha solicitado, el cual pasa a constituirse en controlador activo del bus. Cuando concluye su operación, retorna de nuevo el control del bus al controlador de sistema. Obsérvese que las capacidades propias de controlador de sistema no pueden ser transferidas.

b) Talkers y Listeners: En general todos los dispositivos que se conectan al bus GPIB son tanto Talkers como Listeners aunque existen algunos que solo hablan o escuchan.

- **Talker:** Equipo con capacidad de enviar data. En cada bus pueden existir uno o varios equipos con capacidad de enviar datos a otros equipos por el bus, pero en cada instante solo uno de ellos puede ser establecido por el controller para que opere como Talker. Es el único equipo además del Active Controller con capacidad de establecer el estado de las líneas DAV. El equipo Talker solo puede enviar un dato si todos los equipos que se encuentran en modo Listener estén en disposición de leerlo (Línea NRFD a valor lógico FALSE).
- **Listener:** Equipo que recibe y lee todos los datos que se transfieren por el bus. En cada bus pueden existir uno o varios equipos con capacidad de recibir datos desde el bus, y uno o varios de ellos se pueden encontrar simultáneamente en modo "Listener". El Active Controller es el que establece a través de un comando que un equipo pasa o deja de estar en modo "Listener". Todos los equipos que se encuentran en este estado reciben simultáneamente todos los datos que son transferidos por el bus. Hay que destacar que ni Talkers ni Listeners pueden realizar sus funciones a no ser que el controller se lo indique.

c) Idler: Estado base sin ninguna respuesta respecto del bus.

2.5. Analizador HP 4396B

Es un instrumento de medición que está equipado con tres tipos de funcionamiento que son: analizador de redes, de impedancias y de espectros. Es un equipo ideal para realizar mediciones en un laboratorio ya que no es necesario contar con tres instrumentos de medición distintos cuando hay uno que los incluye a todos. Este instrumento cuando funciona como analizador de redes permite trabajar en un rango de frecuencia que va desde los 100 kHz hasta 1.8 GHz con una resolución de 1 mHz, mientras que en el caso de funcionar como analizador de espectros opera desde 2 Hz hasta 1.8 GHz con un ancho de banda de resolución que se expande desde 1 Hz hasta 3 MHz. Es un instrumento que posee dos canales que permiten realizar mediciones de forma independiente y en su parte posterior cuenta con un puerto GPIB lo cual permite su control a través de un computador.[6][7]



Figura 2.3: Analizador HP 4396B

2.6. Agilent 82357B

Es un cable que proporciona una conexión de interfaz directa desde el puerto USB de un computador hacia el puerto GPIB de un instrumento. Este cable cuenta

con un conector del tipo bus USB 2.0, además de eso posee un blindaje que lo hace inmune a interferencias electromagnéticas y se especifica el conector para un máximo de 1500 inserciones. Este se puede conectar directamente a un solo instrumento o hasta 14 instrumentos con protocolo GPIB, a través de un cable GPIB.[8]



Figura 2.4: Dispositivo Agilent 82357B.

2.7. Analizador de Espectros

Es un instrumento de medición que se utiliza para observar y medir el nivel de potencia y la frecuencia de las componentes espectrales de las señales que se inserten a su entrada. Estos instrumentos tienen la capacidad de ofrecer pequeña resolución en grandes rangos de frecuencia y por lo general son fabricados para mostrar señales entre el rango de 5 Hz hasta 100 GHz, todo depende del modelo. En cuanto a la escala de amplitud en el eje vertical de estos instrumentos ofrecen la gama de opciones de ser representado en formato logarítmico o en decibelios, mientras que en el eje horizontal utilizado para representar la frecuencia presenta una escala del tipo lineal, existen muchos de estos instrumentos que permiten mostrar ambos ejes con escala lineal o logarítmica.[9]

2.8. Analizador de Redes

Es un instrumento que se utiliza para obtener información de algunos parámetros presentes en redes eléctricas. Tales parámetros pueden ser los de dispersión o también conocidos como parámetros S , los cuales indican el nivel de transferencia de señal y adaptación de los puertos de cualquier componente, estas propiedades de reflexión y transmisión se obtienen con gran facilidad para rangos de alta frecuencia ya que son instrumentos que pueden alcanzar frecuencias de microondas (300 MHz-300 GHz) [10]. En general este tipo de instrumentos se utilizan para caracterizar redes de dos puertos tales como filtros y amplificadores, también se pueden utilizar con redes de más de dos puertos solo que en este caso las mediciones se irán realizando por pares de puertos. Existen principalmente dos tipos de analizador de redes, el primero es el analizador de redes escalar sus siglas en inglés (SNA), este se caracteriza por medir solo propiedades de amplitud. Mientras que el analizador de redes vectorial (VNA) se caracteriza por medir propiedades tanto de amplitud como de fase. El analizador SNA es funcionalmente similar a un analizador de espectro combinado con un generador de barrido. Para el año del 2007 el analizador VNA se convirtió en el más común. [9]

2.9. Analizador de Impedancias

Son instrumentos que permiten conocer la variación de la impedancia en la frecuencia de un componente inductivo, capacitivo o resistivo. Estos son instrumentos que permiten realizar un barrido en frecuencia de manera que sea posible conocer el valor de impedancia del dispositivo a medir en un rango de frecuencia. Entre los parámetros de medición de impedancia más usuales en este tipo de instrumentos se encuentran la parte real e imaginaria de la impedancia o admitancia, modulo y fase de la impedancia, coeficiente de transmisión o reflexión, factor de calidad, factor de pérdida y capacitancia, resistencia o inductancia en serie o paralelo. [9]

2.10. Balun

El BALUN es un dispositivo que permite la interconexión de dos sistemas incompatibles, este dispositivo presenta una impedancia muy elevada para las corrientes de desbalance y así evitar su presencia en los sistemas.

Los sistemas eléctricos y electrónicos se dividen en dos tipos que son: balanceados (simétricos) y desbalanceados (asimétricos). Los sistemas deben ser contruidos uniendo elementos del mismo tipo, ya que de esta forma se garantiza que para toda frecuencia, la corriente de ida será igual a la corriente de retorno. Los sistemas balanceados se caracterizan por tener un plano de simetría que incluye sus terminales de salida y/o de entrada, es decir que la tensión e impedancia de cada terminal es igual con respecto a tierra. Por el contrario en los sistemas desbalanceados no tienen un plano de simetría y por lo tanto la característica de tensión e impedancia será diferente en el terminal de entrada y salida con respecto a la tierra.[11]

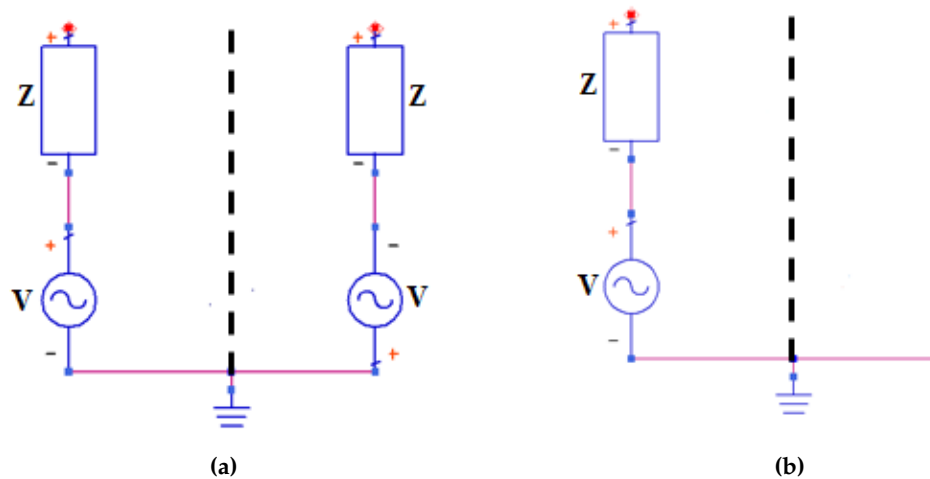


Figura 2.5: a) Sistema Balanceado; b) Sistema Desbalanceado.

Por diversas razones hay veces que se necesita la conexión de sistemas balanceados conectados a sistemas desbalanceados y si se hacen directamente estas conexiones sin el uso de un BALUN se originan los desbalances de corriente, lo cual puede ocasionar problemas tales como perdidas extras en las líneas de transmisión

debido a la corriente de tierra, pérdidas por radiación de las líneas de transmisión, modificación del diagrama de irradiación de la antena e indefinición de la impedancia de entrada.

En la Figura 2.6 se ilustra un BALUN, construido con una línea de transmisión de un largo de $\lambda/2$, cuyos dos extremos terminan en una plaquita metálica que cortocircuita los dos conductores externos, y el conductor externo de la línea desbalanceada. Cuando se excita el terminal desbalanceado con una tensión V_3 ($V_2=V_3$), la tensión V_1 que aparece en el otro extremo de la línea vale $-V_3$ ($V_1=-V_3$) ya que la línea es de $\lambda/2$. La impedancia de salida del sistema desbalanceado es Z_g que aparece reflejada en el terminal 3 respecto a tierra, entonces por igualdad de condición de la línea de $\lambda/2$, en el terminal “1” aparecerá reflejada la misma impedancia Z_g con respecto a tierra.

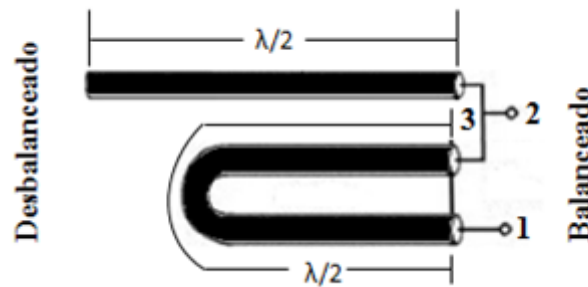


Figura 2.6: Balun bidireccional.

Si la impedancia conectada en el lado simétrico es Z_L , entonces la impedancia de entrada que se refleja en el lado desbalanceado vale $Z_e=Z_L/4$, de allí la razón de transformación de impedancia definida como $r_z=Z_L/Z_e$ siendo en este caso de cuatro a uno $r_z=4:1$.[\[11\]](#)[\[12\]](#)

2.11. Método de medición de la impedancia propia de una antena

2.11.1. Requisitos previos de medición

Para realizar la medición de la impedancia propia de una antena es necesario cumplir con los siguientes requisitos [11]:

- a) Se debe utilizar una línea de transmisión lo suficientemente larga para evitar la interacción de la antena con el equipo de medición.
- b) Se debe utilizar un balun en caso de que el sistema radiante sea incompatible con el sistema de medición.

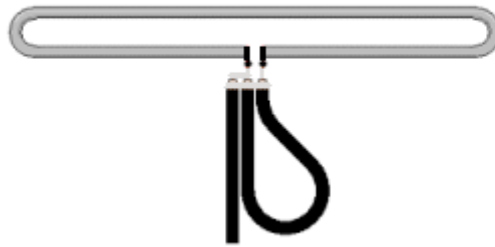


Figura 2.7: Balun conectado a un dipolo.

- c) Se deben evitar disposiciones geométricas entre la línea de transmisión y la antena ya que esto puede ocasionar el desbalance de corriente.
- d) La antena debe ser colocada en una zona despejada o por lo menos su máximo de radiación debe apuntar hacia zonas libres de obstáculos.
- e) La altura del sistema emisor debe ser tal que el acople resultante entre este sistema y su imagen electromagnética sea muy pequeña. Por lo cual se recomienda que $h \geq 4D$ y $h > 4\lambda$, siendo "D" la dimensión más grande del sistema emisor y λ la longitud de onda de operación.

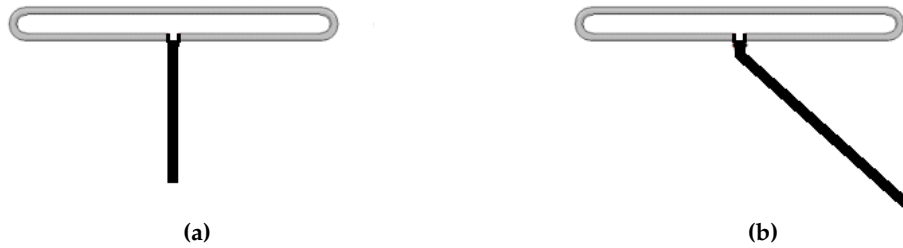


Figura 2.8: Sistemas simétricos a) Sin desbalance de corriente; b) Con desbalance de corriente.

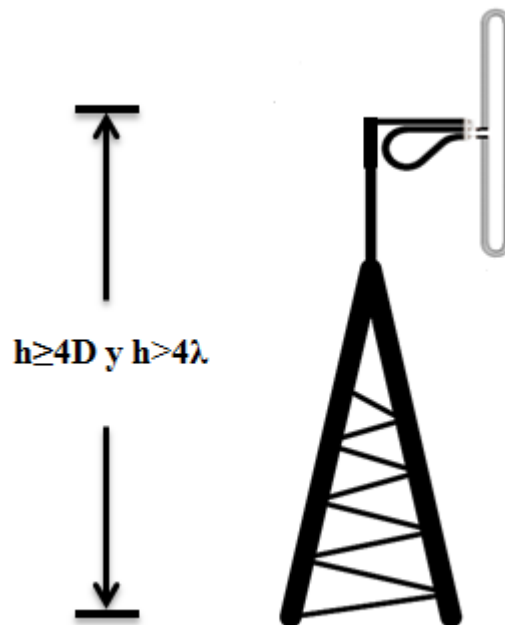


Figura 2.9: Altura del sistema emisor.

2.11.2. Procedimiento de medición

El procedimiento de medición se reduce a medir la impedancia de entrada de la línea de transmisión en dos situaciones distintas, a) con un cortocircuito en la salida y b) con la antena bajo prueba conectada, tal como se puede apreciar en la [Figura 2.10](#).

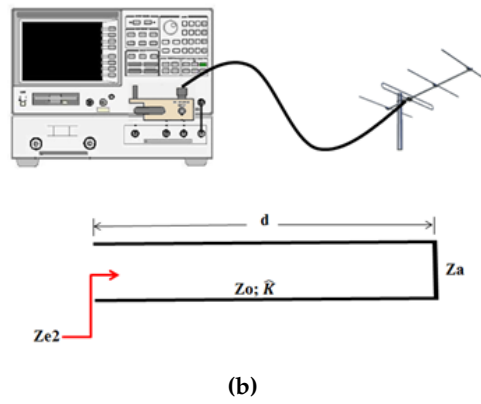
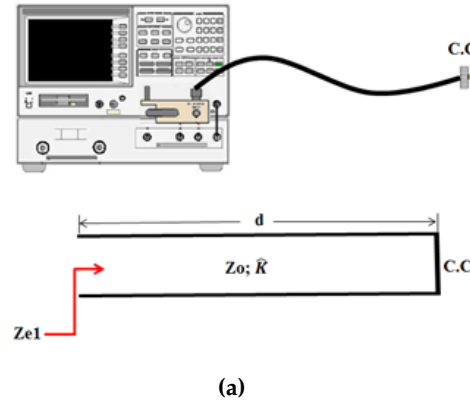


Figura 2.10: a) Línea en c.c; b) Línea con antena conectada.

En el caso (a) se determina la impedancia Z_{e1} lo cual permite determinar el coeficiente de reflexión a la entrada de la línea de transmisión tal como:

$$\Gamma_{e1} = \frac{Z_{e1} - Z_o}{Z_{e1} + Z_o} \quad (2.1)$$

Donde Z_o es la impedancia característica de la línea de transmisión. Este coeficiente de reflexión a su vez viene dado por:

$$\Gamma_{e1} = \Gamma_R \cdot e^{-2 \cdot \kappa \cdot d} \quad (2.2)$$

Donde " Γ_R " es el coeficiente de reflexión de la carga del tipo cortocircuito la cual tiene un valor de -1, " κ " es la constante de propagación y " d " es la longitud física

de la línea.

En el caso (b) se mide la impedancia Z_{e2} , a partir de la cual se obtiene el coeficiente de reflexión a la entrada " Γ_{e2} ".

$$\Gamma_{e2} = \frac{Z_{e2} - Z_o}{Z_{e2} + Z_o} = \Gamma_a \cdot e^{-2 \cdot \kappa \cdot d} \quad (2.3)$$

Combinando las expresiones (2.1), (2.2) y (2.3), se obtiene el coeficiente de reflexión complejo de la antena Γ_a :

$$\Gamma_a = \frac{(Z_o - Z_{e2})(Z_o + Z_{e1})}{(Z_{e1} - Z_o)(Z_{e2} + Z_o)} \quad (2.4)$$

Y finalmente se obtiene la impedancia propia de la antena a partir de [11]:

$$Z_a = Z_o \frac{1 + \Gamma_a}{1 - \Gamma_a} \quad (2.5)$$

2.12. Modulación AM

La modulación en amplitud de una señal seno o coseno es la variación de la amplitud de la portadora proporcional a la amplitud de la señal modulante. En cuanto a su representación gráfica en el dominio del tiempo se vería como una conjugación entre dos señales senoidales, mientras que en el dominio frecuencia es la suma de tres senoides de diferentes frecuencia, una de ellas tiene la misma frecuencia y amplitud de la portadora sin modular, la segunda está a una frecuencia igual a la suma de la portadora y la frecuencia de la modulante, representando la banda lateral superior y la tercera se encuentra a una frecuencia igual a la resta de la portadora y de la frecuencia de la modulante, y representa la banda lateral inferior.[13]

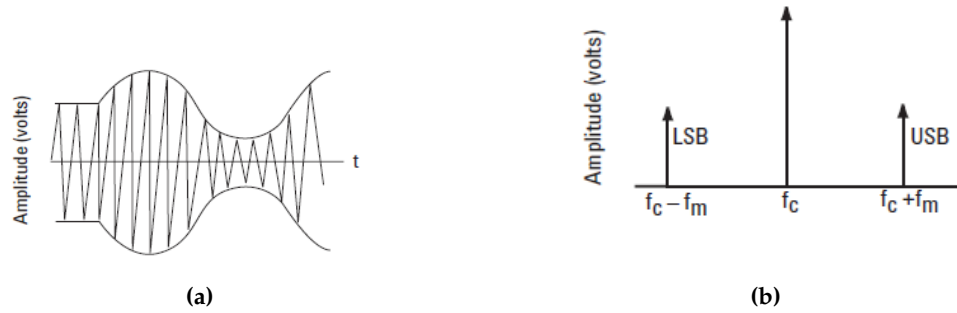


Figura 2.11: Modulación AM a) Dominio del Tiempo; b) Dominio de la Frecuencia.

La medida del grado de modulación mejor conocido como índice de modulación es representada por la letra “m”, por lo general es expresado en porcentaje y debido a esto también se le da el nombre de porcentaje de modulación. En el dominio del tiempo para una modulación sinusoidal el índice de modulación se calcula de la siguiente forma:

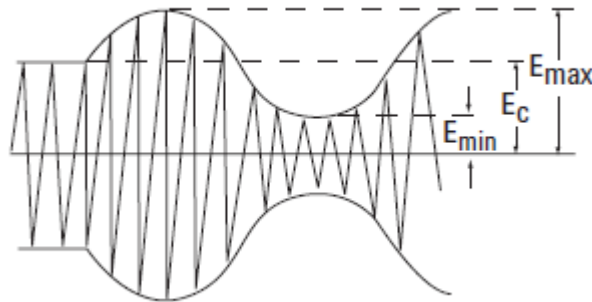


Figura 2.12: Índice de modulación en el dominio del tiempo.

$$m = \frac{E_{\max} - E_c}{E_c} \quad (2.6)$$

Mientras que para el dominio de la frecuencia se calcula de la siguiente forma:

$$m = \frac{2E_{SB}(V)}{E_c(V)} \quad (2.7)$$

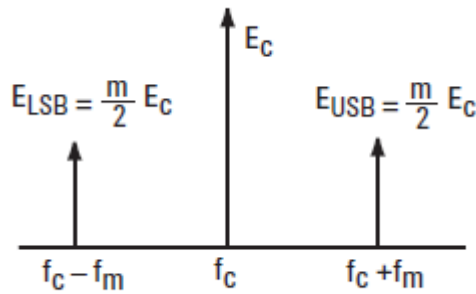


Figura 2.13: Índice de modulación en el dominio de la frecuencia.

En un analizador de espectro este tipo de medidas es trabajado en un formato logarítmico ya que así se logra tener un mayor rango dinámico de visualización permitiendo de esta forma poder realizar mediciones de señales moduladas con un porcentaje de modulación de hasta 0.06.[14] La relación entre m y un formato logarítmico puede ser expresado como:

$$E_{SB}(\text{dB}) - E_c(\text{dB}) = 20 \cdot \log\left(\frac{m}{2}\right) \quad (2.8)$$

o

$$E_{SB}(\text{dB}) - E_c(\text{dB}) + 6\text{dB} = 20 \cdot \log(m) \quad (2.9)$$

2.13. Python

Es un lenguaje de programación que soporta más de un paradigma de programación, ya que permite estilos orientado a objetos, imperativo y funcional. Este es un lenguaje de multiplataforma, donde una misma variable puede tomar valores de distinto tipo en distinto momento.[15] Su administración viene dada por Python Software Foundation y su licencia es de software libre denominada Python Software Foundation License. Su creador es Guido Van Rossum el cual empezó su desarrollo a finales de la década de los 80 en los Países Bajos. El proceso de ejecución de

este lenguaje inicia con la compilación de sus instrucciones propias y mientras se corre el programa van a ir siendo interpretadas por un programa intérprete.[16][17]

2.14. Librería PyVISA

PyVISA es una librería de Python que permite controlar equipos de medición que utilizan protocolos de comunicación como GPIB, USB, Ethernet y RS232. Para utilizar esta librería es necesario realizar su llamado de importación al código de Python y para ejercer un comando con la finalidad de que el instrumento lo ejecute es necesario conocer los comandos propuestos por el fabricante para el instrumento. Para establecer la comunicación con el instrumento, PyVISA debe recibir los parámetros del tipo de conexión y la dirección del puerto del instrumento con el cual se comunicará.[18]

2.15. Interfaz gráfica de usuario (GUI)

Es una aplicación que permite la interacción de los usuarios con el computador por medio de herramientas como son imágenes, texto, ventanas, botones, entre otros. Facilitándole a los usuarios poder encontrar y recordar aquellas opciones que le sean de utilidad. Por ejemplo Python cuenta con diferentes librerías que permiten la creación de interfaces graficas de usuario, por defecto este trae una librería denominada Tkinter que permite crear de forma fácil y rápida aplicaciones GUI por medio de una programación orientada a objetos.[19] La librería Tkinter es recomendada para aquellos usuarios que se estén iniciando en la creación de aplicaciones GUI, ya que con esta librería se logran adquirir los conocimientos básicos sobre este tipo de aplicaciones. Si se desean hacer interfaces graficas de mayor calidad existen librería como son PyQt, wxPython y PyGTK, las cuales permiten la creación de diseños mucho más agradable a la vista de los usuarios y con características mucho más profesionales. También existen librerías como QtDesigner de Qt que permiten diseñar ventanas arrastrando y soltando los atributos sobre esta, además permite

pre visualizar los diseños y verificar que funcionen de la manera correcta. En general cada una de estas librerías permite crear interfaces graficas de usuario por medio de la colocación de atributos que luego con solo hacer click se logra la ejecución de la rutina que le fue programada y que será de utilidad al usuario.[17][20]

2.16. Librería Matplotlib

Matplotlib es una librería o biblioteca que permite realizar gráficos en 2D a partir de datos contenidos en listas o arreglos del lenguaje de programación Python. A pesar de que tiene sus orígenes de los comandos gráficos de MATLAB, es independiente de MATLAB, y puede ser utilizado con la programación orientada a objetos de Python. Matplotlib está escrito principalmente en Python puro, pero se hace necesario el uso extensivo de NumPy y otros códigos de extensión para proporcionar un buen rendimiento a la hora de utilizar grandes arreglos. Matplotlib es una librería que permite crear graficas de calidad donde el usuario puede interaccionar con el área grafica realizando zoom y traslación sobre la gráfica, guardar figuras en diferentes formatos (.png y postscript) e incrustar el área grafica en diferentes herramientas de desarrollo de interfaces de usuarios. Algunos de los gráficos que puede generar Matplotlib son: histogramas, espectros de potencia, gráficos de barras, diagramas de dispersión, cartas, entre otros.[21]

2.17. Librería NumPy

NumPy es un paquete fundamental en Python para realizar cálculos científicos, agregando un mayor soporte para vectores y matrices, constituyendo una librería de funciones matemáticas de alto nivel para operar con esos vectores o matrices. Este paquete también ofrece sofisticadas funciones de radiodifusión, herramientas para la integración de C/C++ y Fortran, transformada de Fourier y capacidades de números aleatorios. NumPy proviene de Numeric, que fue creado originalmente por Jim Hugunin con ayuda de otros desarrolladores. En 2005 Travi Oliphant creó

NumPy incorporando características de Numarray en NumPy con algunas modificaciones. [\[22\]](#)

Capítulo III

Procedimientos de la investigación

3.1. Proceso de investigación y documentación

En esta primera fase se investigó la teoría necesaria para el desarrollo del proyecto, abarcando principalmente las características, funciones y estructura del Analizador HP 4396B, así como también los distintos protocolos de comunicación con los que cuenta el equipo.

El Analizador HP 4396B cuenta con tres tipos de funcionalidades: Espectros, Redes e Impedancias, por lo cual se encuentra compuesto de una gran variedad de menús y botones para la ejecución de sus funciones. Por medio de la utilización de los manuales [6], [7] y [23] se realizó el estudio de las diferentes características de hardware y software que posee el instrumento, permitiendo de esta forma poder saber cómo se encuentran estructurados cada uno de los menús que lo componen así como la funciones que realizan cada una de sus opciones y botones.

El protocolo de comunicación que utiliza el instrumento es el GPIB, usando como puerto de comunicación el HP-IB posicionado en la posterior del instrumento Figura 3.1, a través de este puerto se puede controlar al equipo utilizando un computador. Con la utilización de los manuales [8] y [24] que tratan exclusivamente sobre el protocolo de comunicación GPIB, se estudiaron la características de dicho

bus de comunicación obteniendo así una información más detallada del puerto HP-IB, esta información sirvió para tomar la decisión del accesorio que se utilizó para establecer la comunicación por dicho puerto, los proveedores de dicho accesorio se encuentran fuera del país, por lo cual fue de gran importancia poder contar con información específica para así tomar la mejor decisión de acuerdo a las opciones que proporcionaban los distintos proveedores. Además de eso en estos manuales se encontró información acerca de los comandos que se utilizan para el control del instrumento, los cuales fueron de utilidad a la hora del diseño de la aplicación.



Figura 3.1: Parte posterior del Analizador HP 4396B y puerto HP-IB identificado con círculo rojo.

3.2. Selección del lenguaje de programación apropiado

Luego de estudiar las funciones que posee cada uno de los diferentes modos de operación del analizador HP 4396B, se procedió a seleccionar el lenguaje de programación que se utilizaría para el desarrollo de la aplicación. Para esto se buscó toda la información referente a los diversos software utilizados para el control de instrumentos, entre los cuales se encontraron Agilent VISA, VISA COM, SICL IO Libraries, Visual Basic, Visual C++, Agilent Vee y LabView. Cada una de las opciones presentadas anteriormente fue descartada debido a que son lenguajes de programación en los cuales hay que tener una licencia que es del tipo paga, además de esto la mayoría de las opciones no cuentan con la capacidad de poder crear una

interfaz gráfica de usuario, por lo cual se tuvo la necesidad de seguir realizando estudios en cuanto a los lenguajes de programación, los cuales tenían como requisitos principales poder establecer comunicación con el instrumento, permitir la creación de una interfaz gráfica y contar con una licencia del tipo software libre, por lo que aparecieron en la lista lenguajes de programación como Java y Python. Para la utilizar Java era necesario realizar la programación en lenguaje C, debido a que esta plataforma cuenta con la librería necesaria para establecer la comunicación con el instrumento, posteriormente la programación realizada debía ser insertada en la aplicación de Java por medio de la librería Java Native Interface (JNI). Debido a la necesidad de tener que trabajar con dos lenguajes de programación distintos (C y Java) esta opción fue descartada, decidiendo finalmente que la mejor opción de programación era Python. Este es un lenguaje de programación sencillo por lo cual es fácil iniciarse en él, además de que posee gran cantidad de librerías o módulos de desarrollo, entre los cuales se encuentra la librería PyVisa la cual fue necesaria para establecer comunicación con el instrumento, esta característica fue de gran ayuda para el desarrollo de los diferentes módulos que posee la aplicación.

3.3. Investigación y estudio del lenguaje de programación seleccionado

En esta fase se procedió a recopilar toda la información referente al lenguaje de programación Python, mediante textos, tutoriales, fuentes bibliográficas y trabajos encontrados en la internet, luego de tener la información necesaria se realizó su estudio lo cual permitió seleccionar las herramientas utilizadas para el diseño de la aplicación.

3.4. Determinación del accesorio para establecer la comunicación entre el instrumento y el computador

Entre las principales alternativas de accesorios o medios para establecer comunicación con el instrumento a través del bus de comunicación GPIB están:

3.4.1. Agilent 82350B



Figura 3.2: Tarjeta Agilent 82350B.

Características Generales	
Potencia	Backplane +5 V PCI
Conector	Estándar 24-pin GPIB (IEEE-488) y +5 V PCI
Máxima velocidad de datos	900 KB/s
Máxima conexión de instrumentos	14 instrumentos
Configuración	Plug and Play
Largo, ancho y espesor	122mm, 122mm y 22mm
Peso	0.091 Kg
Precio	120\$

Tabla 3.1: Características Generales Agilent 82350B.

3.4.2. Agilent 82357B

Características Generales	
Potencia	Dispositivo USB, +5 V, 500mA (máx), 200 mA (típica)
Conector	Estándar 24-pin GPIB (IEEE-488) y Estándar USB A
Máxima velocidad de datos	1.15 MB/s o mejor
Máxima conexión de instrumentos	14 instrumentos
Configuración	Plug and Play
Leds indicadores	READY, ACCESS y FAIL
Largo, ancho y espesor	105 mm, 64 mm y 30 mm
Peso	215 gr
Precio	121\$

Tabla 3.2: Características Generales Agilent 82357B:

Al ver las características se puede notar que el dispositivo Agilent 82357B tiene una amplia ventaja sobre el Agilent 82350B. La tarjeta Agilent 82350B debe ser instalada en el interior del computador, y además es necesario utilizar un cable con conexión GPIB-GPIB para conectar con el instrumento, por lo cual se requeriría realizar una mayor inversión ya que este cable tiene un costo de 90\$ quedando como precio final de 210\$ si se utilizará esta opción. Es por esta razón que finalmente se decidió como mejor opción la del dispositivo Agilent 82357B.



Figura 3.3: Tarjeta Agilent 82350B instalada en un computador y cable de terminación GPIB-GPIB.

3.5. Diseño de la aplicación

Luego de recopilar y estudiar la información necesaria para elaborar la aplicación se procedió a realizar los algoritmos de programación necesarios para el diseño de la misma. Para esto previamente se seleccionaron las herramientas que se utilizarían para el desarrollo del proyecto, como lo son:

1. PyQt4.
2. PyQtDesigner.
3. PyVisa.
4. Matplotlib.
5. Numpy.
6. PrettyTable.
7. Math.
8. Cmath.
9. Smithplot.

La mayoría de estas herramientas son librerías pertenecientes al lenguaje de programación Python, las cuales deben ser instaladas mediante comandos introducidos en la línea de comandos (consola) del ordenador que se esté utilizando, en algunos casos con la sola descarga y instalación de la herramienta es suficiente para comenzar a utilizarla.

3.5.1. Diseño de la interfaz

Para el diseño de la mayoría de las interfaces gráficas se utilizó QtDesigner esta herramienta hace que el diseño de la interfaz sea más rápida y sencilla debido a que posee los elementos necesarios para el diseño y creación de interfaces con solo arrastrar y soltar el elemento a utilizar colocándolo en el lugar deseado de la ventana. El archivo creado en QtDesigner se guarda con la extensión “.ui”, este tipo de archivos son utilizados para aplicaciones realizadas en PyQt, cabe destacar que con estos archivos solo se obtiene el diseño de la ventana, por lo que luego de ser diseñada se debe escribir el código donde se le atribuyen las funciones a los elementos que posee cada ventana.

La aplicación realizada se basó en la ventana principal de la cual se desprenden cuatro módulos que son: documentación, analizador de redes, analizador de espectros y analizador de impedancia, a continuación se presentan los elementos que constituyen cada una de las ventanas que conforman la aplicación.

3.5.1.1. Ventana principal

La ventana principal está conformada por diversos elementos como lo son:

- Un menú bar (QMenuBar) llamado “Ayuda”, del cual se despliega la opción “Acerca” la cual contiene información de los creadores de la aplicación, en la Figura 3.4, se puede apreciar el Menú Bar creado.

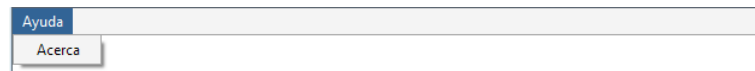


Figura 3.4: Menú Bar.

- Una etiqueta o Label (QLabel) el cual muestra el logo de la Universidad de Carabobo ubicado en la parte superior izquierda de la pantalla, un Label que muestra el logo de la Facultad de Ingeniería ubicado en la parte superior derecha de la pantalla, y un Label ubicado en medio de cada uno de los logos mencionados anteriormente, en el cual está escrito el nombre de la aplicación, dichos elementos se pueden apreciar en la Figura 3.5.



Analizador HP 4396B



Figura 3.5: Etiquetas de la ventana principal.

- Un Label o etiqueta que representa la imagen del equipo HP-4396B tal como se aprecia en la Figura 3.6.

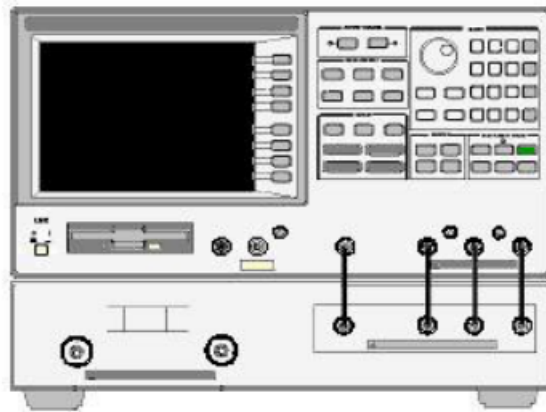


Figura 3.6: Etiqueta que representa la imagen del equipo.

- 4 etiquetas que tienen la imagen de flechas apuntando hacia los diferentes botones que permiten la selección de los módulos que posee la aplicación, véase en la Figura 3.7.



Figura 3.7: Labels o etiquetas que representan flechas.

- Un Label que tiene el texto “Documentación” y un botón (QPushButton) con un icono que representa el modulo documentación, este se puede ver en la Figura 3.8, al dar click en este botón se abre la ventana correspondiente a este módulo.

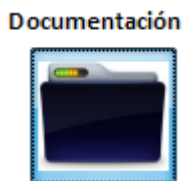


Figura 3.8: Label y Botón que representan el módulo Documentación.

- Un Label que tiene el texto “Analizador de Redes” y un botón (QPushButton) con un icono que representa el modulo analizador de redes, tal como se puede observar en la Figura 3.9, al dar click en este botón se abre la ventana correspondiente a este módulo.

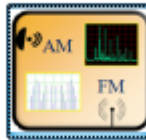


Figura 3.9: Label y Botón que representan el módulo Analizador de Redes.

- Un Label que tiene el texto “Analizador de Impedancia” y un botón (QPushButton) con un icono que representa el módulo analizador de impedancia, como se puede observar en la Figura 3.10, al dar click en este botón se abre la ventana correspondiente a este módulo.

Analizador de Impedancia**Figura 3.10:** Label y Botón que representan el módulo Analizador de Impedancia.

- Un Label que tiene el texto “Analizador de Espectros” y un botón (QPushButton) con un icono que representa el módulo analizador de espectros, véase en la Figura 3.11, al dar click en este botón se abre la ventana correspondiente a este módulo.

Analizador de Espectros**Figura 3.11:** Label y Botón que representan el módulo Analizador de Espectros.

- Un botón (QPushButton) ubicado de lado inferior izquierdo mediante el cual se realiza la conexión del instrumento al computador haciendo uso de la función “Conectar”, en la Figura 3.12 se puede observar dicho botón.

Conectar**Figura 3.12:** Botón conectar.

Para realizar la conexión del instrumento con el computador fue necesario utilizar la librería PyVisa. Una manera rápida y sencilla de realizar la conexión del analizador HP-4396B se muestra en el siguiente fragmento de código Figura 3.13:

```
Línea 1- import visa  
Línea 2- rm = visa.ResourceManager ()  
Línea 3- rm.list_resources()  
Línea 4- ('GPIB0::17::INSTR')  
Línea 5- inst = rm.open_resource('GPIB0::17::INSTR')
```

Figura 3.13: Fragmento de código utilizado para conectar el instrumento al computador.

En la línea 1 se importa la librería visa que permite realizar el manejo de instrumentos de forma remota, en la línea 2 se realiza la creación de un objeto, en la línea 3 se manda a enlistar los instrumentos disponibles para conectar, para este caso como solo se encuentra conectado un instrumento en la línea 4 se recibe la dirección de ese único instrumento y por último en la línea 5 se abre y asigna la dirección del instrumento al objeto por lo cual ya el equipo puede ser manejado de forma remota, mediante los comandos de instrucción que se le asignen al objeto creado en la línea 2. Todo este código se encuentra dentro de la función “Conectar” del botón que realiza esta operación.

3.5.1.2. Ventana del Módulo Analizador de Espectros

El módulo analizador de Espectros posee una interfaz similar a la de los módulos analizador de impedancia y analizador de redes los cuales están conformados de la siguiente manera:

En el lado derecho de cada ventana se encuentran los botones e identificación de cada módulo, mientras que en el lado izquierdo se encuentran los menús que se despliegan al presionar los botones de acuerdo al módulo que se esté trabajando. El módulo Analizador de Espectros posee los siguientes elementos:

- En la parte superior derecha la pantalla se encuentran 4 Labels (QLabel) que representan el logo de la Universidad de Carabobo, el nombre del módulo, el rango de frecuencias para este tipo de analizador y el logo de la Facultad de Ingeniería. Tal como se puede ver en la Figura 3.14.

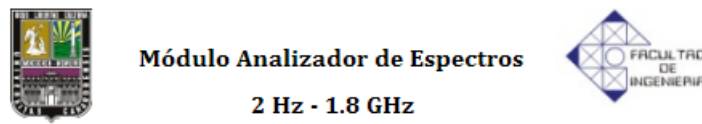


Figura 3.14: Labels del Módulo Analizador de Espectros.

- En la parte superior derecha de esta ventana, se encuentra un Dial (QDial) que se encarga de mover los Markers o sub-Markers a lo largo de la frecuencia. Ver Figura 3.15



Figura 3.15: Dial.

- Del lado derecho y debajo de los Labels mencionados anteriormente están ubicadas las secciones en las cuales se divide el panel frontal del equipo como lo son:
 1. Active Channel.
 2. Measurement.
 3. Marker.
 4. Sweep.
 5. Instrument State.
 6. Acquisition and Analysis.

Cada una de estas secciones se realizaron utilizando elementos llamados “Group-Box (QGroupBox)” en los cuales se colocaron los botones pertenecientes a cada sección, a continuación se muestra la manera en la que está distribuido cada botón (por sección) y el menú que se despliega de cada uno.

1. Active Channel: Esta sección está conformada por un GroupBox llamado “Active Channel” el cual contiene 2 botones que realizan la función de

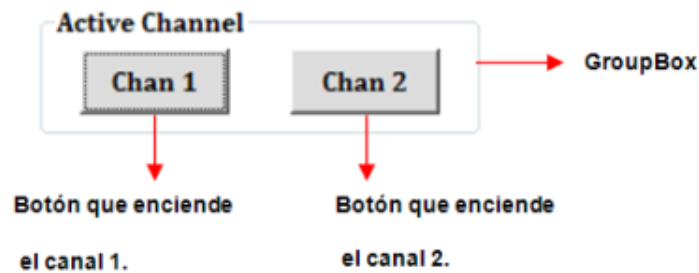


Figura 3.16: Sección Active Channel.

encender ya sea el canal 1 o el canal 2 del instrumento, esta sección puede ser visualizada en la Figura 3.16.

2. Measurement: Esta sección cuenta con un GroupBox el cual tiene el título: "Measurement" y dentro de este se encuentran 6 botones como se muestra en la Figura 3.17.

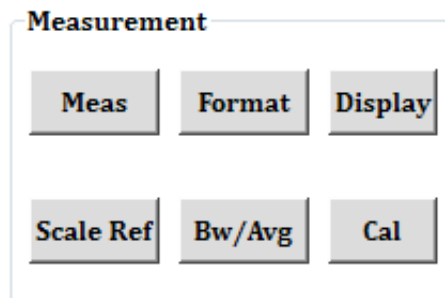


Figura 3.17: Sección Measurement.

Al dar click en algún botón de esta sección o de cualquier otra, se despliega su menú correspondiente el cual fue realizado utilizando las herramientas: "Dock Widget" y "Tree Widget" en la Figura 3.18 se puede apreciar la manera en la que se presentan los menús en cada uno de los módulos realizados. Para más información acerca de cada uno de los menús y sub-menús que se despliegan de cada botón consultar el manual [23].

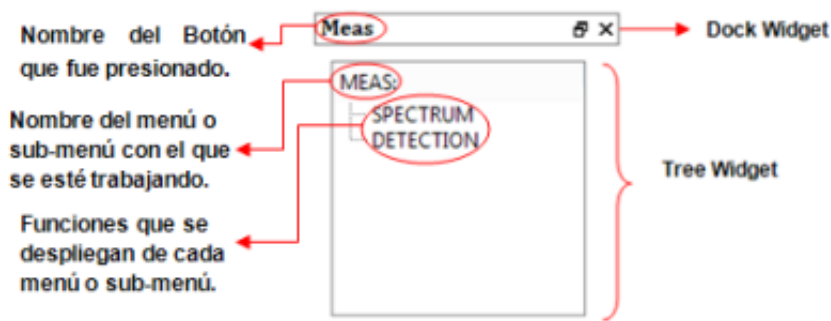


Figura 3.18: Estructura de cada Menú.

3. Marker: Esta sección se realizó utilizando un “GroupBox” al cual se le coloco el título “Marker” y dentro de él se encuentran 4 botones los cuales realizan funciones con respecto a los markers, esta sección se puede observar en la Figura 3.19.



Figura 3.19: Sección Marker.

4. Sweep: Esta sección está conformada por un “GroupBox” llamado Sweep el cual posee 7 botones entre los cuales están los botones para colocar la frecuencia inicial, frecuencia final, frecuencia central, Span etc., como se puede observar en la Figura 3.20.

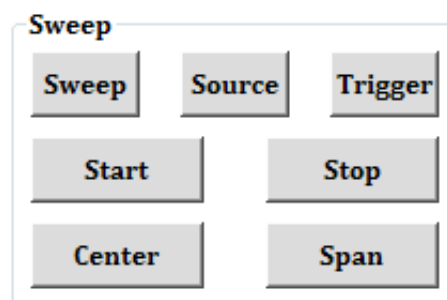


Figura 3.20: Sección Sweep.

5. Instrument State: Esta sección está conformada por un “GroupBox” que tiene por nombre “Instrument State” que posee 6 botones tal y como se muestra en la Figura 3.21.

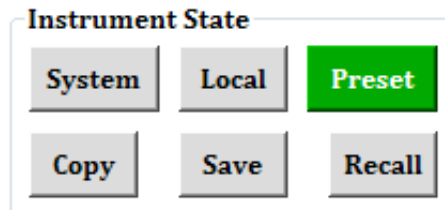


Figura 3.21: Sección Instrument State.

6. Adquisition and Analisisys: Al igual que las anteriores esta sección viene conformada por un “GroupBox” que tiene como título “Adquisition and Analisisys”, la cual posee para este módulo 3 botones, de los cuales uno nos da la opción de graficar lo que se está observando en la pantalla del analizador dándole a los usuarios la posibilidad de guardar la gráfica en el computador, otro botón tiene como función el guardar la data directamente al ordenador , y por ultimo un botón encargado de calcular el índice de modulación de una señal AM con portadora única, al dar click en este botón se abre una ventana la cual muestra los pasos para realizar esta medición, esta sección no aparece en el panel frontal del equipo, es decir fue agregada con la finalidad de hacer más cómoda la adquisición de las gráficas y data generadas por el equipo, esta sección es mostrada en la Figura 3.22.

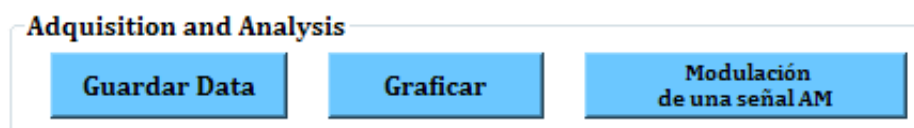


Figura 3.22: Sección Adquisition and Analisisys.

- Del lado inferior izquierdo se encuentran 4 Labels que identifican la marca del equipo y el modelo del mismo así como se muestra en la Figura 3.23.



Figura 3.23: Labels que identifican la marca y el modelo del equipo.

3.5.1.3. Ventana cálculo de índice de modulación de una señal AM

Esta ventana se abre al presionar el botón “Calcular índice de modulación de una señal AM”, a continuación se describen los elementos que conforman esta ventana.

- a) Un label el cual tiene la imagen del logo de la Universidad de Carabobo, está ubicado del lado superior izquierdo de la ventana.
- b) Un label que tiene el texto “Calculo de índice de modulación”.
- c) Un label que tiene el texto “de una señal AM”.
- d) Un label que tiene la imagen del logo de la Facultad de Ingeniería, el cual está ubicado del lado superior derecho de la ventana, véase la Figura 3.24.

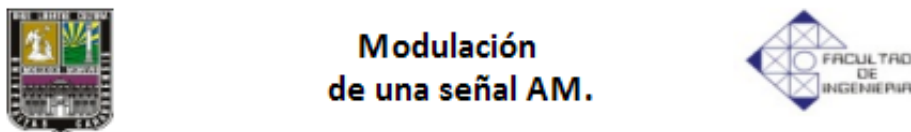


Figura 3.24: Labels que identifican la sección Modulación de una señal AM.

- e) Un label o etiqueta que tiene la figura de la manera en la que se debe conectar la señal AM al analizador de espectros, la cual se observa en la Figura 3.25.

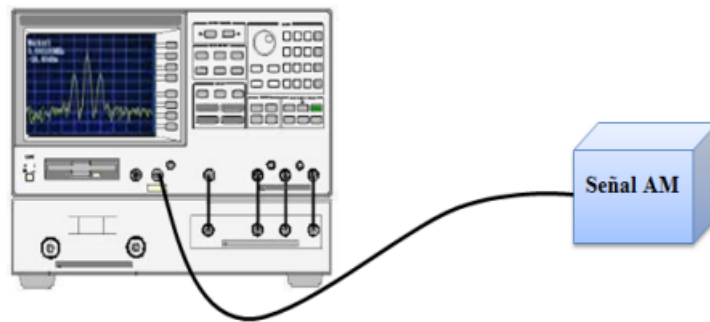


Figura 3.25: Label que representan la manera de conectar la señal AM.

- f) Un botón que tiene por nombre “Calcular” y está asociado a una función que se encarga de realizar el cálculo del índice de modulación, la frecuencia de la portadora y el ancho de banda de la señal AM introducida, en la Figura 3.26, se puede apreciar dicho botón.

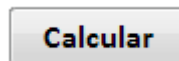


Figura 3.26: Botón Calcular de la sección Modulación de una señal AM.

- g) Un label que posee el texto “Resultado:” Figura 3.27.

Resultado:

Figura 3.27: Label Resultado.

- h) Una etiqueta que tiene el texto “Frecuencia de la portadora:”, una etiqueta o label que tiene por texto “Hz”, que representa la unidad de la frecuencia, y una etiqueta que tiene el texto “valor” usada para colocar el valor de la frecuencia de la portadora de la señal AM, es decir al presionar el botón calcular el texto de la etiqueta cambia a el valor de la frecuencia de la portadora que fue calculada, todos estos se pueden observar en la Figura 3.28.

Frecuencia de la Portadora: Valor Hz

Figura 3.28: Etiquetas que indican el valor de la frecuencia de portadora.

- i) Un label que posee el texto “Ancho de Banda” Figura 3.29.

Ancho de Banda: Valor Hz

Figura 3.29: Etiquetas que indican el ancho de banda de la señal.

- j) Un label que posee el texto “índice de Modulación:”, un label con el texto “Valor” el cual está destinado para colocar el resultado del índice de modulación, es decir al presionar el botón calcular el texto de esta etiqueta cambia inmediatamente por el valor de índice de modulación que se haya obtenido, además de esto la ventana posee un label con el texto “%” el cual indica las unidades en las que se da el índice de modulación. Lo descrito anteriormente se muestra en la Figura 3.30.

Índice de Modulación: Valor %

Figura 3.30: Etiquetas que indican el valor del índice de modulación.

3.5.1.4. Ventana Analizador de Impedancia

Esta ventana como se mencionó anteriormente cuenta con los mismos elementos descritos en la ventana analizador de espectros a excepción la sección “Acquisition and Analysis” la cual posee elementos adicionales que se describirán más adelante, además de los Labels ubicados en la parte superior cambian su texto a “Módulo Analizador de Impedancia” y también cambia la etiqueta del rango como se muestra en la Figura 3.31.

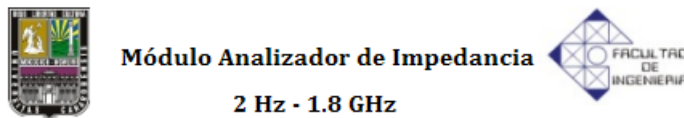


Figura 3.31: Etiquetas correspondientes al Analizador de Impedancia.

- Sección Acquisition and Analysis: Esta sección fue realizada haciendo uso de los siguientes elementos:

1. Un GroupBox que tiene por título "Adquisition and Analisis" dentro del cual se encuentran 5 botones los cuales se describen a continuación.
2. Un botón "Guardar data", que tiene por finalidad guardar la data directamente en el computador.
3. Un botón "Graficar", que muestra la gráfica que se está observando en la pantalla del analizador, lo que da la posibilidad de guardar dicha grafica en el computador.
4. Un botón "Calibración Guiada", el cual muestra una ventana donde se da el procedimiento para realizar la calibración del analizador de Impedancia.
5. Un botón "Medición de impedancia de una antena", el cual muestra una ventana donde se dan los pasos necesarios para realizar la medición de impedancia de una antena.
6. Un botón "Factor de transformación de un balun", el cual muestra una ventana en donde se da el procedimiento para obtener el factor de transformación de un balun. Esta sección se muestra en la Figura 3.32.

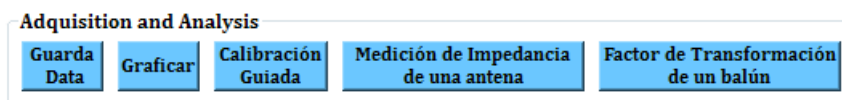


Figura 3.32: Sección Adquisition and Analisis del módulo Analizador de Impedancia.

3.5.1.5. Ventana Calibración Guiada del Módulo Analizador de Impedancia

Para realizar esta ventana se utilizó la herramienta QtDesigner para colocar los elementos de la ventana principal de calibración, además de esto se colocaron elementos de manera manual, es decir escribiendo el código, declarando los elementos, esto se realizó debido a que se decidió utilizar una sola ventana para este procedimiento el cual es un poco largo, esta ventana cuenta con los siguientes elementos.

- Una etiqueta o label que tiene la imagen del logo de la Universidad de Carabobo, ubicada de lado superior izquierdo de la ventana.

- Una etiqueta o label que tiene por texto “Calibración”.
- Una etiqueta o label que tiene por texto “del Analizador de Impedancia”.
- Una etiqueta o label que tiene la imagen del logo de la Facultad de Ingeniería, ubicada de lado superior derecho de la ventana, todas estas etiquetas pueden observarse en la Figura 3.33.

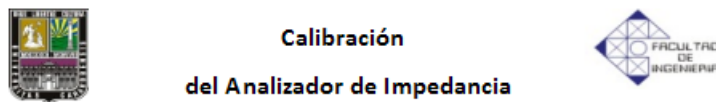


Figura 3.33: Etiquetas de la ventana calibración de impedancia.

- Una etiqueta o label que tiene la imagen del kit 43961A y las cargas utilizadas para realizar la calibración de este instrumento, en la Figura 3.34 puede observarse lo descrito anteriormente.

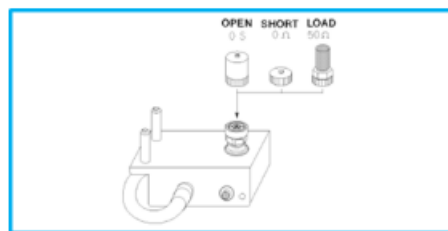


Figura 3.34: Etiqueta con la imagen del kit utilizado para la calibración.

- Una etiqueta que tiene el texto “Procedimiento”, la cual da comienzo a los pasos para realizar la calibración esta etiqueta puede observarse en la Figura 3.35.

PROCEDIMIENTO:

Figura 3.35: Etiqueta procedimiento.

- Una etiqueta o label la cual tiene el texto “A-) conectar la terminación OPEN al puerto de salida y presione el botón OPEN” Figura 3.36, este es el primer paso de la calibración del analizador de impedancia.

A-) Conectar terminación OPEN al puerto de salida y presione el botón OPEN.

Figura 3.36: Primer paso para la calibración.

- Un botón que tiene por nombre “OPEN” el cual al ser presionado manda el comando al equipo y habilita el siguiente botón. En la Figura 3.37 se puede observar este botón.

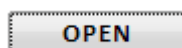


Figura 3.37: Botón open.

- Una etiqueta que tiene el texto “B-) conectar la terminación SHORT al puerto de salida y presione el botón SHORT.” Este es el segundo paso para realizar una correcta calibración, en la Figura 3.38 se observa dicha etiqueta.

B-) Conectar terminación SHORT al puerto de salida y presione el botón SHORT.

Figura 3.38: Segundo paso para la calibración.

- Un botón que tiene por nombre “SHORT”, que al ser presionado manda un comando al equipo y habilita el próximo botón, SHORT permanece deshabilitado hasta que el botón OPEN es presionado cuando esto sucede el botón SHORT puede ser utilizado, y el botón OPEN es deshabilitado, en la Figura 3.39 se puede observar la imagen del botón SHORT cuando esta deshabilitado y habilitado.



Figura 3.39: Botón SHORT deshabilitado y habilitado.

- Una etiqueta o label que tiene el texto “C-) conectar la terminación LOAD al puerto de salida y presione el botón LOAD.” Este es el tercer paso para la calibración del analizador, la Figura 3.40 muestra la etiqueta antes mencionada.

C-) Conectar terminación LOAD al puerto de salida y presione el botón LOAD.

Figura 3.40: Tercer paso para la Calibración.

- Un botón que tiene por nombre “LOAD”, este es habilitado al presionar SHORT, el botón LOAD se encarga de mandar un comando al equipo, habilitar el próximo botón y deshabilitar el botón SHORT, en la Figura 3.41 se puede observar el botón LOAD cuando esta deshabilitado y habilitado.



Figura 3.41: Botón LOAD deshabilitado, y habilitado.

- Una etiqueta que tiene el texto “D-) Presione Done: Cal para finalizar el proceso de calibración.” En la Figura 3.42, puede apreciarse la etiqueta.

D-) Presione Done: CAL para finalizar el proceso de calibración.

Figura 3.42: Cuarto paso para la calibración.

- Un botón que tiene por nombre “Done: Cal” el cual da por terminada el proceso de calibración, al presionar este botón se manda un comando al analizador, se deshabilita el botón LOAD y se habilita el próximo botón. En la Figura 3.43 puede observarse el botón Done: Cal.

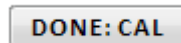


Figura 3.43: Botón Done: Cal.

- Un botón que tiene por nombre “siguiente >> ” el cual tiene por función ocultar los elementos de la ventana principal de calibración del analizador de impedancia y aparecer nuevos elementos referentes a la calibración del Test Fixture. En la Figura 3.44 se muestra el botón “siguiente >>”.

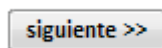


Figura 3.44: Botón Siguiente.

Como se mencionó anteriormente al presionar el botón “siguiente >>” desaparecen los elementos que tenía la ventana de calibración y aparecen nuevos elementos, estos fueron agregados de manera manual, utilizando la ayuda del QtDesigner para obtener la ubicación de los elementos en la ventana. A continuación se describen los objetos que posee esta ventana.

- Una etiqueta que tiene el texto “Configuración de longitud eléctrica” ubicada en medio de los logos de la Universidad de Carabobo y de Facultad de Ingeniería, los cuales no se ocultaron al presionar el botón “siguiente >>”.
- Una etiqueta que tiene el texto “del Test Fixture” que está ubicado al igual que la anterior en medio de los logos de la Universidad de Carabobo y del logo de la Facultad de Ingeniería, en la Figura 3.45 se muestran dichas etiquetas.

Configuración de longitud eléctrica del Test Fixture

Figura 3.45: Etiqueta Configuración de longitud eléctrica el Test Fixture.

- Una etiqueta que tiene la imagen de la manera de conectar el Test Fixture al analizador de impedancia. En la Figura 3.46, se puede apreciar dicho label.
- Una etiqueta con el texto “Seleccionar Fixture:” además de un ComboBox del cual se despliegan las diferentes opciones de Fixture que pueden ser utilizados, en la Figura 3.47 y 3.48 pueden apreciarse los elementos descritos y las opciones que se despliegan del ComboBox respectivamente.

En caso de que el usuario seleccione del ComboBox la opción “DEFINIR FIXTURE” de inmediato se habilitarán las opciones para definir el nuevo fixture con el que se trabajará, en caso contrario al seleccionar cualquier otra opción, se habilitará un botón para seguir adelante con la calibración. Los elementos que se describirán a continuación están deshabilitados, y se activan al seleccionar “DEFINIR FIXTURE”.

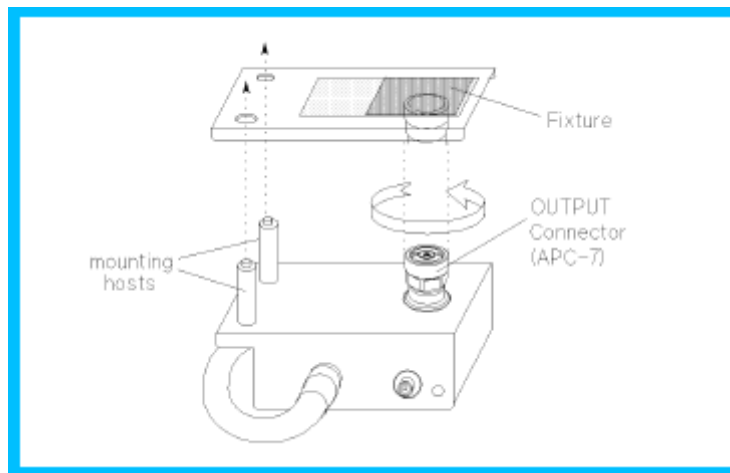


Figura 3.46: Etiqueta que muestra la manera de conectar el test fixture.



Figura 3.47: Etiqueta y Combo Box utilizados para seleccionar el Fixture.

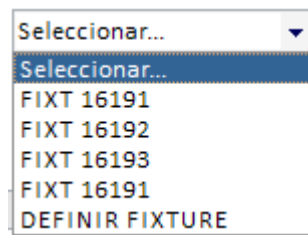


Figura 3.48: Opciones que se despliegan del ComboBox.

- Una etiqueta con el texto “A-) Definir Extensión”, una etiqueta con el texto “(m)” que indica la unidad de la extensión definida, y un DoubleSpinBox en el cual se introduce la extensión con la que se trabajará, en la Figura 3.49 se puede observar lo descrito anteriormente.



Figura 3.49: Elementos utilizados para definir la extensión.

- Un botón para aceptar la extensión que previamente fue colocada en el DoubleSpinBox, al dar click en aceptar se habilitan los próximos elementos que se encargarán de pedir el nombre del Fixture, además también existe un botón

para cancelar la extensión que se colocó en el DoubleSpinBox, al presionar este botón se deshabilitan estos elementos y vuelve a habilitarse el ComboBox para seleccionar otro Fixture. En la Figura 3.50 se pueden observar dichos botones.



Figura 3.50: Botones aceptar y cancelar para Extensión de Fixture.

- Una etiqueta con el texto “B-) Label Fixture:” y un LineEdit donde el usuario puede colocar el nombre que le dará al nuevo Fixture, estos pueden ser observados en la Figura 3.51.



Figura 3.51: Etiqueta y LineEdit para colocar nombre al Fixture.

- Un botón para aceptar y un botón para cancelar al presionar este botón se deshabilitan estos elementos y se habilita nuevamente el ComboBox para seleccionar otro Fixture, y al dar click en el botón aceptar se guarda la configuración realizada del label Fixture y se habilitan los próximos elementos, en la Figura 3.52 se muestran los botones aceptar y cancelar.



Figura 3.52: Botones aceptar y cancelar de las configuraciones del Label.

- Una etiqueta que tiene el texto “C-) Presione Kit: Done” y un botón que tiene por nombre “KIT: DONE” el cual da por finalizada la creación del nuevo Fixture, en la Figura 3.53, se pueden observar los elementos descritos.

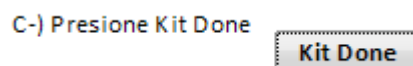


Figura 3.53: Etiqueta y botón Kit: Done.

- Una etiqueta que posee el texto “D-) Presione SAVE USER FXTR KIT para guardar las configuraciones”, una etiqueta que tiene el texto “del FIXTURE” y un botón que tiene el nombre “SAVE FXTR KIT” al presionar este botón se guardan las configuraciones realizadas del Fixture como lo son la extensión y el nombre, en la Figura 3.54 se pueden observar estos elementos.



Figura 3.54: Etiqueta y botón para guardar configuraciones del Fixture.

- Una etiqueta que tiene el texto “E-) Presione USER para utilizar el Fixture.” Y un botón que tiene el nombre “USER” el cual es el último paso para definir un nuevo Fixture, en la Figura 3.55, se pueden observar estos elementos.

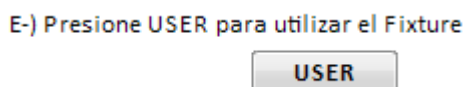


Figura 3.55: Etiqueta y botón para finalizar la creación del fixture.

- Un botón que tiene el nombre “Siguiente>>” que oculta los elementos presentes en la ventana y aparecen nuevos elementos referentes a la compensación del Fixture, pasos que son necesarios para finalizar la calibración del analizador de impedancia, en la Figura 3.56, se muestra el botón siguiente.

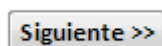


Figura 3.56: Botón siguiente.

- Los elementos que se describen a continuación aparecen al dar click en el botón “Siguiente >>”, y son los últimos pasos para culminar la calibración de este analizador, esta ventana posee: una etiqueta que tiene el texto “Compensación del Fixture” la cual se muestra en la Figura 3.57 esta etiqueta será el nuevo título de la ventana.

Compensación del Fixture

Figura 3.57: Etiqueta de Compensación del Fixture.

- Una etiqueta que tiene el texto “A-) Conectar la barra SHORT al Fixture y presione SHORT.”, un botón que tiene por nombre “SHORT” los cuales forman parte del primer paso para la compensación del Fixture, al presionar el botón “SHORT” se habilita el próximo botón. En la Figura 3.58, pueden observarse los elementos que fueron descritos.

A-) Colocar la barra SHORT al Fixture y presione SHORT

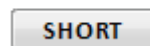


Figura 3.58: Etiqueta y botón SHORT.

- Una etiqueta que tiene el texto “B-) Colocar la condición OPEN y presione OPEN.”, y un botón con el nombre “OPEN” los cuales forman parte del segundo paso para la compensación del Fixture, en la Figura 3.59 se aprecian dichos elementos. Al presionar el botón OPEN se habilita el próximo botón.

B-) Colocar la condición OPEN y presione OPEN

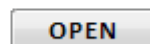


Figura 3.59: Etiqueta y botón OPEN.

- Una etiqueta que tiene el texto “C-) Colocar la carga LOAD y presione LOAD”, y un botón que tiene por nombre “LOAD”. Estos elementos forman parte del tercer paso para completar la compensación del Fixture, en la Figura 3.60 pueden apreciarse los elementos mencionados anteriormente.

C-) Colocar la carga LOAD y presione LOAD

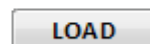


Figura 3.60: Etiqueta y botón LOAD.

- Una etiqueta que posee el texto “D-) Presione la tecla DONE: COMPEN para completar”, una etiqueta con el texto “la compensación del FIXTURE.”, un botón que tiene por nombre “DONE: COMPEN”, este es el último paso para la compensación del Fixture, en la Figura 3.61, se aprecian dichos elementos.

D-) Presione la tecla DONE: COMPEN para completar
la compensación del FIXTURE

DONE: COMPEN

Figura 3.61: Etiquetas y botón DONE: COMPEN.

- Un botón que tiene por nombre “Finalizar” el cual da por terminado la calibración del analizador de impedancia y cierra la ventana de calibración, en la Figura 3.62 se puede apreciar este elemento.

Finalizar

Figura 3.62: Botón Finalizar.

3.5.1.6. Ventana Medición de Impedancia de una Antena

Para esta ventana se utilizó la herramienta QtDesigner, este módulo tiene como finalidad hacer más sencillo el cálculo de impedancia de una antena, a continuación se muestran los elementos que componen esta ventana.

- Una etiqueta que tiene la imagen de la Universidad de Carabobo, ubicada del lado superior izquierdo de la ventana, una etiqueta que tiene el logo de la Facultad de Ingeniería, ubicada del lado superior derecho de la ventana, y una etiqueta que representa el título de la ventana la cual posee el texto “Medición de Impedancia de una Antena”, en la Figura 3.63, se pueden apreciar estos elementos.

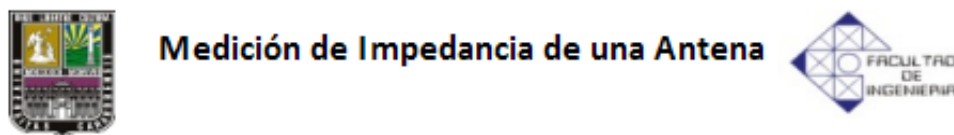


Figura 3.63: Etiquetas que representan el encabezado de la ventana Medición de Impedancia de una Antena.

- Una etiqueta con el texto “Introduzca la impedancia característica de la línea:”, una etiqueta que tienen el texto “Zo” y una etiqueta que posee el texto “OHM” la cual representa la unidad de la impedancia, para introducir el valor de Zo se utilizó un DoubleSpinBox y un botón con el nombre “Listo” mediante el cual se guarda el valor de Zo introducido por el usuario, en la Figura 3.64 pueden apreciarse los elementos antes mencionados.

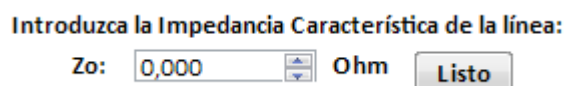


Figura 3.64: Elementos utilizados para introducir el valor de impedancia característica.

- Una etiqueta que posee la imagen de la manera en la que se debe conectar el corto circuito a la línea que debe estar conectada al analizador, en la Figura 3.65, se puede apreciar dicha imagen, además en la imagen se agregó un Tool-Tip el cual es una nota que aparece al pasar el mouse encima de la etiqueta y tiene el texto “Conecte el corto circuito al analizador de Impedancia y luego presione el botón Calcular”.

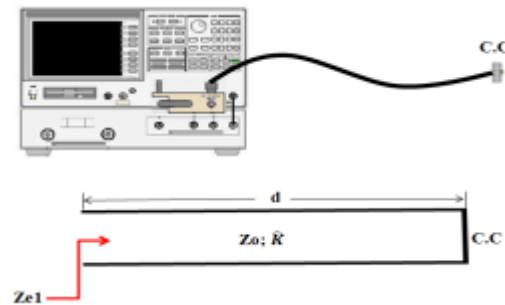


Figura 3.65: Etiqueta con la imagen de la conexión de una carga del tipo cortocircuito.

- Una etiqueta que posee la imagen de la manera como se debe conectar la antena al analizador, en la Figura 3.66, puede apreciarse dicha imagen, además al igual que la etiqueta anterior se agregó un ToolTip con el texto “Desconecte el corto circuito y conecte la antena al analizador de impedancia luego presione el botón Calcular” la cual aparece al pasar el mouse sobre la imagen.

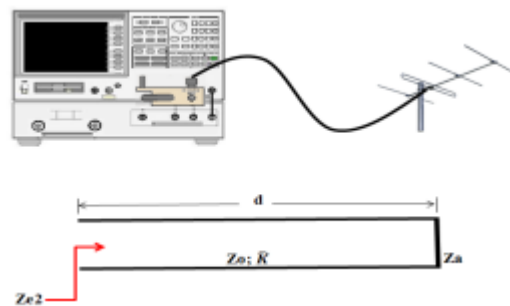


Figura 3.66: Etiqueta con la imagen de la conexión de una antena.

- Dos botones con el nombre “Calcular” los cuales están encargados de realizar los cálculos necesarios para obtener la impedancia de la antena, el primero se encarga de calcular Z_{e1} , mientras que el segundo se encarga de calcular Z_{e2} y Z_a , debido a que ambos botones tienen la misma apariencia solo se muestra uno, como se puede apreciar en la Figura 3.67.

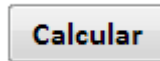


Figura 3.67: Botón Calcular de Medición de Impedancia de una Antena.

- Un botón con el nombre “Obtener Gráficas” el cual muestra las gráficas de magnitud y fase de las impedancias Z_{e1} , Z_{e2} y Z_a cada una de ellas por separado, en la Figura 3.68 se muestra el botón “Obtener Gráficas”.

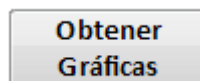


Figura 3.68: Botón Obtener Gráficas.

- Un botón con el nombre “Obtener Data” el cual está encargado de guardar la data directamente en el computador de cada una de las impedancias: Z_{e1} , Z_{e2} y Z_a , en la Figura 3.69 se muestra este elemento.

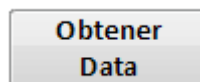


Figura 3.69: Botón Obtener Data.

3.5.1.7. Ventana Factor de Transformación de un Balun

Esta ventana fue realizada con la ayuda de la herramienta QtDesigner con la cual se diseñó la ventana, posteriormente se realizó el programa de funcionamiento de la ventana, es decir que cada elemento hiciera su función. Para esta ventana se utilizaron los siguientes elementos:

- Una etiqueta a la cual se le colocó el escudo de la Universidad de Carabobo la cual se ubicó del lado superior izquierdo de la ventana, una etiqueta que está ubicada del lado superior derecho de la ventana y a la cual se le colocó la imagen del logo de la Facultad de Ingeniería, una etiqueta que tiene el

texto “Factor de Transformación del Balun”, estos tres elementos conforman el encabezado de la ventana, en la Figura 3.70, se muestran los elementos descritos.

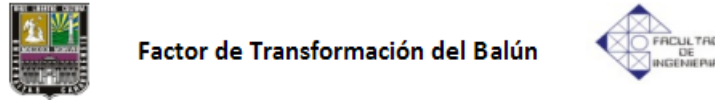


Figura 3.70: Etiquetas que conforman el encabezado de la ventana factor de transformación del balun.

- Una etiqueta a la que se le colocó una imagen en la cual se muestra la manera en la que el usuario debe conectar la resistencia al analizador de impedancia, además se le colocó a esta etiqueta un ToolTip que tiene el texto “Conecte la resistencia al analizador de impedancia y de click en calcular”, el cual aparece al pasar el mouse sobre la imagen, en la Figura 3.71, se muestra la imagen mencionada.

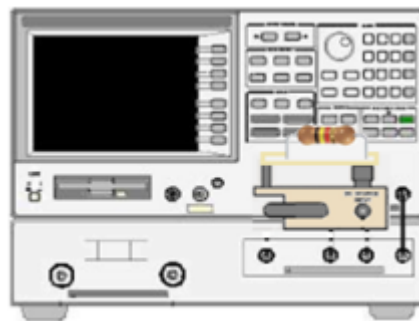


Figura 3.71: Etiqueta de la imagen del analizador con resistencia conectada.

- Una etiqueta a la cual se le colocó una imagen que muestra la manera de conectar el balun al analizador de impedancia, además se le añadió un ToolTip a esta etiqueta con la finalidad de que el usuario tenga noción de cuál es el paso que sigue para calcular el factor de transformación del balun, el texto de este ToolTip es el siguiente: “Conecte el Balun al analizador de impedancia y de click en calcular”. En la Figura 3.72, se muestra la imagen que fue añadida a la etiqueta.

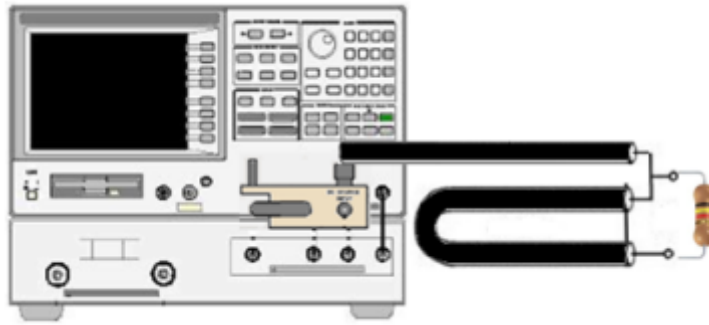


Figura 3.72: Etiqueta con imagen del analizador conectado a un balun.

- Dos botones cada uno de ellos ubicado del lado derecho de las dos etiquetas que se describieron anteriormente, cada uno de estos botones tiene el nombre “Calcular” el primero se encarga de obtener la magnitud y fase de la impedancia de carga del balun y el segundo se encarga de obtener la magnitud y fase de la impedancia de entrada del balun, como los botones son iguales solo que realizan diferentes funciones, en la Figura 3.73 se muestra uno de los botones.

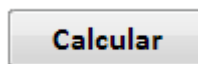


Figura 3.73: Botón Calcular.

- Un botón que tiene el nombre “Resultado”, el cual se encarga de guardar en un archivo de texto los resultados obtenidos de las mediciones realizadas, es decir el factor de transformación del balun. En la Figura 3.74, se muestra el botón.

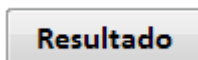


Figura 3.74: Botón Resultado.

3.5.1.8. Ventana Módulo Analizador de Redes

Esta ventana al igual que las ventanas pertenecientes a los otros dos tipos de analizadores cuenta con los mismos elementos descritos en la ventana analizador de espectros y analizador de impedancia a excepción la sección “Adquisition and Analisis” la cual posee elementos adicionales que se describirán más adelante, además de los Labels ubicados en la parte superior cambian su texto a “Módulo Analizador de Redes” y también cambia la etiqueta del rango como se muestra en la Figura 3.75.

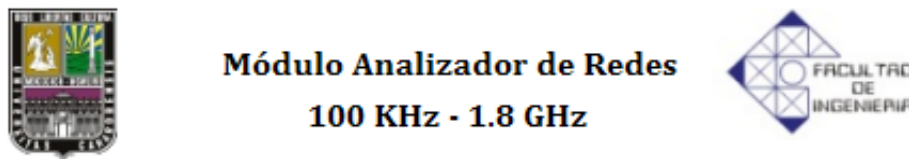


Figura 3.75: Etiquetas correspondientes al Analizador de Redes.

- Sección Adquisition and Analisis: Esta sección fue realizada haciendo uso de los siguientes elementos:
 - Un GroupBox que tiene por título “Adquisition and Analisis” dentro del cual se encuentran 3 botones los cuales se describen a continuación.
 - Un botón (Guardar data) que tiene por finalidad guardar la data directamente en el computador.
 - Un botón (Graficar) que muestra la gráfica que se está observando en la pantalla del analizador, lo que da la posibilidad de guardar dicha grafica en el computador.
 - Un botón (Calibración Guiada) el cual muestra una ventana donde se da el procedimiento para realizar la calibración paso a paso del analizador de Redes.



Figura 3.76: Sección Adquisition and Analisis del módulo Analizador de Redes.

3.5.1.9. Ventana calibración guiada del módulo Analizador de Redes:

Mediante esta ventana es posible realizar la calibración del analizador de redes de una manera rápida y sencilla, este analizador posee diversos métodos de calibración por lo que primero describiremos la ventana principal de este módulo y luego describiremos los elementos que van apareciendo al seleccionar las diferentes opciones de calibración.

Los principales elementos de la ventana de calibración guiada son:

- Una etiqueta que posee la imagen del logo de la Universidad de Carabobo ubicado del lado superior izquierdo de la ventana.
- Una etiqueta que posee la imagen del logo de la Facultad de Ingeniería ubicado del lado superior derecho de la ventana.
- Una etiqueta a la cual se le coloco el texto “Calibración del Analizador de Redes”, ubicado en medio de las etiquetas antes mencionadas, en la Figura 3.77, se muestran las etiquetas que se acaban de describir.

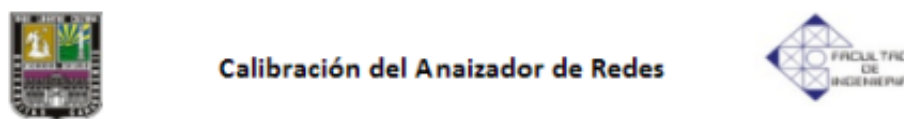


Figura 3.77: Etiquetas que representan el encabezado de la ventana calibración del analizador de redes.

- Una etiqueta a la que se le coloco una imagen donde se muestra la conexión del analizador y el equipo de medición de parámetros S, en la Figura 3.78 se muestra la etiqueta que se acaba de describir.

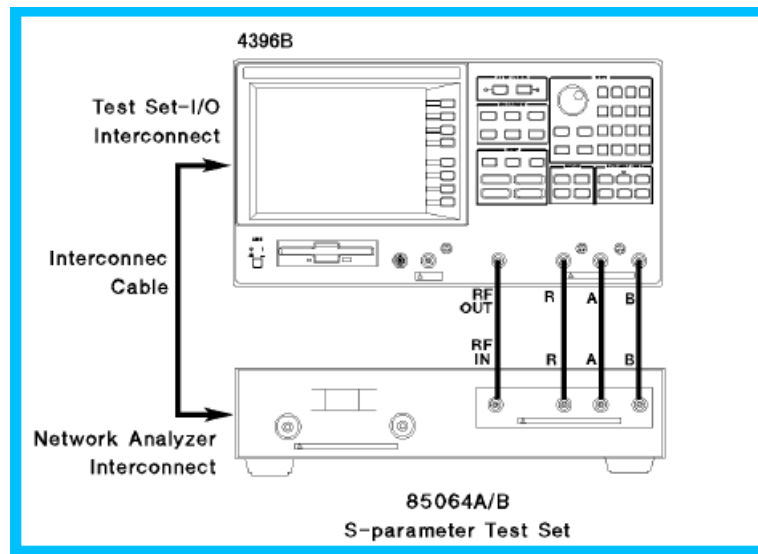


Figura 3.78: Etiqueta donde se muestra la conexión de los equipos.

- Un GroupBox en el cual están contenidas las opciones de cal kit, que están representados mediante RadioButtons, las posibles opciones a seleccionar son 7mm, 3.5mm y tipo N dentro de los que están tipo N 50 ohm y tipo N 75 ohm cabe destacar que solo se puede seleccionar una de las opciones, en la Figura 3.79 puede observarse la imagen de dichos elementos.

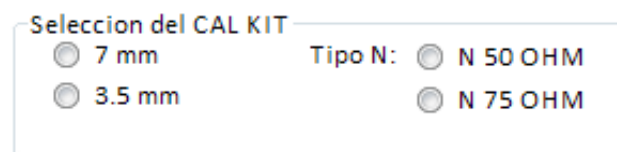


Figura 3.79: Selección del CAL KIT.

- Un botón que tiene por nombre "Listo", el cual guarda la selección, deshabilita el GroupBox y habilita los demás elementos, en la Figura 3.80 se puede observar dicho botón.

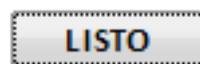


Figura 3.80: Botón Listo.

- Un GroupBox que posee las opciones de los diversos métodos de calibración que pueden ser seleccionados, cada una de estas opciones se representó mediante RadioButtons, dentro de los métodos de calibración se encuentran: Response, S11 1-Port, S22 1-Port, y Full 2-Port. En la Figura 3.81 se pueden apreciar los elementos descritos.

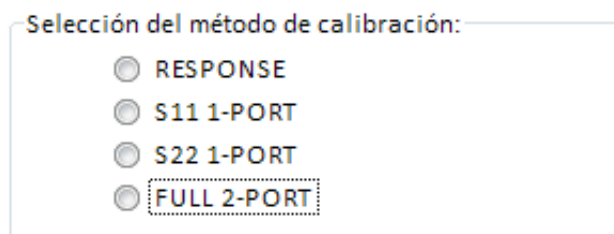


Figura 3.81: Selección del método de Calibración.

- Un botón con el nombre "Listo" que guarda la opción del método de calibración, que junto con el CAL KIT que el usuario ha seleccionado se compara y se muestran los nuevos elementos correspondientes a lo que el usuario selecciono, en la Figura 3.82 puede observarse dicho botón.

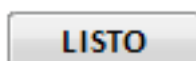


Figura 3.82: Botón Listo.

- Un botón con el nombre "Cancelar" el cual es el encargado de volver a deshabilitar el GroupBox para la selección del módulo de calibración y habilita de nuevo el GroupBox para seleccionar nuevamente el Cal Kit, el usuario debería dar click en el botón cancelar si desea cambiar el método de calibración que había seleccionado previamente. En la Figura 3.83, se puede apreciar dicho botón.

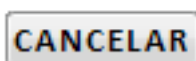


Figura 3.83: Botón CANCELAR.

A continuación se describen los elementos que aparecen al seleccionar los diversos métodos de calibración.

Si el usuario selecciono una opción de Cal Kit pero no selecciono alguna opción correspondiente al método de calibración o viceversa, o por algún motivo no se seleccionó alguna opción en ninguno de los ComboBox entonces se ocultan los elementos correspondientes a la ventana principal del módulo de calibración guiada a excepción del encabezado y aparecen los siguientes elementos:

- Una etiqueta que tiene el texto “Revise los manuales respectivos ya que la opción que seleccionó no es válida.”.
- Un botón que tiene por nombre “Regresar”, al dar click en este botón aparecen nuevamente los elementos que constituyen la ventana principal del módulo de calibración guiada del analizador de redes, en la Figura 3.84 se pueden apreciar los elementos que se acaban de describir.

Revise los manuales respectivos ya que la opción que seleccionó no es válida

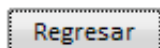


Figura 3.84: Elementos que aparecen al seleccionar alguna opción errónea.

Dentro de las opciones válidas que el usuario puede seleccionar al momento de realizar la calibración guiada están:

- Cal Kit = 7mm o 3.5 mm y Método= RESPONSE.
- Cal Kit= N 50 o N 75 OHM y Método= RESPONSE.
- Cal Kit= 7mm o 3.5mm y Método= S11 1-PORT.
- Cal Kit= N 50 o N 75 OHM y Método = S11 1-PORT.
- Cal Kit= 7mm o 3.5 mm y Método=S22 1-PORT.

- Cal Kit= N 50 o N 75 OHM y Método= S22 1-PORT.
- Cal Kit= 7mm o 3.5 mm y Método =FULL 2-PORT.
- Cal Kit= N 50 o N 75 OHM y Método =FULL 2-PORT.

1. Al seleccionar Cal Kit = 7 mm o 3.5 mm y Método= RESPONSE, desaparecen los elementos de la ventana principal y aparecen los elementos correspondientes con este método de calibración que son:

- Cuando se selecciona este método se ocultan todos los elementos a excepción del encabezado de la ventana y la imagen del analizador HP 4396B y aparece una etiqueta que tiene el texto “Usted seleccionó CAL KIT: 3.5 mm y METODO: RESPONSE.”, en caso de que el usuario seleccionara el Cal Kit = 3.5 mm pero si el usuario selecciona Cal Kit=7 mm el texto de la etiqueta cambia a: “Usted seleccionó CAL KIT: 7 mm y METODO: RESPONSE.”, en la Figura 3.85 y 3.86 se pueden apreciar estas dos etiquetas.

Usted seleccionó CAL KIT: 3.5mm y METODO:RESPONSE

Figura 3.85: Etiqueta que aparece al seleccionar cal kit: 3.5 mm.

Usted seleccionó CAL KIT:7mm y METODO:RESPONSE

Figura 3.86: Etiqueta que aparece al seleccionar cal kit: 7 mm.

- Un GroupBox que tiene dos opciones a seleccionar, las cuales son Medición de Transmisión y Medición de Reflexión, estas opciones están representadas mediante Radio Buttons. Con estas opciones el usuario decide cual es la medición que va a realizar. En la Figura 3.87 se muestran dichos elementos.
- Un botón que tiene por nombre “Aceptar” el cual se encarga de habilitar los elementos que conformaran la nueva ventana dependiendo de la opción que el usuario ha seleccionado, y un botón que tiene el nombre “Cancelar” que se encarga de volver a la ventana inicial del módulo

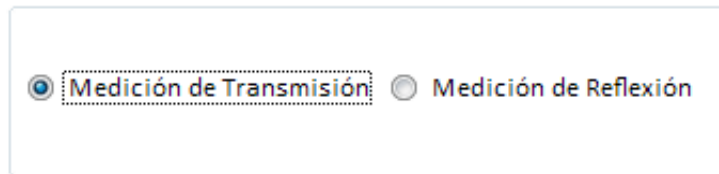


Figura 3.87: GroupBox con las opciones para la medición de transmisión o reflexión.

Calibración guiada del Analizador de Redes, en la Figura 3.88 pueden apreciarse los botones descritos.



Figura 3.88: Botón aceptar y botón cancelar.

Si el usuario selecciona “Medición de Transmisión.” Aparecerán los siguientes elementos:

- Debajo del encabezado de la ventana, aparece una etiqueta que tiene el texto “Medición de Transmisión”, en la Figura 3.89 puede apreciarse dicha etiqueta.

Medición de Transmisión

Figura 3.89: Etiqueta Medición de Transmisión.

- Una etiqueta con la imagen del analizador donde se muestra la manera de conectar el THRU para comenzar con la calibración. En la Figura 3.90 se puede apreciarse esta etiqueta.

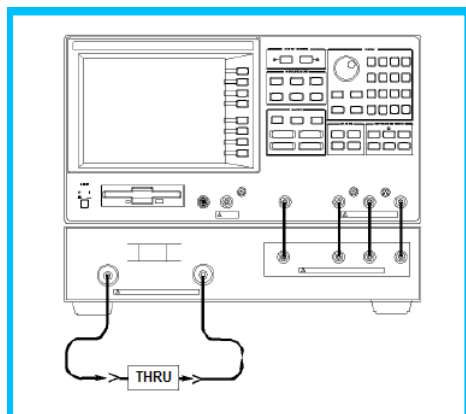


Figura 3.90: Etiqueta en la que se muestra la manera de conectar el THRU.

- Una etiqueta que tiene el texto “PROCEDIMIENTO:” la cual da inicio al procedimiento de calibración. En la Figura 3.91 se puede apreciarse dicha etiqueta.

PROCEDIMIENTO:

Figura 3.91: Etiqueta PROCEDIMIENTO.

- Una etiqueta que tiene el texto “A-) Conecte el estándar de calibración THRU tal como se muestra en la figura.”, este es el primer paso para completar con éxito la calibración, en la Figura 3.92 se muestra esta etiqueta.

A) Conecte el estándar de calibración THRU tal como se muestra en la figura.

Figura 3.92: Etiqueta Conexión del THRU.

- Una etiqueta que tiene el texto “B-) Presione el botón THRU.”, este es el segundo paso para completar la calibración, además de un botón que tiene el nombre THRU el cual manda el comando correspondiente a la conexión del estándar de calibración, en la Figura 3.93 se muestra la etiqueta y el botón.

B) Presione el botón THRU.

Figura 3.93: Etiqueta y botón. Segundo paso para completar la calibración.

- Una etiqueta que tiene el texto “C-) Presione el botón Done: Response.”, este es el último paso para terminar con la calibración. Un botón que tiene el nombre “Done:Response” que se encarga de mandar el comando correspondiente para culminar la calibración. En la Figura 3.94 se muestra la etiqueta y el botón antes mencionado.

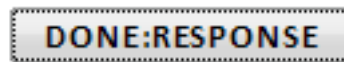
C) Presione el botón Done: Response.

Figura 3.94: Etiqueta y botón. Último paso de la calibración.

- Un botón que tiene el nombre “Finalizar” el cual da por terminado el proceso de calibración y cierra la ventana. En la Figura 3.95 se puede apreciar dicho botón.

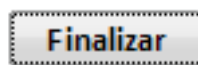


Figura 3.95: Botón Finalizar.

Si el usuario selecciona “Medición de Reflexión.” Aparecerán los siguientes elementos:

- Debajo del encabezado de la ventana, aparece una etiqueta que tiene el texto “Medición de Reflexión”, en la Figura 3.96 puede apreciarse dicha etiqueta.
- Una etiqueta que tiene el texto “PROCEDIMIENTO:” el cual da inicio al proceso de calibración. Ver Figura 3.97.

Medición de Reflexión

Figura 3.96: Etiqueta Medición de Reflexión.

PROCEDIMIENTO:

Figura 3.97: Etiqueta PROCEDIMIENTO.

- Una etiqueta que tiene el texto “A-) Conecte el estándar OPEN y presione el botón OPEN” y un botón que tiene el nombre “OPEN” estos dos elementos conforman el primer paso para realizar la calibración. En la Figura 3.98 se muestran dichos elementos.

A)Conecte el estándar OPEN y presione el botón OPEN.

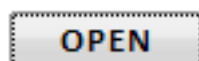


Figura 3.98: Primer paso para la calibración.

- Una etiqueta que tiene el texto “B-) Conecte el estándar SHORT y presione el botón SHORT” y un botón que tiene el nombre “SHORT” estos elementos conforman el segundo paso para culminar la calibración. En la Figura 3.99 se muestran los elementos descritos anteriormente.

B)Conecte el estándar SHORT y presione el botón SHORT.

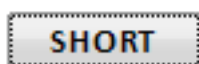


Figura 3.99: Segundo paso para la calibración.

- Una etiqueta que posee el texto “C-) Presione el botón Done:Response.” Y un botón que tiene el nombre “Done: Response”, este es el último paso para culminar la calibración del analizador. Ver en Figura 3.100.

C) Presione el botón Done: Response.

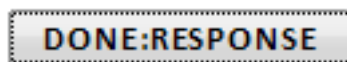


Figura 3.100: Ultimo paso para culminar la calibración.

- Un botón que tiene el nombre “Finalizar” el cual da por terminado el proceso de calibración y cierra la ventana.

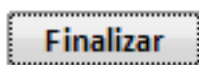


Figura 3.101: Botón Finalizar.

2. Al seleccionar Cal Kit= N 50 o N 75 OHM y Método= RESPONSE desaparecen los elementos de la ventana principal y aparecen los elementos correspondientes con este método de calibración los cuales son descritos a continuación:
 - Al seleccionar esta opción y dar click en el botón aceptar desaparecen la mayoría de los elementos que conforman la ventana principal, a excepción del encabezado y la etiqueta que tiene la imagen del analizador, por lo que aparece una etiqueta debajo de la imagen la cual posee el texto “Usted seleccionó CAL KIT: N 50 OHM y METODO: Response” si el usuario seleccionó cal kit: N 50 ohm, pero si el usuario selecciona un cal kit: N 75 ohm el texto de la etiqueta cambia a “Usted seleccionó CAL KIT: N 75 OHM y METODO: Response.”, en la Figura 3.102 y 3.103 se muestran dichas etiquetas.

Usted seleccionó CAL KIT:N 50 OHM y METODO:RESPONSE

Figura 3.102: Etiqueta que identifica el método seleccionado.

Usted seleccionó CAL KIT:N 75 OHM y METODO:RESPONSE

Figura 3.103: Etiqueta que identifica el método seleccionado.

- Un GroupBox que contiene dos opciones las cuales son: Medición de transmisión y Medición de reflexión, estas opciones están representadas mediante RadioButtons, además también aparecen dos botones uno con el nombre “Aceptar” y otro con el nombre “Cancelar” el primero se encarga de ocultar los elementos de la ventana a excepción del encabezado y aparecer nuevos elementos correspondientes con la calibración seleccionada y el otro se encarga de volver a la ventana principal. En la Figura 3.104 pueden apreciarse los elementos descritos.

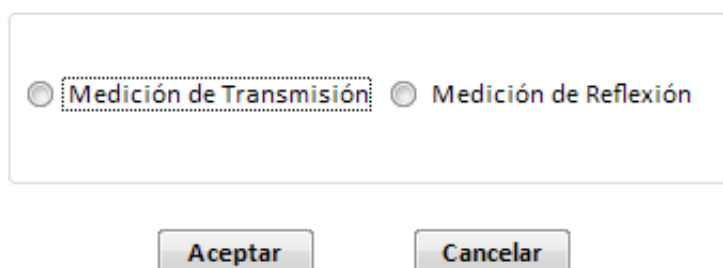


Figura 3.104: Elementos utilizados para seleccionar el tipo de calibración.

Al seleccionar “Medición de Transmisión” aparecen los mismos elementos que al seleccionar un Cal Kit de 7 mm o 3.5 mm los cuales ya fueron descritos anteriormente, por esta razón no se repetirá su explicación. Por otra parte al seleccionar “Medición de Reflexión” desaparecen los elementos de la ventana actual y aparecen nuevos elementos como lo son:

- Una etiqueta que tiene el texto “Medición de Reflexión”, en la Figura 3.105 puede apreciarse dicha etiqueta.

Medición de Reflexión

Figura 3.105: Etiqueta que identifica el tipo de calibración.

- Un GroupBox que tiene el título “Seleccione el tipo de conector” este elemento contiene los dos tipos de conectores que pueden ser seleccionadas, como lo son: Conector Hembra o Conector Macho, estas opciones están representadas mediante RadioButtons, en la Figura 3.106 se muestran los elementos mencionados.

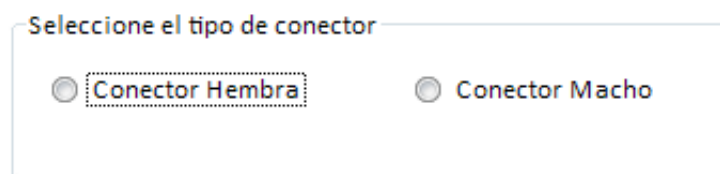


Figura 3.106: Elementos utilizados para seleccionar el tipo de conector utilizado por el usuario.

- Un botón que tiene el nombre Aceptar, el cual se encarga de ocultar los elementos de la ventana actual y aparecer nuevos elementos correspondientes a la opción seleccionada por el usuario y un botón que tiene el nombre “Cancelar” el cual se encarga de volver hacia atrás. En la Figura 3.107 se muestran dichos elementos.



Figura 3.107: Botones aceptar y cancelar.

Al seleccionar “Conector Hembra.”, aparecen los elementos correspondientes con la opción que el usuario seleccionó:

- Una etiqueta que tiene el texto “A-) Conecte el estándar OPEN y presione el botón OPEN[F]”, y un botón que tiene el nombre “OPEN[F]”, estos elementos conforman el primer paso para realizar la calibración, en la Figura 3.108 se muestran los elementos descritos.

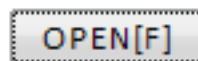
A) Conecte el estándar OPEN y presione el botón OPEN [F]

Figura 3.108: Elementos que conforman el primer paso para la calibración.

- Una etiqueta que tiene el texto “B-) Conecte el estándar SHORT y presione el botón SHORT[F]” y un botón que tiene el nombre “SHORT[F]” estos elementos conforman el segundo paso para completar la calibración. En la Figura 3.109 se muestran los elementos antes mencionados.

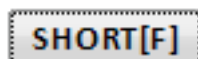
B) Conecte el estándar SHORT y presione el botón SHORT [F]

Figura 3.109: Segundo paso para completar la calibración.

- Una etiqueta que tiene el texto “C-) Presione el botón Done: Response” y un botón que tiene por nombre “Done: Response”, este es el último paso para completar la calibración. En la Figura 3.110 pueden apreciarse dichos elementos.

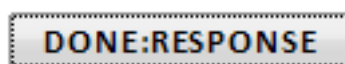
C) Presione el botón Done: Response.

Figura 3.110: Último paso para completar la calibración.

- Un botón que tiene el nombre “Finalizar”, este se encarga de cerrar la ventana de calibración guiada. En la Figura 3.111 puede apreciarse dicho botón.

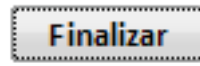


Figura 3.111: Botón Finalizar.

Si el usuario selecciona “Conector macho” aparecen los mismos elementos que los descritos anteriormente a excepción de los botones OPEN[F] y SHORT[F] que ahora serán OPEN[M] y SHORT[M] además el texto de las etiquetas cambia pero solo donde menciona el nombre del botón Open o Short, esto quiere decir que la calibración es similar a la anterior solo que los botones cambian debido a que el comando utilizado es diferente para los conectores de tipo hembra y tipo macho. En la Figura 3.112 y 3.113 se muestran las nuevas etiquetas y botones.

A) Conecte el estándar OPEN y presione el botón OPEN [M]

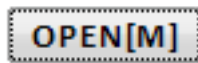


Figura 3.112: Primer paso para la calibración.

B) Conecte el estándar SHORT y presione el botón SHORT [M]

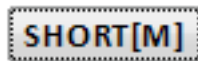


Figura 3.113: Segundo paso para completar la calibración.

3. Al seleccionar “Cal Kit= 7 mm o 3.5 mm y Método=S11 1-PORT” o “Cal Kit= 7 mm o 3.5 mm y Método=S22 1-PORT”, desaparecen los elementos de la ventana principal y aparecen los elementos correspondientes con el método de calibración seleccionado, para este caso se combinó la explicación de los elementos que conforman las ventanas al seleccionar método: S11 1-Port y S22 1-Port debido a que la estructura de las ventanas es idéntica, solo cambia el texto de algunas etiquetas. Los elementos que conforman la ventana son:

- Una etiqueta que identifica el tipo de Cal Kit y el método que el usuario ha seleccionado, esta etiqueta en el caso de seleccionar el método S11 1-PORT puede tener el texto “Usted selecciono Cal Kit:7 mm y METODO: S11 1-PORT” o “Usted selecciono Cal Kit: 3.5mm y METODO: S11 1-PORT”, en caso de seleccionar el método S22 1-Port el texto de las etiquetas cambia a “Usted selecciono Cal Kit:7 mm y METODO: S22 1-PORT” o “Usted selecciono Cal Kit: 3.5 mm y METODO: S22 1-PORT” , en la Figura 3.114, 3.115, 3.116 y 3.117 se muestran las etiquetas descritas.

Usted seleccionó CAL KIT:7mm y METODO:S11 1-PORT

Figura 3.114: Etiqueta que representa la opción que el usuario selecciono. Cal kit: 7mm y método: S11 1-Port.

Usted seleccionó CAL KIT:3.5mm y METODO:S11 1-PORT

Figura 3.115: Etiqueta que la opción el usuario selecciono. Cal kit: 3.5mm y método: S11 1-Port.

Usted seleccionó CAL KIT:7mm y METODO:S22 1-PORT

Figura 3.116: Etiqueta que representa la opción que el usuario selecciono. Cal kit: 7mm y método: S22 1-Port.

Usted seleccionó CAL KIT:3.5mm y METODO:S22 1-PORT

Figura 3.117: Etiqueta que representa la opción que el usuario selecciono. Cal kit: 3.5mm y método: S22 1-Port.

- Una etiqueta que tiene el texto “PROCEDIMIENTO:”, en la Figura 3.118 se puede apreciar dicha etiqueta.

PROCEDIMIENTO:

Figura 3.118: Etiqueta Procedimiento.

- Una etiqueta que tiene el texto “A-) Conecte el estándar OPEN al puerto 1 y presione el botón OPEN” en caso de haber seleccionado el método S11 1-Port, pero el texto de la etiqueta cambia a “A-) Conecte el estándar OPEN al puerto 2 y presione el botón OPEN” en caso de seleccionar el método S22 1- Port. Un botón que tiene el nombre “OPEN” estos elementos conforman el primer paso para completar la calibración. En la Figura 3.119 y 3.120 se pueden apreciarse dichos elementos dependiendo del método seleccionado.

A) Conecte el estándar OPEN al puerto 1 y presione el botón OPEN.

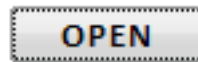


Figura 3.119: Primer paso para completar la calibración. Método S11 1-Port.

A) Conecte el estándar OPEN al puerto 2 y presione el botón OPEN.

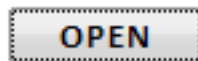


Figura 3.120: Primer paso para completar la calibración. Método: S22 1-Port.

- Una etiqueta que tiene el texto “B-) Conecte el estándar SHORT al puerto 1 y presione el botón SHORT” en caso de seleccionar el método S11 1-Port o “B-) Conecte el estándar SHORT al puerto 2 y presione el botón SHORT” en caso de seleccionar el método S22 1-Port, y un botón que tiene el nombre SHORT, en la Figura 3.121 y 3.122 se muestran dichos elementos.

B) Conecte el estándar SHORT al puerto 1 y presione el botón SHORT.

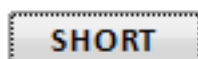


Figura 3.121: Segundo paso para completar la calibración. Método: S11 1-Port.

B) Conecte el estándar SHORT al puerto 2 y presione el botón SHORT.

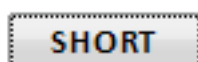


Figura 3.122: Segundo paso para completar la calibración. Método: S22 1-Port.

- Una etiqueta que tiene el texto “C-) Conecte el estándar LOAD al puerto 1 y presione el botón LOAD” en caso de que el usuario haya seleccionado el método S11 1-Port o “C-) Conecte el estándar LOAD al puerto 2 y presione el botón LOAD” en caso de seleccionar S22 1-Port y un botón que tiene el nombre “LOAD” estos elementos conforman el tercer paso para completar la calibración. En la Figura 3.123 y 3.124 pueden apreciarse dichos elementos.

C) Conecte el estándar LOAD al puerto 1 y presione el botón LOAD.

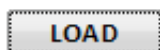


Figura 3.123: Elementos que corresponden al tercer paso de la calibración. Método: S11 1-Port.

C) Conecte el estándar LOAD al puerto 2 y presione el botón LOAD.

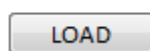


Figura 3.124: Elementos que corresponden al tercer paso de la calibración. Método: S22 1-Port.

- Una etiqueta que tiene el texto “D-) Presione el botón DONE: 1-PORT CAL” y un botón que tiene el nombre “DONE: 1-PORT CAL”, este es el último paso para culminar con éxito la calibración, en la Figura 3.125 pueden apreciarse estos elementos.

D) Presione el botón DONE: 1-PORT CAL.

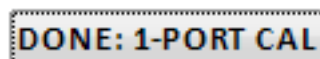


Figura 3.125: Ultimo paso para terminar la calibración.

- Un botón que tiene el nombre “Finalizar” que está encargado de dar por terminada la calibración es decir, cierra la ventana del módulo de calibración guiada, este botón se habilita al dar click en el DONE: 1-PORT CAL. En la Figura 3.126 puede apreciarse dicho botón.

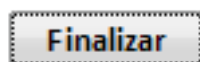


Figura 3.126: Botón Finalizar.

4. Al seleccionar Cal Kit: N 50 o 75 ohm y Método: S11 1-PORT o Cal Kit= N 50 o 75 ohm y Método=S22 1-PORT, los elementos que estaban en la ventana principal desaparecen y aparecen nuevos elementos como lo son:

- Una etiqueta que indica la selección del usuario, dependiendo del cal kit y método seleccionado el texto de la etiqueta será “Usted selecciono Cal Kit: N 50 OHM y METODO: S11 1-PORT” si se ha seleccionado el Cal Kit: N 50 Ohm o “Usted selecciono Cal Kit: N 75 OHM y METODO: S11 1-PORT” si el usuario selecciono Cal kit: N 75 Ohm y método S11 1-Port pero en caso de que el usuario seleccione método S22 1-Port el texto de las etiquetas cambiara a “Usted selecciono Cal Kit: N 50 OHM y METODO: S22 1-PORT” o “Usted selecciono Cal Kit: N 75 OHM y METODO: S22 1-PORT”. En las Figuras 3.127, 3.128, 3.129 y 3.130 se muestran dichas etiquetas dependiendo del método y cal kit seleccionado.

Usted seleccionó CAL KIT:N 50 OHM y METODO:S11 1-PORT

Figura 3.127: Etiqueta 50 Ω y S11 1-Port.

Usted seleccionó CAL KIT:N 75 OHM y METODO:S11 1-PORT

Figura 3.128: Etiqueta 75 Ω y S11 1-Port.

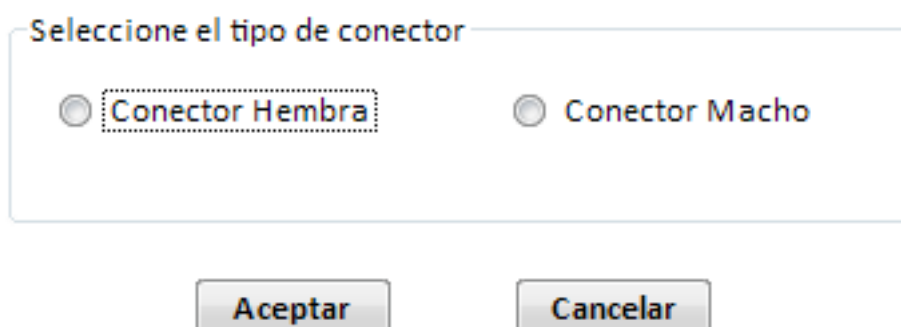
Usted seleccionó CAL KIT:N 50 OHM y METODO:S22 1-PORT

Figura 3.129: Etiqueta 50 Ω y S22 1-Port.

Usted seleccionó CAL KIT:N 75 OHM y METODO:S22 1-PORT

Figura 3.130: Etiqueta 75 Ω y S22 1-Port.

- Un ComboBox que tiene el título “Seleccione el tipo de conector:” el cual contiene las dos opciones que pueden ser seleccionadas como son “Conector Hembra” o “Conector Macho”, además también aparecen dos botones uno con el nombre “Aceptar” el cual guarda la selección, oculta los elementos de la ventana actual y muestra los nuevos elementos correspondientes a la calibración y un botón con el nombre “Cancelar” el cual regresa a la ventana principal. En la Figura 3.131 se muestran dichos elementos.



Seleccione el tipo de conector

☒ Conector Hembra ☐ Conector Macho

Aceptar Cancelar

Figura 3.131: Elementos correspondientes a la Selección del tipo de conector.

- Al seleccionar alguno de los dos tipos de conectores aparece el procedimiento que el usuario debe cumplir para completar la calibración, dentro de los elementos que aparecen en la ventana tenemos los elementos que conforman el primer paso para comenzar la calibración, estos elementos son: una etiqueta que tiene el texto: “A-) Conecte el estándar OPEN al puerto 1 y presione el botón OPEN[M] ” en caso de seleccionar el método S11 1-Port o “A-) Conecte el estándar OPEN al puerto 1 y presione el botón OPEN[M] ” en caso de seleccionar el método S22 1-Port y Conector Macho, por el contrario si el usuario selecciona conector hembra lo único que cambia es el nombre del botón y la etiqueta a OPEN[F] en la Figura 3.132, 3.133, 3.134 y 3.135 pueden apreciarse los elementos y las diferentes opciones dependiendo del método y tipo de conector seleccionado.

A)Conecte el estándar OPEN al puerto 1 y presione el botón OPEN[M].

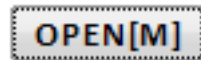


Figura 3.132: Primer paso para la calibración, Conector macho. Método: S11 1-Port.

A)Conecte el estándar OPEN al puerto 1 y presione el botón OPEN[F].

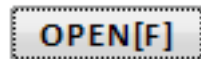


Figura 3.133: Primer paso para la calibración, Conector hembra. Método: S11 1-Port.

A) Conecte el estándar OPEN al puerto 2 y presione el botón OPEN[M].

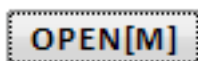


Figura 3.134: Primer paso para la calibración, Conector Macho. Método: S22 1-Port.

A) Conecte el estándar OPEN al puerto 2 y presione el botón OPEN[F].

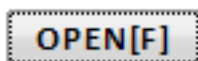


Figura 3.135: Primer paso para la calibración, Conector Hembra. Método: S22 1-Port.

- Para el segundo paso de la calibración tenemos una etiqueta que tiene el texto: "B-) Conecte el estándar SHORT al puerto 1 y presione el botón SHORT[M]" en caso de seleccionar método S11 1-Port y conector macho, pero el texto de la etiqueta cambia si el usuario selecciona conector hembra, debido a que al elegir esta opción el nombre del botón cambia a SHORT[F], mientras que si el usuario escoge el método: S22 1-Port y conector macho el texto de la etiqueta cambiara a "B-) Conecte el estándar SHORT al puerto 2 y presione el botón SHORT[M]", si el conector cambia a hembra el nombre del botón cambia a SHORT[F]. En la Figura 3.136, 3.137, 3.138 y 3.139 pueden apreciarse los elementos dependiendo de la opción que puede ser seleccionada.

B) Conecte el estándar SHORT al puerto 1 y presione el botón SHORT[M]

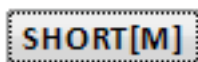


Figura 3.136: Segundo paso para la calibración, Conector Macho. Método: S11 1-Port.

B) Conecte el estándar SHORT al puerto 1 y presione el botón SHORT[F].

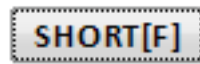


Figura 3.137: Segundo paso para la calibración, Conector Hembra. Método: S11 1-Port.

B) Conecte el estándar SHORT al puerto 2 y presione el botón SHORT[F].

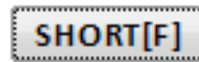


Figura 3.138: Segundo paso para la calibración, Conector Macho. Método: S22 1-Port.

B) Conecte el estándar SHORT al puerto 2 y presione el botón SHORT[M].

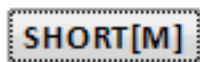


Figura 3.139: Segundo paso para la calibración, Conector Hembra. Método: S22 1-Port.

- El tercer paso de la calibración está conformado por una etiqueta que tiene el texto: "C-) Conecte el estándar LOAD al puerto 1 y presione el botón LOAD." En caso de que se haya seleccionado el método S11 1-Port, por otra parte si se selecciona el método S22 1-Port el texto de la etiqueta será: "C-) Conecte el estándar LOAD al puerto 2 y presione el botón LOAD.", otro elemento que forma parte de este paso es un botón que tiene el nombre LOAD el cual se encarga de mandar el comando necesario para completar este paso. En la Figura 3.140 y 3.141 pueden apreciarse dichos elementos según las posibles opciones de selección.

C) Conecte el estándar LOAD al puerto 1 y presione el botón LOAD.

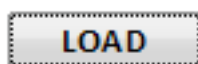


Figura 3.140: Tercer paso para la calibración. Método: S11 1- Port.

C) Conecte el estándar LOAD al puerto 2 y presione el botón LOAD.

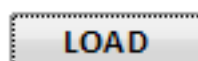


Figura 3.141: Tercer paso para la calibración. Método: S22 1- Port.

- Para el último paso se tiene una etiqueta que tiene el texto “D-) Presione el botón DONE: 1-Port Cal” y un botón que tiene el nombre “DONE: 1-PORT CAL”, estos elementos son iguales tanto para el método S11 1-Port como para el método S22 1-Port. En la Figura 3.142 pueden apreciarse dichos elementos.

D) Presione el botón DONE: 1-PORT CAL.

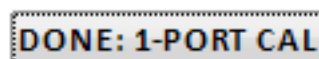


Figura 3.142: Ultimo paso para completar la calibración.

- Para terminar el proceso de calibración tenemos un botón con el nombre “Finalizar” el cual se encarga de cerrar la ventana de calibración. En la Figura 3.143 puede apreciarse el botón.

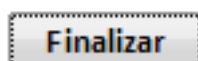


Figura 3.143: Botón Finalizar.

5. Si el usuario selecciona “Cal Kit: 7mm o 3.5 mm y Método: FULL 2-PORT.”, aparecen los elementos correspondientes para dar comienzo con la calibración, a continuación se describen los elementos que conforman la ventana:

- Una etiqueta que tiene el texto “Usted selecciono CAL KIT: 7mm y METODO: Full 2-Port”, si el usuario selecciono Cal Kit: 7mm pero si se ha seleccionado un Cal Kit de 3.5 mm el texto de la etiqueta es: “Usted selecciono CAL KIT: 3.5mm y METODO: Full 2-Port”. En la Figura 3.144 y 3.145, puede apreciarse dicha etiqueta.

Usted seleccionó CAL KIT:7mm y METODO:FULL 2-PORT

Figura 3.144: Etiqueta que identifica el tipo de calibración seleccionada. Cal Kit: 7mm.

Usted seleccionó CAL KIT:3.5mm y METODO:FULL 2-PORT

Figura 3.145: Etiqueta que identifica el tipo de calibración seleccionada. Cal Kit: 3.5 mm.

- Una etiqueta que tiene el texto “REFLEXIÓN”, lo que indica que primero se realiza la calibración para los parámetros de reflexión, en la Figura 3.146 se muestra el elemento descrito.

REFLEXIÓN:

Figura 3.146: Etiqueta Reflexión.

- Una etiqueta que tiene la imagen del analizador donde están identificados el puerto 1 y 2 del instrumento en la Figura 3.147, puede apreciarse dicha etiqueta.

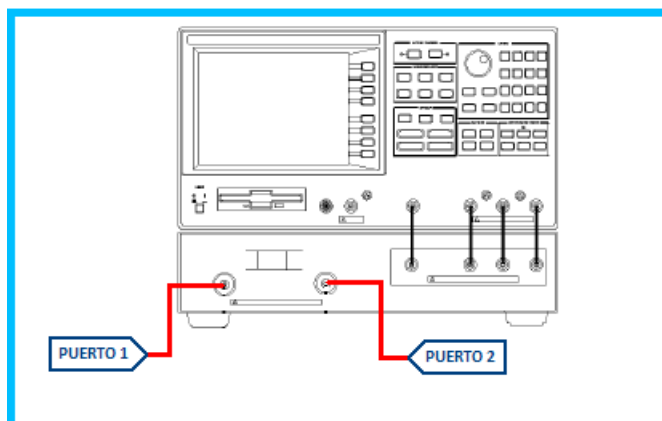


Figura 3.147: Imagen donde se identifican los puertos 1 y 2 del analizador.

- Una etiqueta que tiene el texto “PROCEDIMIENTO:” que indica el comienzo del proceso de calibración, en la Figura 3.148 se muestra dicha etiqueta.

PROCEDIMIENTO:

Figura 3.148: Etiqueta Procedimiento.

- Una etiqueta que tiene el texto “Puerto 1” la cual indica el puerto donde se trabajara para realizar la primera parte de la calibración. En la Figura 3.149 se muestra la etiqueta.

PUERTO 1

Figura 3.149: Etiqueta Puerto 1.

- Una etiqueta que tiene el texto “A-) Conecte el estándar OPEN y presione el botón OPEN.”, y un botón que tiene el nombre “OPEN”, este es el primer paso de la calibración. En la Figura 3.150 pueden apreciarse los elementos descritos.

A) Conecte el estándar OPEN y presione el botón OPEN.

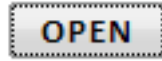


Figura 3.150: Primer paso de la calibración.

- Una etiqueta que tiene el texto "B-) Conecte el estándar SHORT y presione el botón SHORT", y un botón que tiene el nombre "SHORT", estos elementos conforman el segundo paso de la calibración del puerto 1. En la Figura 3.151 se muestran dichos elementos.

B) Conecte el estándar SHORT y presione el botón SHORT.



Figura 3.151: Segundo paso de la calibración del puerto 1.

- Una etiqueta que tiene el texto "C-) Conecte el estándar LOAD y presione el botón LOAD", y un botón que tiene el nombre "LOAD" el cual se encarga de ocultar algunos elementos de la ventana actual y aparecer nuevos elementos que conforman la calibración del puerto 2.

C) Conecte el estándar LOAD y presione el botón LOAD.

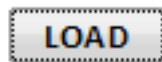


Figura 3.152: Tercer paso para la calibración del puerto 1.

- Al dar click en el botón LOAD del paso 3, aparecen los pasos para realizar la calibración en el puerto 2, por lo que aparece una etiqueta que tiene el texto "PUERTO 2", en la Figura 3.153 puede apreciarse dicha etiqueta.

PUERTO2

Figura 3.153: Etiqueta Puerto 2.

- Una etiqueta que tiene el texto “D-) Conecte el estándar OPEN y presione el botón OPEN.”, y un botón que tiene el nombre “OPEN”, este es el primer paso de la calibración del puerto 2. En la Figura 3.154 pueden apreciarse los elementos descritos.

D) Conecte el estándar OPEN y presione el botón OPEN.

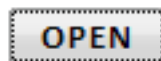


Figura 3.154: Primer paso de la calibración.

- Una etiqueta que tiene el texto “E-) Conecte el estándar SHORT y presione el botón SHORT”, y un botón que tiene el nombre “SHORT”, estos elementos conforman el segundo paso de la calibración del puerto 2. En la Figura 3.155 se muestran dichos elementos.

E) Conecte el estándar SHORT y presione el botón SHORT.

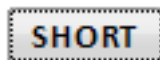


Figura 3.155: Segundo paso de la calibración del puerto 2.

- Una etiqueta que tiene el texto “F-) Conecte el estándar LOAD y presione el botón LOAD”, y un botón que tiene el nombre “LOAD”. Los elementos descritos son el tercer paso de la calibración del puerto 2. En la Figura 3.156 puede apreciarse los elementos descritos.

F) Conecte el estándar LOAD y presione el botón LOAD.

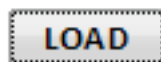


Figura 3.156: Tercer paso para la calibración del puerto 2.

- Una etiqueta que tiene el texto “G-) Presione REFLECT’N: DONE” y un botón que tiene el nombre “REFLECT’N: DONE”, estos elementos conforman el último paso para la calibración de reflexión, al dar click en el botón además de mandar el comando necesario para finalizar la calibración de reflexión, oculta los elementos de la ventana actual y aparecen

nuevos elementos correspondiente a la calibración de Transmisión. En la Figura 3.157 puede apreciarse los elementos descritos.

G) Pesione REFLECT'N DONE

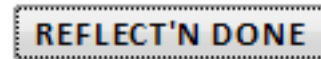


Figura 3.157: Ultimo paso para terminar la calibración del puerto 2.

- La ventana de calibración de transmisión tiene los siguientes elementos: una etiqueta que tiene el texto “TRANSMISION” y una etiqueta que tiene una imagen donde se muestra la manera de conectar el estándar THRU para dar comienzo con la calibración. En la Figura 3.158 pueden apreciarse dichas etiquetas.

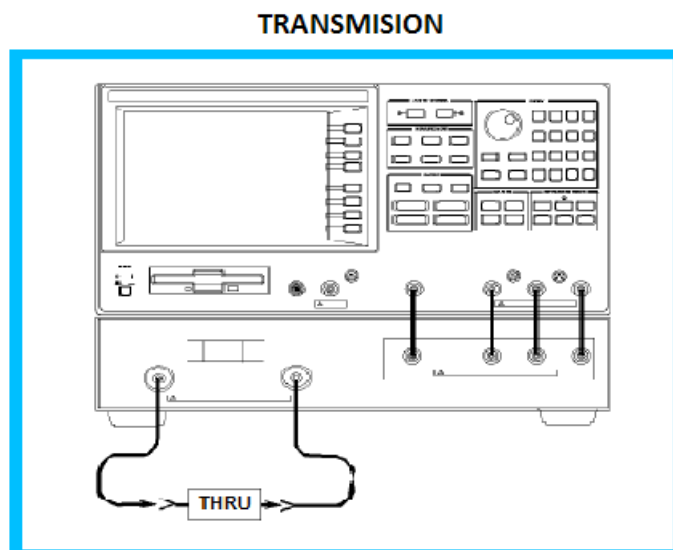


Figura 3.158: Etiqueta conexión del THRU.

- Una etiqueta que tiene el texto “PROCEDIMIENTO”, esta etiqueta indica el comienzo del proceso de calibración y una etiqueta que tiene el texto “A-) Conecte el THRU entre el puerto 1 y 2.”, este es el primer paso para completar la calibración, en la Figura 3.159 pueden apreciarse las etiquetas descritas.

PROCEDIMIENTO:
A) Conecte el THRU entre el puerto 1 y 2.

Figura 3.159: Etiquetas primer paso de la calibración.

- Una etiqueta que tiene el texto “B) Presione la tecla FWD. TRANS THRU.”, y un botón que tiene el nombre “FWD. TRANS THRU”, este es el segundo paso de la calibración de transmisión. En la Figura 3.160 se muestran los elementos descritos.

B) Presione la tecla FWD. TRANS THRU.

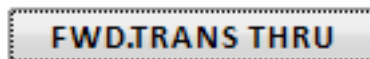


Figura 3.160: Segundo paso de la calibración.

- Una etiqueta que tiene el texto “C) Presione FWD. MATCH. THRU.”, y un botón que tiene el nombre “FWD. MATCH. THRU”, estos elementos conforman el tercer paso para culminar la calibración, en la Figura 3.161 se muestran los elementos descritos.

C) Presione FWD. MATCH. THRU.

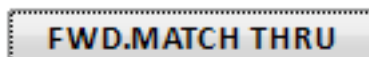


Figura 3.161: Tercer paso para completar la calibración.

- Una etiqueta que tiene el texto “D) Presione REV. TRANS THRU.”, y un botón que tiene el nombre “REV. TRANS THRU”, estos elementos conforman el cuarto paso para culminar la calibración de transmisión con el método Full 2-Port, en la Figura 3.162 se muestran los elementos descritos.

D) Presione REV. TRANS THRU.

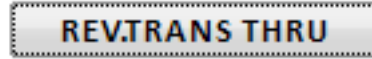


Figura 3.162: Cuarto paso para completar la calibración.

- Una etiqueta que tiene el texto “E) Presione REV. MATCH.THRU. y luego presione TRANS DONE”, un boton que tiene el nombre REV. MATCH.THRU y un botón que tiene el nombre “TRANS: DONE” , estos elementos conforman lo que sería el último paso para terminar el proceso de calibración, en la Figura 3.163 pueden observarse dichos elementos.

E) Presione REV: MATCH THRU y luego presione TRANS DONE.

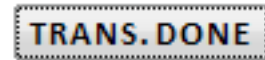
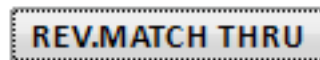


Figura 3.163: Ultimo paso de la calibración.

Al presionar el botón TRANS. DONE aparecen nuevos elementos donde se pregunta al usuario si desea realizar el proceso de Isolation para culminar del todo la calibración mediante este método, los elementos que aparecen en esta ventana son:

- Una etiqueta que tiene el texto “ISOLATION”.
- Una etiqueta que tiene el texto “Realizar proceso de Isolation:”.
- Un botón que tiene el nombre “Si” el cual da inicio al proceso de Isolation.
- Un botón que tiene el nombre “No” que muestra el paso final para dar por terminada la calibración. En la Figura 3.164 pueden apreciarse dichos elementos.

ISOLATION

Realizar proceso de ISOLATION:



Figura 3.164: Isolation.

En caso de que el usuario decida realizar el proceso de Isolation aparecen los siguientes elementos:

- Una etiqueta que tiene el texto “Procedimiento”.
- Una etiqueta que tiene el texto “A-) Conecte las impedancias de carga de adaptación en el puerto 1 y 2.” Este es el primer paso para dar comienzo al proceso de Isolation, en la Figura 3.165 pueden apreciarse las etiquetas descritas.

PROCEDIMIENTO:**A) Conecte las impedancias de carga de adaptación en el puerto 1 y 2**

Figura 3.165: Etiqueta del primer paso del proceso de Isolation.

- Una etiqueta que tiene el texto “B) Presione FWD. ISOL’N-ISOL’N STD.” Y un botón que tiene el nombre “FWD. ISOL’N-ISOL’N STD”, estos elementos conforman el segundo paso para realizar el proceso de Isolation. En la Figura 3.166 se muestran estos elementos.

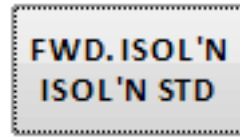
B) Presione FWD. ISOL'N-ISOL'N STD.

Figura 3.166: Etiqueta y botón del segundo paso del proceso de Isolation.

- Una etiqueta que tiene el texto “C) Presione REV. ISOL'N-ISOL'N STD.”, y un botón que tiene el nombre: “REV. ISOL'N-ISOL'N STD” estos elementos pertenecen al tercer paso para terminar con el proceso de Isolation. En la Figura 3.167 se muestran los elementos descritos.

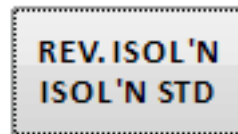
C) Presione REV. ISOL'N-ISOL'N STD

Figura 3.167: Etiqueta y botón del tercer paso del proceso de Isolation.

Para finalizar el proceso, aparecen los elementos utilizados para completar tanto el proceso de isolation como la calibración del analizador de redes, utilizando el método Full 2-Port, estos elementos también aparecen si el usuario decide no realizar el proceso de Isolation, es decir pasa directamente a culminar la calibración. Los elementos que conforman esta ventana son los siguientes:

- Una etiqueta que tiene el texto “Completación de la Calibración”.
- Una etiqueta que tiene el texto “A-)Presione el botón ISOLATION:DONE.”.
- Un botón que tiene el nombre “ISOLATION: DONE”.
- Una etiqueta que tiene el texto “B-)Presione el botón DONE:2-PORT CAL para finalizar el proceso de calibracion.”, este es el último paso para completar la calibración.

- Un botón que tiene el nombre "DONE:2-PORT CAL". en la Figura 3.168 se muestran dichos elementos.

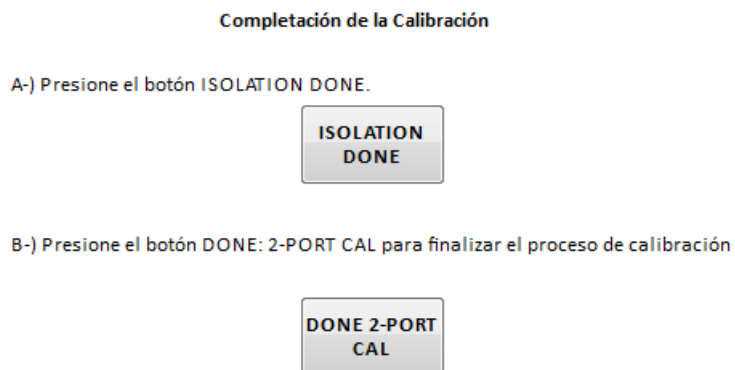


Figura 3.168: Completación de la calibración.

- Un botón que tiene el nombre “Finalizar” que se encarga de cerrar la ventana cuando se ha culminado el proceso de calibración, este boton está ubicado de lado inferior derecho de la ventana. En la Figura 3.169 se muestra dicho botón.

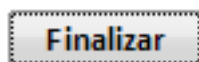


Figura 3.169: Botón Finalizar.

6. Si el usuario selecciona Cal Kit=N50 o N75 OHM y Método=Full 2-PORT.”, al igual que en el método anterior aparecerán los elementos correspondientes para dar comienzo con el proceso de calibración seleccionado, a continuación se describen los elementos que conforman la ventana.

Básicamente los elementos que conforman este proceso de calibración son similares a los descritos en el punto anterior, así que solo explicaremos aquellos elementos que cambian.

Al seleccionar ya sea CalKit= N50 OHM o CalKit=N75, se debe determinar si el conector es del tipo hembra, o del tipo macho por lo que se agregaron los siguientes elementos:

- Una etiqueta que identifica el Cal Kit y el método de calibración seleccionado, esta etiqueta aparece en la parte superior de las ventanas asociadas a este tipo de calibración Figura 3.170 y 3.171.

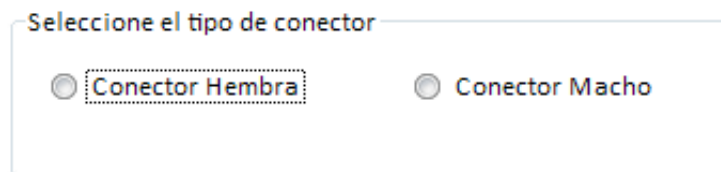
Usted seleccionó CAL KIT:N 50 y METODO:FULL 2-PORT

Figura 3.170: Etiqueta de CAL KIT 50 OHM y METODO FULL 2-PORT.

Usted seleccionó CAL KIT:N 75 y METODO:FULL 2-PORT

Figura 3.171: Etiqueta de CAL KIT 75 OHM y METODO FULL 2-PORT.

- Un GroupBox que tiene por título “Seleccione el tipo de conector”, un RadioButton que tiene el texto “Conector Hembra” y un RadioButton que tiene el texto “Conector Macho” como se muestra en la Figura 3.172.



Seleccione el tipo de conector

☒ Conector Hembra ☐ Conector Macho

Figura 3.172: Selección del tipo de conector.

- Un botón que tiene el texto “Aceptar” y otro con el texto “Cancelar”.



Aceptar Cancelar

Figura 3.173: Botón de Aceptar y Cancelar.

Dependiendo del tipo de conector seleccionado, se da comienzo con la calibración de reflexión en el puerto 1 y en el puerto 2, por lo que los únicos elementos que cambian con respecto al proceso de calibración anterior son:

- Un botón que tiene el nombre OPEN[F], correspondiente al primer paso de la calibración ya sea del puerto 1 o del puerto 2, si el usuario ha seleccionado conector hembra.

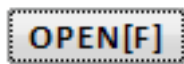


Figura 3.174: Botón OPEN[F].

- Un botón que tiene el nombre SHORT [F], si el usuario ha seleccionado conector tipo hembra.

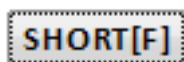


Figura 3.175: Botón SHORT[F].

- Un botón que tiene el nombre OPEN [M], correspondiente al primer paso de la calibración de reflexión si el usuario selecciona un conector del tipo macho.

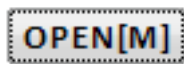


Figura 3.176: Botón OPEN[M].

- Un botón que tiene el nombre SHORT[M], correspondiente al segundo paso de la calibración de reflexión tanto del puerto 1 como del puerto 2 del analizador, si el usuario selecciona un conector del tipo macho.

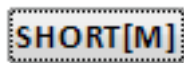


Figura 3.177: Botón de SHORT[M].

El resto de los elementos permanecen igual que en el método de calibración descrito en el punto anterior.

3.5.2. Programación

En esta fase se procedió a codificar toda la aplicación, en la Figura 3.178 puede verse el diagrama que corresponde a todos los programas que fueron realizados para que la aplicación funcionara correctamente.

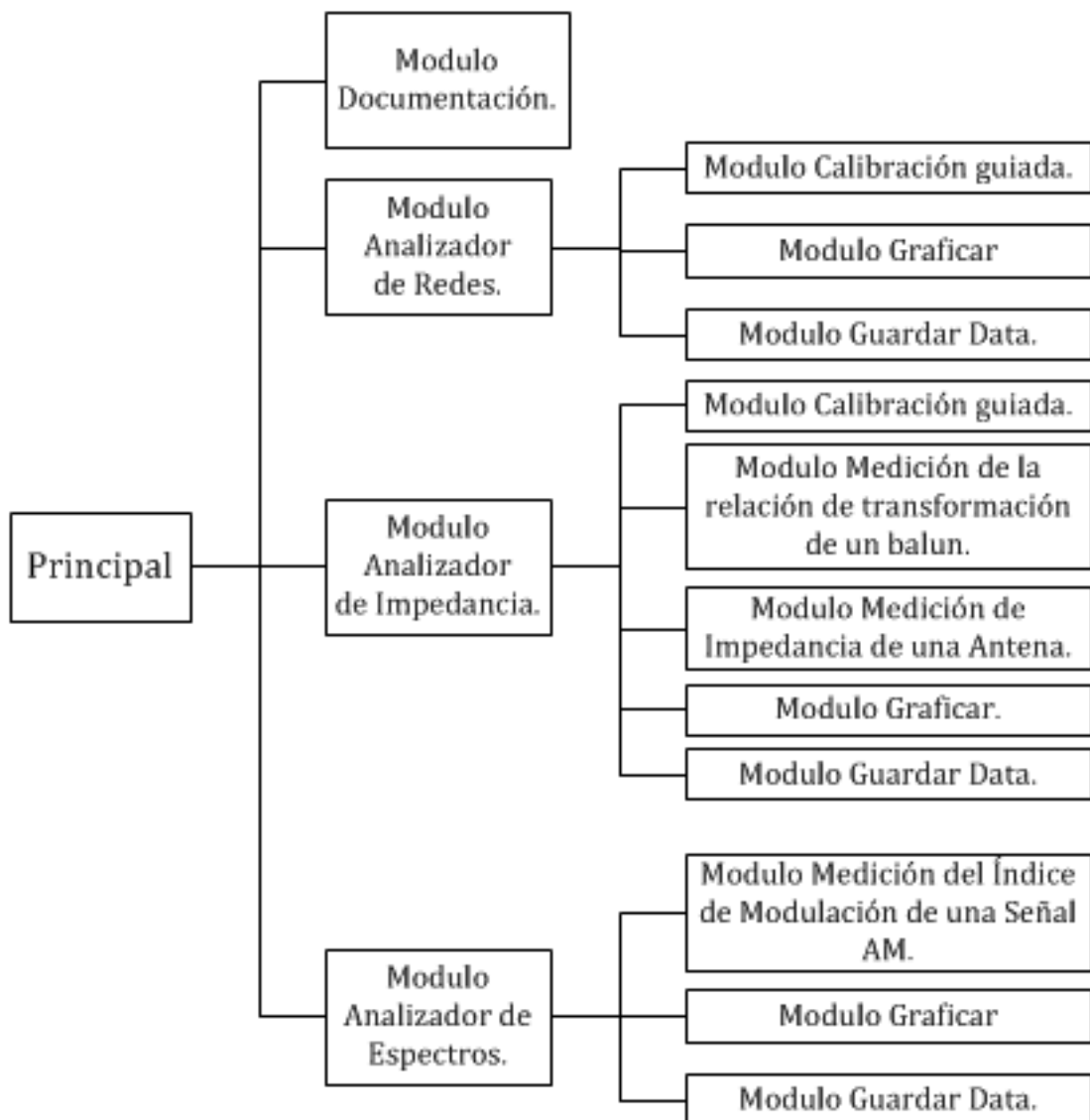


Figura 3.178: Diagrama general de la aplicación.

Como se puede apreciar en el diagrama, del programa principal se importan los módulos: analizador de redes, analizador de espectros, analizador de impedancia y documentación cada uno de estos son llamados al presionar el botón correspondiente, estos módulos son nuevas ventanas de las cuales se derivan nuevas funciones, algunas de ellas son funciones donde se llaman otros programas utilizadas para graficar, guardar la data, realizar alguna medición etc. A continuación se da una pequeña descripción de cada uno de los programas mostrados en el diagrama.

3.5.2.1. Principal

En el programa principal se importan las librerías y módulos necesarios para que el programa funcione como lo son: pyvisa, sys, os, de la librería pyqt4 se importa QtCore, QtGui y uic, todas estas librerías son utilizadas para el manejo de la interfaz gráfica de usuario y para el manejo del instrumento, del módulo analizador de redes se importa la clase `analizador_de_redes`, del módulo analizador de espectros se importa la clase `analizador_de_espectros`, del módulo analizador de impedancia se importa la clase `analizador_de_impedancia` y del módulo documentación se importa la clase `document`, estos módulos también fueron codificados y más adelante se explicará su estructura. En la Figura 3.179 se muestra el código utilizado para importar librerías o módulos y en la Figura 3.180 se muestran un fragmento de código en el que se observan las librerías y módulos que se utilizaron para el programa principal.

```
import nombre_de_la_libreria
from nombre_del_modulo import nombre_de_la_clase
```

Figura 3.179: Código utilizado para importar librerías o módulos.

```

import sys
import os
import visa
from modulo_analizador_redes import analizador_de_redes
from modulo_analizador_impedancia import analizador_de_impedancia
from modulo_analizador_espectros import analizador_de_espectros
from documentacion import document
from PyQt4 import QtCore, QtGui, uic
from pyvisa import VisaIOError

```

Figura 3.180: Fragmento de código del programa principal.

Luego de importar las herramientas necesarias se carga el archivo creado en QtDesigner el cual tiene la extensión “.ui”, en la Figura 3.181 se observa el código utilizado para esto.

```

form_class = uic.loadUiType("nombre_del_archivo.ui")[0]

```

Figura 3.181: Código utilizado para cargar el archivo “.ui”.

Seguidamente se crea la clase de la ventana principal, mediante esta clase se puede manejar todos los elementos que conforman la ventana principal que fue creada con la herramienta QtDesigner, aquí también se definen las funciones asociadas a cada uno de los botones que están contenidos en dicha ventana, estos botones se encargan de abrir una nueva ventana dependiendo del botón que se haya seleccionado. En la Figura 3.182, 3.183 y 3.184 puede apreciarse el código utilizado para la creación de una clase, la asignación de funciones a un botón y la definición de funciones respectivamente.

```

class MyWindowClass(QtGui.QMainWindow, form_class):
    ## se define el constructor de la clase __init__
    def __init__(self, parent=None):
    ## se llama el constructor de la clase __init__
        QtGui.QMainWindow.__init__(self, parent)
        self.setupUi(self)

```

Figura 3.182: Creación de la clase para la ventana principal.

```
self.boton.clicked.connect(self.nombre_de_la_funcion)
```

Nombre del botón. Evento Función

Figura 3.183: Asignación de funciones a un botón.

```
def nombre_de_la_funcion():
    #Aqui el algoritmo
```

Figura 3.184: Creación de una función.

3.5.2.2. Módulo Analizador de Espectros, Analizador de Redes y Analizador de Impedancia

Para estos módulos al igual que el primero, se importan los módulos y librerías para que el programa funcione correctamente, luego de esto se carga el archivo “.ui” que corresponde con la ventana y los elementos que conforman la misma, posteriormente se crea la clase correspondiente a este módulo, luego de esto se asigna una función a cada uno de los elementos que conforman la ventana, como esta ventana simboliza el panel frontal del analizador HP 4396B en su funcionalidad como analizador de espectros es necesario que la mayoría de los botones estén asociados a una función que muestre el menú correspondiente con la opción seleccionada, entonces se comienza con la creación de cada uno de estos menús, para esto se utilizaron herramientas tales como “dock Widgets” y “TreeWidgets” como se mencionó anteriormente, a cada uno de los menús creados se asigna una función que se encarga de verificar que ítem del menú fue seleccionado para mandar el comando correspondiente al equipo o realizar alguna otra función. En la Figura 3.185 se muestra un diagrama general de los pasos que fueron descritos para realizar el código de cada uno de estos módulos.



Figura 3.185: Diagrama de programación de analizadores.

Al seleccionar los botones identificados con el círculo rojo en la Figura 3.186 se llama a un nuevo archivo o módulo, para que realice las acciones requeridas como: guardar la data, graficar o realizar alguna otra medición.

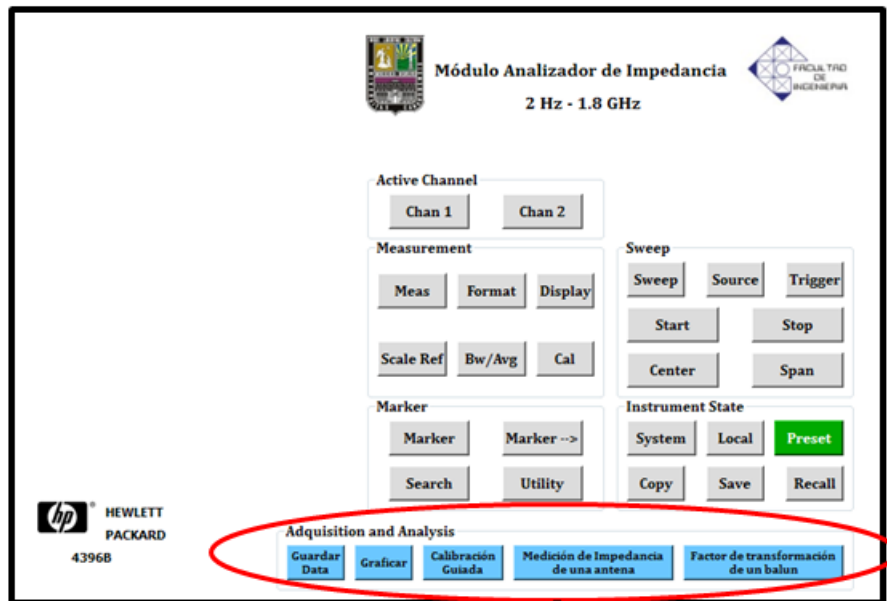


Figura 3.186: Botones adicionales para Guardar Data, Graficar y realizar Mediciones.

3.5.2.3. Módulo Graficar

Para el modulo graficar de cualquiera de los analizadores primero se importan las librerías necesarias para el correcto funcionamiento del programa tales como pylab, visa, numpy, cmath, matplotlib, estas son usadas para la configuración de las gráficas, el control del instrumento y para realizar operaciones matemáticas etc., en la Figura 3.187, puede apreciarse el fragmento de código perteneciente a uno de los módulos de graficas donde se aprecian las librerías que fueron utilizadas.

```
from pylab import *
import visa
import numpy as np
import cmath
from matplotlib import pyplot as pp
from visa import VisaIOError
```

Figura 3.187: Librerías utilizadas en el módulo graficar.

Luego de esto es creada la clase donde se asignaran las funciones y las operaciones a realizar para lograr obtener la gráfica del analizador en cualquiera de sus

modalidades y formatos, posteriormente se le pide al analizador la data de la frecuencia y de la amplitud y se guarda en una variable para poder manejarla luego, para esto se utilizan los comandos mostrados en la Figura 3.188.

```
valor1=hp.query_ascii_values('OUTPSWPRM?')  
valor2=hp.query_ascii_values('OUTPDTRC?')
```

Figura 3.188: Comandos utilizados para pedir la data al analizador.

Además de esto se pregunta por el formato del instrumento y se guarda en una variable para saber qué tipo de grafica se va a mostrar, luego de esto con un condicional if se va preguntando por la variable que contiene el formato, dentro de este condicional se pregunta si algún Marker está activo para adicionarlo en la gráfica, posteriormente se manda a graficar. En la Figura 3.189 puede apreciarse un diagrama que muestra la manera en la que se codifico este módulo.

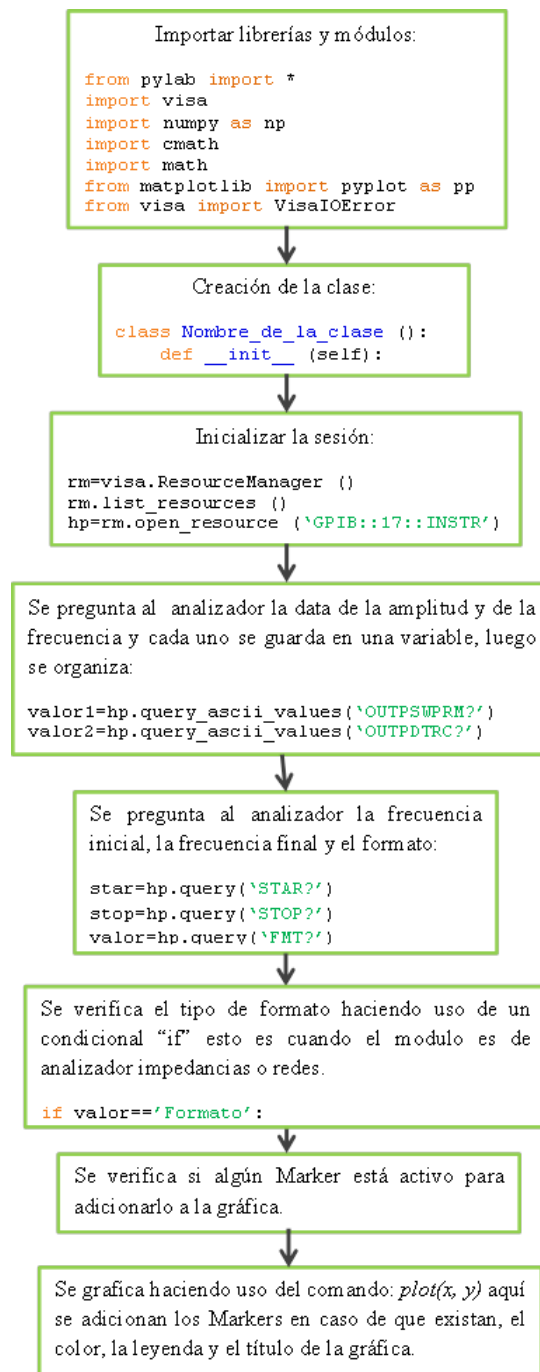


Figura 3.189: Diagrama de codificación del módulo graficar.

3.5.2.4. Módulo guardar data

Para este módulo al igual que en los otros, se importan las librerías necesarias como lo son: sip, numpy, prettytable y pyqt4, estas librerías son utilizadas para organizar la información o datos obtenidos del analizador, posteriormente se crea la clase correspondiente a este módulo, luego de esto se crean las funciones utilizadas para llamar al navegador de archivos para que el usuario guarde el archivo de la data en el lugar y con el nombre que desee, es decir, primero se crea el archivo y luego se toma el nombre del mismo para abrirlo y grabar la data en dicho archivo, para esto se crea una función que tome como parámetro el nombre del archivo creado, en cada archivo se graba en sus dos primeras líneas la fecha y la hora, para esto se importa la librería "time", seguidamente se pregunta al instrumento el formato y se guarda en una variable, se pregunta el canal y la data de la magnitud y la frecuencia para luego dependiendo del formato graba la data apropiadamente en columnas y con su unidad correspondiente. En la Figura 3.190 puede apreciarse el diagrama correspondiente con la codificación del módulo.

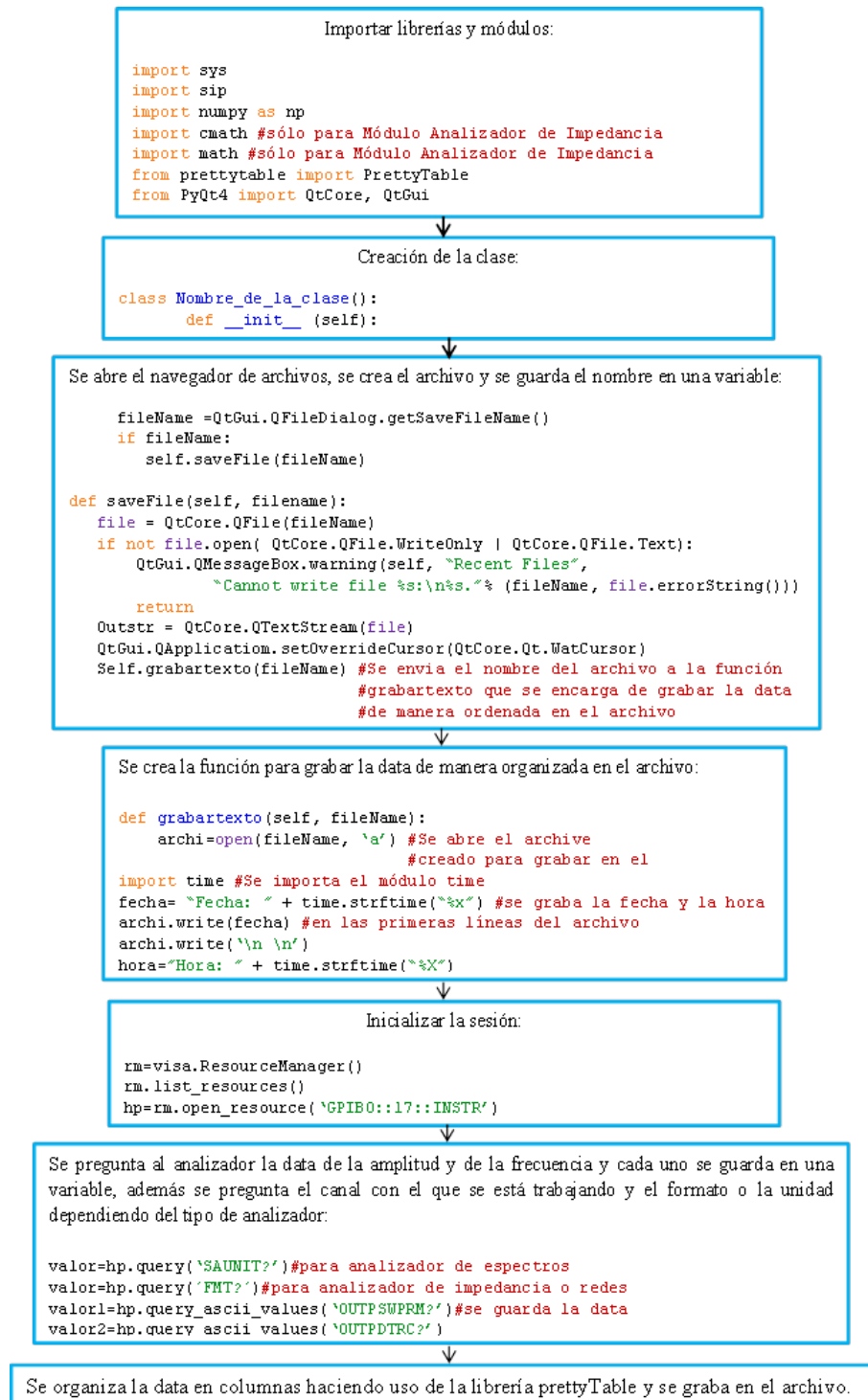


Figura 3.190: Diagrama de codificación del módulo guardar data.

3.5.2.5. Módulo para la medición de una señal AM

En este módulo se utilizaron las siguientes librerías `cmath`, `visa`, `numpy` y `pyqt4`, luego de importarlas se cargó el archivo “.ui” y se creó la clase correspondiente a este módulo, posteriormente se asignó al botón una función para que al hacer click en el, este calcule y muestre los resultados de las mediciones, cabe destacar que para hacer uso de este módulo el usuario debe tener lista en la pantalla del analizador (en su funcionalidad como analizador de espectros) la señal am a la que desea realizar el estudio, por esta razón la función asignada al botón lo que hace es eliminar o dar un preset a los Markers, cambiar las unidades a dBm, activar un Marker ubicar el pico máximo, encender otro Marker y ubicar el próximo pico o máximo, posteriormente se pregunta al analizador por la data correspondiente a cada uno de los Markers, luego se manipula esta información para obtener el índice de modulación, la frecuencia de la portadora y el ancho de banda de la señal am. En la Figura 3.191 puede apreciarse el diagrama de codificación de este módulo.

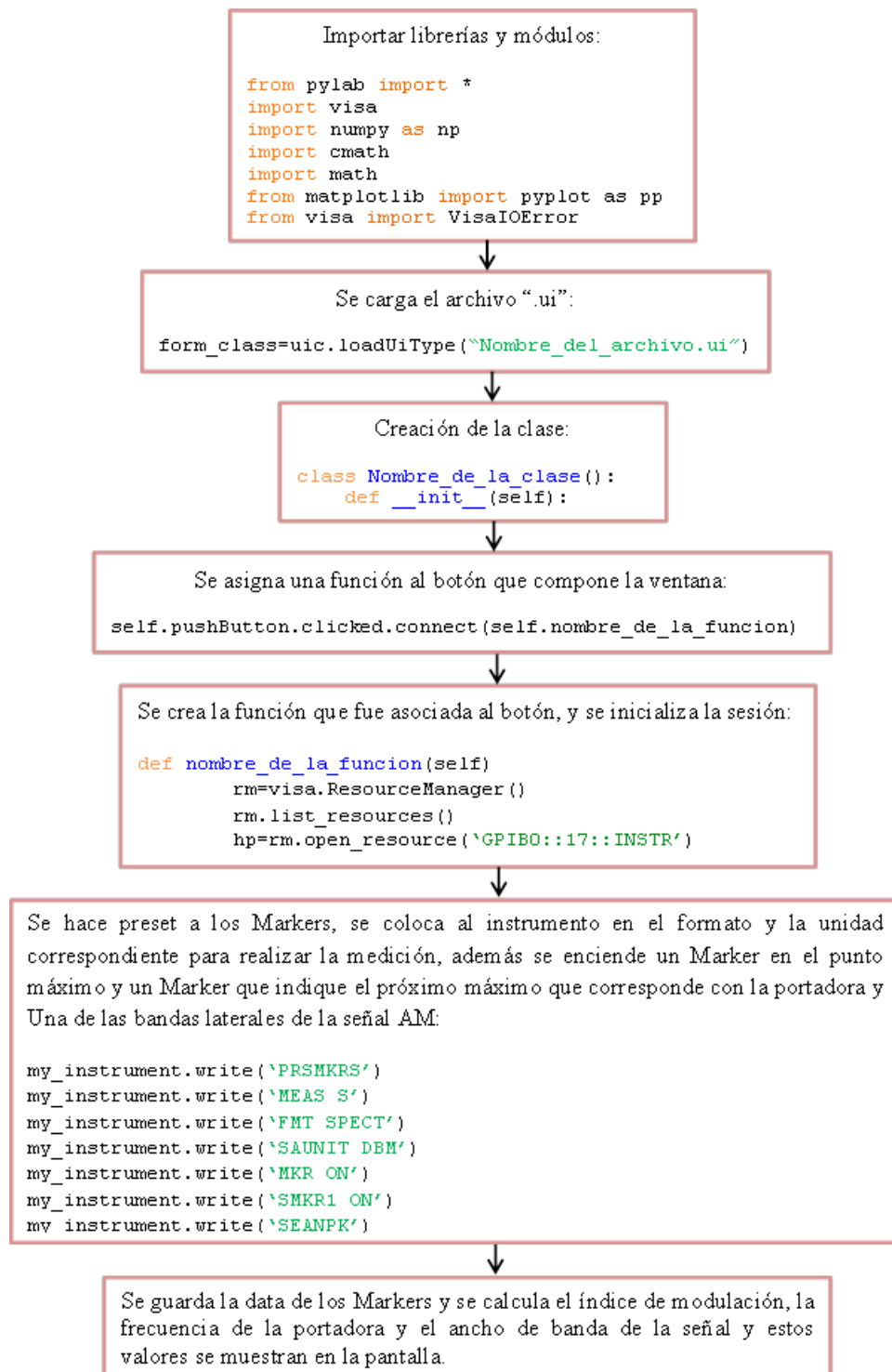


Figura 3.191: Diagrama de codificación del módulo para la medición de una señal AM.

3.5.2.6. Módulo medición del factor de transformación de un balun

Para este módulo se utilizaron las siguientes librerías: `visa`, `numpy`, `prettyTable` y `pyqt4`, luego se cargó el archivo “.ui”, seguidamente se crea la clase y se asigna una función a cada uno de los botones que componen este módulo, para el primer botón se hace una función que tome la medición de la magnitud y la fase de la impedancia de la resistencia que será colocada en el balun, esta información se guarda en variables, para el segundo botón se hace una función que toma la data de la magnitud y la fase que se obtiene al colocar el balun en el analizador y se guarda en variables, para el tercer botón se hace una función que se encarga de calcular la relación de transformación y guardarla en un archivo de manera organizada. En la Figura 3.192 puede apreciarse el diagrama de codificación utilizado para este módulo.

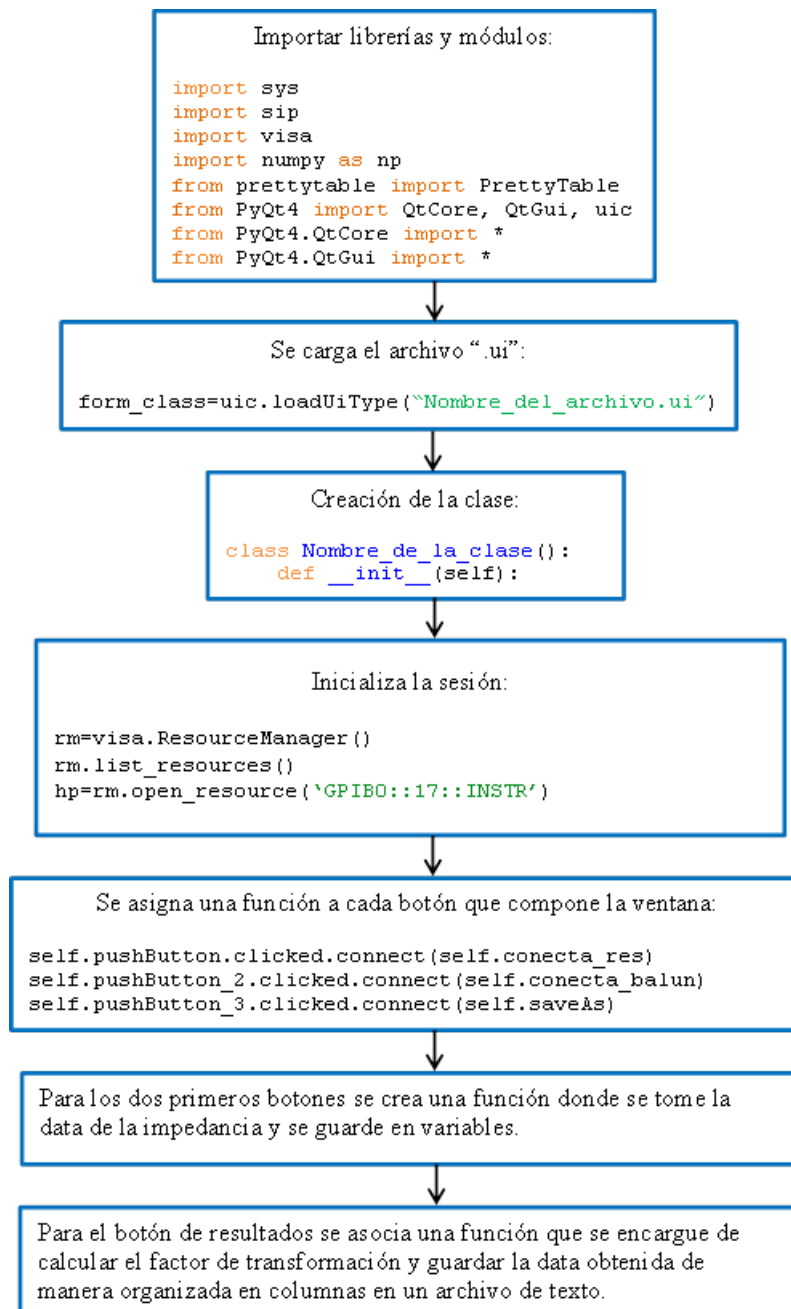


Figura 3.192: Diagrama de codificación del módulo factor de transformación del balun.

3.5.2.7. Módulo medición de impedancia de una antena

Este módulo hace uso de librerías como sip, pylab, numpy, visa, cmath y prettyTable, además se carga el archivo “.ui” que es utilizado para abrir la ventana correspondiente a este módulo, en la Figura 3.193 puede apreciarse un fragmento de código en el cual se muestran las librerías utilizadas y el código utilizado para cargar el archivo correspondiente a la ventana de este módulo.

```
import sys
import sip
from pylab import *
import numpy as np
import visa
import cmath
from prettytable import PrettyTable
from visa import VisaIOError
from PyQt4 import QtCore, QtGui, uic
form_class = uic.loadUiType("IMPEDANCIA_DE_ANTENA.ui")
```

Figura 3.193: Librerías y código usado para cargar el archivo “.ui”.

Luego se crea la clase, y se asigna una función a cada uno de los botones que componen la ventana, primero se pide la impedancia característica de la línea, haciendo uso de un elemento llamado DoubleSpinBox el usuario introduce el valor y presiona el botón correspondiente el cual está conectado con una función que toma el valor introducido por el usuario y lo guarda en una variable, en la Figura 3.194, se aprecia el código utilizado para guardar el valor de impedancia característica.

```
zo=self.doubleSpinBox.text()
```

Figura 3.194: Línea de código que guarda en la variable “zo” el valor introducido por el usuario.

Posteriormente se habilita el próximo botón que está asociado a una función que tiene por objetivo tomar la data de la magnitud y la fase de la impedancia obtenida al conectar un corto circuito al final de la línea, luego de tomar estos datos se habilita el próximo botón que tiene como función tomar la data de la magnitud y fase de la impedancia obtenida al conectar una antena en el extremo de la línea además de esto realiza el cálculo de la impedancia de entrada de la antena. Seguidamente

se habilitan los botones para obtener graficas u obtener la data de las mediciones realizadas.

3.5.2.8. Módulo calibración guiada del analizador de impedancia y redes

Para estos módulos se utilizaron las librerías visa y pyqt4, luego de importarlas se carga el archivo “.ui” que contiene la ventana principal de cada módulo, al cargar cada archivo se procede a asignar las funciones a cada uno de los elementos que conforman dicha ventana, luego se crearon cada uno de los demás elementos que conforman la ventana, como lo son etiquetas, botones etc., los cuales aparecen posteriormente al ir avanzando en el procedimiento de calibración, luego de eso se crean las funciones correspondientes a cada elemento, esto siguiendo el procedimiento establecido por el manual del equipo.

```
self.etq=QtGui.QLabel(self) #codigo utilizado para crear una etiqueta
self.etq.setGeometry(QRect(100,260,340,16))
self.etq.setVisible(False)

self.caja=QtGui.QGroupBox(self)#codigo utilizado para crear un GroupBox
self.caja.setGeometry(80,300,341,81)
self.caja.setVisible(False)

self.tipo_medicion=QtGui.QRadioButton(self.caja)#codigo utilizado para crear un RadioButton
self.tipo_medicion.setGeometry(QRect(10,30,161,16))
self.tipo_medicion.setText(u'Medición de Transmisión')
self.tipo_medicion.setVisible(False)
```

Figura 3.195: Código utilizado para la creación de algunos elementos.

3.5.2.9. Creación del ejecutable de la aplicación

La aplicación de este proyecto deber ser instalada en un computador que se encuentre a una distancia máxima de 2 metros del Analizador HP 4396B ya que esa es la longitud que alcanza el accesorio Agilent 82357B que estará conectado en el puerto USB del computador y el puerto GPIB del instrumento. En caso futuro si ese ordenador es cambiado y se desea utilizar la aplicación, esta debe ser instalada. Por eso es conveniente empaquetar la aplicación con la finalidad de que sea sencillo a los usuarios instalarla en el ordenador. Si la aplicación no es empaquetada el usuario tendrá la obligación de tener que instalar el lenguaje de programación con

el que se desarrolló la aplicación y las librerías utilizadas, lo cual sería de mayor dificultad.

Para la creación del ejecutable o empaquetamiento de la aplicación se utilizó la librería “Pyinstaller” y el procedimiento es el que se presenta a continuación:

1. Se crea una carpeta en la cual se encuentran todo los módulos que conforman la aplicación, Figura 3.196.

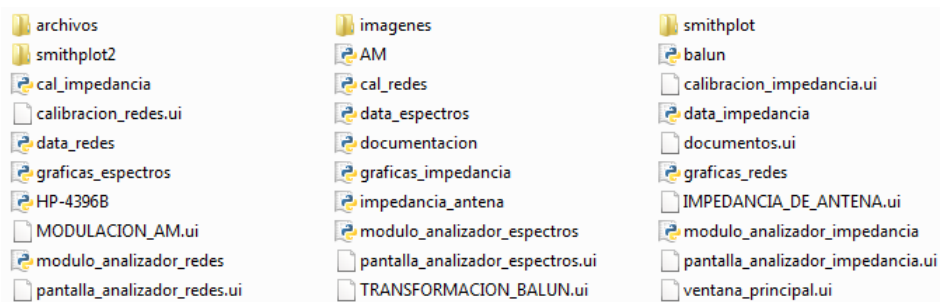


Figura 3.196: Módulos de la aplicación.

2. Por medio del sistema de símbolos se navega hasta la carpeta donde se encuentran todo los módulos de la aplicación, Figura 3.197.

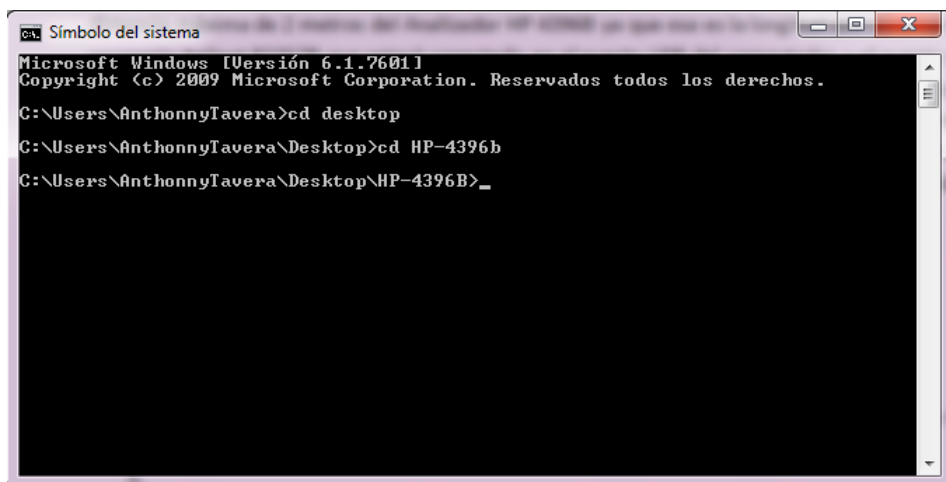


Figura 3.197: Sistema de Símbolos.

3. Seguido se escriben los comando que se muestran en la Figura 3.198, el ultimo comando es el nombre del archivo .py principal que da inicio a la aplicación, en este caso el archivo es HP-4396B.py.

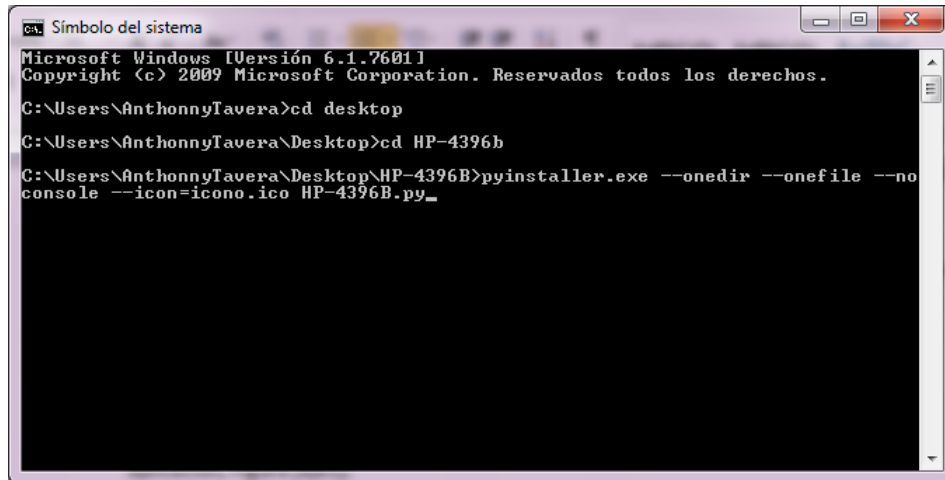


Figura 3.198: Comandos para crear ejecutable.

- `--onedir`: Crea una sola carpeta que incluye el archivo ejecutable.
 - `--onefile`: Crea un archivo ejecutable con todos los paquetes incluidos.
 - `--noconsole`: No muestra el sistema de símbolos al correr la aplicación.
 - `--icon`: Asigna un icono al ejecutable.
4. Esperar a que en el sistema de símbolos finalice el empaquetamiento. Como resultado en la carpeta donde se encuentran los módulos que conforman la aplicación se crearan dos carpetas "build" y "dist". En la carpeta "dist" está el archivo ejecutable de la aplicación.

Capítulo IV

Análisis, interpretación y presentación de los resultados

4.1. Interfaz Gráfica

Los resultados obtenidos luego de diseñar la interfaz y configurar las ventanas de la aplicación fueron los siguientes:

- Ventana Principal, comienza la aplicación permitiendo al usuario elegir entre las opciones documentación, analizador de redes, analizador de impedancias y analizador de espectros. Estas tres últimas opciones inicialmente se encuentran bloqueadas Figura 4.1, para desbloquearlas es necesario conectar la interfaz GPIB-USB entre el instrumento-computador y luego pulsar el botón conectar Figura 4.2.

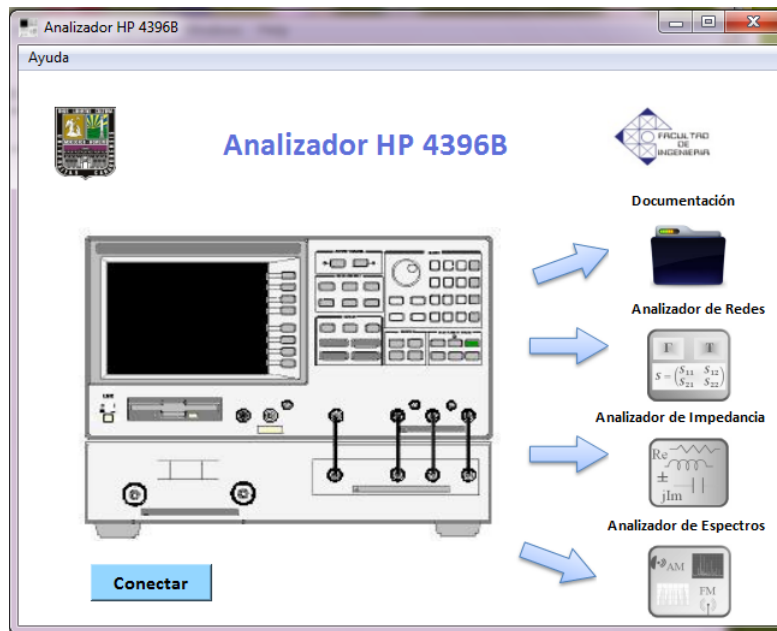


Figura 4.1: Ventana Principal con opciones bloqueadas.

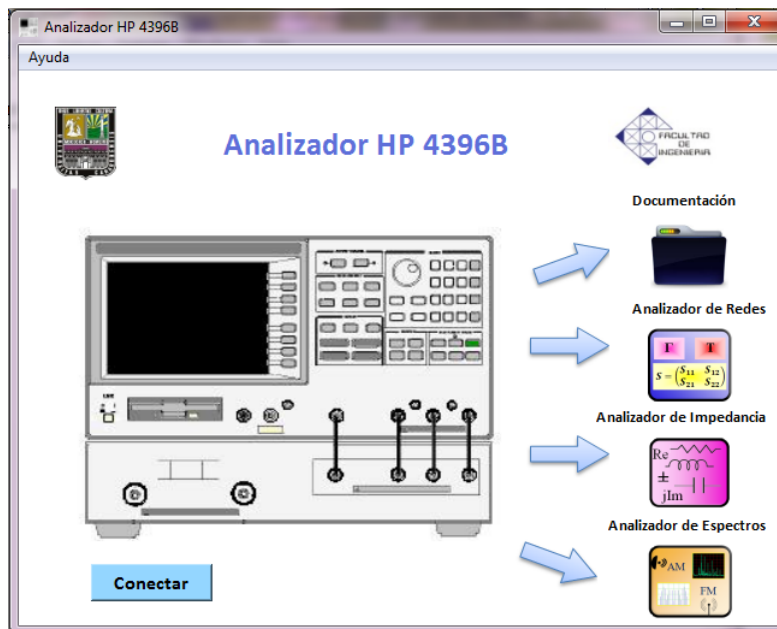


Figura 4.2: Ventana Principal con opciones desbloqueadas.

- Ventana Documentación Figura 4.3, al seleccionar la opción de documentación se muestra una ventana que permite elegir entre dos archivos de formato

PDF, titulados “Calibración” (Anexo A) y “Parámetros de dispersión” (Anexo B).

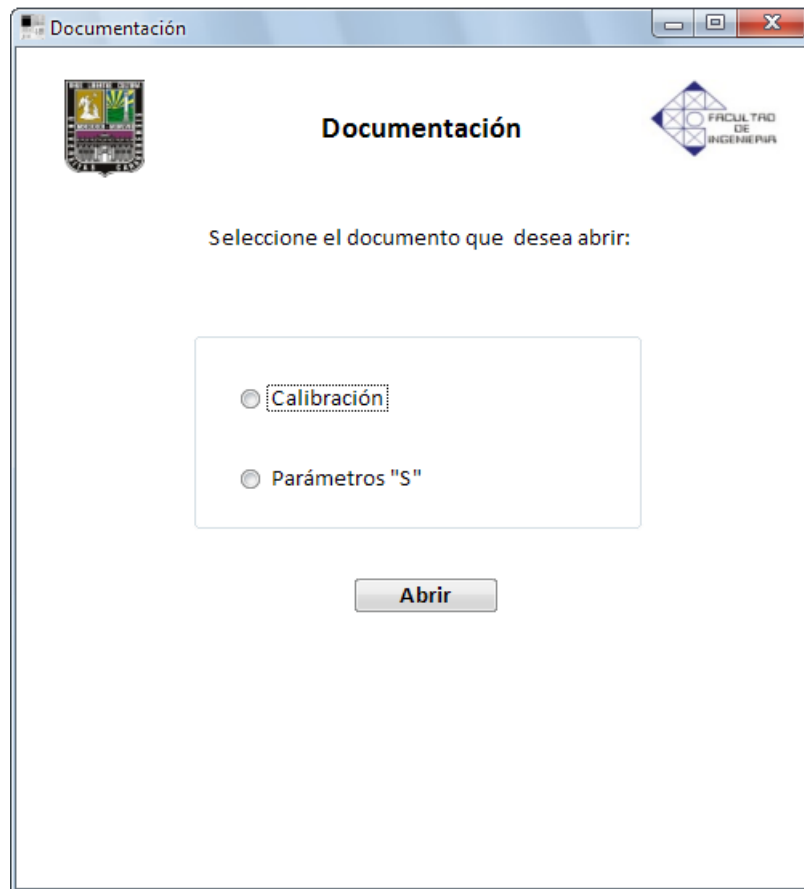


Figura 4.3: Ventana Documentación.

- Ventana Módulo Analizador de Espectros Figura 4.4, en esta ventana se encuentran cada uno de los botones presentes en el panel frontal del instrumento, al seleccionar alguno de los botones se despliega un menú de opciones que permite controlar al analizador de espectros. Adicionalmente contiene tres botones como lo son “Guardar Data”, “Graficar” y “Modulación AM”.



Figura 4.4: Ventana Módulo Analizador de Espectros.

- Ventana Módulo Analizador de Impedancias Figura 4.5, en esta ventana se encuentran cada uno de los botones presentes en el panel frontal del instrumento, y que al ser seleccionados se despliega un menú de opciones que permiten controlar el analizador de impedancias. Adicionalmente contiene cinco botones que son “Guardar Data”, “Graficar”, “Calibración Guiada”, “Medición de Impedancia de una Antena” y “Factor de Transformación de un Balun”.



Figura 4.5: Ventana Módulo Analizador de Impedancias.

- Ventana Módulo Analizador de Redes Figura 4.6, en esta ventana se encuentran cada uno de los botones presentes en el panel frontal del instrumento, y que al ser seleccionados se despliega un menú de opciones que permiten controlar el analizador de redes. Adicionalmente contiene tres botones que son “Guardar Data”, “Graficar” y “Calibración Guiada”.

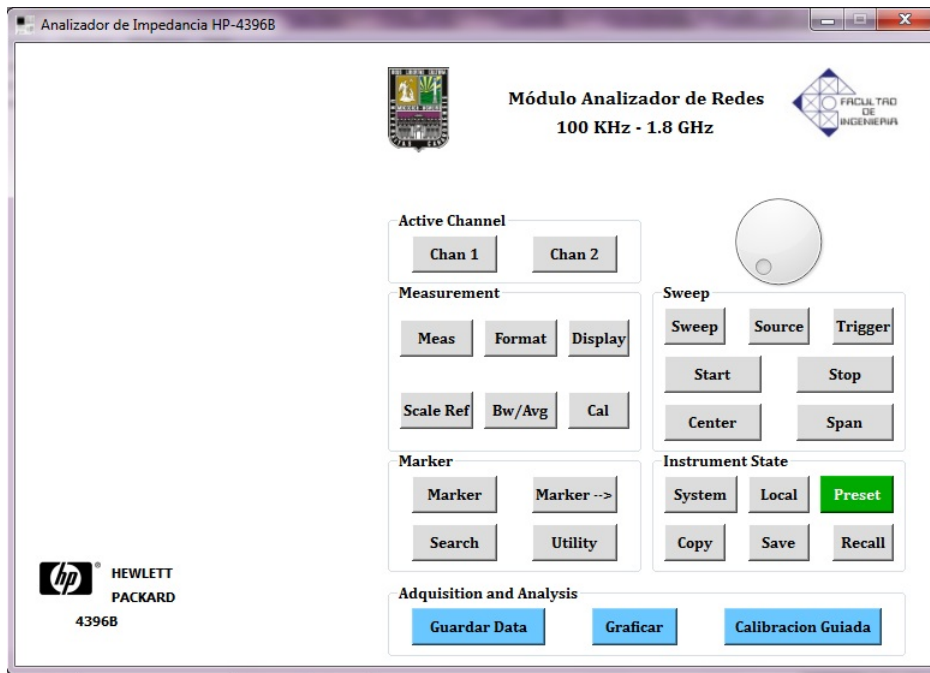


Figura 4.6: Ventana Módulo Analizador de Redes.

- Ventana Modulación de una señal AM Figura 4.7, al seleccionar el botón “Modulación AM” en la ventana del “Modulo Analizador de Espectros” se despliega esta ventana que permite obtener los valores de frecuencia de portadora, ancho de banda e índice de modulación de una señal AM. Para la utilización de este módulo es necesario conectar una señal AM con portadora única al instrumento, una vez conectada la señal el botón “Calcular” debe ser presionado para así obtener los resultados mencionados anteriormente.

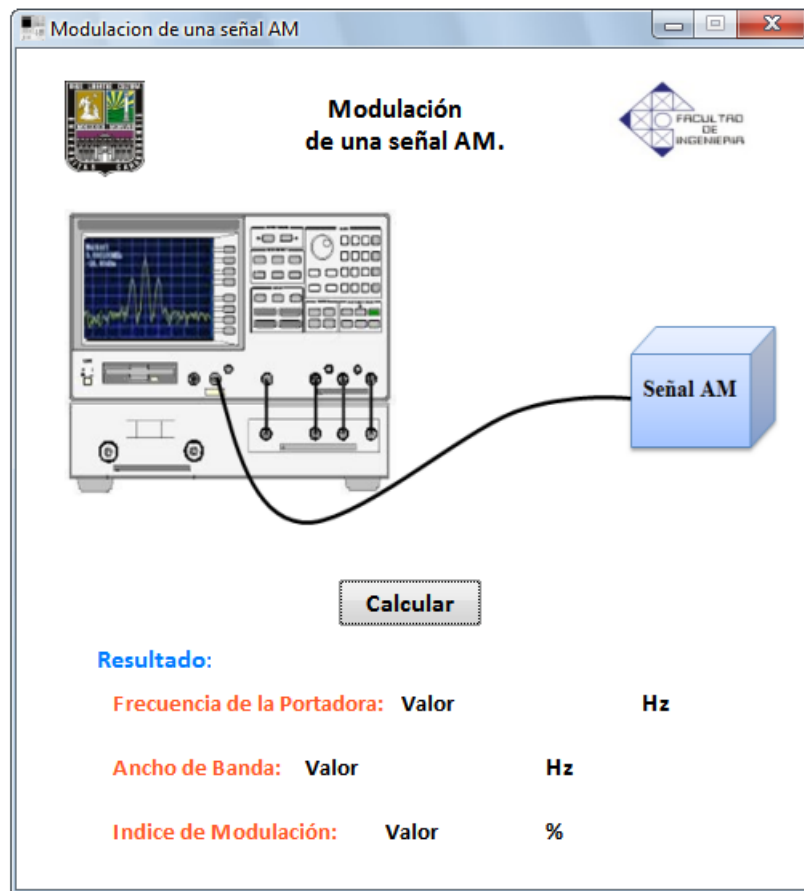


Figura 4.7: Ventana Módulación de una señal AM.

- Ventana Calibración Guiada del “Modulo Analizador de Impedancias”, esta ventana inicia con el primer proceso de calibración Figura 4.8 que permite tener una mayor precisión de las mediciones en el puerto de salida. Al inicio de esta ventana se encuentra una imagen que indica como conectar los estándares de calibración (OPEN, SHORT y LOAD) seguido una serie de pasos que indica que estándar debe ser conectado. Una vez conectado el estándar debe ser presionado el botón correspondiente en la ventana, y al finalizar se habilitara el siguiente paso indicando que debe ser conectado el siguiente estándar.



Figura 4.8: Proceso de calibración inicial Analizador de Impedancias.

Si para la medición se necesita el kit Fixture debe ser presionado el botón “siguiente” para realizar el segundo proceso de calibración. Al inicio de esta ventana se encuentra una imagen que indica como conectar el Fixture, seguido la selección del tipo de Fixture a utilizar Figura 4.9.

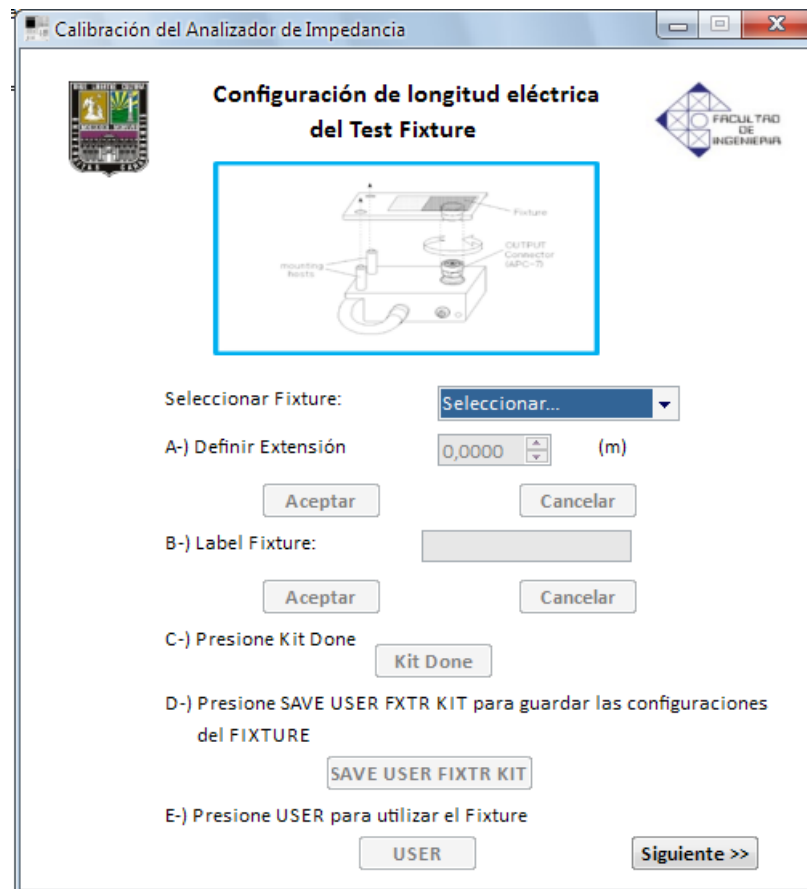


Figura 4.9: Proceso de calibración para utilizar el kit fixture Analizador de Impedancias.

En caso de que el Fixture no se encuentre en la lista de opciones se deberá seleccionar la opción “Definir Fixture”, habilitándose una serie de paso en los cuales se deberá introducir la longitud de onda y nombre del Fixture Figura 4.10.

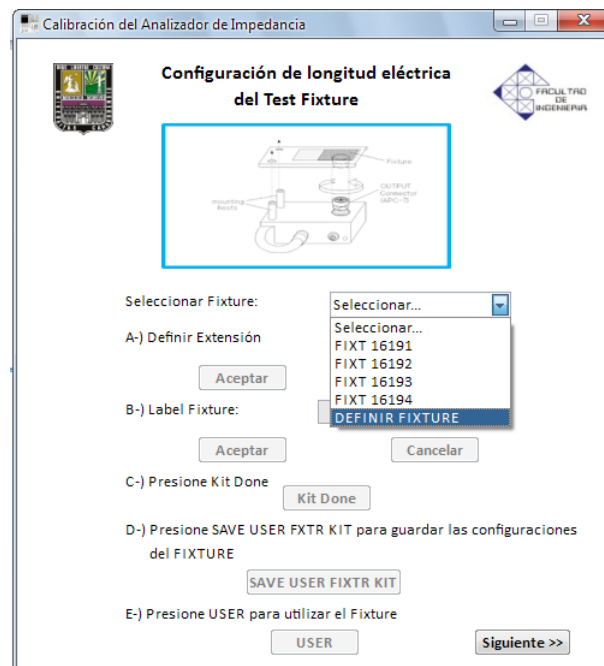


Figura 4.10: Definición del Fixture del Analizador de Impedancias.

Finalmente al presionar el botón “siguiente” aparece una nueva ventana Figura 4.11 que permite realizar el proceso de compensación del Fixture y así reducir los errores parásitos existentes entre el electrodo del test fixture y el puerto de salida del kit de medición.

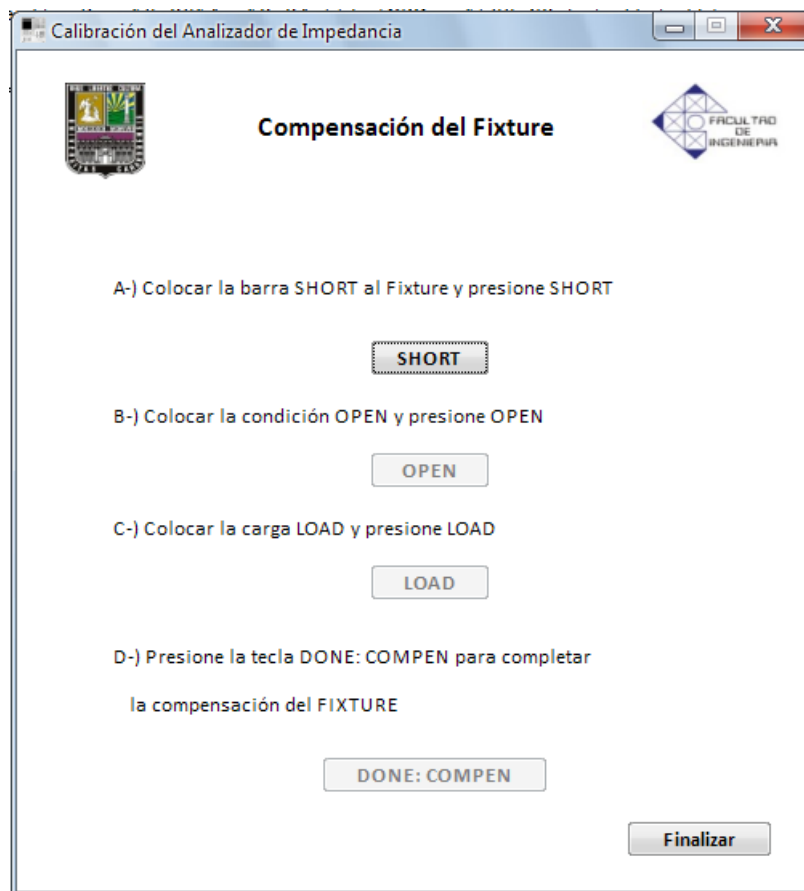


Figura 4.11: Proceso de compensación del Fixture del Analizador de Impedancias.

- Ventana Medición de Impedancia de una Antena Figura 4.12, al seleccionar el botón “Medición de Impedancia de una Antena” de la ventana “Módulo Analizador de Impedancia” se despliega una ventana que posee dos pasos, el primer paso indica que debe ser conectada la terminación de cortocircuito en la línea de transmisión y luego presionar el botón “Calcular”, habilitándose el segundo paso en el cual debe conectarse a la línea de transmisión una antena. Finalmente hay dos botones que permiten obtener gráficos y data de la impedancia medida al conectar el cortocircuito (Z_{e1}) y la antena (Z_{e2}), así como también la impedancia propia de la antena.

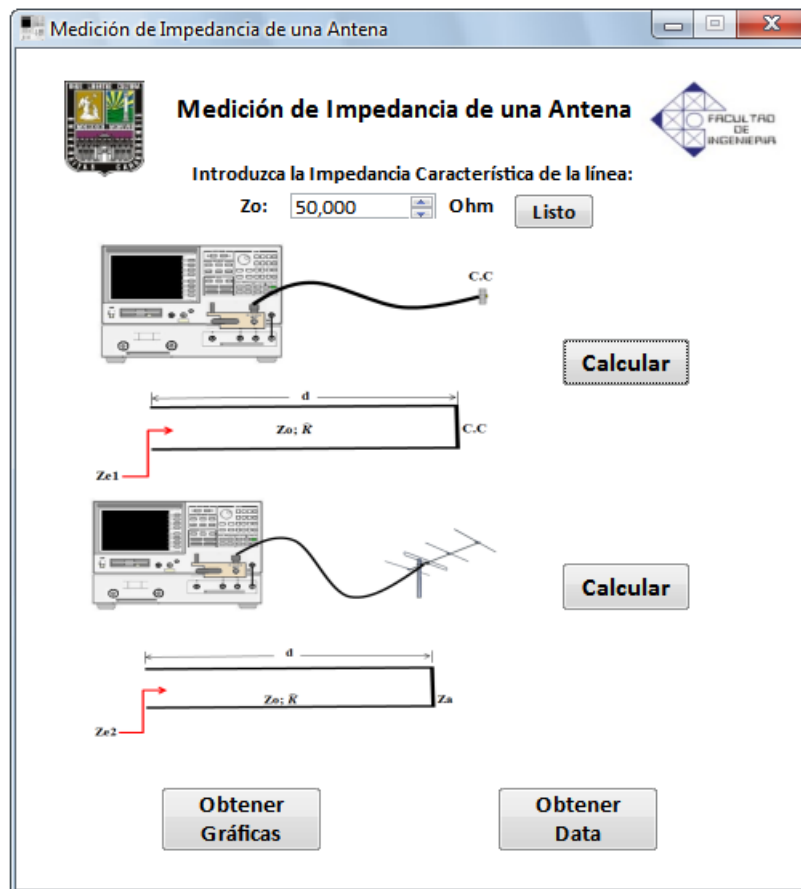


Figura 4.12: Ventana Medición de Impedancia de una Antena.

- Ventana Factor de Transformación del Balun Figura 4.13, al seleccionar el botón “Factor de Transformación del Balun” de la ventana “Módulo Analizador de Impedancia” se despliega una ventana que posee dos pasos, en el primer paso debe ser conectada la impedancia de carga del balun (Z_L) al instrumento y presionar el botón “Calcular”, habilitándose el segundo paso en el cual debe ser conectado el balun y luego presionar el botón “Calcular”. Finalmente se presiona el botón “Resultado” para obtener en un archivo la data de la impedancia de carga, entrada y el factor de transformación del balun.

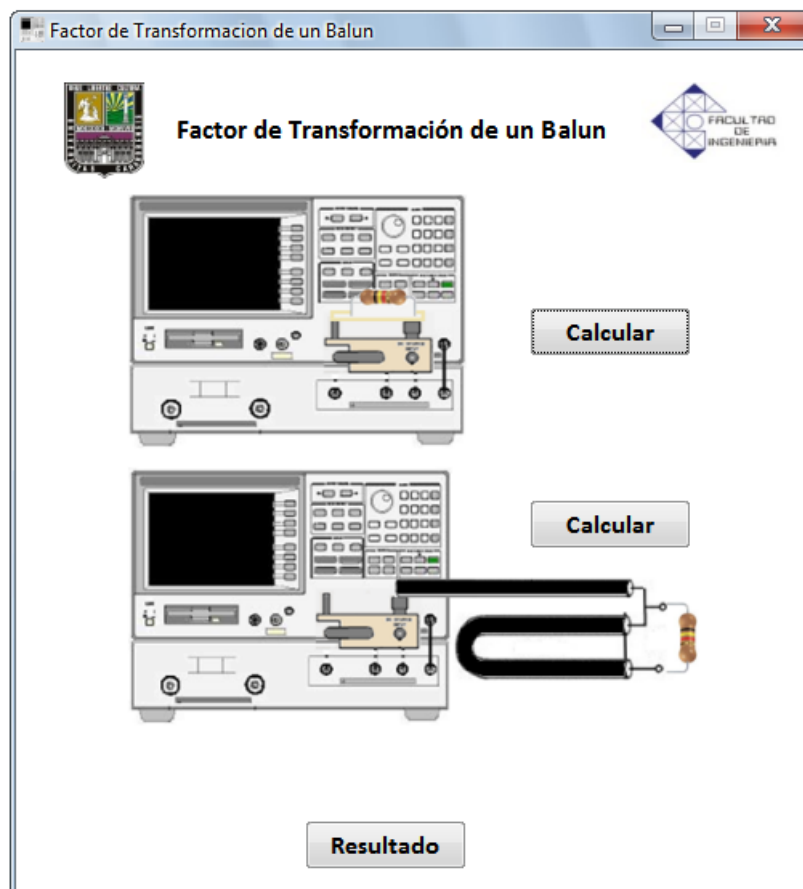


Figura 4.13: Ventana Factor de Transformación del Balun.

- Ventana Calibración Guiada del “Modulo Analizador de Redes” Figura 4.14, esta ventana permite al usuario seleccionar el tipo de conector (7mm, 3.5mm, N 50Ω y N 75Ω) y el método de calibración a utilizar.

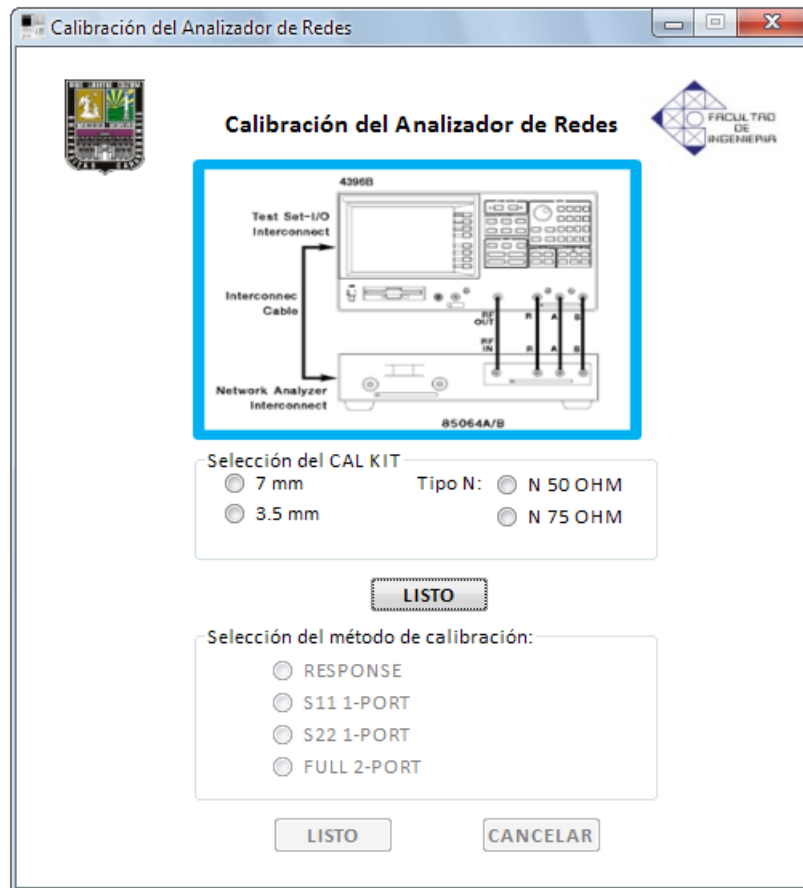


Figura 4.14: Ventana principal del proceso de calibración del Analizador de Redes.

De acuerdo a las opciones seleccionadas por el usuario se desplegarán nuevas opciones que permitirán completar el proceso de calibración:

1. Al seleccionar CAL KIT 7 mm o 3.5 mm y método de calibración RESPONSE, la secuencia para completar el proceso de calibración inicia con la Figura 4.15 para seleccionar el tipo de medición a realizar.

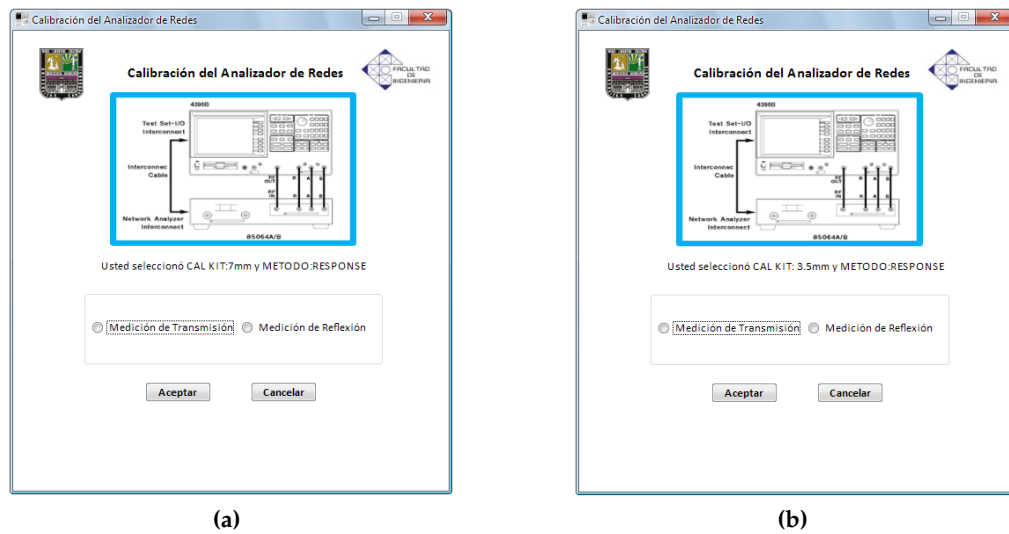


Figura 4.15: Selección del tipo de medición usando método de calibración RESPONSE: a) CAL KIT:7 mm ; b) CAL KIT: 3.5 mm.

Si la opción seleccionada es “Medición de Transmisión” se muestra Figura 4.16.



Figura 4.16: Ventana de Calibración para medición de transmisión usando método RESPONSE.

Y para el caso contrario si la selección es “Medición de Reflexión” se muestra la Figura 4.17.

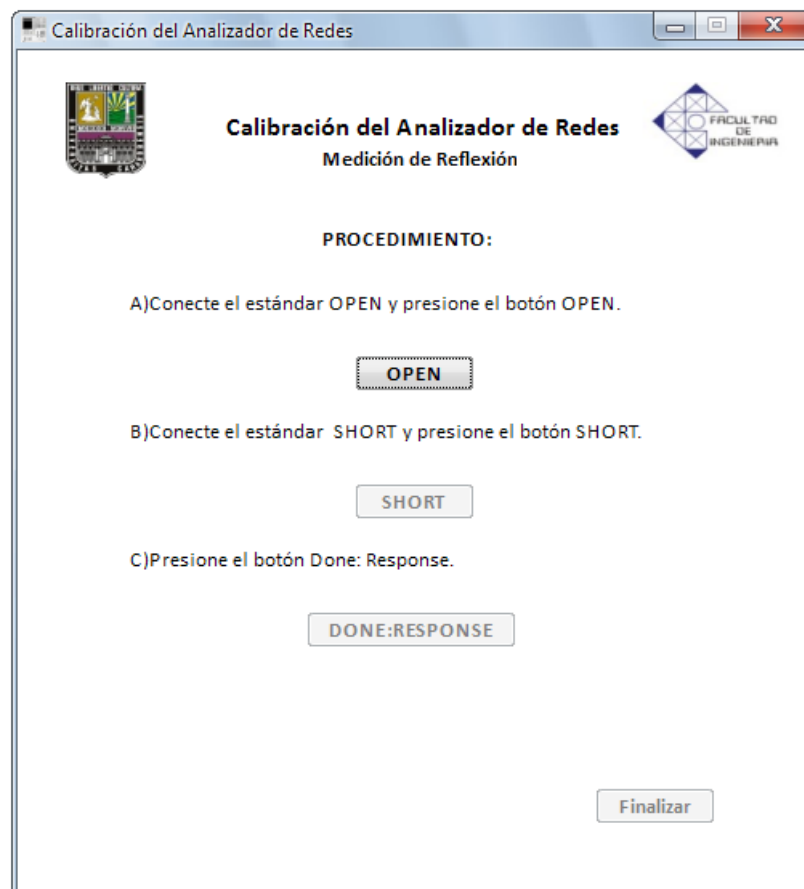
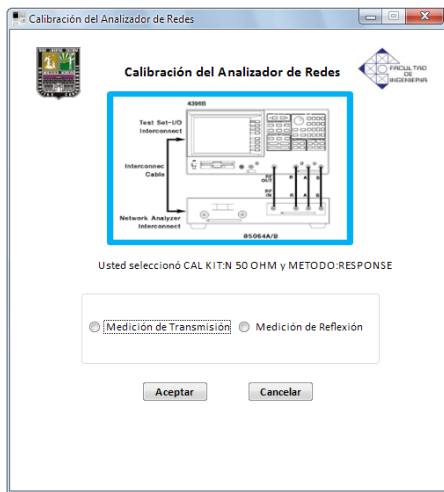
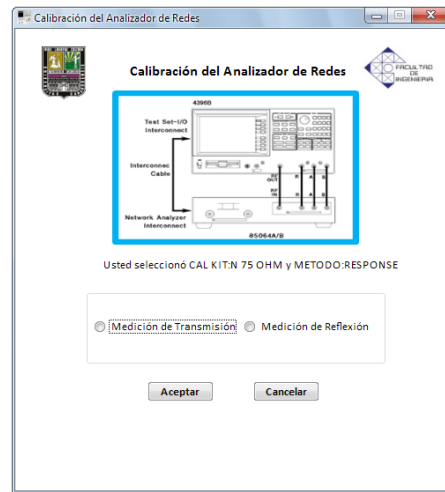


Figura 4.17: Ventana de Calibración para medición de reflexión usando método RESPONSE CAL KIT 7 mm o 3.5 mm.

2. En caso de seleccionar CAL KIT N 50 Ω o N 75 Ω y el método de calibración RESPONSE, la secuencia del proceso de calibración inicia con la Figura 4.18 para seleccionar el tipo de medición a realizar.



(a)



(b)

Figura 4.18: Selección del tipo de medición usando método de calibración RESPONSE: a) CAL KIT:N 50Ω ; b) CAL KIT:N 75Ω.

Si se seleccionó “Medición de Transmisión” se mostrara Figura 4.19.



Figura 4.19: Ventana de Calibración para medición de transmisión usando método RESPONSE y CAL KIT N 50Ω o N 75Ω.

En caso contrario si la selección es “Medición de Reflexión” se mostrara Figura 4.20 para especificar el tipo de conector que se utilizara.

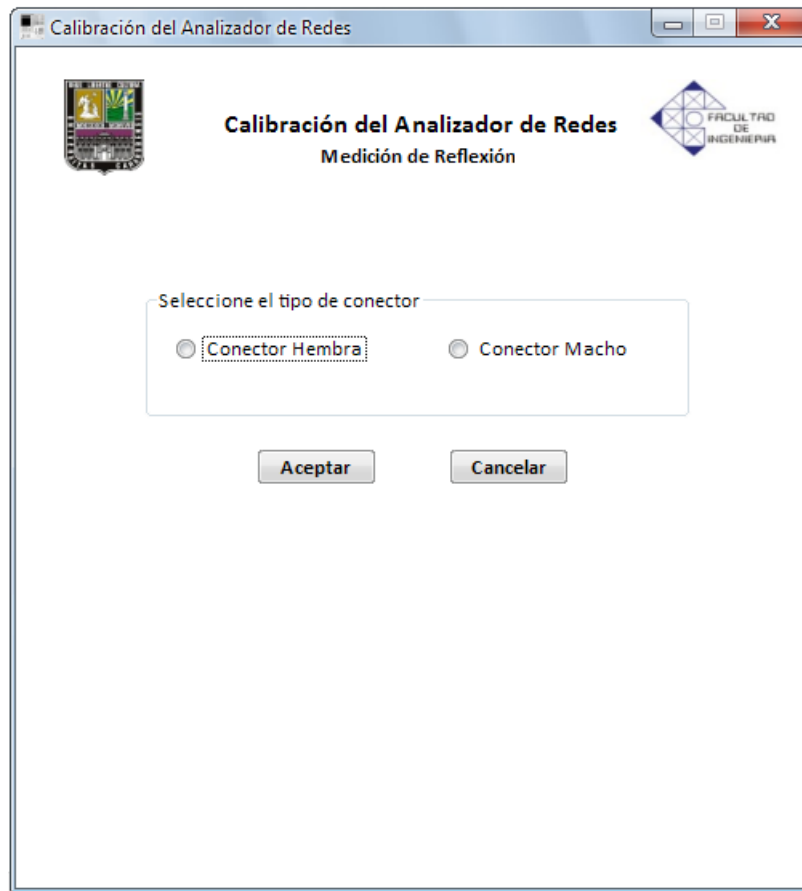


Figura 4.20: Ventana para especificar el tipo de conector para medición de reflexión Método RESPONSE y CAL KIT N 50 Ω o N 75 Ω .

Si se selecciona la opción “Conector Hembra” se muestra Figura [4.21](#).

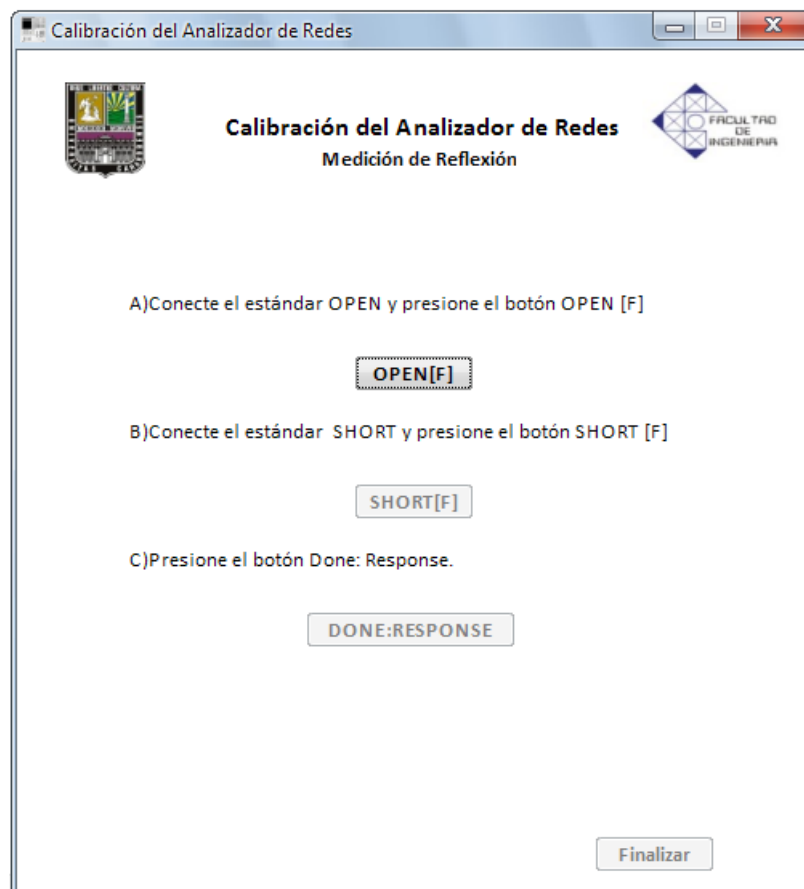


Figura 4.21: Ventana para medición de reflexión usando Conector Hembra, Método RESPONSE y CAL KIT N 50Ω o N 75Ω

Y si se selecciona la opción “Conector Macho” se muestra Figura 4.22.

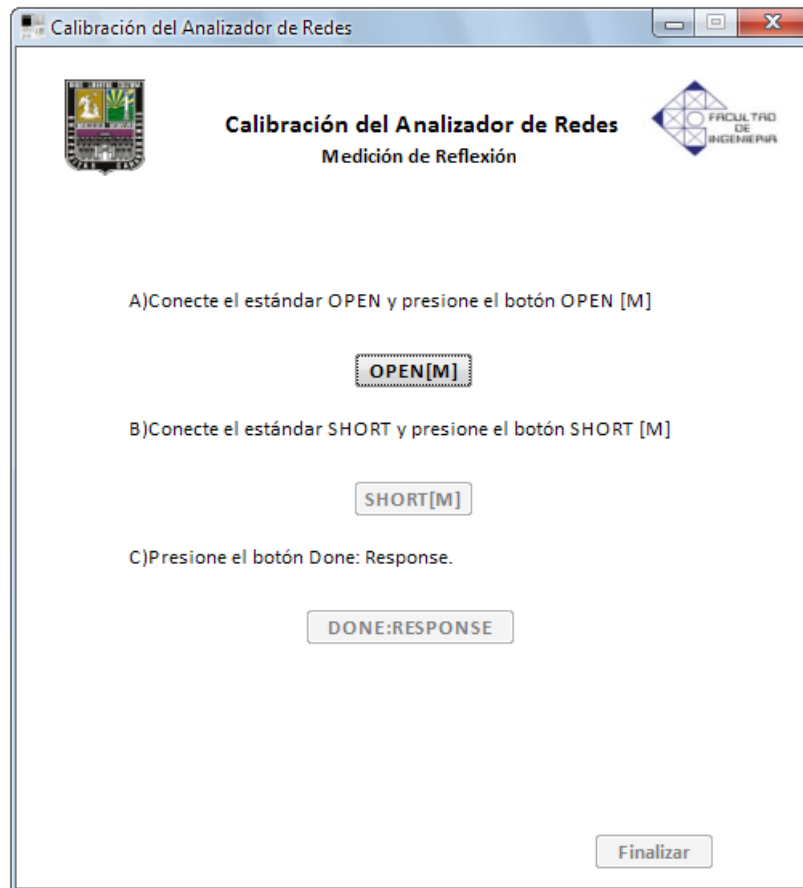
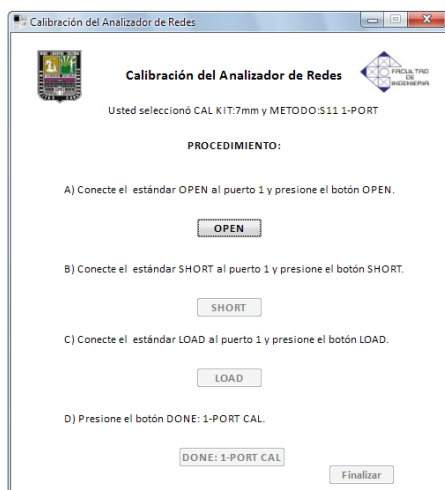
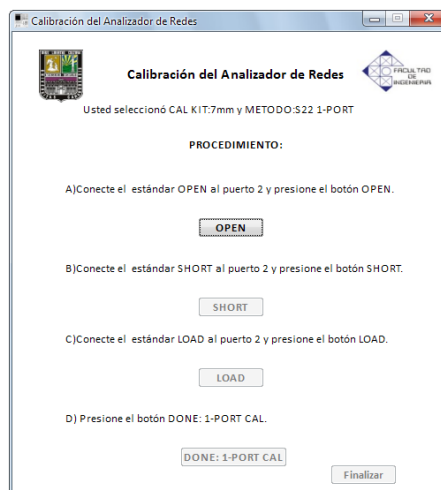


Figura 4.22: Ventana para medición de reflexión usando Conector Macho, Método RESPONSE y CAL KIT N 50 Ω o N 75 Ω

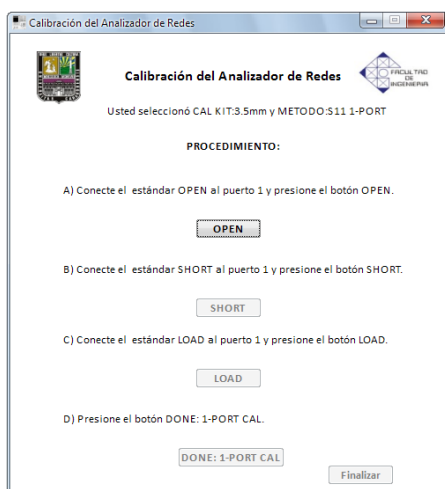
3. Si la selección es CAL KIT 7mm o 3.5mm y el método de calibración es S11 1-Port o S22 1-Port, la secuencia del proceso de calibración se muestra en la Figura 4.23.



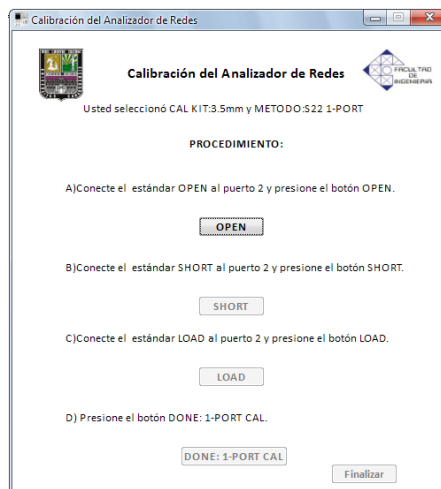
(a)



(b)



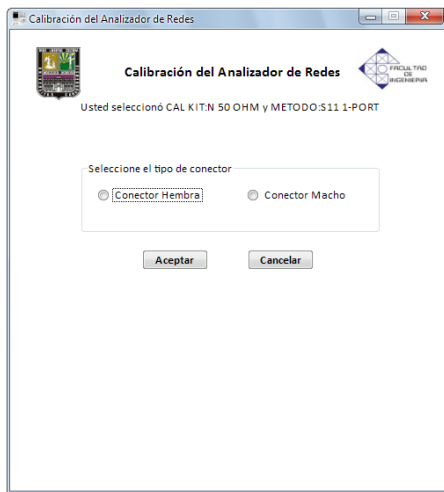
(c)



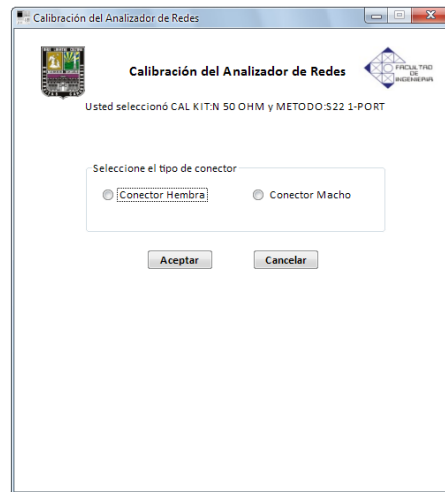
(d)

Figura 4.23: Proceso de calibración: a) Método S11 1-Port CAL KIT:7 mm ; b) Método S22 1-Port CAL KIT:7 mm ; c) Método S11 1-Port CAL KIT:3.5 mm ; d) Método S22 1-Port CAL KIT:3.5 mm.

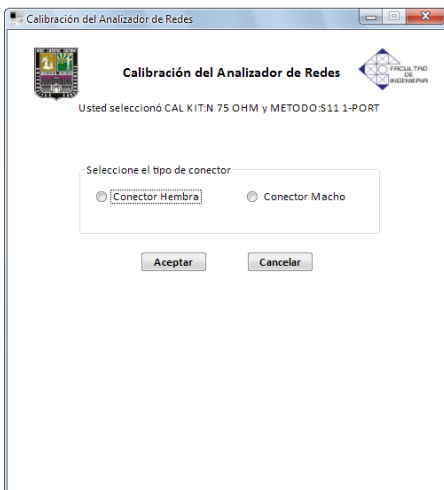
4. Selección CAL KIT N 50 Ω o N 75 Ω y método de calibración S11 1-Port o S22 1-Port, la secuencia del proceso de calibración inicia con la Figura 4.24 para especificar el tipo de conector que se utilizara.



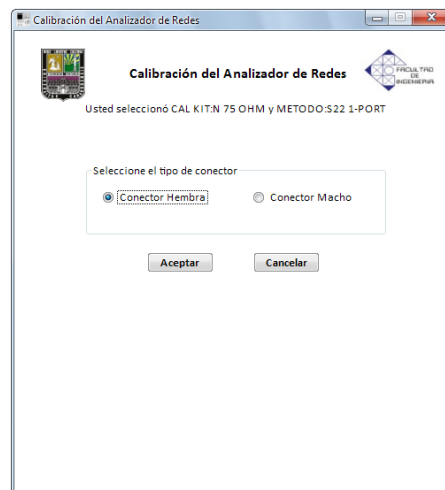
(a)



(b)



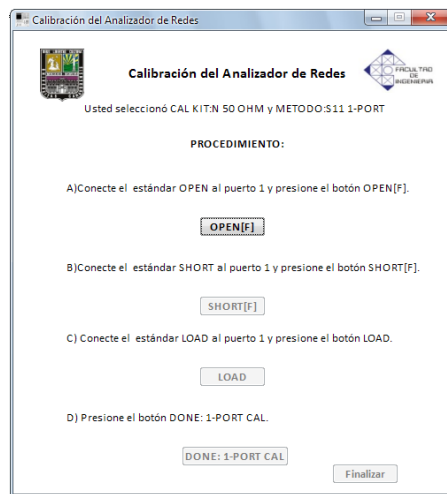
(c)



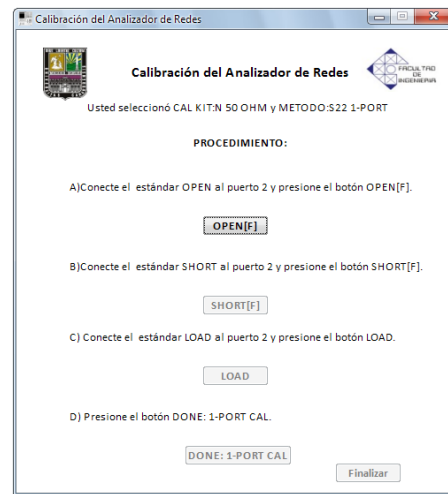
(d)

Figura 4.24: Especificación de conexión: a) Método S11 1-Port CAL KIT:N 50Ω ; b) Método S22 1-Port CAL KIT:N 50Ω ; c) Método S11 1-Port CAL KIT:N 75Ω ; d) Método S22 1-Port CAL KIT:N 75Ω .

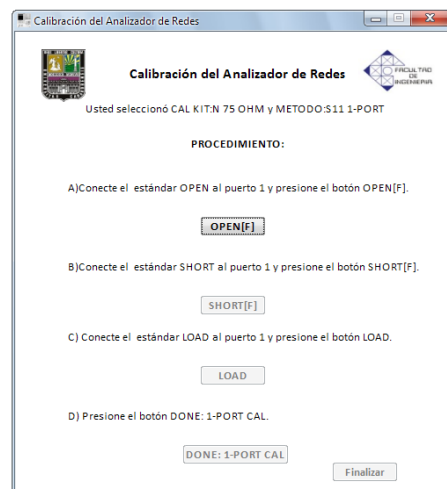
Si la opción seleccionada es “Conector Hembra” se muestra Figura 4.25.



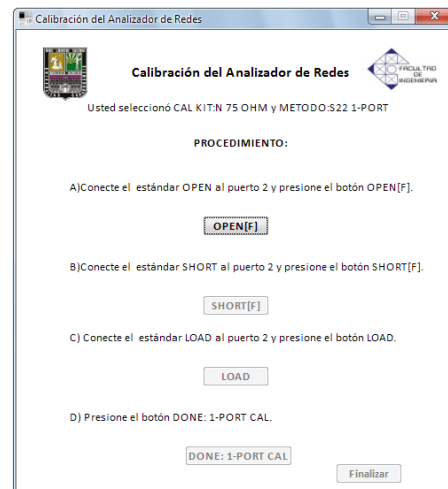
(a)



(b)



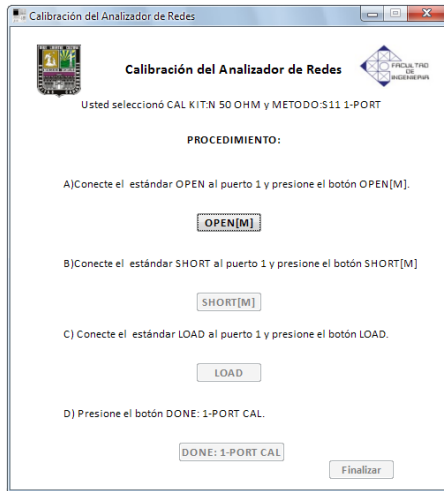
(c)



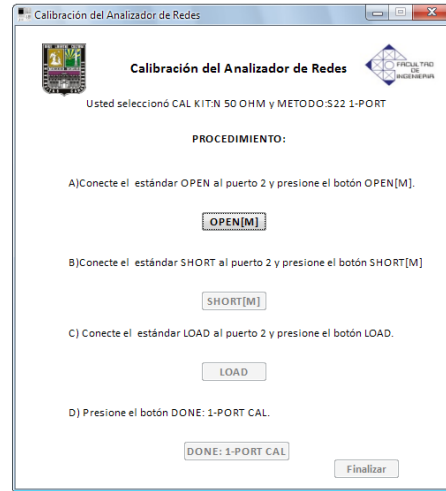
(d)

Figura 4.25: Procedimiento de calibración con conector hembra: a) Método S11 1-Port CAL KIT:N 50Ω ; b) Método S22 1-Port CAL KIT:N 50Ω ; c) Método S11 1-Port CAL KIT:N 75Ω ; d) Método S22 1-Port CAL KIT:N 75Ω .

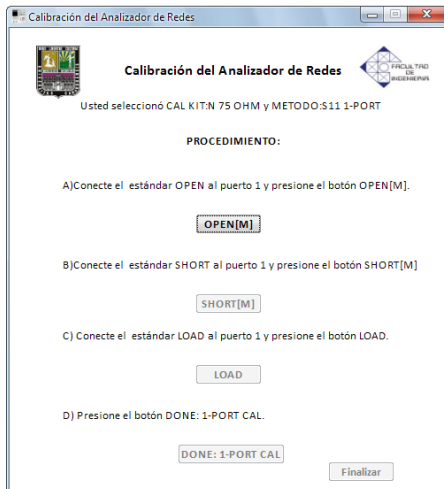
Si la opción seleccionada es “Conector Macho” se muestra Figura 4.26.



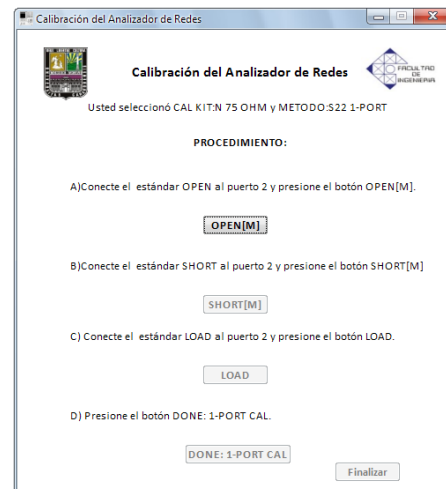
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.26: Procedimiento de calibración con conector macho: a) Método S11 1-Port CAL KIT:N 50 Ω ; b) Método S22 1-Port CAL KIT:N 50 Ω ; c) Método S11 1-Port CAL KIT:N 75 Ω ; d) Método S22 1-Port CAL KIT:N 75 Ω .

5. Selección CAL KIT 7mm o 3.5mm y método de calibración FULL 2-Port, la secuencia inicia con la calibración del puerto 1 para realizar mediciones de reflexión Figura 4.27.

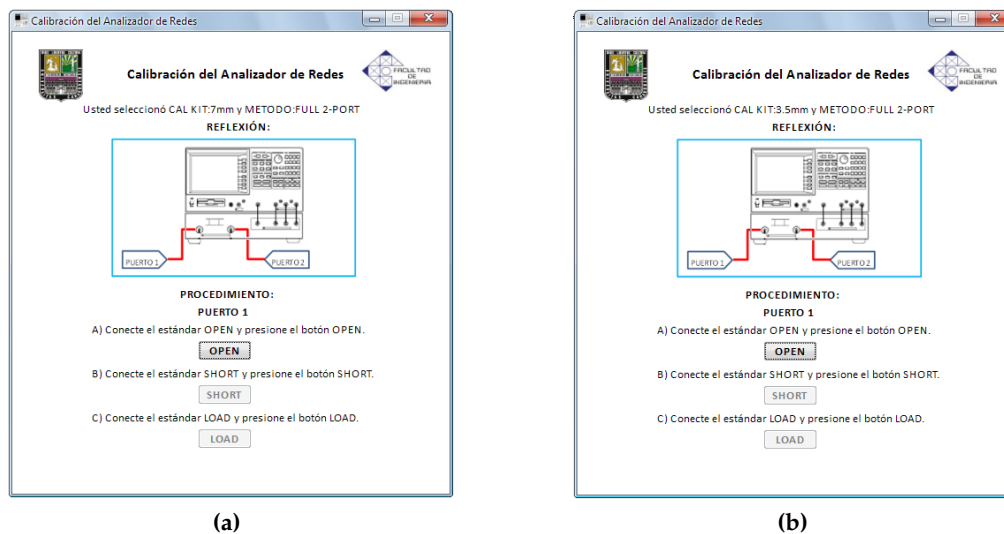


Figura 4.27: Procedimiento de calibración al puerto 1 para medición de reflexión, Método FULL 2-Port.

Seguido se muestra el proceso de calibración del puerto 2 para realizar mediciones de reflexión Figura 4.28.

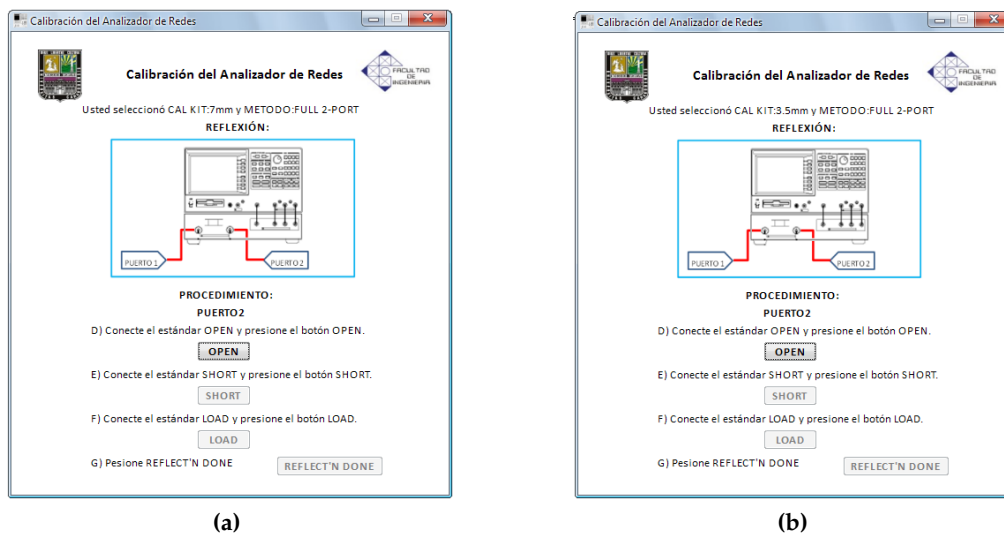
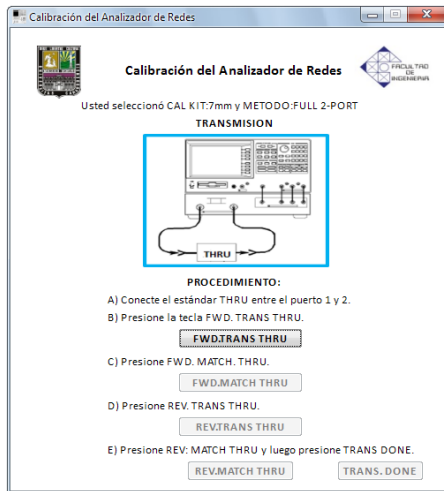


Figura 4.28: Procedimiento de calibración al puerto 2 para medición de reflexión, Método FULL 2-Port.

Luego de realizar los procedimientos de calibración para la medición de reflexión sigue el procedimiento de calibración para realizar la medición de transmisión Figura 4.29.



(a)



(b)

Figura 4.29: Procedimiento de calibración para medición de transmisión, Método FULL 2-Port.

Seguido se muestra en la ventana la opción para elegir si se desea o no realizar el proceso de isolation Figura 4.30.

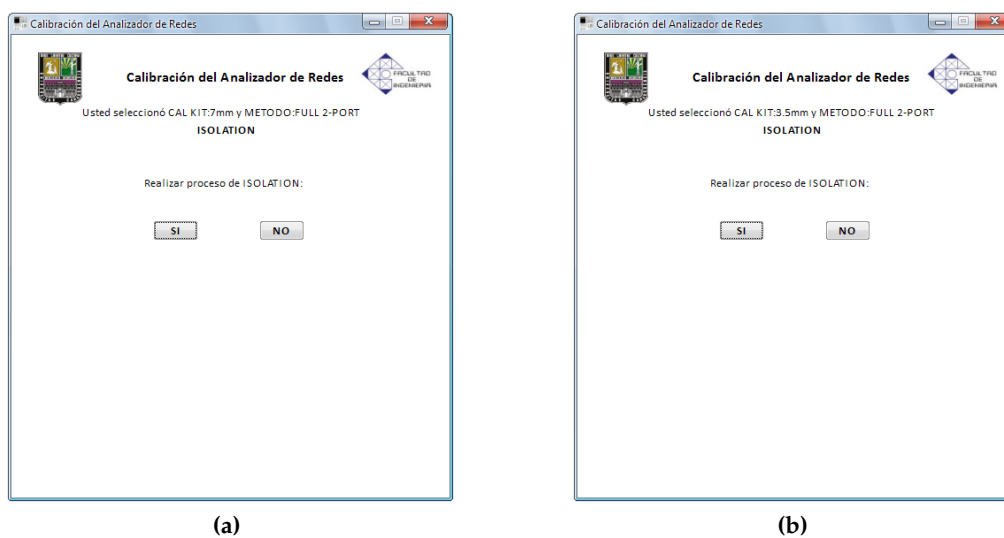


Figura 4.30: Elección de proceso de isolation, Método FULL 2-Port.

Al seleccionar la opción “SI” se muestra Figura 4.31.

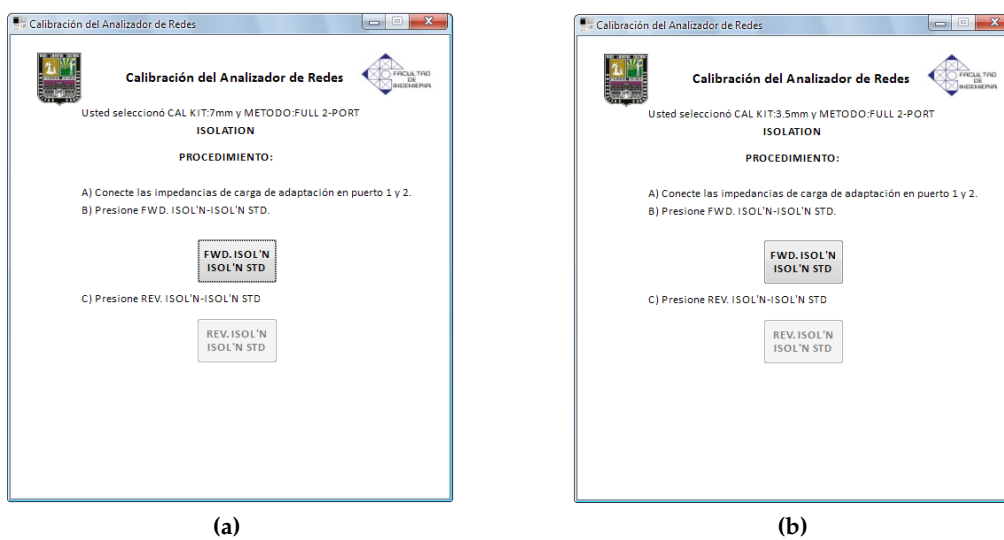


Figura 4.31: Procedimiento de isolation, Método FULL 2-Port.

Por último se selecciona Figura 4.32 para completar el proceso de isolation y de calibración.

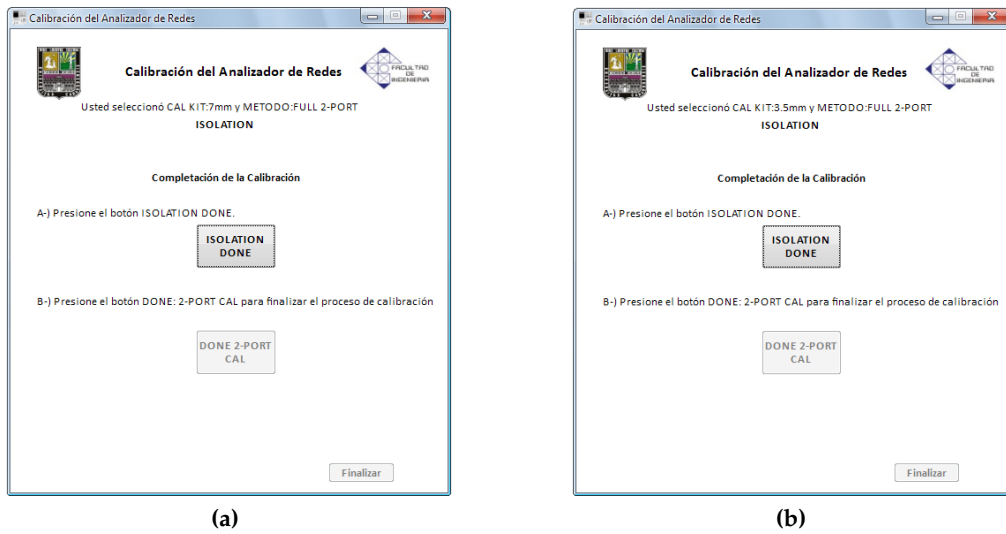


Figura 4.32: Culminación del procedimiento de isolation y calibración, Método FULL 2-Port.

Si la opción seleccionada es “NO”, se muestra la Figura 4.33 y se finaliza el proceso de calibración.

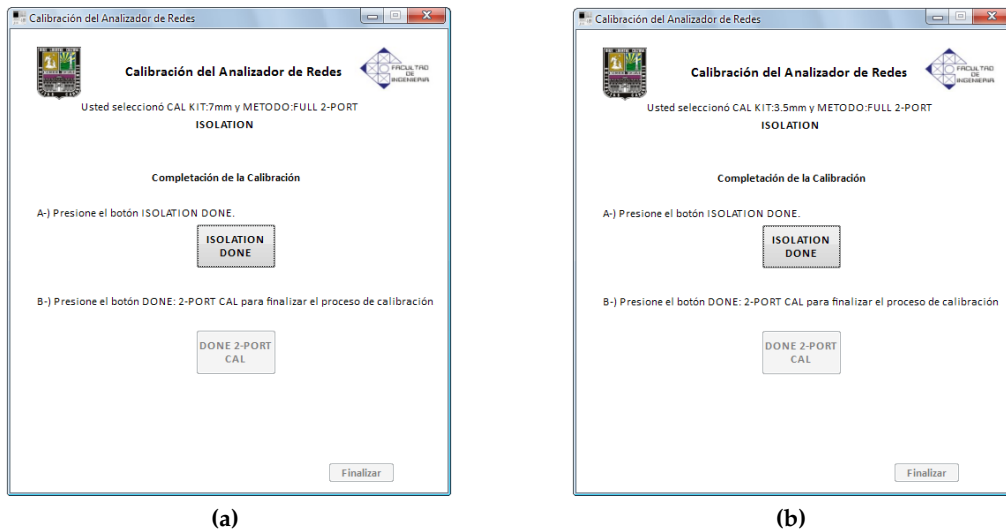


Figura 4.33: Culminación del procedimiento de calibración, Método FULL 2-Port.

6. Selección CALKIT N50 o N75 Ω y método de calibración FULL 2-Port, la secuencia inicia con la Figura 4.34 para especificar el tipo de conector que se utilizara.

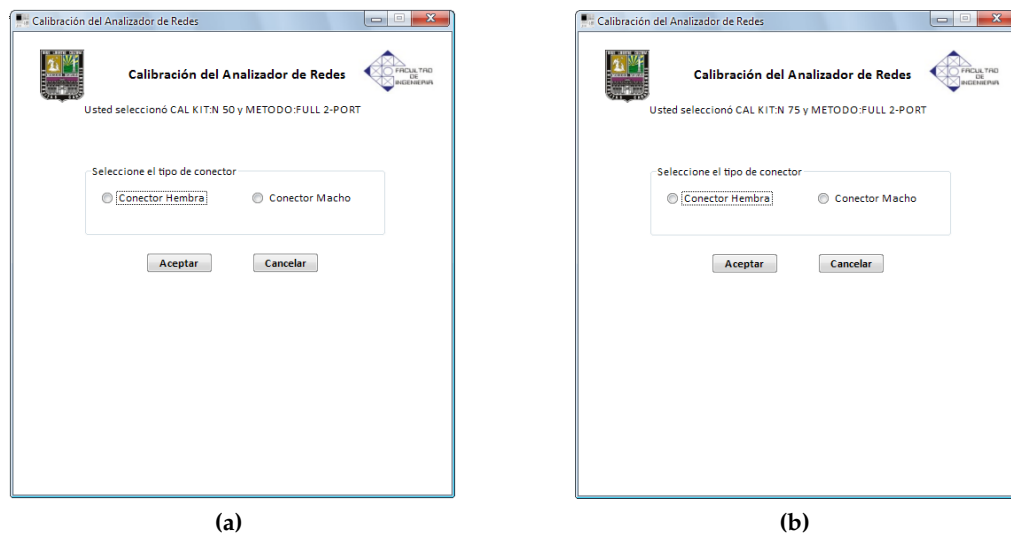
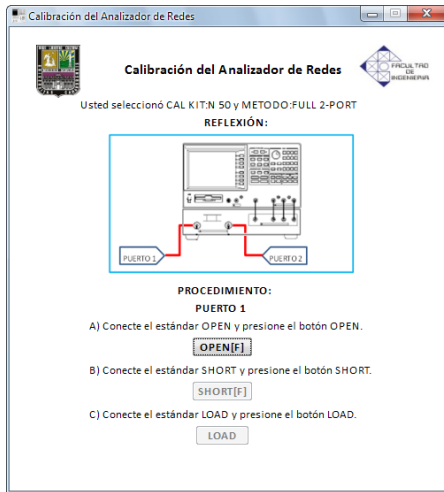
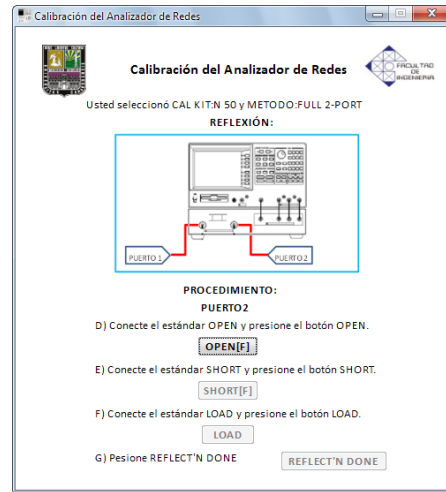


Figura 4.34: Especificación de conexión: a) Método FULL 2-Port CAL KIT N50 Ω ; b) Método FULL 2-Port CAL KIT N75 Ω .

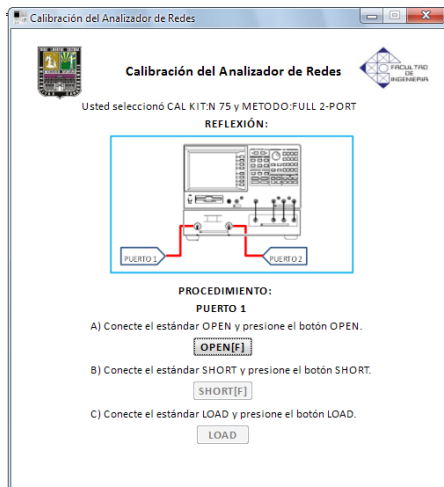
Si la opción seleccionada es Conector Hembra se muestra Figura 4.35.



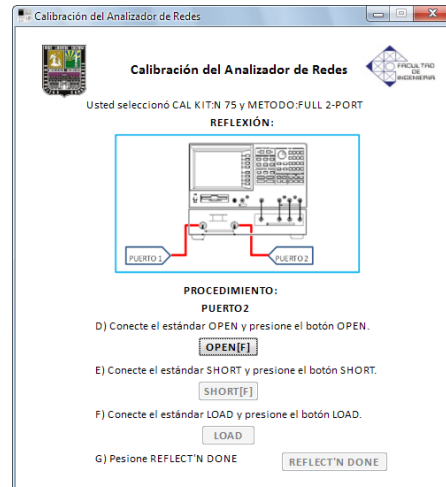
(a)



(b)



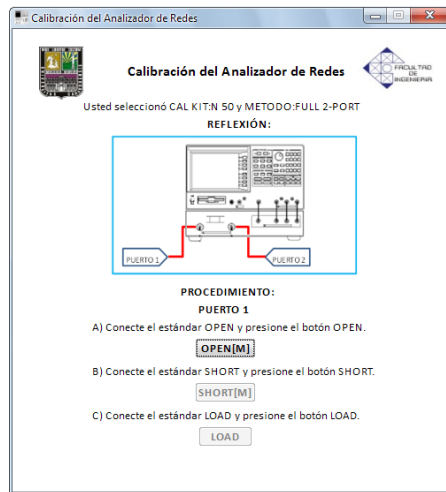
(c)



(d)

Figura 4.35: Procedimiento de calibración con conector hembra: a) Método FULL 2-Port CAL KIT:N50Ω Puerto 1 ; b) Método FULL 2-Port CAL KIT:N50Ω Puerto 2 ; c) Método FULL 2-Port CAL KIT:N75Ω Puerto 1 ; d) Método FULL 2-Port CAL KIT:N75Ω Puerto 2.

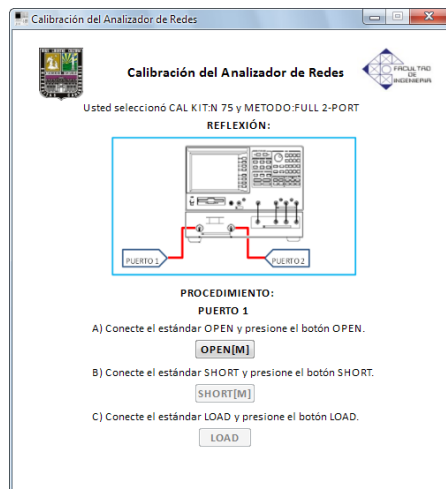
Si la opción seleccionada es Conector Macho se muestra Figura 4.36.



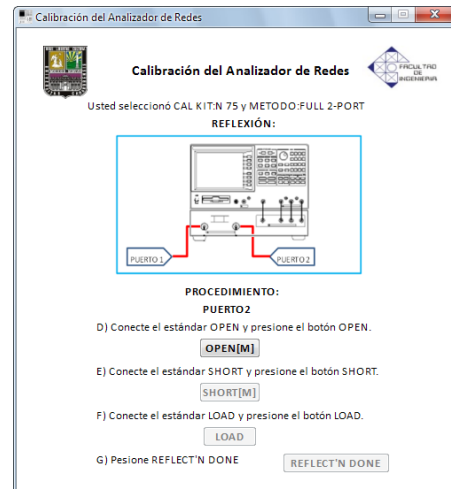
(a)



(b)



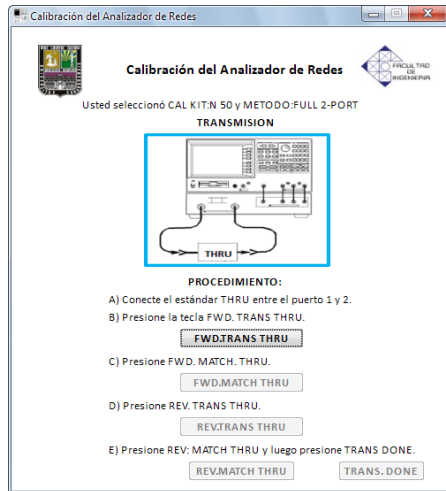
(c)



(d)

Figura 4.36: Procedimiento de calibración con conector macho: a) Método FULL 2-Port CAL KIT:N50Ω Puerto 1 ; b) Método FULL 2-Port CAL KIT:N50Ω Puerto 2 ; c) Método FULL 2-Port CAL KIT:N75Ω Puerto 1 ; d) Método FULL 2-Port CAL KIT:N75Ω Puerto 2.

Seguido debe realizarse el procedimiento de calibración para la medición de transmisión Figura 4.37.



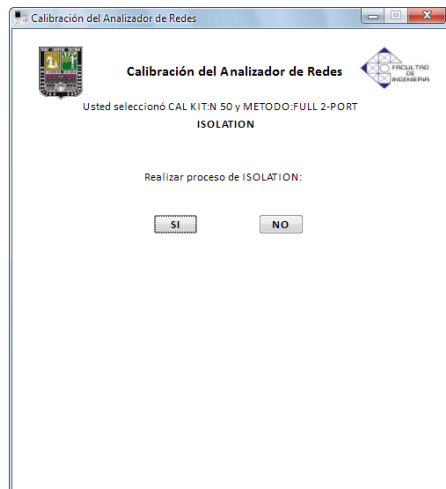
(a)



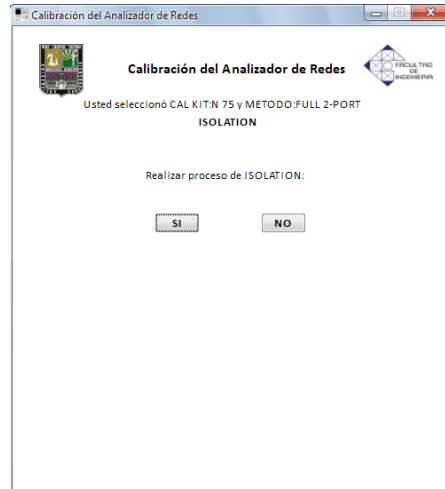
(b)

Figura 4.37: Especificación de conexión: a) Método FULL 2-Port CAL KIT N50 Ω ; b) Método FULL 2-Port CAL KIT N75 Ω .

Seguido se muestra en la ventana la opción para elegir si se desea o no realizar el proceso de isolation [Figura 4.38](#).



(a)



(b)

Figura 4.38: Especificación de conexión: a) Método FULL 2-Port CAL KIT N50 Ω Isolation; b) Método FULL 2-Port CAL KIT N75 Ω Isolation.

Al seleccionar la opción "SI" se muestra Figura 4.39.

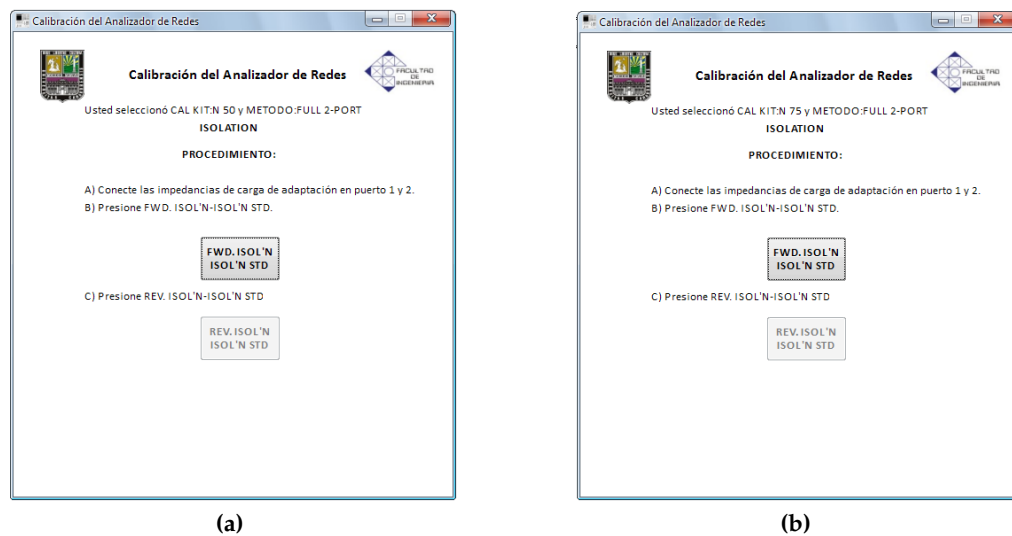


Figura 4.39: Procedimiento de isolation, Método FULL 2-Port.

Si la opción seleccionada es "NO", y para completar el proceso de isolation se muestra la ventana de la Figura 4.40.

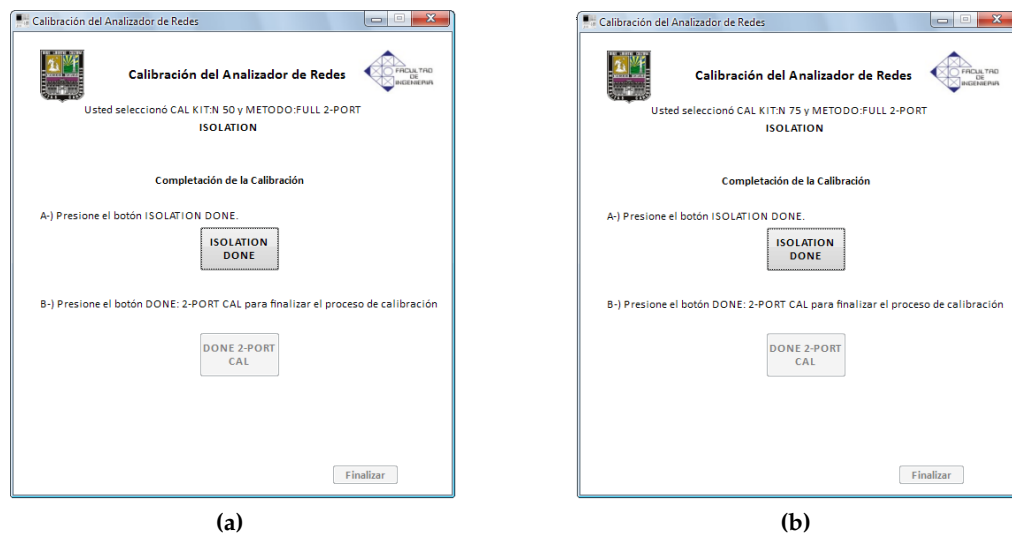


Figura 4.40: Completación del procedimiento de isolation, Método FULL 2-Port.

- Ventana de Advertencia Figura 4.41, en caso de producirse una desconexión o conexión errónea de la interfaz GPIB-USB entre el instrumento-computador, se mostrara una ventana que le indica al usuario que debe verificar dicha conexión, y si el problema persistiendo deberá reiniciar la aplicación.

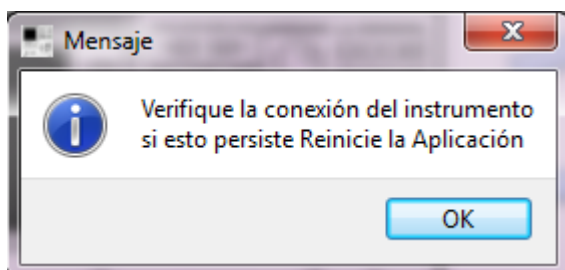


Figura 4.41: Ventana de Advertencia.

4.2. Generación de Gráficos

Cada una de las ventanas “Módulo Analizador de Espectros” Figura 4.4, “Módulo Analizador de Redes” Figura 4.6 y “Módulo Analizador de Impedancias” Figura 4.5 posee un botón “Graficar” que al ser seleccionado se despliega una ventana que genera el grafico de la pantalla del instrumento con un autoscale incluido.

Cuando el instrumento trabaja en el modo Analizador de Espectros los gráficos son de tipo lineal, haciéndose un seguimiento de valores de amplitud en un rango de frecuencia. En el eje X se representan los valores de frecuencia con unidad de (Hz), mientras que en el eje Y se representan los valores de amplitud con unidades de (dBm, dBv, dBuV, W y V) Figura 4.42.

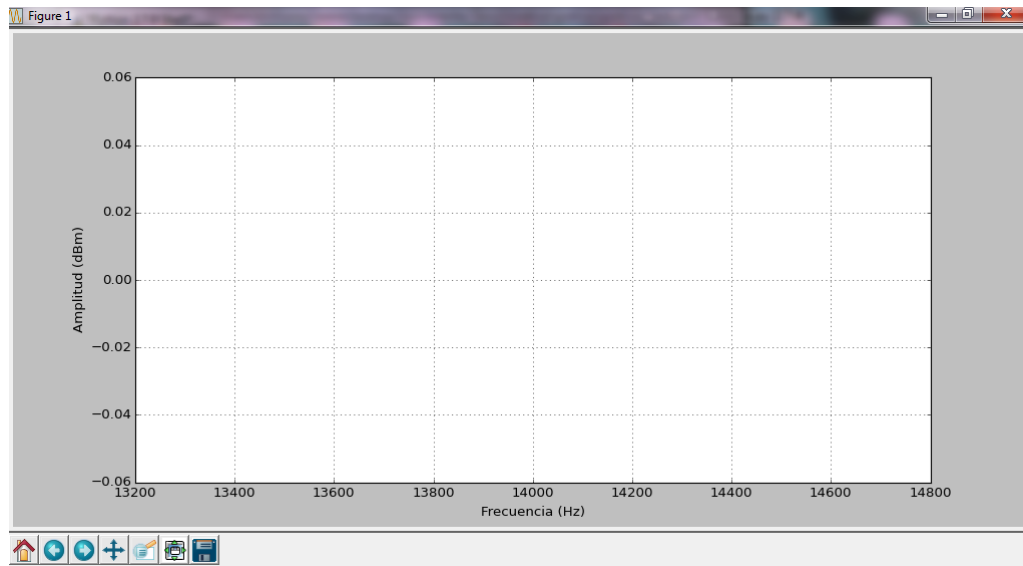


Figura 4.42: Visor de gráficos tipo lineal del Analizador de Espectros.

En el modo Analizador de Impedancias los gráficos pueden ser de tipo lineal, logarítmico en Y, polar, carta de Smith y carta de Admitancias.

- En los gráficos tipo lineal Figura 4.43, la amplitud está representada en el eje Y, mientras que en el eje X se representa la frecuencia en (Hz). Las unidades del eje Y varían de acuerdo al tipo de medición que se esté realizando como puede ser: Magnitud de impedancia Z (Ω), Fase de impedancia Z ($^\circ$), Resistencia R (Ω), Reactancia X (Ω), Magnitud de admitancia Y (S), Fase de admitancia Y ($^\circ$), Conductancia G (S), Susceptancia B (S), Magnitud de coeficiente de reflexión (Γ), Fase del coeficiente de reflexión ($^\circ$), Parte real del coeficiente de reflexión, Parte imaginaria del coeficiente de reflexión, Capacitancia paralela C_p (F), Capacitancia serie C_s (F), Inductancia paralela L_p (H), Inductancia serie L_s (H), Factor D y Factor Q.

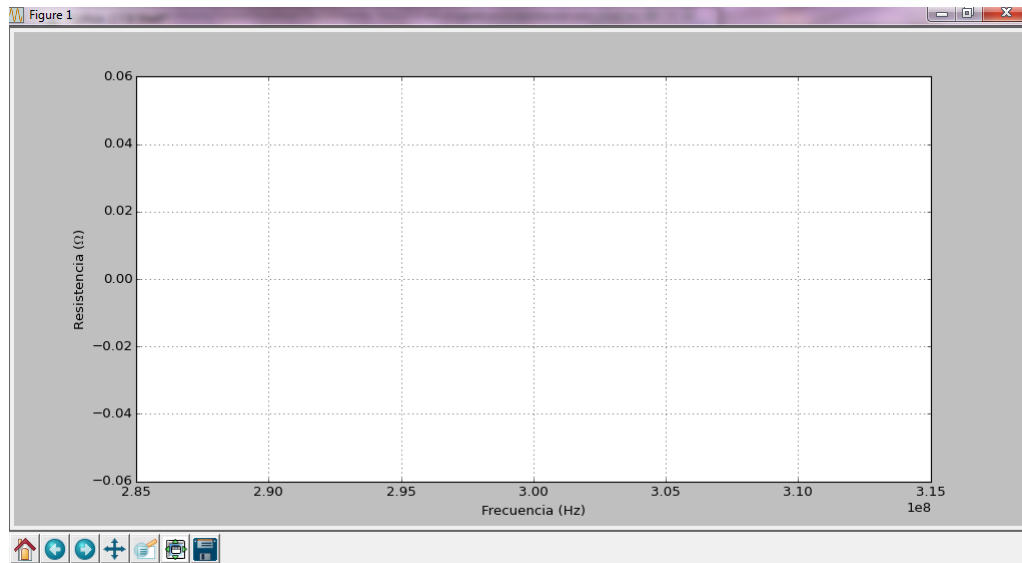


Figura 4.43: Visor de gráficos tipo lineal del Analizador de Impedancias.

También existen los gráficos planos complejos, que son del tipo lineal pero a diferencia de los descritos anteriormente en el eje Y se representa la parte imaginaria y en el eje X la parte real de los datos que son números complejos.

- Los gráficos tipo logarítmico Y Figura 4.44, son parecidos a los tipo lineal a diferencia que en el eje Y utilizan una escala logarítmica, lo cual hace manejable valores de gran amplitud.

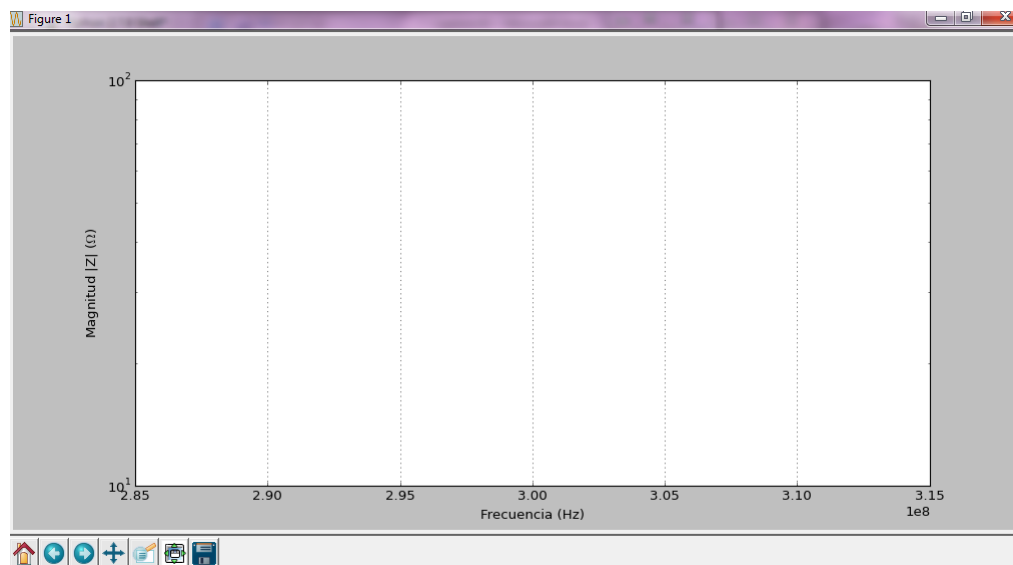


Figura 4.44: Visor de gráficos tipo logarítmico del Analizador de Impedancias.

- Los gráficos tipo polar Figura 4.45, muestran los datos agrupados por categoría en un círculo de 360°. Los datos se encuentran representados por la longitud de los puntos con relación al centro del círculo, mientras más distante se encuentre un punto del centro, significa que su valor es mayor. Este tipo de gráficos se utiliza para representar mediciones de $|Z|$, $|Y|$ y $|\Gamma|$.

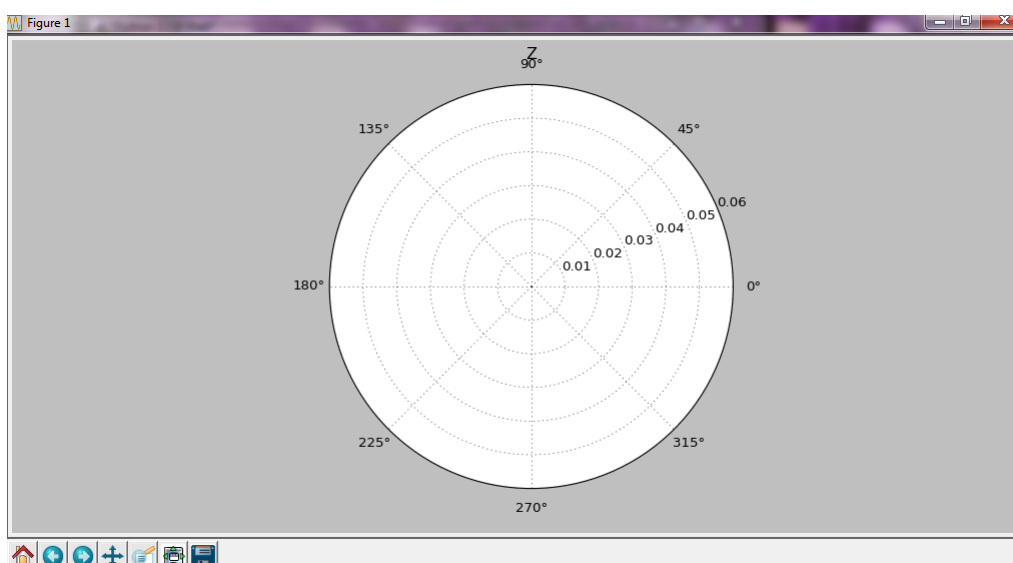


Figura 4.45: Visor de gráficos tipo polar del Analizador de Impedancias.

- Los gráficos del tipo carta de Smith Figura 4.46, son representaciones en un diagrama polar que se encuentra conformado por círculos de resistencia y reactancias constantes. Los valores de los círculos de resistencia se encuentran representados por las etiquetas del eje central de la circunferencia de mayor diámetro. Mientras que los valores de los círculos de reactancia se encuentran ubicados en la parte externa de la circunferencia, en el hemisferio superior se encuentran los valores de reactancia positiva (inductiva), mientras que en el hemisferio inferior se encuentran los valores de reactancia negativa (capacitiva). Este tipo de grafico es utilizado para la representación de mediciones de impedancia (Z), admitancia (Y) y coeficiente de reflexión (Γ).

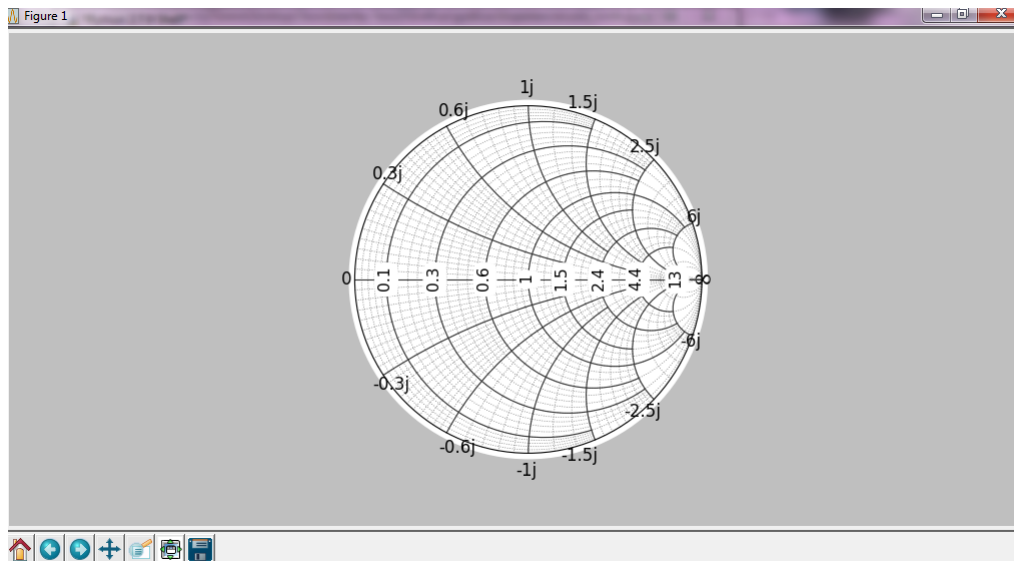


Figura 4.46: Visor de gráficos tipo carta de Smith del Analizador de Impedancias.

- Gráficos del tipo carta de Admitancia Figura 4.47, esta carta es la misma de Smith pero rotada 180° . Es utilizada para graficar mediciones de impedancia (Z), admitancia (Y) y coeficiente de reflexión (Γ). Para este caso en el hemisferio superior se encuentran los valores de reactancia negativa (capacitiva), mientras que en el hemisferio inferior se encuentran los valores de reactancia positiva (inductiva).

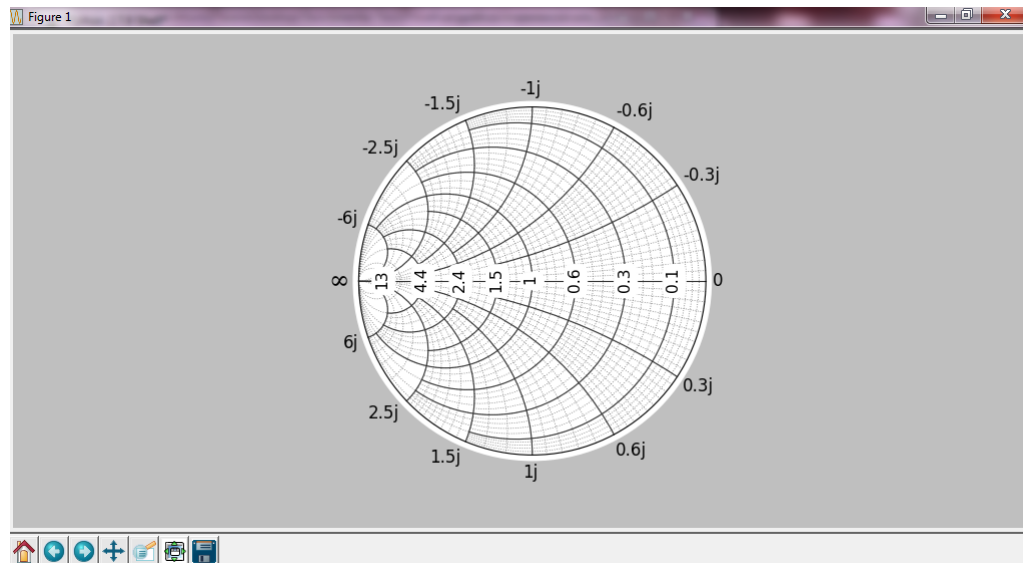


Figura 4.47: Visor de gráficos tipo carta de Admitancia del Analizador de Impedancias.

El modo Analizador de Redes presenta los mismos tipos de gráficos mostrados en el “Modo Analizador de Impedancias”, la diferencia existente son los tipos de mediciones que se pueden realizar que son parámetros de reflexión y transmisión, también conocidos como parámetros de dispersión (S_{11} , S_{22} , S_{12} , S_{21} ...). En los gráficos tipo carta de Smith y Admitancia hay que tomar en cuenta que independientemente del tipo de medición que se esté realizando, la impedancia de la gráfica que se muestra se calcula mediante la Ecuación 4.1.

$$Z = Z_o \frac{1 + S}{1 - S} \quad (4.1)$$

En la parte inferior de la ventana que genera los gráficos se encuentra una barra de herramientas que posee las siguientes funciones Figura 4.48:



Figura 4.48: Barra de Herramientas.

1. “Home”, retorna la gráfica a sus configuraciones originales deshaciendo operaciones de zoom y paneo.
2. “Back-Forwards”, permite retroceder o avanzar en las operaciones de zoom y paneo, para poder navegar entre las vistas generadas por dichas operaciones.
3. “Paneo”, permite mover el grafico en (x, y).
4. “Zoom”, permite ampliar zonas de la figura para poderlas ver con más detalle.
5. “Configure subplots”, esta herramienta permite configurar manualmente parámetros de las gráficas como altura, anchura y espacios laterales.
6. “Save”, permite asignar el nombre y la ubicación en donde se almacenaran las gráficas.

Si en el instrumento se encuentran los “Markers” activos al momento de la generación de las gráficas estos también aparecerán junto con una leyenda que contiene información referente a la ubicación en la que fue colocado el marker Figura 4.49.

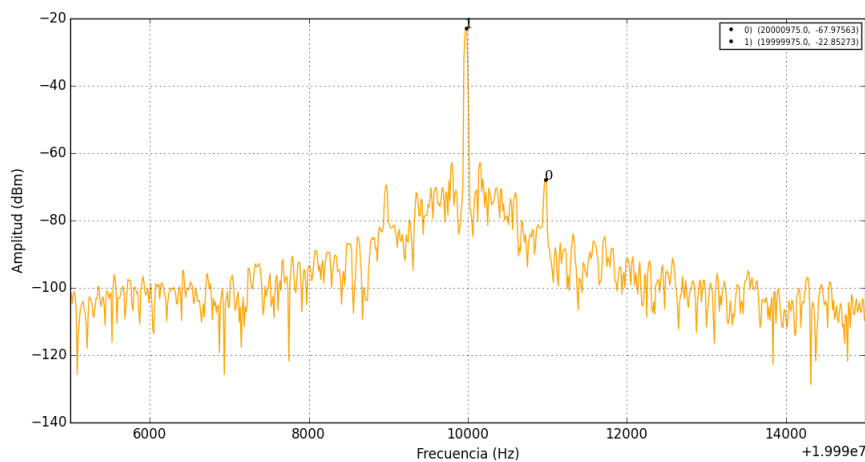


Figura 4.49: Barra de Herramientas.

4.3. Adquisición de Data

Las ventanas “Módulo Analizador de Espectros” Figura 4.4, “Módulo Analizador de Redes” Figura 4.6 y “Módulo Analizador de Impedancias” Figura 4.5 poseen un botón “Guardar Data” que al ser seleccionado se despliega una ventana que permite asignar el nombre del archivo y la ubicación donde se desea almacenar Figura 4.50. Este archivo contiene fecha y hora en la que fue tomada la medición, el canal utilizado para realizar la medición en el instrumento y los valores organizados en forma de columnas, con un total de 801 puntos de información.

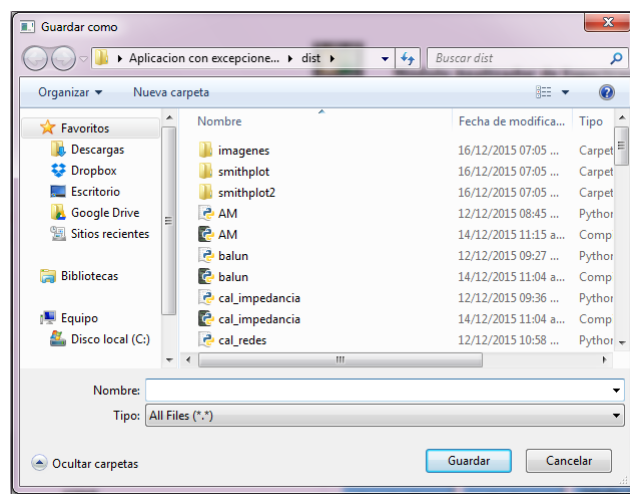


Figura 4.50: Guardar Data.

Para la modalidad de analizador de espectros la información se encuentra organizada en 2 columnas. La primera columna indica los valores de frecuencia en (Hz), mientras que en la segunda columna se encuentran los valores de amplitud Figura 4.51.

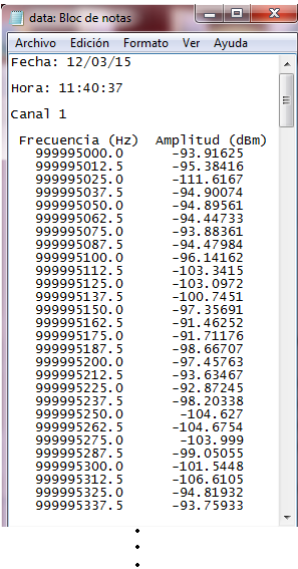


Figura 4.51: Fragmento de data del Analizador de Espectros.

Para el caso de las modalidades analizador de redes e impedancia la información puede estar organizada en 2 o 3 columnas. Las mediciones en estas modalidades pueden ser datos en formato de números complejos, conformados por una parte real y una parte imaginaria, por lo cual están organizados en 3 columnas. La primera columna indica los valores de frecuencia (Hz), la segunda columna la parte real de los datos y en la tercera columna la parte imaginaria de los datos [Figura 4.52](#).

Frecuencia (Hz)	Parte Re. (ohm)	Parte Imag. (ohm)
100000.0	25.89405	11.24571
2349875.0	47.16785	2.150102
4599750.0	47.59437	0.9954228
6849625.0	44.90402	0.5774963
9099500.0	47.67459	0.3684919
11349375.0	47.7369	-0.06889565
13599250.0	47.48225	-0.3074341
15849125.0	47.4632	-0.5599214
18099000.0	47.44992	-0.6364461
20348875.0	47.32563	-0.6541301
22598750.0	47.40653	-0.5981773
24848625.0	47.75856	-0.8824934
27098500.0	46.56778	-0.9734505
29348375.0	47.88988	-0.9707832
31598250.0	46.4021	-1.038699
33848125.0	47.72482	-0.939833
36098000.0	48.16936	-1.024476
38347875.0	47.79192	-1.000027
40597750.0	47.68425	-0.9481102
42847625.0	47.55037	-0.9873732
45097500.0	47.40681	-1.098537
47347375.0	47.35484	-1.222249
49597250.0	47.25615	-1.060774
51847125.0	47.15054	-1.13089
54097000.0	47.12733	-1.103979
56346875.0	47.04851	-1.093387
58596750.0	46.91244	-1.261827

⋮

Figura 4.52: Fragmento de data del Analizador de Impedancias.

Para visualizar el archivo generado al seleccionar la opción “Guardar Data” es necesario contar con editores de texto como por ejemplo Bloc de notas, Microsoft Word y WordPad.

4.4. Ejecutable de la aplicación

Para la distribución de la aplicación, se creó una carpeta tal como se ve en la Figura 4.53 conformada por los archivos “dist”, “Controladores” y “Manual de Instalación”.

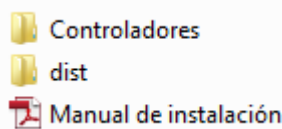


Figura 4.53: Archivos de la aplicación.

En la carpeta “dist” se encuentra el archivo ejecutable, que da inicio a la aplicación Figura 4.54. Además se encuentra una carpeta “archivos” que contiene la documentación de la aplicación Anexo A y Anexo B, la carpeta “imágenes” que

contiene las imágenes que forman parte de la interfaz gráfica de la aplicación así como también los archivos .ui. Para el correcto funcionamiento de la aplicación se recomienda que ninguno de estos archivos sea eliminado.

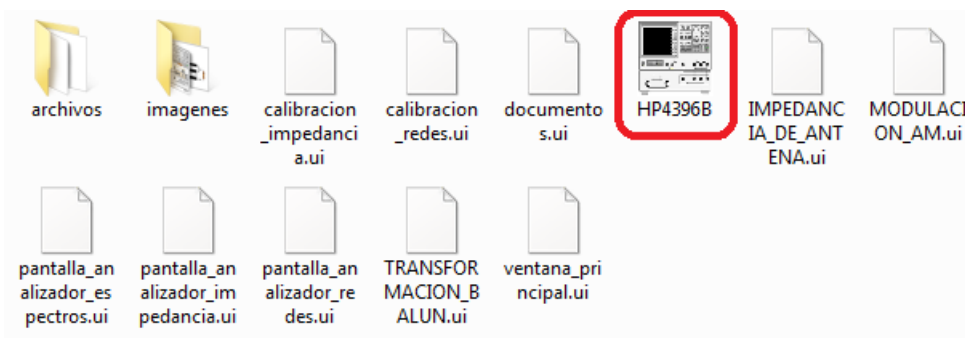


Figura 4.54: Archivo Ejecutable.

En la carpeta “Controladores” los driver que deben ser instalados para que funcione el cable USB-GPIB Agilent 82357B [Figura 4.55](#).

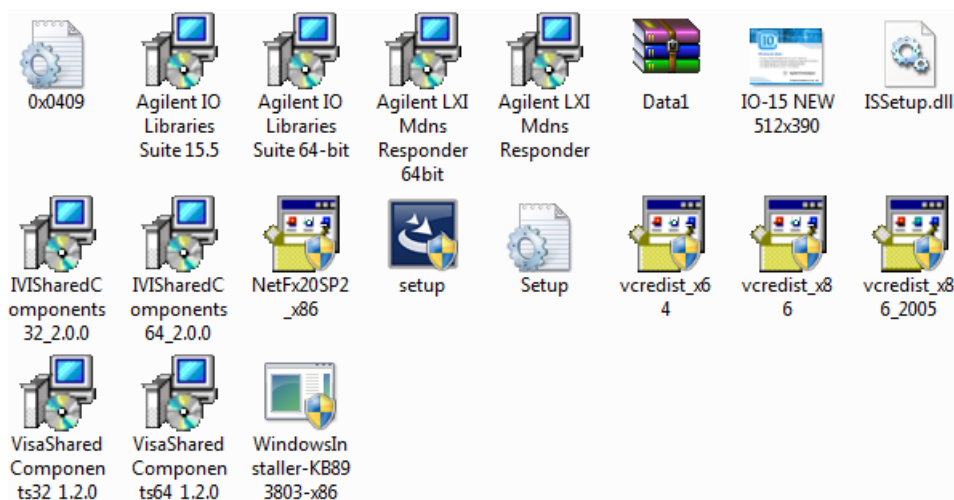


Figura 4.55: Drivers del cable USB-GPIB Agilent 82357B.

Y en el archivo pdf “Manual de instalación” se encuentra detallado cada uno de los pasos que deben seguirse para realizar una correcta instalación de la aplicación, Anexo C.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Se cumplió con el objetivo planteado en el perfil del proyecto que consistía en diseñar una aplicación que permitiera controlar, analizar y adquirir datos del Analizador HP 4396B.

- Se ha analizado y comprendido el principio de funcionamiento del bus GPIB así como los protocolos estándares IEEE necesarios para establecer comunicación entre computador-instrumento.
- La comunicación GPIB se debe a comandos que son enviados desde el computador a través del accesorio Agilent 82357B GPIB-USB hacia el Analizador HP 4396B. Estos comandos se pueden encontrar en el manual de programación del instrumento.
- El lenguaje de programación Python es una buena alternativa para el manejo de instrumentos por medio de comunicación remota gracias a la librería PyVisa. Además de contar con librerías como PyQt que tiene un completo conjunto de elementos gráficos que permite desarrollar interfaces graficas de usuarios que son intuitivas y de fácil manipulación. Otra ventaja que posee este lenguaje de programación es que puede ser ejecutado en múltiples plataformas,

pero debido a los controladores que utiliza el accesorio Agilent 82357B, la aplicación diseñada en este proyecto solo puede ser utilizada desde sistemas operativos Windows.

- El instrumento HP-4396B ahora cuenta con una aplicación que permite controlar de forma remota cada una de las funciones que contiene el equipo, adquirir gráficos y data de las mediciones realizadas dejando como medio alternativo la unidad de disquete, módulos para realizar mediciones de impedancia de una antena, modulación de una señal AM y factor de transformación de un balun, así como también procedimientos de calibración, lo cual ahorra significativamente el tiempo en la toma de datos.

5.2. Recomendaciones

- Así como el Analizador HP-4396B en el laboratorio se encuentran otros instrumentos que poseen el mismo protocolo de comunicación GPIB, por lo cual se recomienda la realización de una red de conmutación de instrumentos que pueda ser manejada por medio de una aplicación, lo cual daría lugar a poder contar con un laboratorio de procesos de mayor automatización, donde las mediciones puedan ser monitoreadas desde un solo lugar.
- Con la finalidad de convertir la aplicación en una herramienta más completa y de ayuda a los estudiantes se recomienda en la sección del Analizador de Redes incluir módulos para realizar mediciones de longitud eléctrica, reflexión en corto y abierto de un cable, ancho de banda de 3 dB, así como también monitoreo del espectro en la red y procedimientos para eliminar extensiones de cables y hacer mediciones de mayor precisión.
- La aplicación puede ser mejorada en cuanto a la introducción de los datos debido a que en esta versión se introducen los datos de frecuencia en Hz, lo cual podría ocasionar problemas al usuario debido a que existe mayor probabilidad de que se equivoque.

- En la parte posterior del analizador HP 4396B se encuentra un puerto del tipo VGA con el nombre “VIDEO” que permite la conexión de un monitor para la visualización de la pantalla del analizador, se recomienda introducir esta herramienta en la aplicación con la finalidad de visualizar las mediciones en tiempo real directamente desde el computador.
- Con la finalidad de mejorar la experiencia de manejo de la aplicación se recomienda que esta sea implementada haciendo uso de un servidor, con el propósito de que la herramienta pueda ser manejada desde un lugar más remoto con la utilización de internet.

Referencias Bibliográficas

- [1] Eddy Luis Pullés Martín. Automatización del proceso de mediciones con el patrón de medición fluke 5790a. *Boletín Científico Técnico INIMET*, 13(2):20–25, Julio 2012. URL <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223026402003>.
- [2] Mario Ernesto Márquez Calderón y Héctor Alejandro Raimundo Cabrejo. Diseño e implementación de una procedimiento de medición de calibración de un multímetro patrón de 8.5 dígitos utilizando la comunicación por el bus gpib y el estándar ieee-488.2. Tesis de grado, Universidad de el Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Eléctrica, San Salvador República de El Salvador, Septiembre 2013. URL <http://ri.ues.edu.sv/4634/1/Dise%C3%B1o%20e%20implementaci%C3%B3n%20de%20un%20procedimiento%20de%20medici%C3%B3n%20de%20calibraci%C3%B3n%20de%20un%20mult%C3%ADmetro%20patr%C3%B3n%20de%208.5%20d%C3%ADgitos%20utilizando%20la%20comunicaci%C3%B3n%20por%20el%20bus%20GPIB%20y%20el%20est%C3%A1ndar%20IEEE-488.2.pdf>.
- [3] Eduardo Amores Rubio. Control de instrumentos mediante el bus gpib programado con matlab. Tesis de grado, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra España, Julio 2010. URL http://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2010/hdl_2072_97366/PFC_EduardoAmoresRubio.pdf.
- [4] Mario Sebastián Celi Calderón. Control de un generador de pulsos, una fuente de voltaje-corriente y matriz por medio del protocolo gpib programado en python. Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito. Colegio de Ciencias e Ingeniería, Diciembre 2013. URL <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2749/1/108833.pdf>.

- [5] Juan Pablo Santos Santacruz. Desarrollo de una interfaz gráfica remota para un caracterizador de semiconductores y un analizador de redes. Tesis de grado, UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO, Quito Ecuador, Mayo 2014. URL <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3227/1/000110583.pdf>.
- [6] Agilent Technologies. *Agilent 4396B Network/Spectrum/Impedance Analyzer User's Guide*. Agilent Technologies Japan, Ltd., 4 edition, Febrero 2001. URL <http://www.ing.uc.edu.ve/labcom/docs/espectro.pdf>.
- [7] Agilent Technologies. *Agilent 4396B Network/Spectrum/Impedance Analyzer Option 010 Operating Handbook*. Agilent Technologies Japan, Ltd. Component Test PGU-Kobe, 1-3-2, Murotani, Nishi-ku, Kobe-shi, Hyogo, 651-2241 Japan, 4 edition, Noviembre 2002. URL <http://www.ing.uc.edu.ve/labcom/docs/impedancia.pdf>.
- [8] Agilent Technologies. *Agilent 82357B USB/GPIB Interface*. Agilent Technologies, Inc, 5301 Stevens Creek Blvd., 7 edition, Marzo 2013.
- [9] Prof. Grecia Romero. *Fundamentos Teórico-Prácticos de Instrumentación Electrónica*. Trabajo de ascenso., Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Valencia Edo. Carabobo Venezuela, Mayo 2010.
- [10] David M. Pozar. *Microwave Engineering*. John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken United States., fourth edition, 2012.
- [11] Rafael Albonoz. *TRABAJO PRACTICO DEL LABORATORIO DE ANTENAS*. Valencia, Noviembre 1982.
- [12] Aldo Bianchi. *Sistemas de Ondas Guiadas*. Marcombo Boixareu Editores., 1980.
- [13] B. P. Lathi. *Introducción a la Teoría y Sistemas de Comunicación*. Limusa S. A. de C.V. Grupo Noriega., Balderas 95, México, D. F., 2001.
- [14] Ev Shafir. Lee Smith Jeff Gruszynski Walt Patstone Blake Peterson, Christina Bangle and Kathy Cunningham. *Spectrum Analysis 150-1 Amplitude and Frequency Modulation*. Hewlett-Packard Company., 3000 Hanover Street, Palo Alto California, USA., April 1996. URL <http://www.hp.com/go/tmappnotes>.

- [15] Guido van Rossum. Python 2.7.10 documentation, Mayo 2015. URL <https://docs.python.org/2/>.
- [16] Andrés Becerra Sandoval. *Introducción a la programación con Python*. Javeriano, Calle 18 número 118-250 Santiago de Cali, Valle del Cauca, 2009. URL http://escher.puj.edu.co/~andresaristi/Introduccion_files/introprog-py.pdf.
- [17] Guido van Rossum and the Python development team. The python language reference, Abril 2015. URL <https://docs.python.org/2/reference/index.html>.
- [18] PyVISA. Pyvisa: Control your instruments with python, 2015. URL <http://pyvisa.readthedocs.org/en/master/>.
- [19] John W. Shipman. Tkinter 8.5 reference: a gui for python, Diciembre 2013. URL <http://www.nmt.edu/tcc/help/pubs/tkinter/web/index.html>.
- [20] Guido van Rossum and Python development team. Python tutorial, Abril 2015. URL <https://docs.python.org/2/tutorial/index.html>.
- [21] Eric Firing John Hunter, Darren Dale and Michael Droettboom. Matplotlib, January 2014. URL <http://matplotlib.org/>.
- [22] Numpy Developers. Numpy, 2013. URL <http://www.numpy.org/>.
- [23] Agilent Technologies. *Agilent 4396B Network/Spectrum/Impedance Analyzer Function Reference*. Agilent Technologies Japan, Ltd. Component Test PGU-Kobe, 1-3-2, Murotani, Nishi-ku, Kobe-shi, Hyogo, 651-2241 Japan, 7 edition, Mayo 2003. URL <http://anlage.umd.edu/Microwave%20Measurements%20for%20Personal%20Web%20Site/04396-90072.pdf>.
- [24] Agilent Technologies. *Agilent 4396B Network/Spectrum/Impedance Analyzer GPIB Command Reference*. Agilent Technologies Japan, Ltd. Component Test PGU-Kobe, 1-3-2, Murotani, Nishi-ku, Kobe-shi, Hyogo, 651-2241 Japan, 5 edition, Mayo 2003. URL <http://anlage.umd.edu/Microwave%20Measurements%20for%20Personal%20Web%20Site/04396-90054.pdf>.

Anexo A

Calibración

Anexo B

Parámetros de Dispersión

Anexo C

Manual de Instalación