



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA**

**“ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS DE UN LABORATORIO  
DE COMUNICACIONES DIGITALES MEDIANTE SU  
INSTALACIÓN, CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN  
FUNCIONAMIENTO”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN COMPUTACIÓN**

**PRESENTA**

**JOSUÉ NEFTALÍ GARCÍA MATÍAS**

**DIRECTORES DE TESIS**

**M. C. HERIBERTO ILDEFONSO HERNÁNDEZ MARTÍNEZ**

**M. C. JOSÉ ANTONIO MORENO ESPINOSA**

**HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX.; JUNIO DE 2004**



**Tesis presentada el 4 de junio de 2004  
ante los siguientes sinodales:**

**C. Dr. David Martínez Torres  
M. C. Gabriel Gerónimo Castillo  
M. C. Fermín Hugo Ramírez Leyva**

**Directores de Tesis:**

**C. Dr. Heriberto I. Hernández Martínez  
M. C. José A. Moreno Espinosa**



## **Dedicatoria**

A mi pequeña hija Ariadna, motivo enviado por Dios para ayudarme a cumplir esta meta.

A mis padres Bon y Arnu, por su constante apoyo, el cual he sentido siempre a mi lado.

A mi esposa Patricia, quien me ha brindado amor y cariño sin importar mis peores momentos.

Josué.



## **Agradezco especialmente a:**

Al Prof. Heriberto I. Hernández Martínez, por brindarme la oportunidad de concluir este trabajo y por su amistad sincera, espero no haberla defraudado.

Al Prof. José Antonio Moreno Espinosa, por sus valiosas aportaciones para que este trabajo llegara a buen término.

Josué.



## **Agradecimientos**

A mis hermanos Mary, Pao y Moi, por el amor, cariño, enojos y apoyo que siempre nos hemos tenido. A mí cuñado Jorge y mí sobrino Román, por llegar a la familia.

A mis abuelos, por estar siempre pendientes de mí y de mis hermanos.

Al Prof. David Martínez Torres, por su orientación desinteresada, el tiempo y las observaciones realizadas durante el desarrollo de este trabajo.

A los sinodales Prof. Gabriel Gerónimo Castillo y Prof. Fermín Hugo Ramírez Leyva, por el tiempo dedicado a la revisión del presente trabajo.

A mis amigos Iván García Pacheco, sabes que eres mi hermano; Enrique Guzmán y Esteban Guerrero, por las enseñanzas y la gran amistad que nos unen; Carla Leninca, por ser una gran amiga; Carlos Chamú, por la ayuda prestada mientras culminaba mi trabajo, ahora sigues tú; a los gemelos Omar y Manuel, por convivir 5 años de la carrera y soportarnos todo; y a todas las personas que en algún momento me han ayudado desinteresadamente.

A todos los profesores que me aportaron conocimientos durante mi época de estudiante.

A la Universidad Tecnológica de la Mixteca, por permitir realizarme como Ingeniero en Computación dentro de sus salones de clase, y brindarme la oportunidad de presentar este trabajo, siempre la tendré presente.

Pero sobre todo a Dios, que no me ha alejado del buen camino y me permitió vivir este momento.

Josué.



## Índice

Índice .....	xi
Lista de tablas .....	xv
Lista de figuras .....	xvii
Resumen .....	xxi
Abstract.....	xxiii
1. Introducción.....	1
1.1. Planteamiento y objetivos de la tesis.....	4
1.2. Estructura de la tesis .....	4
2. Marco conceptual .....	7
2.1. Introducción.....	7
2.2. Descripción general de un sistema de medida.....	8
2.2.1. Módulo de sensores .....	9
2.2.2. Módulo de acondicionamiento de la señal .....	9
2.2.3. Módulo de adquisición de datos .....	11
2.2.3.1. Especificación VXI.....	11
2.2.3.2. Especificación CompactPCI.....	13
2.2.3.3. Especificación PXI .....	13
2.2.3.4. Comparación entre las plataformas para la adquisición de datos.....	15
2.2.4. Módulo de procesamiento, análisis y presentación de información.....	16
2.2.4.1. Lenguajes de desarrollo para instrumentación electrónica.....	16
2.2.4.1.1. LabVIEW .....	16
2.2.4.1.2. LabWindows/CVI.....	18
2.2.4.1.3. Agilent VEE .....	19
2.2.5. Sistemas de comunicaciones .....	20
2.2.5.1. GPIB .....	21
2.2.5.2. Comunicación serie .....	22
2.2.5.3. Ethernet.....	24
2.2.5.4. Comunicaciones industriales .....	26
2.3. Instrumentación electrónica.....	27

---

2.4. Instrumentación virtual .....	27
2.4.1. Mediciones en tiempo real.....	28
2.4.2. Respuesta los eventos en tiempo real .....	28
2.4.3. Mediciones y automatización basada en computación.....	28
2.5. Laboratorio virtual.....	29
2.6. Campo de aplicación para los laboratorios virtuales .....	29
2.6.1. Educación .....	29
2.6.2. Investigación y desarrollo tecnológico .....	29
2.6.3. Industria .....	30
2.7. Ejemplos de laboratorios virtuales.....	30
2.7.1. Teisa.....	30
2.7.2. DaimlerChrysler do Brazil Ltd. ....	31
2.7.3. Laboratorio de instrumentación electrónica .....	31
3. Administración de los recursos del LabCD .....	33
3.1. Laboratorio de comunicaciones digitales .....	33
3.1.1. Clasificación funcional del LabCD .....	33
3.1.2. Clasificación descriptiva del LabCD .....	34
3.1.3. Clasificación estructural del LabCD.....	34
3.1.4. Estación de trabajo.....	36
3.1.5. Estructura Hardware .....	36
3.1.6. Estructura Software .....	40
3.1.7. Software por su tipo.....	40
3.1.8. Software por su clase .....	41
3.1.9. Sistemas de comunicaciones en el LabCD .....	42
4. Administración de los requerimientos del LabCD .....	45
4.1. Administración del LabCD en un semestre impar.....	45
4.2. Administración del LabCD en un semestre par .....	48
4.3. Asignación de recursos del LabCD para la investigación .....	50
4.4. Reglamento del LabCD .....	51
5. Modelo de ingeniería de software de la página Web del LabCD .....	53
5.1. Requisitos de usuario para la página Web del LabCD .....	54
5.1.1. Introducción.....	54
5.1.1.1. Organización del LabCD .....	54
5.1.2. Gestión del LabCD .....	54
5.1.2.1. Situación actual.....	54
5.1.2.2. Requisitos .....	55
5.1.3. Administración de los recursos software .....	55
5.1.3.1. Situación actual.....	55
5.1.3.2. Requisitos .....	55
5.1.4. Administración de los recursos hardware.....	55

---

5.1.4.1. Situación actual .....	55
5.1.4.2. Requisitos .....	56
5.1.5. Desarrollo de las prácticas .....	56
5.1.5.1. Situación actual .....	56
5.1.5.2. Requisitos .....	56
5.2. Especificación de los requisitos de la página Web del LabCD .....	56
5.2.1. Introducción .....	56
5.2.1.1. Propósito .....	56
5.2.2. Descripción general .....	56
5.2.2.1. Perspectiva de las prácticas y del LabCD .....	57
5.2.2.2. Funciones del LabCD y prácticas .....	57
5.2.2.2.1. Administración de los recursos del LabCD .....	57
5.2.2.2.2. Desarrollo de las prácticas .....	57
5.2.2.2.3. Desarrollo de la página Web .....	58
5.2.2.3. Características de los usuarios del LabCD .....	58
5.2.2.4. Restricciones .....	58
5.2.3. Requisitos específicos .....	58
5.2.3.1. Requisitos funcionales .....	58
5.2.3.1.1. Uso del LabCD .....	58
5.2.3.2. Requisitos de interfaces externas .....	59
5.2.3.3. Requisitos de rendimiento .....	59
5.2.3.4. Requisitos de desarrollo .....	59
5.2.3.5. Requisitos tecnológicos .....	60
5.3. Diseño del sistema y del software .....	60
5.3.1. Introducción .....	60
5.3.2. Diagramas de flujo de datos de la página Web del LabCD .....	60
5.4. Pruebas del Software .....	66
5.4.1. Introducción .....	66
5.4.2. Pruebas de caja negra .....	66
5.4.2.1. Ejemplo de pruebas .....	66
6. Resultados .....	69
6.1. Página Web del LabCD .....	69
6.2. Descripción general de una práctica .....	70
6.3. Desarrollo de las prácticas .....	71
6.3.1. Prácticas de instrumentación electrónica virtual .....	71
6.3.1.1. Práctica de modulación de señales .....	72
6.3.2. Prácticas de instrumentación electrónica programable .....	76
6.3.2.1. Práctica de modulación en AM .....	76
6.3.2.2. Práctica de un análisis del Filtro pasa-baja de primer orden .....	80
7. Conclusiones .....	87

Bibliografía.....	89
Acrónimos.....	93
Anexo A. Acceso a la pasarela GPIB/LAN.....	A-1
A.1. Configurando la pasarela LAN/GPIB.....	A-4
A.2. Instalación de las prácticas.....	A-5

## **Lista de tablas**

Tabla 2.1. Clasificación de sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes.....	10
Tabla 2.2. Tabla comparativa de las diferentes plataformas para adquisición de datos.....	15
Tabla 2.3. Órdenes adicionales de GPIB.....	21
Tabla 2.4. Especificaciones básicas del estándar IEEE 488.....	23
Tabla 2.5. Características de los protocolos de comunicación serie. ....	23
Tabla 2.6. Terminales y señales de los conectores. ....	24
Tabla 2.7. Niveles de las redes de área local según el modelo OSI. ....	25
Tabla 2.8. Tabla de comparativa de los protocolos de comunicación industrial.....	27



## Lista de figuras

Figura 1.1. Estructura interna del LabCD.....	3
Figura 1.2. Estructura del trabajo de tesis. ....	5
Figura 2.1. Diagrama a bloques de un sistema de medida. ....	8
Figura 2.2. Tamaños de tarjetas VXI.....	12
Figura 2.3. Sistema VXI.....	12
Figura 2.4. Tarjetas CompactPCI.....	13
Figura 2.5. Arquitectura PXI.....	14
Figura 2.6. Sistema basado en arquitectura PXI.....	15
Figura 2.7. Ambiente de desarrollo de LabVIEW.....	17
Figura 2.8. Ejemplo de una aplicación desarrollada en LabVIEW.....	18
Figura 2.9. Ejemplo de un sistema desarrollado en LabWindows/CVI.....	19
Figura 2.10. Ejemplo de un sistema desarrollado en Agilent VEE.....	20
Figura 2.11. Historia del GPIB.....	21
Figura 2.12. Paquete de datos de la comunicación serial mediante protocolo RS-232.....	22
Figura 2.13. La pirámide de la productividad.....	27
Figura 2.14. Página principal del laboratorio Teisa.....	30
Figura 2.15. Diagrama del sistema STEPP-LINK de DaimlerChrysler.....	31
Figura 2.16. Laboratorio de acceso remoto para la enseñanza de la instrumentación electrónica.....	32
Figura 3.1. Descripción general del LabCD.....	33
Figura 3.2. Diagrama estructural del LabCD.....	35
Figura 3.3. Estructura física del LabCD.....	35
Figura 3.4. Diagrama de una estación de trabajo del LabCD.....	36
Figura 3.5. Estación de trabajo del LabCD.....	36
Figura 3.6. Computadora Dell modelo Workstation Precision 340.....	37
Figura 3.7. Tarjeta de interfaz GPIB modelo 82078A/82350A de la marca Agilent Technologies.....	37
Figura 3.8. Osciloscopio modelo 54621A de la firma Agilent Technologies.....	37
Figura 3.9. Generador de señales modelo 33120A de la firma Agilent Technologies.....	38
Figura 3.10. Multímetro modelo 34401A de la firma Agilent Technologies.....	38
Figura 3.11. Fuente de alimentación de DC modelo E3646A de la firma Agilent Technologies.....	39

Figura 3.12. Analizador de espectros modelo E4403B de la firma Agilent Technologies. ....	39
Figura 3.13. Programador de microcontroladores para familia Microchip. ....	40
Figura 3.14. Logotipos de los programas de aplicación utilizados en el LabCD. ....	41
Figura 3.15. Logotipos de los programas de desarrollo utilizados en el LabCD.....	41
Figura 3.16. Interfaz USB/GPIB modelo 82357A de la firma Agilent Technologies.....	43
Figura 3.17. Pasarela modelo E5810 de la firma Agilent Technologies. ....	43
Figura 3.18. Cable y conector GPIB modelo 10833B de la firma Agilent Technologies. ....	43
Figura 4.1. Asignación de los recursos del LabCD para la materia de metrología y transductores. ..	46
Figura 4.2. Asignación de los recursos del LabCD para la materia de teoría de comunicaciones. ....	46
Figura 4.3. Asignación de los recursos del LabCD para la materia de sistemas digitales.....	47
Figura 4.4. Asignación de los recursos del LabCD para la materia de modulación y codificación. ..	47
Figura 4.5. Asignación de los recursos del LabCD para la materia de metrología e instrumentos. ....	48
Figura 4.6. Asignación de los recursos del LabCD para la materia de arquitectura de microcomputadoras.....	49
Figura 4.7. Asignación de los recursos del LabCD para la materia de sistemas de comunicaciones vía microondas.....	49
Figura 4.8. Asignación de los recursos del LabCD para la materia de procesamiento digital de señales.....	50
Figura 4.9. Asignación de los recursos del LabCD para la materia de redes de computadoras. ....	50
Figura 4.10. Asignación de los recursos del LabCD para la investigación. ....	51
Figura 5.1. Modelo Utilizado en el desarrollo de las prácticas. ....	54
Figura 5.2. Diagrama de flujo de datos de nivel 0.....	61
Figura 5.3. Diagrama de flujo de datos de nivel 1.....	62
Figura 5.4. Diagrama de flujo de datos de nivel 2.....	62
Figura 5.5. Diagrama de flujo de datos de nivel 3.....	62
Figura 5.6. Diagrama de flujo de datos de nivel 3.....	63
Figura 5.7. Diagrama de flujo de datos de nivel 2.....	63
Figura 5.8. Diagrama de flujo de datos de nivel 3.....	63
Figura 5.9. Diagrama de flujo de datos de nivel 4.....	64
Figura 5.10. Diagrama de flujo de datos de nivel 3.....	64
Figura 5.11. Diagrama de flujo de datos de nivel 3.....	65
Figura 5.12. Diagrama de flujo de datos de nivel 4.....	65
Figura 5.13. Diagrama de flujo de datos de nivel 4.....	65
Figura 5.14. GUI para la captura de datos. ....	67
Figura 5.15. Información para el usuario del dato a capturar. ....	67
Figura 5.16. GUI para introducir un valor.....	67
Figura 5.17. GUI presentando un error de información. ....	67
Figura 6.1. Página principal del LabCD. ....	70
Figura 6.2. Diagrama de flujo del diseño y desarrollo de una práctica. ....	71
Figura 6.3. Diagrama de flujo para la práctica de modulación en amplitud.....	72

---

Figura 6.4. Estructura completa del programa correspondiente a la práctica de modulación en amplitud. ....	72
Figura 6.5. GUI correspondiente a la práctica de modulación en amplitud. ....	72
Figura 6.6. Estructura del programa para la captura de las señales de entrada. ....	73
Figura 6.7. Estructura del programa y GUI para generar y mostrar la señales de entrada. ....	73
Figura 6.8. Estructura del programa y GUI para mostrar los espectros de las señales de entrada. ....	73
Figura 6.9. Estructura del programa y GUI de la multiplicación de las 2 señales de entrada. ....	74
Figura 6.10. Estructura del programa y GUI que muestra el espectro de la multiplicación de las señales de entrada. ....	74
Figura 6.11. Estructura de la captura de valores de la tercera señal. ....	75
Figura 6.12. Estructura del programa y GUI que visualiza la tercera señal. ....	75
Figura 6.13. Estructura del programa y GUI que presenta el espectro de una señal. ....	75
Figura 6.14. Estructura del programa y GUI para que presenta la multiplicación. ....	75
Figura 6.15. Estructura del programa y GUI que presenta el espectro de la multiplicación. ....	76
Figura 6.16. Diagrama general de una práctica de instrumentación electrónica programable. ....	76
Figura 6.17. Diagrama de flujo del programa de modulación en AM. ....	77
Figura 6.18. Estructura interna del programa de la práctica de modulación en AM. ....	77
Figura 6.19. GUI de la práctica de la modulación programable. ....	77
Figura 6.20. Estructura del programa y GUI para obtener la señal a modular. ....	78
Figura 6.21. Función envía datos al generador. ....	78
Figura 6.22. Estructura del programa y GUI para mostrar la señal de entrada en el osciloscopio. ....	79
Figura 6.23. Estructura del programa y GUI para obtener el espectro de la señal de entrada. ....	79
Figura 6.24. Función de la activación de la modulación en AM. ....	79
Figura 6.25. GUI para el proceso de la activación de la modulación en AM. ....	79
Figura 6.26. Estructura del programa y GUI para mostrar la modulación en el osciloscopio. ....	80
Figura 6.27. Estructura del programa y GUI para obtener el espectro de la modulación. ....	80
Figura 6.28. Vista física de los equipos utilizando la práctica de modulación en AM. ....	80
Figura 6.29. Diagrama de flujo del programa de un filtro pasa-bajas. ....	81
Figura 6.30. Estructura interna del programa del filtro pasa-bajas. ....	81
Figura 6.31. GUI para la práctica del filtro pasa-bajas. ....	82
Figura 6.32. Función de inicializar el equipo. ....	82
Figura 6.33. Estructura del programa y GUI para capturar los datos del usuario. ....	83
Figura 6.34. Funciones para el paso de valor a la fuente de DC y cálculo de la frecuencia de corte. ....	83
Figura 6.35. Función del cálculo de fórmulas. ....	83
Figura 6.36. Función del paso de valores al generador de señales. ....	83
Figura 6.37. Función para obtener las medidas del osciloscopio. ....	84
Figura 6.38. Estructura del programa y gráficas que obtiene el análisis del filtro pasa-bajas. ....	84
Figura 6.39. Circuito utilizado en la práctica. ....	84
Figura 6.40. Ejecución de la práctica en los equipos. ....	84
Figura 6.41. Utilización de la herramienta MS Excel para análisis y procesamiento de datos. ....	85

---

Figura A.1. Página principal de la pasarela GPIB/LAN modelo E5810.....	A-2
Figura A.2. Ventana de solicitud de la clave de acceso.....	A-2
Figura A.3. Ventana de configuración de la pasarela GPI/LAN modelo E5810.....	A-3
Figura A.4. Ventana para búsqueda y comunicación con los equipos.....	A-3
Figura A.5. Icono de acceso a la utilería IO Config.....	A-3
Figura A.6. Pantalla principal de la aplicación Run IO Config para configurar la comunicación GPIB.....	A-4
Figura A.7. Ventana de configuración interfaz cliente VISA LAN para la comunicación GPIB.....	A-5
Figura A.8. Pantalla principal de la aplicación Run IO Config para configurar la comunicación serial.....	A-5
Figura A.9. Ventana de configuración interfaz cliente VISA LAN para la comunicación serial.....	A-5
Figura A.10. Página de los requisitos para las prácticas de instrumentación electrónica programable.. ..	A-7
Figura A.11. Pantalla para descargar los archivos necesarios.....	A-7
Figura A.12. Pantalla para instalar el software.....	A-7



## **Resumen**

La Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) cuenta con un Laboratorio de Comunicaciones Digitales (LabCD) dividido en tres áreas principales, redes de instrumentación, comunicaciones inalámbricas y comunicaciones ópticas.

Este trabajo de tesis presenta la administración y configuración de los recursos hardware, firmware y software del LabCD en su sección de redes de instrumentación, parte principal del laboratorio, para dar soporte académico y de investigación en el campo de la instrumentación electrónica programable e instrumentación electrónica virtual.

Se presenta un marco conceptual de la instrumentación electrónica para comprender los conceptos utilizados en la administración del LabCD. Asimismo, y como resultado del trabajo de tesis, se presenta la página Web del LabCD y se expone el desarrollo de las prácticas realizadas en el campo de la instrumentación electrónica programable e instrumentación electrónica virtual.



## **Abstract**

The Mixteca University of Technology (UTM) already has a Laboratory of Digital Communications (LabCD). This Laboratory comprises three main groups, instrumentation networks, remote and optic communications.

This thesis particularly presents a proposal to administrate and develop a configuration of hardware, firmware and software of the LabCD. This proposal would be used in the section of instrumentation networks which is the principal section of the laboratory. Therefore, the main objective of this application is to provide support to develop teaching and research in both the electronic instrumentation and the virtual electronic instrumentation areas.

The work has been done by the academic group of instrumentation networks as a part of a research line in the Institute of Electronics and Computers in the university. This specific project mainly deals with the programmable instrumentation systems and the protocols of industrial and instrumentation communications.

On the other hand, this work also presents a conceptual framework of the electronic instrumentation which defines all the standard concepts used in the LabCD administrator. Likewise, an overall review of the practical work made in the field of the programmable electronic and virtual electronic instrumentations is presented. An additional result of this thesis is the design of a Web page of the LabCD.



## 1. Introducción

La Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) tiene como propósito adaptar su modelo educativo a las nuevas propuestas originadas por la rápida evolución de las nuevas tecnologías. En base a la *Declaración mundial sobre la educación superior en el Siglo XXI: Visión y acción* de la UNESCO [URL14], donde se establece como prioridad la integración entre Universidad y Empresa para obtener egresados que cuenten con un perfil afín a las necesidades de la industria, la UTM desarrolla un Laboratorio de Comunicaciones Digitales (LabCD) con recursos similares a los empleados en la mayoría de las empresas, el cual está dividido en tres áreas principales, redes de instrumentación, comunicaciones inalámbricas y comunicaciones ópticas.

Por lo anterior, el presente trabajo denominado “Administración de los Recursos de un Laboratorio de Comunicaciones Digitales mediante su Instalación, Configuración y puesta en Funcionamiento” propone la administración y configuración del LabCD en su sección de redes de instrumentación, parte principal del laboratorio, que conjunta diversas áreas como son instrumentación electrónica programable [28, 44], buses de campo (FB, *Fieldbus*) [40], sistemas basados en microcontrolador (MCU, *Microcontroller*), control de procesos mediante controladores lógicos programables (PLC, *Programmable Logic Controller*) [39], dispositivos lógicos programables (PLD, *Programmable Logic Device*) [17], además de proveer la plataforma para la aplicación de programas de alto nivel, utilizados tanto en la industria como en el entorno académico.

El LabCD cuenta con un entorno de red, el cual permite al alumno diseñar y desarrollar dispositivos y sistemas en las áreas mencionadas.

A continuación se describen brevemente los conceptos más importantes que dan origen a la implementación de la red propuesta.

Las redes de área local (LAN, *Local Area Network*) se desarrollaron a partir del progreso de las técnicas de integración microelectrónicas y de los avances producidos en los métodos de comunicación de datos de las redes de larga distancia, con objeto de crear sistemas de comunicación en entornos de oficinas, centros de cálculo y departamentos de investigación y desarrollo; capaces de soportar el intercambio de información entre equipos terminales de usuario y permitir la eficiente compartición de recursos caros. Dichas redes se destinan a la conexión de computadoras, en las que se desarrollan fundamentalmente las tareas de gestión, planificación y diseño de productos y servicios, situados en un área geográfica limitada. Junto con las redes locales industriales y las conexiones locales de equipos terminales y sistemas de tarjetas, constituyen la Intranet de una organización [24].

En 1965 la firma Hewlett Packard (HP), en la actualidad Agilent Technologies, presentó el HPIB (*Hewlett Packard Internal Bus*) destinado a la comunicación de equipos de medida, y posteriormente logro su estandarización bajo la denominación IEEE 488 o GPIB (*General Purpose Inter-*

*face Bus*) [25, 26]. La limitación de ésta en los aspectos físicos de la conexión del bus (*hardware*) motivó que en 1987 se ampliara la primera versión, la cual pasó a denominarse IEEE 488.1, con la finalidad de facilitar la programación de los instrumentos mediante la normalización de protocolos de intercambio de mensajes, formatos de datos y sintaxis, informes de estado y órdenes comunes a distintos tipos de instrumentos. Esta nueva versión, llamada IEEE 488.2, no permitía aún el diseño de sistemas ATE (*Automated Test Equipment*) [27, 29] y por ello en 1990 surgió la norma SCPI (*Standard Commands for Programmable Instruments*) que define un modelo conceptual único para el diseño de instrumentos programables, con lo cual incremento la capacidad de procesamiento de los instrumentos GPIB y la velocidad de transferencia de datos en el bus (1 Mbps). En 1987 se presentó la arquitectura VXI (*VME eXtension for Instrumentation*) basada en el bus VME, con instrumentos modulares en tarjetas que se insertan en un chasis, capaz de alcanzar velocidades de hasta 40 Mbps. En 1997 la industria adoptó el estándar PXI (*PCI eXtensions for Instrumentación*) [31], el cual presenta mayores velocidades que VXI y es completamente compatible con la arquitectura estándar de la PC. En la actualidad, la instrumentación electrónica programable, basada en los buses GPIB y VXI, ha alcanzado una enorme expansión permitiendo la creación de sistemas ATE con diversas plataformas de computadoras y múltiples sistemas operativos dando lugar al concepto de “instrumentación virtual” (IV, *Instrumentation Virtual*) [28, 31].

La interconexión de sistemas electrónicos en el ámbito industrial, además de las soluciones destinadas a las distancias cortas (inferiores a los 100 m.), incorpora los resultados obtenidos en las redes de comunicaciones convencionales LAN, MAN y WAN para el diseño de sistemas distribuidos que permitan la integración de datos, procesos y equipamientos con objeto de realizar un uso eficiente de los recursos y una mejora continua en su productividad.

El esfuerzo de normalización en el diseño de redes de comunicaciones fue iniciado en 1978 por la Organización Internacional de Normalización (ISO, *International Organization for Standardization*), al presentar un modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI, *Open Systems Interconnection*), el cual define la funcionalidad de una red de comunicaciones mediante siete niveles denominados físico, enlace, red, transporte, sesión, presentación y aplicación. Cada nivel se relaciona con el nivel superior a través de interfaces y le proporciona determinados servicios mediante protocolos específicos [24].

Los FBs representan el más bajo nivel de redes de comunicación en una planta de fabricación y surgieron como consecuencia de las necesidades de reducción de materiales, costes de instalación, peso y cableado, facilidad de reconfiguración de los sistemas, mejora de la señal transmitida y aumento del flujo de información. Según la definición de la IEC (*International Electrotechnical Commission*) [URL3] y la ISA (*The Instrumentation, Systems, and Automation Society*) [URL4], un bus de campo es una conexión serie digital que permite la transferencia de datos entre elementos primarios de automatización (instrumentos de campo), que realizan funciones de medida y control, y elementos de automatización y control de más alto nivel [24]. Con respecto al modelo de referencia OSI, un bus de campo implementa los niveles físico, enlace y aplicación. Los principales criterios a considerar en el diseño o selección de un FB son tiempo de transmisión, fiabilidad en el intercambio de datos, capacidad de operaciones seguras en áreas peligrosas, tamaño de los paquetes de datos, suministro de alimentación eléctrica, número máximo de nodos, longitud del bus, medio de transmisión, coste por nodo, capacidad de enlazar con otras redes e interoperabilidad.

La aparición en los años 80 de redes industriales cerradas (propietarias), desarrolladas por los fabricantes de equipamiento de campo y control, originó la necesidad de crear normas abiertas de redes de bajo coste para la comunicación entre la instrumentación de campo y los elementos de control. Esta tarea fue asumida por la IEC y la ISA a través de su comité SP50 para especificar una norma de bus de campo y en 1992 un consorcio de empresas fabricantes de redes industriales asumieron en su proyecto ISP (*Interoperable System Project*) que en aquellas áreas donde la especifica-

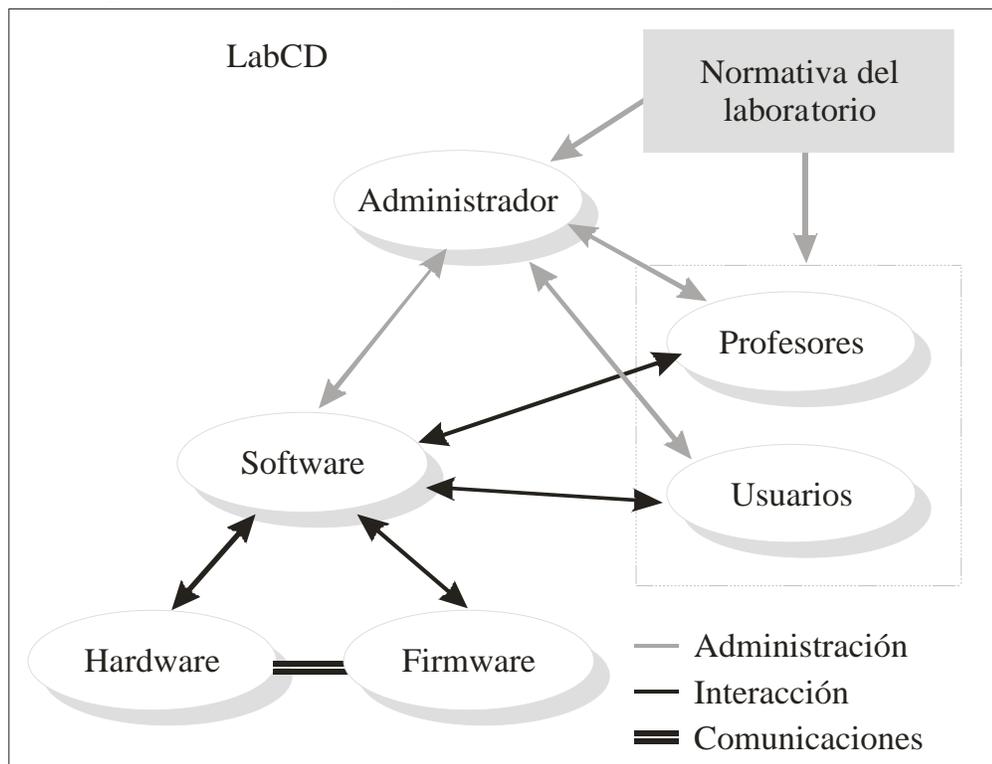
ción ISA/IEC SP50 esté incompleta se utilizaría tecnología probada de los estándares WorldFIP, desarrollado en Francia a partir de 1985, y PROFIBUS, desarrollado en Alemania a partir de 1987.

Los FBs no solamente tienen su aplicación en los procesos industriales sino que también están incorporados a los productos, ya sean de consumo (automóviles) o bienes de capital (máquinas textiles, envasado de alimentos, corte de chapa, etc.). Asimismo extienden su aplicación a los ámbitos de la domótica (automatización de hogares) y la inmótica (automatización de edificios), con objeto de mejorar la gestión de climatización (HVAC, *Heat Ventilation and Air Conditioning*), consumo de energía (iluminación, encendido de equipos, etc.), consumo de agua y gas, alarmas (intrusión, averías, fuego, médicas, etc.), entorno (accesos, vallas, ascensores, riego de jardines, garajes, etc.), comunicaciones, equipos de línea blanca, entre otros.

El presente trabajo de tesis consiste en administrar el LabCD en sus aspectos hardware, firmware, software, comunicaciones y docente (profesores y alumnos) como muestra la Figura 1.1.

El hardware corresponde a los dispositivos y sistemas electrónicos, entre ellos caben destacar las computadoras personales (PCs); los dispositivos que conforman la parte firmware son los instrumentos de medición programables y los sistemas de desarrollo para diversas aplicaciones académicas y de investigación; lo referente a las comunicaciones se refiere a los componentes de acceso a Internet mediante una red LAN y la comunicación entre las PCs y los instrumentos de medición programable mediante el GPIB. Con respecto a la administración del software, cabe destacar la asignación dinámica dependiendo de las necesidades docentes que se requiera para cada materia, dando con ellos soporte de interfaz entre los dispositivos y sistemas, y la parte docente.

Las materias tienen una cuenta única con acceso restringido al software correspondiente, y a su vez cada cuenta tiene una clave de acceso tanto al sistema como a los equipos. Los equipos de medición están conectados a las computadoras mediante el bus de instrumentación IEEE 488 (GPIB) y estos a su vez están conectados entre sí mediante una LAN. La interfaz entre la red y el GPIB se realiza mediante un convertidor LAN-GPIB, con el fin de proporcionar acceso remoto desde las salas de cómputo, cubículos de los profesores o desde un sitio externo a la UTM.



**Figura 1.1.** Estructura interna del LabCD.

La estructura interna de cada materia está organizada de acuerdo a la utilización del LabCD y en términos generales consta de la interfaz con la LAN, la interfaz con los programas de uso para la materia impartida, la interfaz por medio del GPIB a los equipos y los equipos propiamente funcionando.

## 1.1. Planteamiento y objetivos de la tesis

El objetivo principal de este trabajo de tesis es la administración de los recursos del LabCD para dar soporte académico y de investigación, en el campo de la instrumentación electrónica programable e instrumentación electrónica virtual.

El trabajo realizado forma parte de una línea de investigación del Cuerpo Académico de Redes de Instrumentación del Instituto de Electrónica y Computación de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, consistente en el estudio de los sistemas de instrumentación programable y de los protocolos de comunicaciones industriales y de instrumentación.

Una vez planteado el objetivo principal y el ámbito donde se centra el trabajo de investigación, se proponen los siguientes objetivos secundarios:

- Investigar el estado del arte de los sistemas automatizados de medida y elaborar un marco conceptual del mismo.
- Analizar los conceptos de instrumentación electrónica programable e instrumentación electrónica virtual con la finalidad de aplicarlos a la administración del LabCD.
- Diseñar y desarrollar prácticas destinadas a la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de instrumentación electrónica programable e instrumentación electrónica virtual.
- Conocer los diferentes ambientes de programación para el diseño de aplicaciones en el campo de la instrumentación electrónica programable e instrumentación electrónica virtual.
- Gestionar y documentar la administración de los recursos del LabCD.
- Diseñar una página Web con la finalidad de presentar una interfaz externa al LabCD, y divulgar el trabajo realizado.

La hipótesis planteada es que con una correcta gestión de los recursos del LabCD se proporcionará un mejor servicio a los profesores y alumnos en tareas académicas y de investigación, así como también el documento resultante será la referencia a los conceptos básicos que conforman dicho laboratorio.

## 1.2. Estructura de la tesis

La estructura del documento de tesis se muestra en la Figura 1.2 y se detalla a continuación.

El capítulo 2 presenta el marco conceptual de la instrumentación electrónica, se exponen los conceptos básicos que definen un sistema de adquisición de datos en la actualidad.

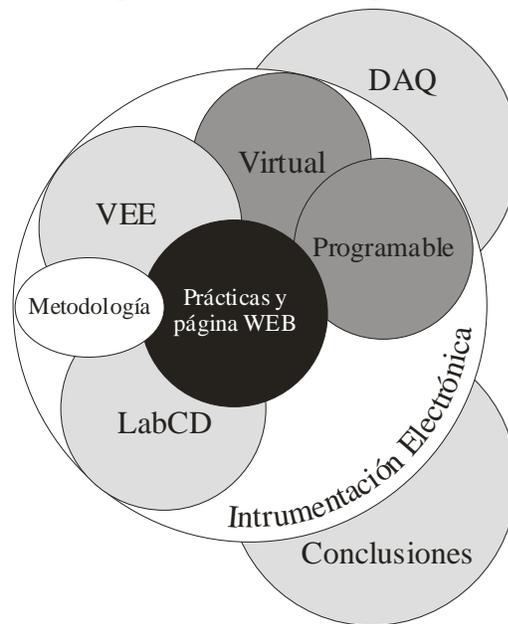
En el capítulo 3 se describe la administración de la estructura hardware y software del LabCD.

El capítulo 4 presenta la gestión del LabCD en base a su utilización en el campo académico y de investigación.

El capítulo 5 describe el modelo de ingeniería de software empleado en el diseño de la página Web del LabCD y en las prácticas de instrumentación electrónica desarrolladas.

El capítulo 6 expone el desarrollo de las prácticas realizadas en el campo de la instrumentación electrónica programable e instrumentación electrónica virtual, asimismo, se presenta la página Web del LabCD como resultado del presente trabajo de tesis.

Por último se presentan las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo de esta tesis y finalmente, se presenta el anexo correspondiente a la configuración de la pasarela GPIB-LAN.



**Figura 1.2.** Estructura del trabajo de tesis.



## 2. Marco conceptual

En la actualidad el control de instrumentos electrónicos de medida para la automatización de procesos de control tiende a ser a distancia, mediante una red LAN o por Internet, dando origen a nuevas propuestas e ideas para el control de instrumentos electrónicos programables. Una idea que se ha desarrollado de forma importante se conoce como laboratorio virtual (VL, *Virtual Laboratory*) cuya finalidad es compartir equipos de instrumentación para que varios usuarios tengan acceso de forma remota y puedan desarrollar soluciones dedicadas a la investigación, la educación o simplemente para el manejo eficaz de los instrumentos de medida [13, 15, 41], además añade la posibilidad de acceder a dichos instrumentos desde lugares donde no se cuenta con los recursos económicos para poder adquirirlos físicamente.

Por lo anterior, el presente trabajo de tesis estudia los aspectos más importantes de los laboratorios virtuales y las tecnologías en desarrollo destinadas a la medición, automatización y control de instrumentos electrónicos de medida.

### 2.1. Introducción

En la actualidad, las aplicaciones de medición y automatización de procesos no están confinadas a una simple computadora o estación de trabajo, se emplean tecnologías, como Ethernet, para compartir datos y recursos hardware en una LAN, Intranet o Internet. La proliferación de lenguajes de desarrollo para aplicaciones Web, como HTML, XML, PHP, etc., y el avance de las comunicaciones inalámbricas, han permitido el desarrollo de software de aplicación como DataSocket, VI Server y Remote Data Acquisition, los cuales implementan protocolos de comunicación como PXI/Compact PCI y National Instruments Field Point para el control de dispositivos de medida. Lo anterior ha dado origen a los sistemas de automatización de medidas (ATE, *Automated Test Equipment*) distribuidos [29].

Las herramientas software, como Measurement Studio y LabView, han simplificado la interacción entre las bases de datos y las aplicaciones de red mediante funciones de comunicación TCP/IP (*Transmission Communication Protocol / Internet Protocol*) para compartir y distribuir datos en Internet. También se utilizan programas como por ejemplo DataSocket Server, como vínculo entre lenguajes de programación de alto nivel (Labview, VEE, Visual Basic, Java, Visual C++ o LabWindows/CVI) para incrementar la capacidad de trabajo en diferentes plataformas de diseño. Cabe hacer mención de las herramientas software de navegación que permiten desarrollar aplicaciones Web interactivas para la distribución y acceso a datos remotos y la conectividad entre diferentes sistemas.

En cuanto al proceso de medición, se cuenta con la adquisición remota de datos (*RDA, Remote Data Acquisition*), la cual permite realizar las medidas a distancia y controlar el hardware vía serial

(RS-232, RS-485), Ethernet o 802.11 a/b/g, sin la necesidad de que el usuario esté en contacto con los equipos electrónicos de medida de forma presencial.

Los sistemas ATE aplican el concepto de sistemas distribuidos debido a que mediante una red de comunicaciones se pueden dividir las tareas de adquisición de datos, proporcionando sistemas robustos de alta velocidad con requerimientos especiales. Dichos sistemas incrementan su capacidad de medida al dividir su trabajo en nodos, en donde cada nodo se encarga de realizar una medida en específico y de almacenar la información resultante en una o varias bases de datos para presentarla finalmente al usuario.

Por lo anterior, las aplicaciones de medición presentan grandes beneficios para la distribución de datos, mediciones remotas y computación distribuida.

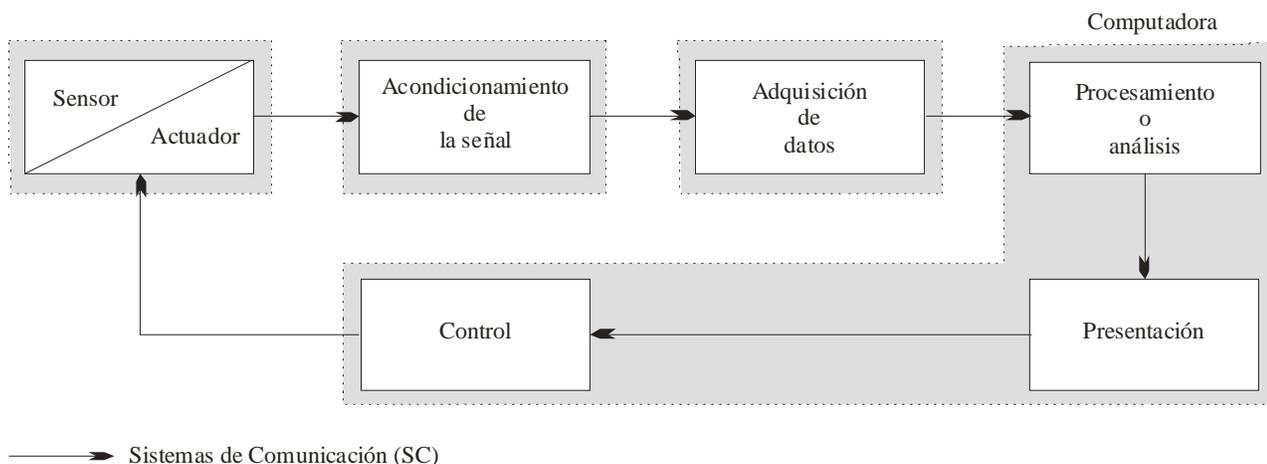
A continuación se presenta una descripción general de un sistema de medida, cuya evolución ha dado origen a la instrumentación virtual y al laboratorio virtual respectivamente. Asimismo, se describen ambas tendencias y se mencionan sus principales áreas de aplicación.

## 2.2. Descripción general de un sistema de medida

En la actualidad, la mayoría de sistemas de medida se basan en una computadora personal para convertir los fenómenos físicos a señales electrónicas digitales que pueden ser interpretados por la misma computadora. Dichos sistemas cuentan principalmente con los siguientes módulos:

- Sensores o transductores.
- Acondicionamiento de la señal.
- Adquisición de datos.
- Procesamiento y análisis de las señales.
- Visualización o presentación.
- Control.

Los cuales están comunicados por un sistema de comunicaciones (SC) como muestra la Figura 2.1. El sistema en conjunto se encarga de interpretar y simular los procesos provenientes de fenómenos físicos, químicos, biológicos, etc. que requieran ser supervisados o controlados por un usuario o sistema final. A continuación se describe cada uno de los módulos mencionados.



**Figura 2.1.** Diagrama a bloques de un sistema de medida.

### 2.2.1. Módulo de sensores

Un transductor es un dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal física distinta. Básicamente existen 6 tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares. Por otro lado un sensor es un dispositivo que a partir de la energía del medio donde se mide, proporciona una señal de salida transductible que es función de la variable medida [34].

Los sensores<sup>1</sup> se pueden clasificar de acuerdo a:

- Su alimentación:
  - Modulares.
  - Generadores.
- La señal de salida que genera:
  - Analógicos.
  - Digitales.
- Su funcionamiento:
  - De deflexión.
  - De comparación.
- La relación de entrada y salida:
  - De orden cero.
  - De primer orden.
  - De segundo orden.
  - De orden superior.
- Parámetro variable.

La elección correcta del sensor depende de los factores que influyen en la obtención de los valores, tales como magnitud a medir, características de salida, características de alimentación, características ambientales, costos, dimensiones, conectores, etc. La mayoría de los sensores requieren una etapa de acondicionamiento de la señal de entrada para procesar, la señal en el módulo de adquisición. La Tabla 2.1 muestra una clasificación general de los sensores.

### 2.2.2. Módulo de acondicionamiento de la señal

El acondicionamiento de la señal es muy importante en los sistemas de adquisición de datos debido a que las señales que brindan los sensores generalmente necesitan de cierto tratamiento para que los dispositivos las puedan analizar correctamente. Eléctricamente, muchos de los sistemas basados en una computadora contienen un módulo de acondicionamiento para poder adquirir y procesar las señales.

La mayoría de sensores proporcionan señales de corriente en un rango de 0 a 20 mA o de 4 a 20 mA y el módulo de acondicionamiento de la señal convierte la corriente a voltaje para ser utilizada. En general, el módulo de acondicionamiento de la señal requiere funciones específicas para brindar calidad, flexibilidad y confiabilidad a las señales obtenidas por los sensores. Las principales funciones son:

---

<sup>1</sup> En el presente documento se utilizará el término sensor para referirse a ambos términos, sensor o transductor.

**Tabla 2.1.** Clasificación de sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes [34].

Sensores	Magnitudes								
	Posición Distancia Desplazamiento	Velocidad	Aceleración Vibración	Temperatura	Presión	Caudal Flujo	Nivel	Fuerza	Humedad
Resistivos	Potenciómetros Galgas Magnetorresistencias		Galgas + masa-resorte	RTD Termistores	Potenciómetros + tubo Bourdon	Anemómetros de hilo caliente Galgas + voladizo Termistores	Potenciometro + flotador Termistores LDR	Galgas	Humistor
Capacitivos	Condensador diferencial				Condensador variable + diafragma		Condensador variable	Galgas capacitivas	Dieléctrico Variable
Inductivos y Electromagnéticos	LVDT Corrientes Foucault Resolver Inductosyn Efecto Hall	Ley Faraday LVT Efecto Hall Corrientes Foucault	LVDT + masa-resorte		LVDT + diafragma Reluctancia variable + diafragma	LVDT + rotámetro Ley Faraday	LVDT + flotador Corrientes Foucault	Magnetoelástico LVDT + célula carga	
Generadores			Piezoeléctricos + masa-resorte	Termopares Piroeléctricos	Piezoeléctricos			Piezoeléctricos	
Digitales	Codificadores incrementales y absolutos	Codificadores incrementales		Osciladores de cuarzo	Codificador + tubo Bourdon	Vórtices			SAW
Uniones p-n	Fotoeléctricos			Diodo Transistor Convertidores T/I			Fotoeléctricos		
Ultrasónicos	Reflexión	Efecto Doppler				Efecto Doppler Tiempo tránsito, Vórtices	Reflexión Absorción		

- *Amplificación de la señal*: la mayoría de las señales tienen amplitudes muy bajas que pueden ocasionar pérdida de información.
- *Filtrado de la señal*: para distinguir entre las señales deseadas y el ruido de los sistemas.
- *Aislamiento eléctrico*: para separar la señal de otras.
- *Multiplexación de la señal*: para expandir la capacidad del sistema en el procesamiento de varias señales en forma simultánea.
- *Matriz de conmutación*: para ofrecer mayor flexibilidad en la programación de rutinas y pruebas a las señales.

El acondicionamiento de la señal no se restringe a las señales analógicas, sino también se realiza a las señales digitales, ya que ambas deben funcionar con relevadores en ambientes industriales que utilizan voltajes comerciales mayores a los voltajes que proporcionan los sensores.

### 2.2.3. Módulo de adquisición de datos

El proceso de adquisición de datos permite configurar, sincronizar y automatizar la adquisición de datos para agilizar y eficientar un proceso. Su funcionamiento se basa en la conversión de señales analógicas a señales digitales mediante un convertidor analógico a digital (ADC, *Analog to Digital Converter*). Los ADCs se apoyan en diferentes conceptos que definen el rango de la señal de entrada, el ancho de código, la resolución de la conversión, el ancho de banda analógica, las opciones de disparo, el rango y método de muestreo de las señales principalmente.

Actualmente existen diferentes plataformas para la adquisición de datos, las más importantes son VXI, CompactPCI y PXI, la cuales se describen a continuación.

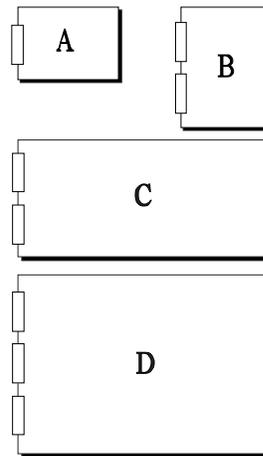
#### 2.2.3.1. Especificación VXI

VXI (*VME eXtensions for Instrumentation*) es una plataforma modular de sistemas de instrumentación, introducida en 1987 como extensión de los sistemas VME (*Versa Module Europe*), diseñada para implementar las tecnologías de computación, disminuir los costos y reducir los tiempos de desarrollo de sistemas [14, URL15]. VXI se aplica en la mayoría de las industrias, desde la automotriz hasta las telecomunicaciones. Los principales beneficios que ofrece son:

- Incrementa el rendimiento y mejora la maximiza flexibilidad de los sistemas.
- Proporciona tiempos más precisos improvisando la sincronización.
- Estandarizado con el software *VXIplug&play*.
- Mejora la portabilidad y movilidad, con el fin de reducir el espacio físico.
- Presenta una arquitectura abierta con múltiples proveedores.
- Mejora la confiabilidad en un diseño modular robusto.
- Reduce los costos y aumenta el tiempo de vida de los sistemas.

La arquitectura VXI describe tres módulos:

- *El modulo*: corresponde a la parte física de un sistema VXI. La cual dispone de 4 tamaños de tarjetas como muestra la Figura 2.2.
- *Dispositivos*: se refiere a la conexión física de las tarjetas o dispositivos, indica el máximo número de dispositivos lógicos que se puedan conectar al sistema, los dispositivos pueden ser: microprocesadores, memorias, controladores de discos, interfaces al estándar 488, ADC's, DAC's, multímetros, etc.



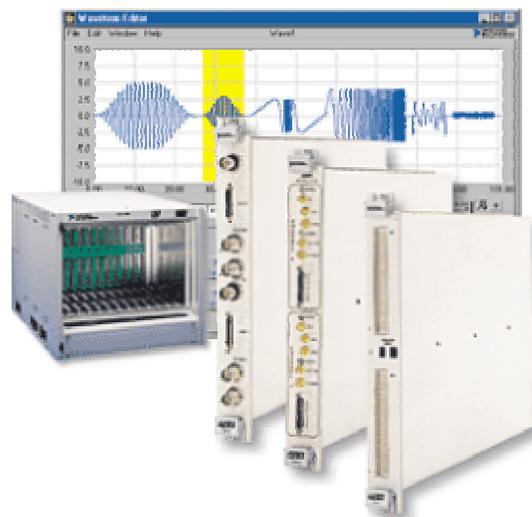
**Figura 2.2.** Tamaños de tarjetas VXI.

- *Subsistemas:* se refieren al control del chasis VXI (*rack*) en donde se conectan los dispositivos. Un chasis soporta hasta 13 ranuras, de las cuales la primera se dedica a la configuración del sistema y las restantes son de propósito general. Un sistema VXI se puede ampliar mediante una tarjeta de expansión VME o a través de una LAN.

En la parte trasera del chasis VXI se alojan las tarjetas y proporciona la capacidad de transferencia de datos de 8, 16 y 32 bits. Asimismo cuenta con dos relojes del bus, 10 y 100 MHz, para sincronizar los sistemas. La configuración del sistema depende de la configuración de los conectores traseros. VXI soporta 3 tipos de conectores, P1, P2 y P3, cada uno de los cuales contiene las líneas del bus de transferencia de datos, las señales de configuración, las líneas para sincronización, el bus de interrupciones, las señales de reloj, las señales de disparo, etc.

En resumen, VXI combina la mejor tecnología de los instrumentos comunicados por GPIB (inciso 2.2.5.1) ofreciendo la combinación de un sofisticado instrumento de medida en un ambiente basado en PC. VXI puede conectar equipos en una amplia gama de velocidades basándose en el bus GPIB y una tarjeta de adquisición tipo *Plug-in*, también ofrece una amplia gama de proveedores y es fácil de usar ya que el software utilizado para interfazar instrumentos cuenta con una amplia gama de tareas de desarrollo.

Finalmente, VXI es útil en el desarrollo de aplicaciones en sistemas compactos que requieren minimizar el espacio físico, el cableado y el hardware. La Figura 2.3 muestra los módulos que constituyen un sistema VXI.



**Figura 2.3.** Sistema VXI.

### 2.2.3.2. Especificación CompactPCI

La especificación CompactPCI es una especificación modular basada en la conexión de instrumentos mediante el bus de computadoras PCI (*Peripheral Component Interconnection*). Las especificaciones eléctricas y mecánicas de CompactPCI se encuentran definidas en las normas ANSI 310-C, IEC-297, IEEE 1101.1, IEEE 1101.10 e IEEE P1101.11 [38, URL2].

Un sistema CompactPCI se compone de uno o más segmentos PCI y cada segmento está compuesto por 8 ranuras para tarjetas PCI, las cuales proporcionan criterios de arbitraje, reloj del sistema y funciones de restauración para todas las tarjetas conectadas al segmento. Los segmentos pueden contener tarjetas con funciones simples, esclavos inteligentes o maestros para el bus PCI.

CompactPCI proporciona un panel trasero (*backplane*) en el cual se alojan las ranuras de conexión para las tarjetas de sistema o periféricos de expansión, controlados por el sistema. Las normas IEC 917 e IEC 1076-4-101 especifican el tipo de conector, el mecanismo de interconexión para dar soporte a diferentes fabricantes, el mecanismo de codificado de la señal y un escudo protector para EMI/RFI. El conector CompactPCI define 5 filas de 47 pines cada una, los cuales se dividen en 2 grupos dependiendo de la implementación física del conector, el primer grupo está destinado a la comunicación de 32 y 64 bits y el segundo grupo está reservado a las aplicaciones del usuario (Figura 2.4).

Las principales características de CompactPCI son: bus de comunicaciones a 33 MHz, velocidades de transferencia de datos a 132 MBps (32 bits) y 264 MBps (64 bits), voltajes de alimentación de 5 o 3.3 V, posibilidad de expansión mediante puentes PCI y capacidad *Plug&Play*.

CompactPCI cuenta con el respaldo de diferentes asociaciones, las cuales han ayudado a establecerlo como el estándar destinado a la fabricación de instrumentos electrónicos de medida y automatización. Cabe destacar la labor del PICMG (*PCI Industrial Computer Manufactures Group*), conformado por más de 50 fabricantes Europeos de equipos de cómputo industriales, encargado, del desarrollo e investigación de los estándares PCI y CompactPCI.

CompactPCI fue la base para el desarrollo de la especificación PXI, la cual se describe a continuación.

### 2.2.3.3. Especificación PXI

La instrumentación modular PXI (*PCI eXtensions for Instrumentación*) está destinada desarrollo de sistemas de automatización y medida, adquisición de datos y sistemas de control de procesos industriales aprovechando las características del bus estándar PCI, las aplicaciones software y las plataformas de sistemas operativos usadas en computadoras de escritorio, permitiendo a los sistemas industriales ser desarrollados con requerimientos comunes [32, 33, URL11]. La Figura 1.5 muestra la arquitectura PXI.

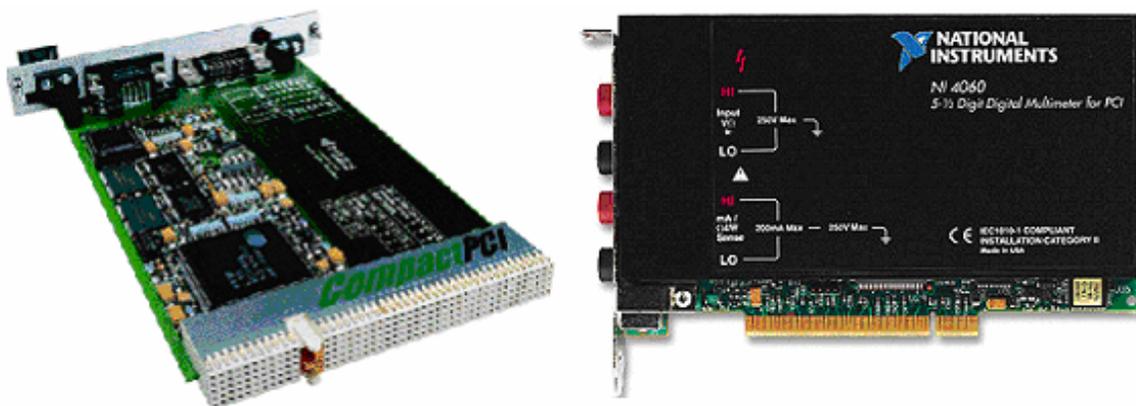
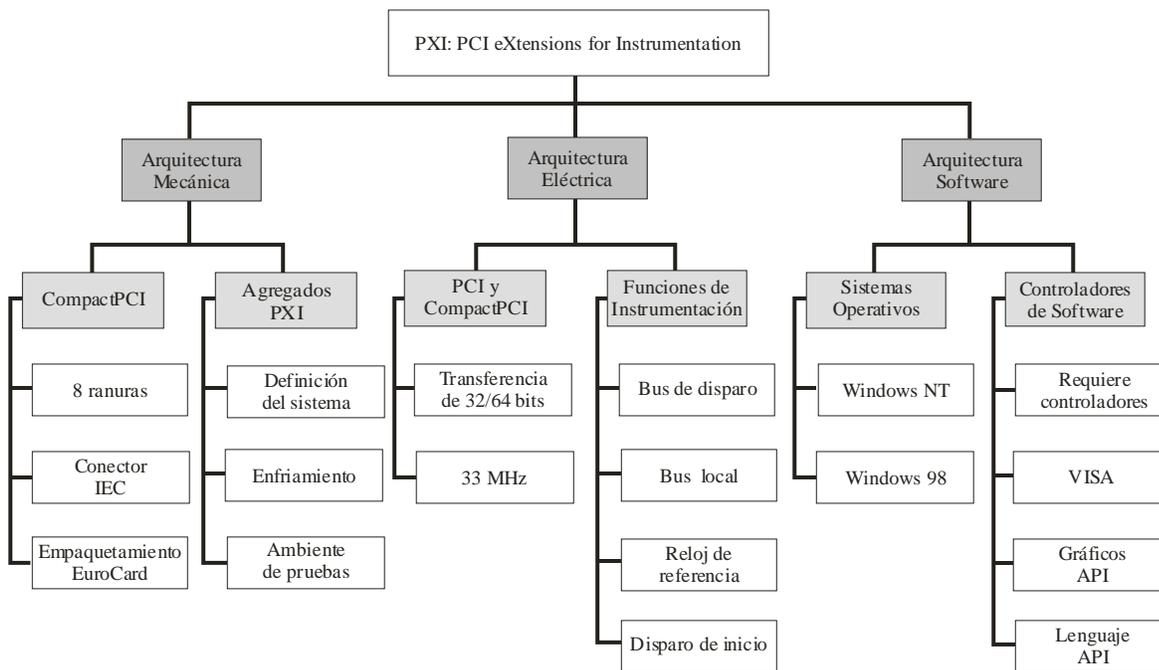


Figura 2.4. Tarjetas CompactPCI.



**Figura 2.5.** Arquitectura PXI.

PXI fue especificado por la firma National Instruments en 1997 y en la actualidad es una de las arquitecturas más utilizadas en el desarrollo de sistemas de medida. Su compatibilidad con la especificación CompactPCI permite desarrollar potentes aplicaciones industriales y ofrece excelentes condiciones eléctricas bajo cualquier condición gracias a sus sistemas de conectores especificados en las normas EuroCard, ANSI 310-C, IEC-297, IEC 60297, IEEE 1101.1, IEEE 1101.10 e IEEE P1101.11, las cuales también especifican a CompactPCI y sus principales aplicaciones se dan en ambientes industriales (VME y VXI).

Las especificaciones de CompactPCI influyen en los sistemas PXI, pero también PXI tiene requerimientos mecánicos adicionales como son sistema de enfriamiento (*cooling system*) y ambientes recomendables de temperatura, humedad, vibración, etc. Cada dispositivo PXI especifica dichas características en su documentación correspondiente.

Dentro de las características eléctricas de PXI se define el propio sistema, un reloj de 10 MHz para sincronización y control del sistema, 8 líneas del bus de disparo organizadas mediante un controlador dedicado y el bus local que se encarga de conectar todos los periféricos entre sí. PXI ofrece las mismas características de la especificación PCI en computadoras de escritorio.

Los sistemas PXI se ejecutan sobre un ambiente con sistema operativo MS Windows y la programación de interfaces se desarrolla bajo programas de alto nivel como LabView, Measurement studio, Visual Basic y Visual C/C++. PXI ha adoptado las bibliotecas VISA (*Virtual Instrumentation Software Application*) para la implementación de sistemas *firmware* que necesiten interactuar con plataformas VXI, GPIB o comunicación serial.

La arquitectura mecánica de PXI se compone de 2 interfaces, la primera consta de conectores tipo 3U para módulos de 100x160 mm., los cuales tienen 2 conectores tipo IEC para transferencias de 16 y 32 bits; la segunda es de tipo 6U para conectar módulos de 233.35x160 mm., que además de los 2 conectores que implementa el tipo 3U añade 3 conectores con fines de expansión. PXI cuenta con un chasis de 8 ranuras para tarjetas de expansión tipo EuroCard, una de las ranuras define el sistema (*System Slot Location*) otras dos se destinan a los módulos de enfriamiento y de prueba de medio ambiente, esta última se ocupa de las operaciones y el almacenamiento de rangos de temperatura para mejorar el funcionamiento de los demás módulos.



**Figura 2.6.** Sistema basado en arquitectura PXI.

Las especificaciones eléctricas se basan en las características del bus PCI, por ejemplo permite la transferencia de 32 y 64 bits, cuenta con un reloj del bus de 33 MHz, incluye líneas para señales de disparo, reloj del sistema, sincronización y comunicación por ancho de banda.

La arquitectura software da soporte a productos de diferentes fabricantes y especifica los requerimientos para el sistema operativo de trabajo. También soporta las bibliotecas VXIplug&play, VISA y controladores para trabajar con interfaces de aplicación programables (API's, *Application Programming Interface*) de LabVIEW, LabWindows/CVI, Borland C++ y Visual Basic. La Figura 2.6 muestra un sistema PXI.

**2.2.3.4. Comparación entre las plataformas para la adquisición de datos**

Una vez mencionadas las diferentes plataformas destinadas a la adquisición de datos, la Tabla 2.2 muestra una comparativa con la finalidad de establecer las aplicaciones de desarrollo que más se adaptan a cada plataforma.

**Tabla 2.2.** Tabla comparativa de las diferentes plataformas para adquisición de datos.

Características	VXI	CompactPCI	PXI
Transferencia de datos	8, 16 y 32 bits	32 y 64 bits	32 y 64 bits
Reloj del bus	10 y 100 MHz	33 MHz	10 MHz
Velocidad de transferencia de datos	Depende de las líneas utilizadas	132 MBps (32 bits) y 264 MBps (64 bits)	132 MBps (32 bits) y 264 MBps (64 bits)
Sistema de Expansión	Puente VME	Puente PCI	Puente PCI
Arquitecturas soportadas	PXI, CompactPCI, Ethernet	VME, ISA, PCI	VXI, VME, Compact-PCI, PCI, PCMCIA, CAN, Ethernet
Capacidad <i>Plug&amp;Play</i>	Si	Si	Si
Suministro de energía	+24, +12, +5, -24, -12 y -5 Volts	+12, +5, +3.3 y -12 Volts	+12, +5, +3.3 y -12 Volts
Empaquetamiento	EuroCard y PCI	EuroCard y PCI	EuroCard y PCI
Control de instrumentos	GPIB, VXI, VME, Serial y Paralelo	GPIB, VXI y Serial	GPIB, VXI y Serial
Tipo de Chasis	13 ranuras (1 sistema, 12 periféricos)	8 ranuras (1 sistema, 7 periféricos)	8 ranuras (1 sistema, 7 periféricos)
Sistema de enfriamiento	No	No	Si
E/S Digitales	Si	Si	Si
E/S Analógicas	Si	Si	Si
Contadores/Temporizadores	Si	Si	Si
Adquisición de imágenes	No	No	Si
Soporte de sistemas operativos	Windows 2000/NT/Me/9x, MAC, Solaris	Windows NT/9x, Solaris	Windows NT/95/98
APIs	LabVIEW, LabWindows / CVI, Measurement Studio	LabVIEW, LabWindows / CVI C/C++, Visual Basic	LabVIEW, LabWindows / CVI C/C++, Visual Basic

## 2.2.4. Módulo de procesamiento, análisis y presentación de información

El problema más frecuente que presenta el proceso de medición es sincronizar los equipos de medida debido a que la mayoría de sistemas requieren funciones especiales en tiempos de disparo y captura de la señal. Actualmente, las aplicaciones software destinadas a la medición cuentan con componentes que permiten realizar dichas funciones y pueden ser realizadas mediante utilidades de configuración, APIs y controladores de dispositivos (*instrument drivers*).

Las APIs se ejecutan mediante software destinado a medir entradas y salidas, mediciones remotas, manejo y almacenamiento de datos, manejo de los recursos hardware, programación de eventos, documentación de los componentes electrónicos, exploración de medidas y su automatización.

Existe una amplia gama de funciones API destinadas a desarrollar sistemas de medida, por ejemplo las destinadas al manejo de entradas y salidas analógicas, entradas y salidas digitales, contadores y temporizadores, sincronización de diferentes dispositivos de medida, calibración, servidores OPC (*OLE for Process Control*) de NI-DAQ (*National Instruments Data Acquisition*), digitalizadores de alta velocidad y automatización de mediciones.

A continuación se describen los principales lenguajes de desarrollo utilizados en el campo de la instrumentación electrónica.

### 2.2.4.1. Lenguajes de desarrollo para instrumentación electrónica

Los lenguajes utilizados en el desarrollo de laboratorios virtuales son lenguajes de programación orientados a la instrumentación virtual, instrumentación programable, control de procesos industriales, desarrollo de interfaces para el control de instrumentos o dispositivos, etc. Este tipo de lenguajes se caracterizan por tener una plataforma orientada a objetos y presentar una GUI (*Graphical User Interfaz*) que facilitan al usuario el desarrollo de potentes sistemas de medida y automatización.

Los programas con mayor demanda en el campo de los desarrollos virtuales son LabVIEW y LABWindows desarrollados por la firma National Instruments y Agilent VEE desarrollado por la firma Agilent Technologies. Los apartados siguientes describen dichas herramientas.

#### 2.2.4.1.1. LabVIEW

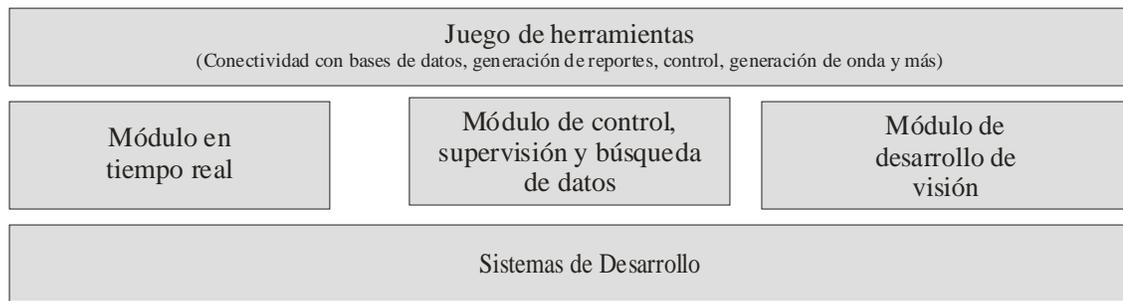
LabVIEW es un programa de desarrollo basado en un ambiente gráfico destinado a realizar prototipos, diseños y sistemas de adquisición de datos, instrumentación y sistemas de control en periodos de tiempo cortos [23, URL9].

LabVIEW cuenta con bibliotecas de funciones dedicadas a la adquisición de datos, acondicionamiento de la señal, comunicación serial, GPIB, VXI, PXI, control de instrumentos, adquisición de imágenes y control de motores, lo que permite realizar programas distribuidos a través de una red bajo entornos Windows 9X/Me/2000/NT/XP, Mac, Linux y Solaris.

LabVIEW se puede conectar a diferentes aplicaciones mediante herramientas .NET, ActiveX, WWW, XML, IrDA (*Infrared Data Association*), DLL (*Dynamic Link Library*), bibliotecas compartidas, SQL (*Structured Query Language*), Datasocket, TCP/IP, etc.

Las principales características de LabVIEW son:

- Es un ambiente de desarrollo gráfico intuitivo para desarrollos industriales.
- Da soporte a una gran variedad de dispositivos de entrada y salida con más de 100 fabricantes y 1500 controladores de instrumentos.
- Permite reducir los tiempos y costos de desarrollo.
- Es una herramienta robusta para análisis y diseño de herramientas y sistemas de medida.



**Figura 2.7.** Ambiente de desarrollo de LabVIEW.

La Figura 2.7 muestra los módulos y herramientas con que cuenta LabVIEW, los cuales permitan obtener un mejor rendimiento en el desarrollo de sistemas de medida.

Cada módulo tiene funciones propias y está diseñado específicamente para el campo que representa. A continuación se describe el funcionamiento de cada uno de ellos:

- *Módulo de tiempo real*: es un ambiente gráfico para el control de procesos en tiempo real. Para su funcionamiento requiere un procesador 486DX, 16 Mb en RAM y se ejecuta sobre un entorno Windows 9X/2000/NT/Me/XP. Sus principales características son: desarrollo rápido y depurado, completa funcionalidad y flexibilidad para hardware de tiempo real, soporta hardware con NI-VISA, integra bibliotecas de funciones para adquisición de datos, control de motores, adquisición y análisis de imágenes, control PID (*Proportional, Integral, Derivative*), control de lógica difusa (*Fuzzy Logic*), conectividad serial o GPIB, comunicación CAN (*Controller Area Network*) y trabajo en red.
- *Módulo de control, supervisión y búsqueda de datos*: es un ambiente gráfico dedicado al monitoreo y distribución de aplicaciones en red. Para un funcionamiento correcto requiere de una computadora con procesador Pentium a 133 MHz o superior un sistema operativo Windows 9X/2000/NT (versión 4 SP3)/Me/XP, 64 Mb en RAM (se recomienda 128 Mb) y espacio en el disco duro de 140 Mb.

Sus características especiales son procesamiento de entradas y salidas para el control de eventos, manejo de eventos y alarmas, control de histogramas y tiempo real, trabajo en red, escalabilidad y más de 3300 gráficos de apoyo.

- *Módulo de desarrollo de visión*: es un ambiente gráfico de alto nivel para el manejo de visión por computadora y procesamiento de imágenes. A su vez, este módulo cuenta con las siguientes herramientas:
  - *IMAQ visión*: es una biblioteca de funciones de alto nivel que incluye más de 200 funciones para el procesamiento y análisis de visión por computadora e imágenes. Cuenta con las siguientes características: alto nivel de manejo de visión por computadora, procesamiento de imágenes y herramientas de visualización, procesamiento y análisis de imágenes en escalas de grises, colores y binarias, altas velocidades para comparar y localizar objetos de varios tamaños y orientaciones en imágenes de escalas de grises y color, capacidades de visión, cálculo y análisis de más de 49 parámetros como área, perímetro, locación etc., corrección de ángulo de cámara y distorsión en los lentes y soporta LabVIEW en tiempo real.
  - *Vision Builder*: es una herramienta software de alto nivel que proporciona beneficios en la experimentación y estrategias de procesamiento con la finalidad de reducir el consumo del tiempo en las aplicaciones desarrolladas. Sus principales características son: ambiente prototipo para visión interactiva que genera diagramas en LabVIEW, inspección automatizada fuera de línea con procesamiento por lotes, vi-

sualización de varias imágenes con acercamiento, alejamiento, extracción y desplazamiento, retorno de mediciones de distancia, áreas y lugares, manejo de imágenes y búsqueda de visión y soporta LabVIEW en tiempo real.

LabVIEW cuenta con un conjunto de herramientas que permiten realizar tareas con otras aplicaciones o software distinto, por ejemplo la generación de reportes bajo Microsoft Office, conectividad empresarial, construcción de aplicaciones, control PID, procesamiento y análisis de señales y conectividad con bases de datos.

También cuenta con una gran variedad de controladores de instrumentos y bibliotecas de enlace con otras plataformas de desarrollo que facilitan el diseño, desarrollo e implementación de sistemas. La Figura 2.8 muestra la GUI de una aplicación realizada en LabVIEW.

#### 2.2.4.1.2. LabWindows/CVI

LabWindows/CVI (*Complete Virtual Instrumentation*) es un ambiente de desarrollo basado en el lenguaje ANSI C orientado a la creación de aplicaciones para instrumentos virtuales [31]. LabWindows/CVI provee bibliotecas de funciones para adquisición, análisis y visualización de datos, editor de interfaces y generador automático de código. La principal característica de LabWindows/CVI es la creación de sistemas de instrumentación basados en GPIB, VXI y tarjetas de adquisición de datos (DAQ), gracias a que cuenta con un gran respaldo de bibliotecas de funciones dedicadas a tales plataformas de comunicación. LabWindows/CVI funciona en los sistemas operativos Windows 9X/2000/Me/NT/XP

Al igual que LabVIEW, LabWindows/CVI también contiene módulos que permiten desarrollar sistemas con necesidades específicas. Los módulos que conforman LabWindows/CVI son Análisis, TestStand, Controladores de instrumentos, Herramientas adicionales y Manejo de visión por computadora, los cuales se describen a continuación:

- *Análisis*: ofrece bibliotecas de funciones avanzadas destinadas a procesos de medida, generación de señales, filtros, funciones estadísticas, procesamiento de señales, operaciones complejas con arreglos y funciones de álgebra lineal.
- *TestStand*: permite organizar, controlar y ejecutar pruebas de validación y automatización en sistemas de producción. Este módulo no sólo soporta código de LabVIEW o LabWindows/CVI sino también código de MS Visual Basic y Visual C++, HTBasic, DLL, código ejecutable (*EXE*) o código ActiveX.

Las principales características de este módulo son: software configurable, ambiente de desarrollo interactivo, proporciona salidas a bases de datos y reportes personalizados en XML, HTML (*HiperText Markup Language*) y ASCII, pruebas paralelas y sincronizadas de alta velocidad, integración de aplicaciones con control en código fuente y llamadas a archivos de pruebas generados en NI LabVIEW, NI LabWindows/CVI, NI Measurement Studio, Microsoft Visual Basic o Visual Basic .NET, C/C++, HTBasic, DLL, Ejecutables, Servidores ActiveX, TCL/PERL, etc.

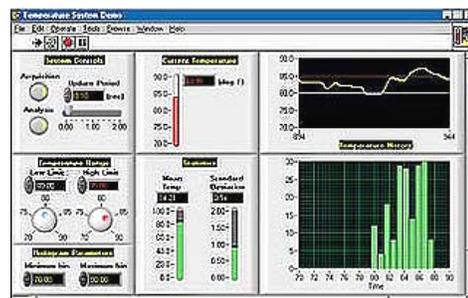
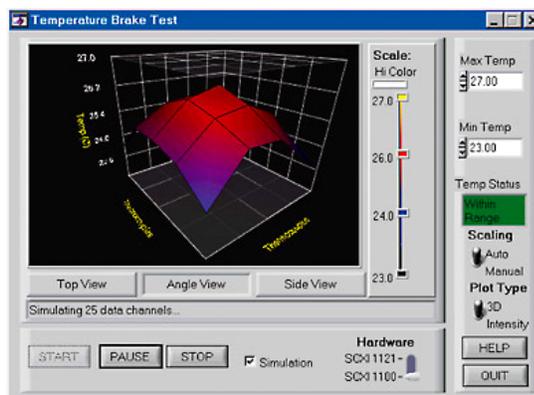


Figura 2.8. Ejemplo de una aplicación desarrollada en LabVIEW.



**Figura 2.9.** Ejemplo de un sistema desarrollado en LabWindows/CVI.

- *Controladores de instrumentos:* cuenta con bibliotecas de control para comunicación con los instrumentos, con ello proporciona la capacidad de desarrollar sistemas utilizando instrumentos virtuales y generar redes de medición. Cuenta con más de 150 controladores para diferentes instrumentos como son generadores de señal, osciloscopios, fuentes de alimentación de CD, multímetros digitales, analizadores de espectros, matrices de conmutación, etc.
- *Herramientas adicionales (Add-On Toolsets):* tiene la función de realizar la conexión con diferentes herramientas empresariales, bases de datos (más de 30 tipos de bases de datos y utilización de objetos de datos ActiveX), procesamiento de estadísticas (funciones de análisis SPC y control de mapas), conectividad con Internet (servidor http), control estadístico de procesos, cliente FTP (*File Transfer Protocol*) y CGI's (*Common Gateway Interface*).
- *Manejo de visión por computadora:* soporta las herramientas IMAQ Vision para procesamiento de imágenes en color, comparación de patrones en blanco y negro o color, etc. y NI Vision Builder para procesamiento por lotes y script, control de visualización de imágenes, etc.

LabWindows/CVI se distribuye en 2 presentaciones, paquete básico y sistema completo, y actualmente se encuentra en su versión 6.0. La Figura 2.9 muestra una GUI desarrollada con LabWindows/CVI.

#### 2.2.4.1.3. Agilent VEE

El sistema Agilent VEE (*Visual Engineering Environment*), desarrollado por la firma Agilent Technologies [12, 21, URL1], es un lenguaje de programación gráfica optimizado para el desarrollo de aplicaciones de prueba y automatización de medidas. Sus principales características son:

- Su utilización mejora la productividad y reduce los tiempos de desarrollo en un 80%.
- Es ideal para desarrollo de aplicaciones que incluyan pruebas funcionales, verificación del diseño, calibración, adquisición de datos y control.
- Mejora el control de entradas y salidas de los instrumentos controlados por GPIB, VXI, comunicación serial, tarjetas para computadora *Plug&Play* y LAN.
- Soporta controladores de panel frontal de una gran cantidad de equipos de medida, controladores *VXIplug&play*, controladores ODAS (*Open Data Acquisition Standard*), interfaces Direct I/O y bibliotecas de otros fabricantes.
- Admite automatización y control mediante ActiveX, interfaces con otros tipos de software como MSWord, MExcel y MSAccess para la generación de reportes, análisis, presentación y almacenamiento de los resultados para usos futuros.

- Funciona como compilador para el desarrollo de ambientes profesionales, programas complejos y capacidades de manejo de instrumentos.
- Cuenta con la capacidad de importar código de lenguajes de alto nivel como C/C++, Visual Basic, Pascal, Fortran y Rocky Mountain Basic.
- Soporta el proceso de análisis mediante herramientas de MATLAB.
- Da soporte a más de 500 bibliotecas de funciones para control de instrumentos de NI Lab-View/Windows/CVI.
- Soporta las interfaces de bus ISA, PCI, CPCI, PCMCIA.

Los requerimientos para el funcionamiento de Agilent VEE son: computadora con procesador Pentium a 120 MHz o superior, sistema operativo Windows 9X/NT 4.0/2000/XP, mínimo 48 MB en memoria RAM, espacio libre en disco duro, mínimo de 60 MB.

Agilent VEE se distribuye en 2 versiones, Agilent VEE Pro, para desarrollo en sistemas complejos; y Agilent VEE OneLab, para adquisición de datos y diseño de sistemas pequeños. La Figura 2.10 muestra un ejemplo de desarrollo con Agilent VEE.

### 2.2.5. Sistemas de comunicaciones

Los instrumentos de medida actuales cuentan con la capacidad de comunicación con otros instrumentos o con una unidad de control como puede ser una computadora o microcontrolador dedicado, lo cual dio origen al término instrumentación programable, concepto que permite que un usuario pueda configurar el proceso de medida en forma remota. Un dispositivo o sistema de medida de este tipo debe contar con las interfaces físicas necesarias para realizar la comunicación con el usuario.

Las computadoras modernas cuentan con sistemas hardware que les permiten comunicarse con los dispositivos de medida mediante los diferentes tipos de sistemas de comunicación o buses, por ejemplo PCI/PXI, PCMCIA, bus serial universal (USB, *Universal Serial Bus*), etc. Los siguientes incisos describen el funcionamiento y características de los principales sistemas de comunicación utilizado en la industria de la instrumentación electrónica.

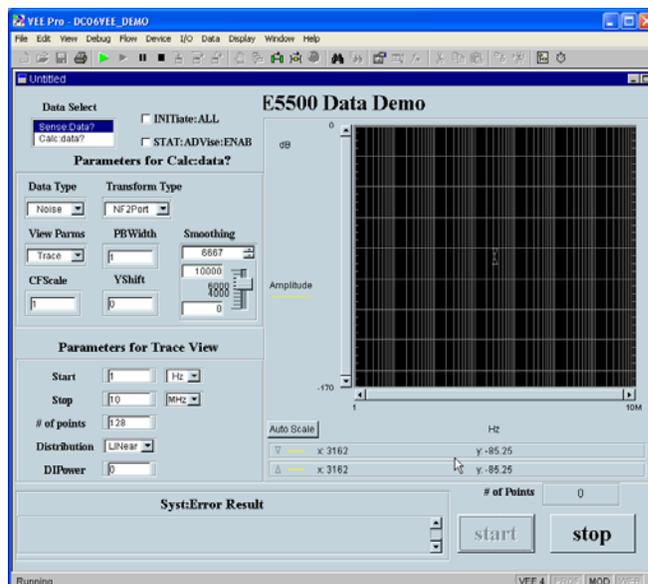


Figura 2.10. Ejemplo de un sistema desarrollado en Agilent VEE.

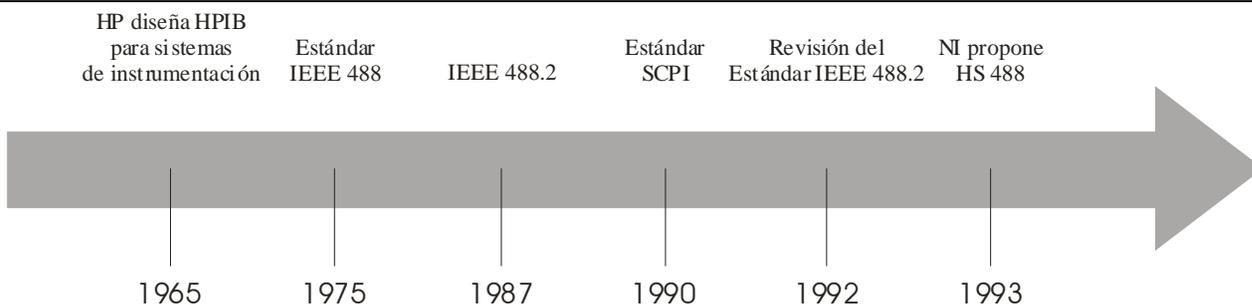


Figura 2.11. Historia del GPIB.

### 2.2.5.1. GPIB

El bus de instrumentación de propósito general (GPIB, *General Purpose Interface Bus*), desarrollado desde 1965 por la firma HP con el nombre de HP-IB (*Hewlett Packard Interface Bus*), tiene como objetivo controlar instrumentos de medida mediante una computadora. GPIB se define en el estándar IEEE 488, el cual se divide en IEEE 488.1 para describir las especificaciones mecánicas, eléctricas y de procedimiento, mientras que en IEEE 488.2 se describen las especificaciones de funcionamiento.

El estándar IEEE 488 establece la comunicación con los instrumentos mediante 2 tipos de mensajes, los mensajes dependientes del dispositivo y los mensajes de interfaz con el controlador de bus. Asimismo, define a los instrumentos conectados al bus como emisor (*talker*), con capacidad de emitir mensajes al bus; receptor (*listener*), con capacidad de recibir mensajes del bus; y controlador (*controller*), con la capacidad de controlar el flujo de la información en el bus. Se definen 16 líneas de señales y 8 de tierra, las líneas de señales están divididas en 8 líneas de datos, 3 de protocolo y 5 para gestión de la comunicación. En las líneas de datos se envían los mensajes, las líneas de protocolo controlan la transferencia de mensajes y las líneas de gestión controlan el flujo de la información en la interfaz GPIB.

GPIB soporta lenguajes de programación para instrumentos basados en el estándar SCPI (*Standard Commands for Programmable Instruments*). La Figura 2.11 muestra la evolución del GPIB.

Originalmente, el estándar IEEE 488 no contenía un formato para datos, manejo de errores, de protocolos, etc., por lo que en 1987 se dio a conocer el estándar IEEE 488.2, el cual establece un conjunto de órdenes comunes a los instrumentos, proporcionando mayor compatibilidad entre instrumentos de diferentes fabricantes. IEEE 488.2 define el número de requerimientos del controlador, el control de las secuencias para enviar mensajes, describe correctamente los estados, el orden de los mensajes y estandariza los controladores. También IEEE 488.2 define 2 órdenes obligatorias y 6 opcionales definidas en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Órdenes adicionales de GPIB.

Identificador	Nombre	Prioridad
RESET	Reinicializa el sistema	obligatorio
FINDRQS	Busca un dispositivo y solicita el servicio	opcional
ALLSPOLL	Sondeo serial a todos los dispositivos	obligatorio
PASSCTL	Paso de control entre controladores	opcional
REQUESTCTL	Solicitud de control	opcional
FINDLSTN	Búsqueda de oyentes	opcional
SETADD	Asignar direcciones	Opcional utilizando ( <i>findlstm</i> )
TESTSYS	Prueba del sistema	opcional

El uso de cada orden depende de las necesidades del sistema, por defecto cada instrumento GPIB debe utilizar las órdenes obligatorias. La mayoría de instrumentos electrónicos soportan el estándar IEEE 488.2 para facilitar su operabilidad en ambientes de automatización que contienen instrumentos de diferentes fabricantes.

Retomando lo que muestra la Figura 2.11, a continuación se describen los eventos más importantes en la historia del GPIB.

En 1990 un grupo de fabricantes de instrumentos definen el estándar SCPI para especificar un grupo de órdenes comunes entre instrumentos, también define las reglas para abreviar las órdenes del estándar IEEE 488.2. En base a ello, los controladores de instrumentos (*instruments drivers*) establecen un modelo de programación de alto nivel con mayor facilidad de uso para dar acceso al control total de hardware del instrumento.

En 1993, la empresa Alliance System *VXIplug&play* dio a conocer la herramienta VISA (*Virtual Instrument Software Architecture*), la cual define las interfaces de comunicación con los instrumentos VXI, GPIB y serial. Lo cual facilitó la compatibilidad en el desarrollo de automatización de medidas en procesos industriales. VISA define una arquitectura software estándar para controladores de instrumentos en forma de bibliotecas que definen una metodología para comunicar diferentes clases de instrumentos mediante múltiples interfaces de comunicaciones como GPIB, VXI o RS232. Actualmente se trabaja en el concepto de instrumento virtual intercambiable (IVI, *Interchangeable Virtual Instrument*), cuyo objetivo es aprovechar los controladores de los instrumentos tradicionales para definir una clase de instrumento en particular.

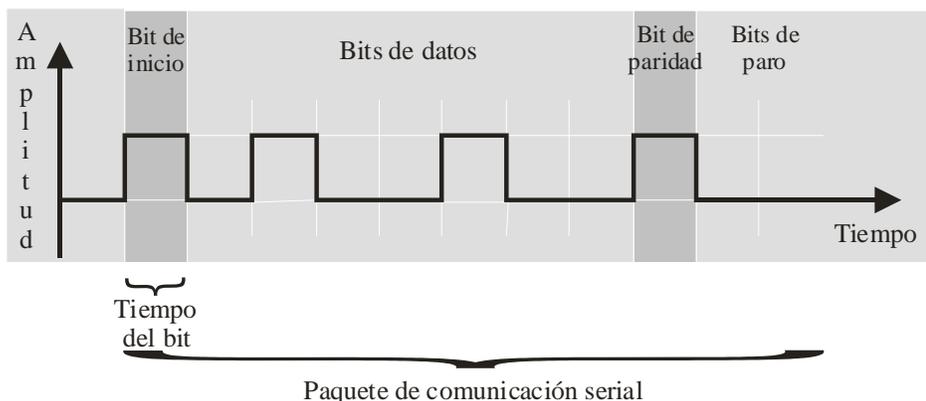
La Tabla 2.4 muestra las especificaciones mecánicas, eléctricas, funcionales y de procedimiento del estándar IEEE 488. Actualmente, la firma National Instruments busca la estandarización de un protocolo de comunicaciones GPIB de alta velocidad, denominado HS 488, con la finalidad de incrementar la velocidad de transferencia de datos hasta 8 MBps.

### 2.2.5.2. Comunicación serie

La comunicación serie es un modo de transmisión de datos en el cual los bits de datos se transmiten en forma secuencial sobre un único canal. Existen diferentes protocolos para la comunicación serie como RS-232 (ANSI/EIA 232), RS-422 (EIA RS-422-A) y RS-485 (EIA 485), de los cuales el más utilizado es el protocolo RS-232, véase Tabla 2.5.

Para la transmisión serie mediante protocolo RS-232 se utilizan 3 líneas de comunicación, transmisión, recepción y tierra, y la transmisión de los datos se caracteriza por la definición de los siguientes parámetros (Figura 2.12):

- *Velocidad de transferencia (Baud rate)*: indica los bits por segundo para la transferencia de datos. Los más comunes son: 1.2 Kbps, 2.4 Kbps, 9.6 Kbps y 33.6 Kbps.



**Figura 2.12.** Paquete de datos de la comunicación serial mediante protocolo RS-232.

**Tabla 2.4.** Especificaciones básicas del estándar IEEE 488 [19].

Versión del estándar	Tipo de especificaciones	Concepto	Descripción
IEEE 488.1	Mecánicas	Configuración del bus	Estrella ( <i>Star</i> ) o Serie ( <i>Líneal</i> ).
		Longitud del bus	2 m entre instrumentos ( <i>Máxima longitud total 20 m</i> ).
		Conector	Tipo americano de 24 pines.
			Instrumento ( <i>hembra</i> ).
	Eléctricas	Cable ( <i>apilable: macho y hembra</i> ).	
		"1" lógico en la salida	0 a 0,5 V.
		"1" lógico en la entrada	-0,6 a 0,8 V.
		"0" lógico en la salida	2,4 a 5 V.
	Funcionales y de procedimiento	"0" lógico en la entrada	2 a 5,5 V.
		Tipo de instrumentos	Controlador ( <i>Controller</i> ), Emisor ( <i>Talker</i> ), Receptor ( <i>Listener</i> ).
		N. de instrumentos conectables	Máximo 15.
		N. de instrumentos activos	Más de la mitad de los instrumentos conectados deben estar activos.
		Velocidad	Máxima 1 Mbps ( <i>distancias largas 200-300 Kbps</i> ).
		Longitud de datos y órdenes	8 bits ( <i>Octeto</i> ) en código ASCII o binario.
		Tipos de órdenes	34 principales y 32 secundarias.
		Dirección de instrumento	Conmutadores (6) o memoria pasiva.
		Direcciones del estándar	Emisores ( <i>Talkers</i> ): 31 principales y 32 secundarios.
			Receptores ( <i>Listeners</i> ): 31 principales y 32 secundarios.
	Funciones básicas de los instrumentos	10 (no presentes en todos los tipos de instrumentos).	
	Mecanismos de sondeo	Serie ( <i>Serial polling</i> ) y Paralelo ( <i>Parallel polling</i> ).	
IEEE 488.2	De procedimiento	Estructura de datos y sintaxis	Código ASCII, Hexadecimal y Octal.

**Tabla 2.5.** Características de los protocolos de comunicación serie [31].

Características	RS-232	RS-422	RS-485
Ancho de banda	230 Kbps	10 Mbps	10 Mbps
Número máximo de dispositivos	1 maestro	10	32
Longitud máxima del cable	15 m.	1220 m.	1220 m.

- *Bits de datos (Data bits)*: son los bits que corresponden a la información a transmitir, por lo regular se transmiten en código ASCII. Los bits de información pueden ser 5, 7 u 8.
- *Bit de paro (Stop Bit)*: utilizado para indicar que la transferencia de un símbolo ha terminado, por lo regular se pueden enviar 1, 1.5 ó 2 bits de paro.
- *Paridad (Parity)*: su principal función es detectar errores en la comunicación. Existen 2 formas de paridad, par, impar; también puede considerarse permanentemente en estado alto, espacio, o estado bajo, marca.

Las conexiones físicas dependen del tipo de conector que utilicen los equipos para comunicarse, existen 3 tipos de conectores adecuados para este tipo de comunicación: DB9, DB25 y RJ10 (Tabla 2.6).

**Tabla 2.6.** Terminales y señales de los conectores.

Terminales DB-25	Terminales DB-9	Terminales RJ-10	Señales RS-232	Señales RS-485
2	3	8	TXD	RTS+ (HSO+)
3	2	9	RXD	CTS+ (HSI+)
4	7	4	RTS	RTS- (HSO-)
5	8	3	CTS	TXD+
6	6	5	DSR	CTS- (HSI-)
7	5	6	GND	RXD-
8	1	10	DCD	GND
20	4	7	DTR	RXD+
22	9	2	RI	TXD-

### 2.2.5.3. Ethernet

Las redes de comunicación Ethernet surgieron como consecuencia de los avances producidos en los métodos de comunicación de datos en redes de larga distancia. Su principal aplicación se ha dado en sistemas de comunicaciones en entornos de oficinas, centros de cálculo y departamentos de investigación y desarrollo. Las redes Ethernet tienen la capacidad de soportar el intercambio de información entre equipos terminales de usuario y compartir los recursos hardware. Entre estos recursos compartidos se encuentran los periféricos de altas prestaciones (impresoras láser, unidades de almacenamiento masivo de información, etc.), las computadoras con gran capacidad de cálculo y los sistemas de medida dedicados.

El protocolo de comunicaciones fue desarrollado por XEROX, DIGITAL e INTEL en la década de los 70's. Actualmente se encuentra regido por el estándar IEEE 802.3, que define su implementación en redes de área local, llegando a ser el protocolo de comunicación más utilizado por su bajo costo y alta velocidad de transmisión. Ethernet es el protocolo de comunicación más utilizado en los negocios y en aplicaciones de tecnología de información que necesitan comunicarse mediante una red [43].

El estándar IEEE 802.3 define los siguientes suplementos al estándar para el desarrollo de redes de área local [43]:

- 802.3: 10BASE5 Ethernet sobre cable coaxial.
- 802.3a-1985: 10BASE2 Ethernet delgado.
- 802.3c-1985: 10Mbps.
- 802.3d-1987: FOIRL enlace de fibra.
- 802.3i-1990: 10BASE-T: Ethernet de par trenzado.
- 802.3j-1993: 10BASE-F: Ethernet de fibra óptica.
- 802.3u-1995: 10BASE-T Ethernet de alta velocidad y Auto-negociación.
- 802.3x-1997: Estándar Full-Duplex.
- 802.3z-1998: 1000BASE-X Ethernet Gigabit.
- 802.3ab-1999: 1000BASE-T Ethernet Gigabit sobre par trenzado.

- 802.3ac-1998: Extensión del tamaño de trama a 1522 bytes para VLAN (*Virtual LAN*).
- 802.3ad-2000: Agrega enlaces paralelos.

En una organización empresarial, las LAN se destinan a la conexión de computadoras, que realizan tareas de gestión, planificación y diseño de productos y servicios, situados en un área geográfica limitada que suele ser la comprendida por un edificio o un conjunto de edificios próximos.

Las LAN junto con las redes industriales (inciso 2.2.5.4) y las conexiones locales de equipos terminales y sistemas de tarjetas, constituyen la Intranet de una organización empresarial.

El modelo de referencia OSI, desarrollado en 1978 por la ISO, consta de 7 capas para describir la interconectividad entre dicho modelo. Las capas son: aplicación, presentación, sesión, transporte, red, enlace de datos y física.

Para aplicaciones sencillas de transferencia de archivos entre un número limitado de estaciones y periféricos, las capas de enlace de datos y física son los más importantes dado que permiten la conexión y comunicación entre las estaciones de la red. Las normas IEEE subdividen el nivel de enlace en dos partes, una común a todas representada por el formato de la información síncrono y orientado a bit y la otra que depende del método de acceso al medio.

Existen 4 elementos básicos para formar Ethernet que combinados hacen que funcione, estos son [43]:

- La trama (*frame*): el cual es un conjunto estandarizado de bits usado para pasar datos fuera del sistema.
- El protocolo de acceso al medio (*MAC*): el cual consiste en un juego de reglas encajadas en cada interfaz de ethernet que permite a múltiples computadoras acceder al canal de comunicación de manera justa.
- La señalización de componentes: la cual consiste en la estandarización de los dispositivos electrónicos que mandan y reciben señales del canal de transmisión.
- El medio físico: el cual consiste en los cables y otro tipo de hardware que se usa para transportar las señales digitales entra las computadoras a través de la red.

Las normas del nivel físico son específicas del medio utilizado y del tipo de transmisión de las señales. Para su análisis, las normas de redes de área local se clasifican según los niveles del modelo OSI tal como se muestra en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7.** Niveles de las redes de área local según el modelo OSI.

Capas	Especificaciones
Red	Establece la comunicación entre diferentes redes locales e incluso con redes de larga distancia (MAN y WAN), así como el procedimiento de gestión de red ( <i>Network management</i> ).
Enlace de datos	Se divide en la subcapa de control de enlace lógico LLC ( <i>Logical Link Control</i> ) la cual especifica el formato de la trama ( <i>Frame</i> ) de información. y la subcapa de control de acceso al medio MAC ( <i>Medium Access Control</i> ) la cual define el protocolo usado para el acceso arbitrario en un sistema Ethernet
Física	Se divide en la subcapa de señalización física y en la subcapa de la especificación al medio.

Existen otros grupos de trabajo del IEEE y ANSI que desarrollan diferentes especificaciones en los niveles 1 y 2 del modelo OSI para LANs y WANs, tales como:

- IEEE 802.6 (MAN, *Metropolitan Area Network*): especifica las normas de diseño para redes urbanas de voz, datos e imágenes que se conectan a redes de área local.
- FDDI II (ANSI X.3T9): amplía la norma FDDI de redes locales para incluir datos y tráfico de voz procedente de centrales privadas de conmutación de paquetes (PBX, *Private Branch eXchange*). Esta especificación supuso un gran avance en el diseño de redes MAN.
- IEEE 802.7 (*Broadband Technical Advisory Group*): establece recomendaciones para el cableado de redes de área local de banda ancha.
- IEEE 802.8 (*Fiber Optic Technical Advisory Group*): realiza especificaciones para utilizar fibra óptica en las normas 802.3, 802.4 y 802.5.
- IEEE 802.9 (ISDN, *Integrated Services Digital Network*): desarrolla una interfaz para conectar las estaciones de una red de área local a la red digital de servicios integrados para dar soporte de voz y datos por un cable de par trenzado.

#### 2.2.5.4. Comunicaciones industriales

Las comunicaciones industriales se refieren al hardware, software, protocolos de comunicaciones, plataformas y sistemas de control existentes en un ambiente de desarrollo industrial (Figura 2.13). Entre los principales FB's se encuentran CAN, Foundation Fieldbus y Profibus, los cuales se mencionan a continuación.

El bus de campo CAN fue desarrollado por la firma Bosch GmbH a mediados de los 80's destinado a las comunicaciones en la industria automotriz. CAN es un protocolo de comunicaciones, estandarizado en las normas ISO 11898 e ISO 11519, que conecta sensores, actuadores y sistemas de tiempo real a velocidades de hasta 1 Mbps. Actualmente se emplea en diversas áreas industriales [24].

El protocolo de capa de aplicación DeviceNet fue desarrollado por Allen-Bradley para conectar dispositivos de bajo nivel (sensores y actuadores) a dispositivos de alto nivel (controladores). DeviceNet está basado en el bus CAN y considerando el modelo de referencia OSI cuenta con las siguientes características:

- Soporta hasta 64 nodos en red de comunicaciones.
- Maneja prioridades de acuerdo al protocolo CAN.
- Transferencia de datos de 1 Mbps para altas velocidades y 125 Kbps para bajas velocidades, basada en el modelo productor-consumidor.
- Soporta aplicaciones críticas que requieran altas velocidades de transmisión en tiempo real y tolerantes a fallos, asimismo soporta aplicaciones de confort y entretenimiento.

El protocolo Foundation Fieldbus originalmente fue desarrollado para aplicaciones de control en procesos distribuidos, se encuentra especificado en los estándares ISA/IEC (ISA S50.02-1992, IEC 61158-2).

PROFIBUS es un bus de campo desarrollado por la industria Europea dedicada al control de procesos de fabricación. Se encuentra especificado en los estándares DIN 19245 y EN 50170. PROFIBUS se emplea en el diseño de una amplia gama de aplicaciones que requieren comunicar procesos a alta velocidad, en la transmisión de datos entre controladores y dispositivos de E/S en tiempos críticos y en comunicaciones complejas entre controladores programables. Existen 3 tipos de protocolos PROFIBUS descritos en el estándar, PROFIBUS-DP, PROFIBUS-FMS y PROFIBUS-PA [24].

La Tabla 2.8 muestra una comparación entre los principales protocolos de comunicaciones empleados en el área industrial descritos anteriormente.

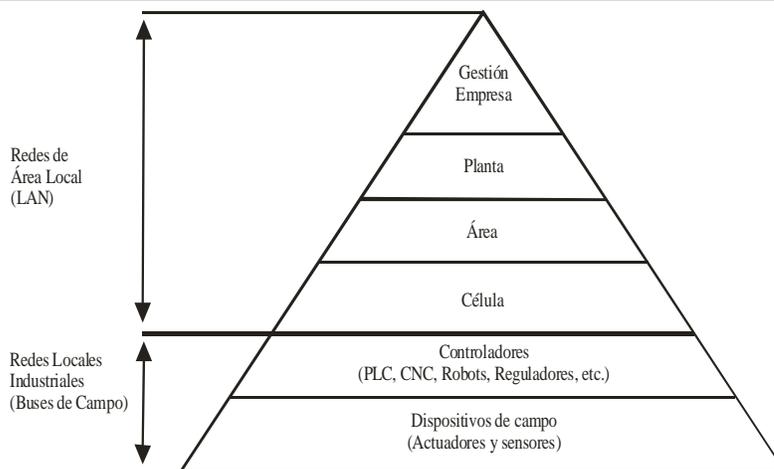


Figura 2.13. La pirámide de la productividad.

Tabla 2.8. Tabla de comparativa de los protocolos de comunicación industrial.

Características	GPIB	RS-232	Ethernet	CAN
Ancho de banda	1-8 Mbps	230 Kbps	10 Mbps	1 Mbps
Número máximo de dispositivos	14 dispositivos	1 maestro, varios esclavos	1024 nodos	32 a 128 nodos
Longitud del cable	20 mts.	15 mts.	De 1 hasta 2000 mts. <sup>2</sup>	1,000 mts. <sup>3</sup>
Tipo de cable	Cable GPIB	Par trenzado, Cable telefónico	Par trenzado, Cable coaxial, Fibra óptica	Par trenzado, AWG(23,20,18), Cable coaxial
Aplicaciones	Industria e instrumentación electrónica	Comunicaciones entre PCs y sus periféricos, Industria	Redes de transferencia de datos e Industria	Industria automovilística, control de procesos, control de maquinaria, industria marítima y ferroviaria
Tipo de conector	Conector GPIB	DB-9, DB-25, RJ-10	RJ-45 conector coaxial	DB-9, mini de 5 terminales

### 2.3. Instrumentación electrónica

El término instrumentación puede definirse como un conjunto de dispositivos o sistemas para la medición, regulación y análisis de procesos industriales y hace referencia a todos los instrumentos necesarios para llevar a cabo una medición de parámetros dentro de un proceso industrial mediante el análisis y presentación de resultados al usuario.

### 2.4. Instrumentación virtual

Se dice que algo es virtual cuando “se tiene virtud de producir un efecto, aunque no lo produce de forma física. Frecuentemente en oposición a efectivo o real” [URL12]; en términos de informática y electrónica el término indica “representación de escenas o imágenes de objetos producida por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real”. Considerando ambas definiciones se puede decir que la instrumentación virtual es la capacidad de representar los instrumentos de medida y las mismas mediciones mediante un medio informático o computadora, así como representar procesos industriales y realizar análisis de los mismos procesos.

Un instrumento virtual (VI, *Virtual Instrument*) es un módulo de software que simula el panel frontal de los instrumentos modulares (*stand alone*) apoyándose en elementos hardware adaptables a

<sup>2</sup> Esta distancia se encuentra en una red tipo Ethernet 10Base2 con cable coaxial delgado RG58, con 50 ohmios de impedancia, las distancias pueden variar dependiendo del tipos de red y del tipo de cable empleado.

<sup>3</sup> Esta distancia se encuentra en una red con velocidad de transmisión de 40 Kbps, la distancia puede variar dependiendo de la velocidad de transmisión.

una computadora (tarjetas de adquisición, tarjetas DSP, módulos con interfaz vía GPIB, VXI, RS-232) para realizar una serie de medidas como si fuera un instrumento real [23].

Son dos las tareas que desarrolla la instrumentación virtual, mediciones en tiempo real y las respuestas a los eventos en tiempo real las cuales se describen a continuación [35].

#### 2.4.1. Mediciones en tiempo real

Una de las áreas importantes en el campo de la instrumentación es el desarrollo de aplicaciones en tiempo real, por ejemplo el control de procesos, procesamiento de señales y respuesta a eventos.

Los sistemas de control en tiempo real son necesarios en sistemas que requieren de un monitor de eventos al que se le puedan inyectar estímulos en forma continua. Las bases para describir una aplicación en tiempo real son [31]:

- *Control de tiempo del ciclo*: está determinado por el tiempo que tarda el sistema en comparar el estado actual con el estado anterior y proporcionar una respuesta. Dicho tiempo debe ser suficientemente corto para no afectar el funcionamiento del sistema.
- *Sistema determinístico*: el sistema debe determinar el intervalo de tiempo entre los eventos del sistema.
- *Margen de error*: es el tiempo establecido entre los ciclos de operación del sistema.
- *Tiempo real completo y tiempo real ligero*: el tiempo real completo es demasiado determinístico y nunca pierde un evento, por el contrario el tiempo real ligero no es determinístico y ocasionalmente pierde eventos o arroja resultados inadecuados.

El procesamiento de señales en tiempo real tiene muchas de las características del control en tiempo real, y sobre todo requiere determinados espacios de tiempo entre eventos apoyado por rutinas de análisis punto a punto, las cuales reducen los tiempos de adquisición de los datos para procesar las señales. Asimismo, dichas rutinas ayudan a implementar filtros a las propias señales con lo cual el procesamiento de señales se realiza en pequeños periodos de tiempo.

#### 2.4.2. Respuesta los eventos en tiempo real

Esta área del desarrollo consiste en brindar una determinada cantidad de tiempo a un evento sencillo y garantizar respuestas en un tiempo adecuado. Basándose en el tiempo que toma la respuesta al evento, conocida como latencia, se puede garantizar la completa ejecución del evento.

La funcionalidad del software desarrollado para procesamiento en tiempo real depende del sistema operativo en donde se esté ejecutando debido a las diferencias entre un sistema operativo de tiempo real (RTOS, *Real Time Operating System*) y un sistema operativo de propósito general. Básicamente dichas diferencias consisten en garantizar una latencia de trabajo adecuada para desarrollar correctamente el proceso y que los procesos en ejecución se puedan interrumpir en cualquier momento sin afectar el funcionamiento del sistema. Por lo anterior, en los casos de requerimientos especiales, un RTOS garantiza la respuesta a los eventos en un intervalo de tiempo determinado.

Una de las aplicaciones informáticas para desarrollo de sistemas en tiempo real es Labview Real Time, que combina las características anteriores en el desarrollo de aplicaciones en tiempo real.

#### 2.4.3. Mediciones y automatización basada en computación

Actualmente, el campo de la automatización basado en una computadora se extiende a la industria, investigación, docencia, etc., debido a que proporciona adecuadamente tiempos de respuesta, exactitud y velocidad en la obtención, procesado y visualización de medidas en los procesos correspondientes.

Por lo anterior, actualmente surgen nuevas líneas de desarrollo para solucionar dichos problemas. La instrumentación virtual y la creación de laboratorios virtuales han venido a aportar nuevas soluciones, mejorando las técnicas de adquisición, procesado y presentación de datos. Existen empresas especializadas en desarrollar herramientas software y hardware para solucionar problemas de medición y automatización, y sobre todo para mejorar las técnicas de automatización de medidas, procesamiento de la información y presentación de los resultados<sup>4</sup>.

## 2.5. Laboratorio virtual

Un laboratorio se define como “lugar dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos y trabajos de carácter científico o técnico” [URL12]. Empleando el término virtual se puede definir un laboratorio virtual como “un lugar dotado de equipo informático en donde se puede realizar la simulación en aplicaciones de cómputo, acerca de fenómenos o procesos físicos, químicos, biológicos, tecnológicos, matemáticos y en este caso industriales”. Una forma de crear laboratorios virtuales en el campo de la educación es contar con lenguajes gráficos de programación enfocados a la simulación de instrumentos de medida y procesos industriales, por ejemplo LabVIEW, Agilent VEE, etc. (apartado 2.2.4.1).

La creación de laboratorios virtuales brinda la posibilidad de producir ambientes de investigación de alta calidad, con una GUI amigable y de fácil mantenimiento [15, 20]. Se puede decir que un laboratorio virtual es la fusión de herramientas hardware y software con el objetivo de permitir el desarrollo de prácticas en forma interactiva y remota [37].

## 2.6. Campo de aplicación para los laboratorios virtuales

Los principales campos de aplicación de los laboratorios virtuales son la educación, la investigación y desarrollo tecnológico, y la industria. A continuación se describe cada una de ellas.

### 2.6.1. Educación

En el campo de la educación se desarrollan una infinidad de laboratorios virtuales en la modalidad de educación a distancia o educación no presencial. El desarrollo de la educación a distancia tiene sus orígenes en los países con problemas de cobertura en la educación, haciéndose indispensable el desarrollo y utilización de nuevas tecnologías que permitan expandir la oferta de educación a un mayor número de población.

De forma similar, la tendencia de las ventajas tecnológicas, que ofrece tanto software como hardware, permiten aprovechar mejor los recursos en la creación de sistemas interactivos de enseñanza que puedan cumplir con el objetivo de capacitar a los estudiantes que requieran entrenamiento en áreas determinadas.

Actualmente, muchas de las escuelas destinadas a capacitar al personal no cuentan con la infraestructura (equipo, profesores, instalaciones, etc.) necesaria para brindar una capacitación adecuada, es por eso que el desarrollo de la instrumentación virtual y los laboratorios virtuales vienen a ser una solución a dichos problemas [18].

### 2.6.2. Investigación y desarrollo tecnológico

En el campo de la investigación y desarrollo tecnológico, la instrumentación virtual y los laboratorios virtuales han tenido un avance muy importante debido a las necesidades que presenta la falta de equipo especializado de un costo económico muy elevado y de una planta de investigadores de

---

<sup>4</sup> Las principales empresas especializadas al campo de la automatización de medidas son National Instruments [URL9] y Agilent Technologies [URL1].

alto nivel o especialistas. Por lo anterior, se tiene que recurrir a la simulación de equipo de instrumentación y de ambientes virtuales para procesos físicos, químicos, biológicos, electrónicos, etc.

Los laboratorios e instrumentos virtuales dan la posibilidad de producir ambientes de investigación de alta calidad, con una interfaz amigable y de fácil mantenimiento.

### 2.6.3. Industria

En el área industrial, los instrumentos y laboratorios virtuales suplen, en un determinado momento, el papel que desempeñan los trabajadores en la línea de producción, debido los requerimientos específicos como son la velocidad en el proceso, precisión en la fabricación, trabajo continuo de la fabrica, cambios de turno y sobre todo disminuir los daños a los trabajadores en ambientes no aptos para humanos.

Los principales beneficios que aporta la instrumentación virtual en la industria son que el procesamiento de información se realiza en tiempo real, por ejemplo, sí en algún momento el proceso falla, inmediatamente se reporta al sistema para prevenir daños mayores y los procesos se pueden controlar mediante una red de información, con lo cual se pueden controlar la línea de producción y los procesos en forma remota. Existen sistemas desarrollados bajo este concepto que ofrecen características de sistemas en tiempo real y se basan en diferentes protocolos de comunicación.

## 2.7. Ejemplos de laboratorios virtuales

Algunos de los ejemplos que se describen a continuación corresponden a laboratorios virtuales en funcionamiento o en desarrollo dentro de los campos descritos anteriormente.

### 2.7.1. Teisa

El laboratorio Teisa pertenece a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación (ETSI-T) de la Universidad de Cantabria (España) [URL13]. Es un laboratorio tanto presencial como virtual dedicado al campo de la educación (Figura 2.14).

Este laboratorio se subdivide en dos áreas, electrónica digital y electrónica industrial. Cada una de ellas cuenta con equipos de cómputo que pueden asignarse en forma presencial o remota mediante una conexión de red y una cuenta de acceso.

El laboratorio Teisa cuenta con toda una infraestructura de administración y gestión de los recursos para proteger y administrar sus recursos. Dentro de su equipamiento puede mencionarse lo siguiente:



Figura 2.14. Página principal del laboratorio Teisa.

- *Área de electrónica digital:* cuenta con 10 puestos de trabajo, cada uno con una PC con sistema operativo Microsoft Windows NT 4.0, tarjeta interna con analizador lógico y puntas de entrada y salida, fuente de alimentación, osciloscopio, multímetro digital y sondas de prueba. Las herramientas software utilizadas son Orcad Capture-Layout-Pspice, Xilinx FPGA Design Manager con programador de FPGAs, software de emulación de analizador lógico y Altera FPGA/PLD.
- *Área de electrónica industrial:* se compone de 7 puestos de trabajo compuestos por una PC con sistema operativo Microsoft Windows NT 4.0, tarjeta de interfaz GPIB e instrumentos específicos de medida conectados al GPIB.

Las herramientas software utilizadas son LabVIEW, Agilent VeeTest y Microsim Pspice.

El laboratorio cuenta con un normatividad de horarios, usos, asignaturas, etc. con la finalidad de controlar el uso del equipo por los estudiantes. Actualmente se encuentra en uso y brinda servicio a los alumnos de la Universidad de Cantabria.

### 2.7.2. DaimlerChrysler do Brazil Ltd.

En su planta ubicada en Sao Paulo (Brasil), la empresa DaimlerChrysler desarrolló e instaló un sistema de monitoreo y control de sus máquinas de ensamble (*Nutrunners*) vía Internet [16]. Utilizan una computadora con un RTOS dedicada a la supervisión y un sistema llamado STEPP-LINK para interfazar las máquinas de ensamblaje y las computadoras dedicadas al control de la línea de producción. La implementación del sistema de monitoreo y control ha incrementado la productividad al disminuir las fallas de ensamble y agilizar el ensamble de las piezas.

La Figura 2.15 muestra el diagrama de comunicación entre las máquinas de ensamblaje, las computadoras de control y el sistema STEPP-LINK.

### 2.7.3. Laboratorio de instrumentación electrónica

El laboratorio de acceso remoto para la enseñanza de la instrumentación electrónica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Pereira en Colombia es un laboratorio de instrumentación virtual dedicado a la enseñanza e investigación que cuenta con 4 módulos [URL10]:

- Temperatura.
- Nivel y caudal.
- Magnitudes físico-mecánicas.
- Magnitudes eléctricas.

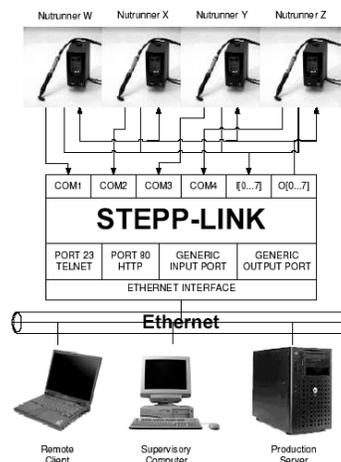


Figura 2.15. Diagrama del sistema STEPP-LINK de DaimlerChrysler.

Cada módulo cuenta con prácticas cuyo objetivo es enseñar el manejo de los dispositivos que constituyen el laboratorio. Cada práctica tiene una estructura y metodología para desarrollar la simulación mediante una computadora en un ambiente de red utilizando diferentes protocolos de comunicaciones (RS-232, GPIB, USB, IEEE 1284-1994). Actualmente, las aplicaciones sólo se pueden acceder dentro de la Intranet de la propia facultad.

Como resultado de la implementación de dicho laboratorio, se ha mejorado la comprensión de los términos de instrumentación virtual y ha sido la base para el desarrollo de proyectos de investigación. La Figura 2.16 presenta una práctica que se desarrolla en dicho laboratorio.

The image shows a screenshot of a web browser displaying a portal for remote laboratory access. The browser window title is "Portal Laboratorio de Instrumentación Electrónica - Microsoft Internet Explorer". The address bar shows "http://ohm.utp.edu.co/labinstrem/practicas/practica1temp.html#". The page content includes a header for "Laboratorio de Acceso Remoto para la Enseñanza de la Instrumentación Electrónica" with logos for "UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA", "GEEKIT", and "Ministerio de Comunicaciones COLOMBIA". The main content area is titled "ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE CALOR EN EL HORNO" and contains sections for "OBJETIVO", "DESCRIPCIÓN", and "PROCEDIMIENTO".

The "DESCRIPCIÓN" section states: "Como la ubicación de los sensores no es homogénea sino que están ubicados en diferentes puntos del horno, la temperatura no es la misma para estos puntos, existiendo entonces gradientes de temperatura entre las localizaciones de los diferentes sensores. Teniendo presente estas apreciaciones, en esta práctica se determinará la distribución del calor dentro del horno en diferentes condiciones como pueden ser, con y sin ventilador, tapas abiertas y cerradas, etc. Para esto se utilizará el software de control y monitoreo del módulo de temperatura, el cual permite adquirir los datos de todos los sensores y graficar la temperatura del horno en cualquier instante de tiempo."

The "PROCEDIMIENTO" section includes the following step: "1. Ejecutar el software para el control y operación del módulo Verificar la respuesta de cada uno de los sensores y precalentar el horno para verificar los cambios en la temperatura, apertura y cierre de las tapas para verificar el correcto funcionamiento del módulo."

Below the text is a screenshot of the software interface. It features a control panel with buttons for "MODOS DE OPERACIÓN AUTOMÁTICO-MANUAL" (Infrafrío, Disipador, Tapas, Ventilador) and "OPERACIÓN" (IND, RX TEST, Normal, Sobrecarga, SALIR). A graph titled "Lectura Sensores" displays temperature readings for TC J, PT100, NTC, AD590, and IR sensors. The graph shows a temperature profile over time, with the y-axis ranging from 0.0 to 100.0 and the x-axis from 0 to 67. The interface also includes a "CONTROL DISIPADOR" section with a potentiometer and a "CONTROLES" section with buttons for "TAPAS VENT" and "Rele NTC OFF".

Figura 2.16. Laboratorio de acceso remoto para la enseñanza de la instrumentación electrónica.

### 3. Administración de los recursos del LabCD

Este capítulo describe la administración de los recursos del laboratorio de comunicaciones digitales (LabCD) mediante la descripción de la estructura general y de los componentes hardware y software.

#### 3.1. Laboratorio de comunicaciones digitales

El LabCD tiene como objetivo principal ser una plataforma académica y de investigación basada en un conjunto de sistemas de instrumentación electrónica programable y virtual. El LabCD se divide en cuanto a su funcionalidad, descripción y estructura (Figura 3.1).

##### 3.1.1. Clasificación funcional del LabCD

La clasificación funcional del LabCD se refiere a la funcionalidad del propio laboratorio, y puede funcionar como un laboratorio de propósito general o un laboratorio de investigación.

El LabCD como laboratorio de propósito general tiene la función de brindar servicio a los profesores y alumnos de las carreras de ingeniería en electrónica e ingeniería en computación de la UTM. Tanto los profesores como el alumnado tienen acceso al laboratorio y cuentan con un horario establecido para su uso. La administración del LabCD gestiona los recursos hardware y software necesarios para desarrollar las clases correspondientes.

El LabCD funciona como plataforma de investigación al Cuerpo Académico de Redes de Instrumentación, el cual desarrolla temas de investigación en los campos de redes de instrumentación, instrumentación virtual, instrumentación programable, sistemas de comunicaciones, etc., también brinda apoyo a los tesis que requieran de sus servicios para llevar a cabo el proceso de desarrollo del trabajo de tesis.

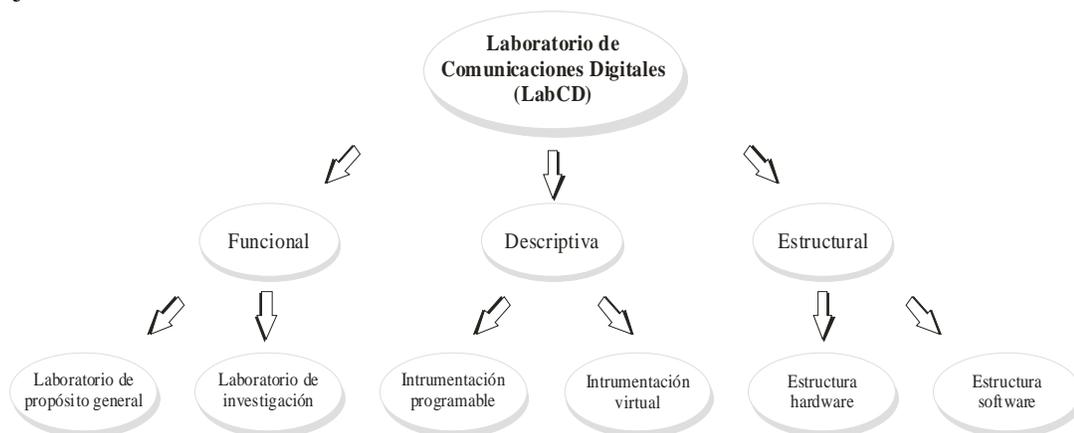


Figura 3.1. Descripción general del LabCD.

### 3.1.2. Clasificación descriptiva del LabCD

La clasificación descriptiva del LabCD se refiere a la capacidad de los instrumentos y sistemas con que cuenta el laboratorio, y puede funcionar como un laboratorio de instrumentación electrónica programable o un laboratorio de instrumentación electrónica virtual.

El laboratorio de instrumentación electrónica programable engloba a los equipos de medida que pueden ser programados, configurados y automatizados mediante su panel frontal de forma remota, estos equipos tienen la función de automatizar medidas y procesos. Todos los equipos de medida del LabCD soportan y son parte de la instrumentación electrónica programable debido a que cuentan con un panel frontal y con controladores que permiten automatizar su funcionamiento.

El LabCD forma parte del campo de la instrumentación electrónica virtual (subcapítulo 2.4) debido a que basa su acceso remoto mediante una página Web, en donde se puede acceder a los recursos del laboratorio. Mediante la página se puede acceder a una estación de trabajo para controlar-la remotamente. El LabCD proporciona diversas aplicaciones software que simulan el panel frontal de los equipos de medida y utilizan bibliotecas de funciones para instrumentación electrónica virtual.

### 3.1.3. Clasificación estructural del LabCD

El LabCD está constituido por la parte física, que corresponde al hardware, y la parte lógica, que corresponde al software.

La parte física consta de 10 estaciones de trabajo, las cuales están conectadas entre sí mediante una LAN. Cada estación de trabajo consta de una computadora, un osciloscopio, una fuente de DC, un generador de señales, un multímetro y un programador para microcontroladores de la familia Microchip.

La parte lógica cuenta con el software necesario para la manipulación de cada uno de los instrumentos y la realización correcta de las aplicaciones, así como el sistema operativo y los diferentes lenguajes de programación. Todos los dispositivos están conectados entre sí mediante un sistema de comunicación, en este caso por el GPIB. La computadora funciona como controlador de cada estación de trabajo y organiza el acceso de los usuarios al sistema e instrumentos.

El LabCD cuenta con una estación de trabajo dedicada a realizar la interfaz LAN-GPIB, la cual proporciona la capacidad, a usuarios externos, de acceder a los sistemas e instrumentos del laboratorio. Esta estación funciona como un ATE ya que brinda el acceso a instrumentos de medida especializados como son un analizador de espectros (Figura 3.2).

Cada estación de trabajo tiene la autonomía de controlar los equipos que tiene conectados mediante una interfaz GPIB y tiene acceso a Internet mediante una interfaz de red LAN para compartir información con las demás estaciones de trabajo y el ATE.

Los instrumentos electrónicos del LabCD cuentan con un firmware que les permite funcionar independiente u obtener una configuración de usuario desde la computadora de control. Para ello el LabCD basa su funcionamiento en el GPIB. El firmware puede configurarse mediante bibliotecas de comunicación con los instrumentos apoyadas en el sistema operativo en función. El software es controlado por el administrador del laboratorio, el cual asigna cuentas de usuario a profesores, alumnos e investigadores con el objetivo de controlar la configuración del LabCD.

La parte lógica del LabCD está compuesta por software para manipular los instrumentos mediante GPIB, software de aplicación general, software de programación y el sistema operativo.

El LabCD establece una normativa para regir su utilización por parte de los usuarios. La Figura 1.1 muestra el diagrama de bloques de la organización lógica del LabCD y la Figura 3.3 muestra el laboratorio físicamente.

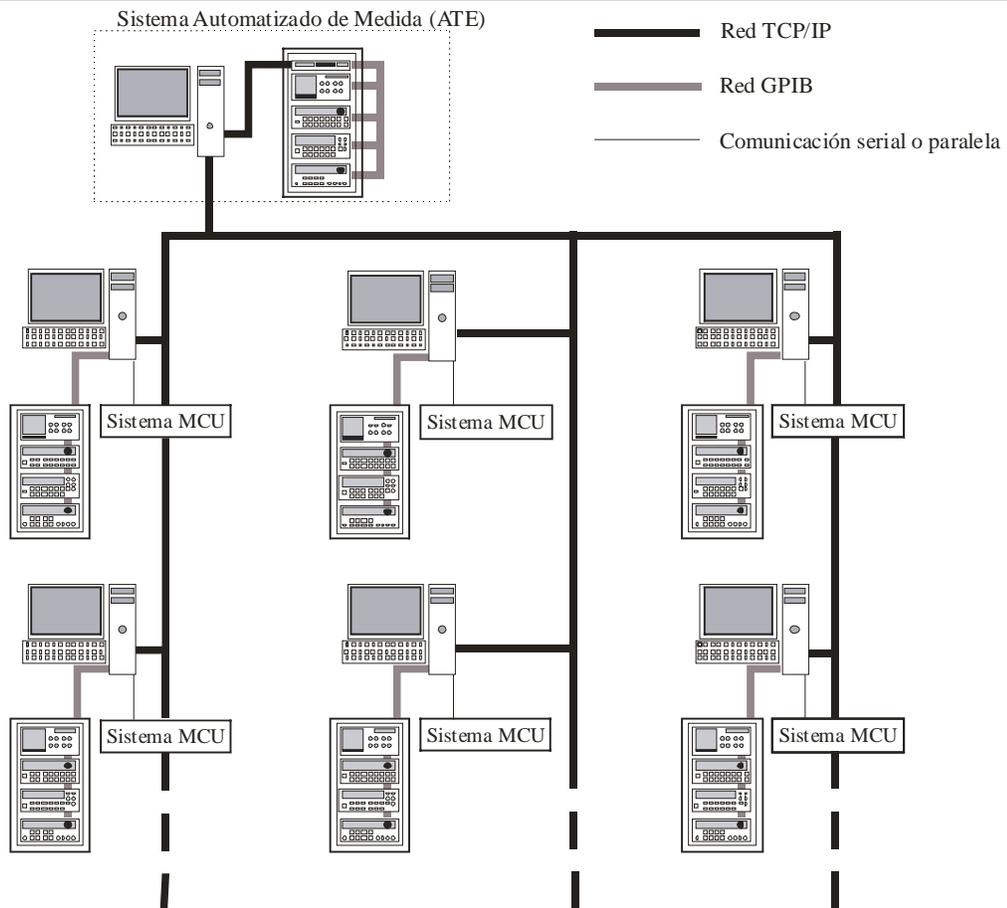
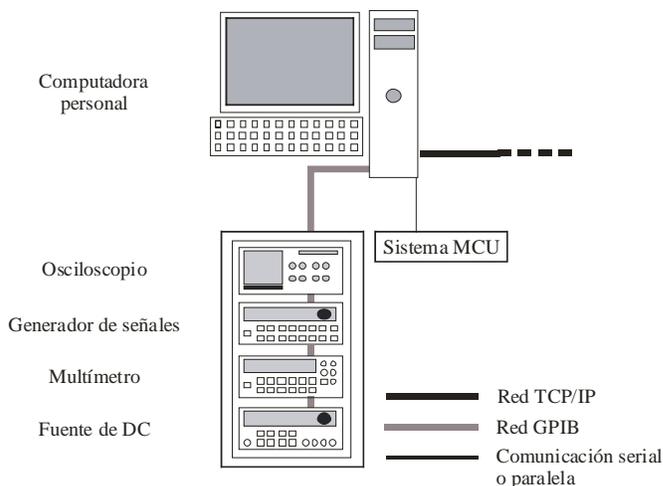


Figura 3.2. Diagrama estructural del LabCD.



Figura 3.3. Estructura física del LabCD.

A continuación se describe cada una de las partes con las que cuenta el LabCD.



**Figura 3.4.** Diagrama de una estación de trabajo del LabCD.

### 3.1.4. Estación de trabajo

La estación de trabajo (Figura 3.4) es básicamente un ATE compuesto por una computadora personal (controlador del sistema), instrumentos electrónicos de medida y estimulación (osciloscopio, generador de señales, multímetro digital y fuente de alimentación de DC) y un sistema de entrenamiento para microcontroladores (MCU), todos comunicados entre sí mediante GPIB y comunicación serial. La Figura 3.5 ilustra una estación de trabajo del LabCD.

### 3.1.5. Estructura Hardware

La estructura hardware del LabCD es la base de su funcionamiento para el desarrollo de prácticas e investigación. A continuación se describe cada uno de sus componentes principales:

- *Computadoras:* el LabCD cuenta con 10 computadoras marca Dell modelo Workstation Precision 340 con las siguientes características: procesador Pentium IV, velocidad del CPU 2.0 GHz, memoria RAM de 512 MB, monitor a color de 17 pulgadas, unidades de DVD, CD/RW y 3.5 pulgadas, tarjeta de red (Figura 3.6).
- *Tarjetas de interfaz GPIB:* el LabCD cuenta con 10 tarjetas de interfaz para comunicación PCI/GPIB de la firma Agilent Technologies modelo 82350A (Figura 3.7). Las cuales pueden controlar hasta 15 dispositivos GPIB y dependiendo de la longitud del cable GPIB, soportan transferencia de datos de hasta 500 Kbps (2 a 20 m de longitud) y hasta 1 Mbps (1 m de longitud). Soporta bibliotecas VISA y SICL en entornos con sistema operativo Windows 95/98/Me/ 2000/NT/XP [1, 2].



**Figura 3.5.** Estación de trabajo del LabCD.



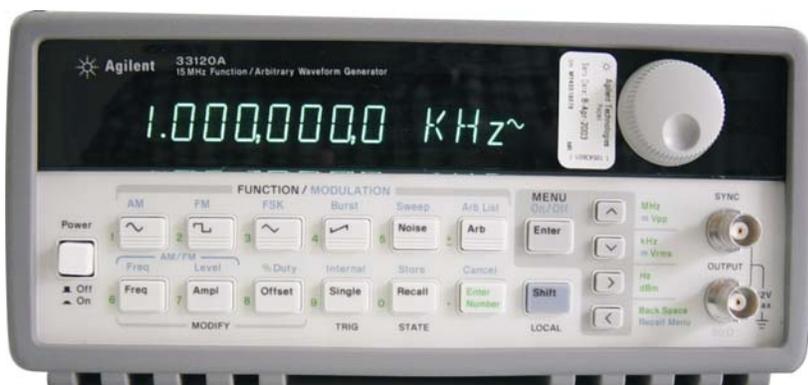


Figura 3.9. Generador de señales modelo 33120A de la firma Agilent Technologies.

- *Generadores de señales:* el LabCD cuenta con 10 generadores de señales modelo 33120A de la firma Agilent Technologies (Figura 3.9). Genera formas de ondas estándar (senoidal, rectangular, triangular, diente de sierra, parásita, voltaje CC,  $\text{sen}(x)/x$ , diente de sierra negativa, ascenso exponencial, descenso exponencial, cardiaca, forma de onda arbitraria) a frecuencias de 100  $\mu\text{Hz}$ –15 MHz (senoidal), 100  $\mu\text{Hz}$ –15 MHz (rectangular), 100  $\mu\text{Hz}$ –100 kHz (triangular), 100  $\mu\text{Hz}$ –100 kHz (diente de sierra), 10 MHz (parásita), 100  $\mu\text{Hz}$ –5 MHz (arbitraria), con una amplitud de 50 mVpp–10 Vpp. Tienen una resolución de 10  $\mu\text{Hz}$  y permiten modulación AM, FM, ráfaga, FSK y barrido de frecuencia. Soportan el lenguaje de programación SCPI-1993 e IEEE 488.2 mediante interfaz remota IEEE 488 y/o RS-232 [5].
- *Multímetros:* se cuenta con 10 multímetros de estación modelo 34401A de la firma Agilent Technologies (Figura 3.10) para realizar medidas de voltaje en DC y AC, medición de corriente en DC y AC, cálculo de la resistencia, medición de la continuidad, medición de ruido, prueba del diodo, medición de frecuencias y periodos, etc. Cuentan con entradas y salidas en su panel frontal y panel trasero. Soportan funciones programables SCPI y bibliotecas de HP3478A, Fluke, 8840A mediante interfaz IEEE488.2 y/o RS-232 [6, 9].
- *Fuentes de alimentación:* El LabCD cuenta con 10 fuentes de alimentación de corriente directa modelo E3646A de la firma Agilent Technologies (Figura 3.11). Proporcionan un voltaje de salida de 0-8 V/0-3 A y de 0-20 V/0-1.5 A con una resolución de 10mV/1mA en el panel frontal y menores a 5mV/1mA. Soporta funciones SCPI e IEEE 488.2 y cuenta con interfaz IEEE 488 y RS-232 [11].



Figura 3.10. Multímetro modelo 34401A de la firma Agilent Technologies.



**Figura 3.11.** Fuente de alimentación de DC modelo E3646A de la firma Agilent Technologies.

- *Analizador de espectros:* el sistema ATE cuenta con un analizador de espectros de la serie ESA-L modelo E4403B de la firma Agilent Technologies (Figura 3.12). El cual tiene un rango de frecuencia de 9 KHz a 3.0 GHz. Cuenta con un generador de ondas de ajuste y disparo (*Tracking Generator*) de 9 KHz a 3.0 GHz. Proporciona una señal de referencia de -10 dBm y permite visualizar las medidas en unidades dBm, dBmV, dB $\mu$ V, dB $\mu$ A, A, V y W. Su impedancia de entrada es de 50  $\Omega$  con un conector hembra tipo N y de salida RF a 50  $\Omega$  con un conector hembra tipo N, también cuenta con una salida para amplitud de referencia con un conector hembra BNC [10].

Cuenta con una interfaz para teclado externo mediante un conector mini-DIN de 6 terminales, salida de VGA, video AUX, bocinas y salida para audifonos, interfaz serial y GPIB, memoria para almacenar datos y unidad de disco flexible de 3.5 pulgadas.

- *Sistemas de entrenamiento para MCU:* se tienen 10 programadores de microcontroladores modelo PICSTART Plus para la familia Microchip (PIC12CXXX, PIC16C9XX, PIC17CXXX, PIC18CXXX) (Figura 3.13), los cuales soportan comunicación vía RS-232 y proporcionan las herramientas de programación y desarrollo MPLAB (manejador de proyectos, editor, simulador, emulador, ensamblador, compilador, librerías, compilador de C, herramienta de tercera generación y el programador) en un entorno de sistema operativo Windows 3.1/95/98/NT/2000 [30].



**Figura 3.12.** Analizador de espectros modelo E4403B de la firma Agilent Technologies.



**Figura 3.13.** Programador de microcontroladores para familia Microchip.

Todo los sistemas hardware mencionados cuentan con software de apoyo, para su configuración y programación, que a continuación se describen.

### 3.1.6. Estructura Software

La estructura software del LabCD es la base para la comunicación correcta entre los instrumentos y sistemas. El software es el medio por el que los usuarios pueden controlar los sistemas de instrumentación y el administrador del LabCD tiene el control sobre los recursos hardware.

El software se puede clasificar dependiendo de su tipo y de su clase.

### 3.1.7. Software por su tipo

Por su tipo, el software se puede clasificar en software comercial, shareware, freeware, trials y demos. A continuación se describe cada uno de ellos [URL8].

- *Software comercial:* como su nombre indica, son aplicaciones con fines comerciales y su adquisición se basa en la compra de licencias de uso, las cuales suelen ser individuales o corporativas. En algunas ocasiones las empresas que los desarrollan ofrecen descuentos especiales a universidades e instituciones educativas. Dichas aplicaciones cuentan con protección para evitar copias no autorizadas y utilizan un número de serie, un archivo de licencia o una llave para su instalación (*Watch dog*).
- *Shareware:* se refiere a las aplicaciones que pueden distribuirse libremente y que opcionalmente representan un costo mínimo que se puede pagar en línea después de considerar que tal aplicación es necesaria. La mayoría de estas aplicaciones se puede descargar de Internet o en comercios especializados, sus bajos costos se deben a que no producen costos de publicidad, distribución, transporte, etc. Si se adquieren en un comercio especializado, los costos incluyen derechos de copiado y empaquetamiento.
- *Freeware:* son aplicaciones de uso público que se distribuyen gratuitamente. No existe registro ni compensación alguna para los autores. Se pueden descargar de Internet.
- *Trial:* estas aplicaciones son semejantes al *shareware* y se distribuyen en forma gratuita, pudiendo ser funcionales en forma completa o parcialmente ya que cuentan con funciones no habilitadas que suelen funcionar durante un lapso determinado, generalmente de 30 días a partir de la fecha de instalación o de una determinada cantidad de veces que se ejecutan. Una vez cumplido dicho plazo, los programas dejan de funcionar y requieren de su compra. Ac-

tualmente, la mayoría de aplicaciones se distribuyen de esta manera para obtener una mayor difusión.

- *Demos*: son aplicaciones de demostración del software comercial. Generalmente funcionan parcialmente, habilitan sus funciones más significativas pero deshabilitan las funciones más útiles como almacenar los desarrollos del usuario.

### 3.1.8. Software por su clase

Por su clase el software se pueden dividir en software de utilidad y software de aplicación.

- *Software de utilidad*: hace referencia a los sistemas operativos y lenguajes de programación de alto nivel como lenguaje C, C++, LabVIEW, Agilent VEE, Visual BASIC, etc.
- *Software de aplicación*: se refiere a aplicaciones de propósito general como los procesadores de palabras y demás herramientas ofimáticas.

El LabCD cuenta con software de aplicación como Microsoft OFFICE XP, Agilent Intuilink, Acrobat Reader 5.0 e Internet Explorer 6.0 (Figura 3.14).

El software de desarrollo para que el usuario pueda diseñar y crear una aplicación destinada a resolver un problema en específico se basa en aplicaciones de lenguajes de programación, de diseño y simulación de circuitos. El LabCD cuenta con aplicaciones como Agilent VEE Pro 6.0, National Instruments LabVIEW 6.1, Borland C++ Builder 6, MATLAB 6.1, MPLAB 5.62 y AVR Studio 4 (Figura 3.15).

A continuación se describen los sistemas de comunicaciones empleados en el LabCD.

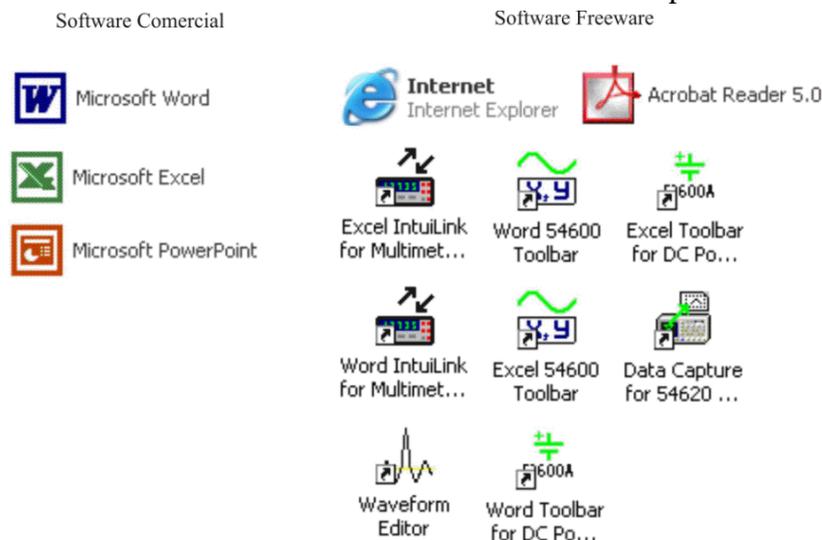


Figura 3.14. Logotipos de los programas de aplicación utilizados en el LabCD.

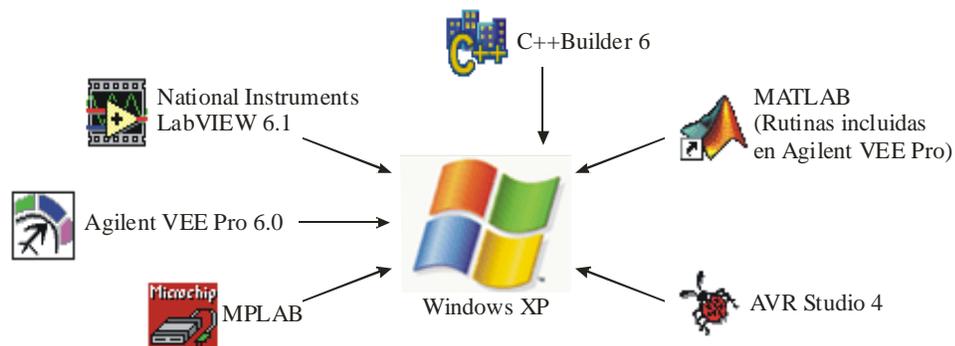


Figura 3.15. Logotipos de los programas de desarrollo utilizados en el LabCD.

### 3.1.9. Sistemas de comunicaciones en el LabCD

Los sistemas de comunicaciones permiten comunicar el software con el hardware y son la vía de comunicación para controlar los dispositivos. El LabCD cuenta con tres sistemas de comunicaciones, GPIB, LAN y serial. Su utilización depende del dispositivo a controlar y de las necesidades específicas de cada aplicación. Las herramientas utilizadas en el LabCD son:

- *Interfaz USB/GPIB*: se cuenta con 3 interfaces de comunicación USB/GPIB modelo 82357A de la marca Agilent Technologies (Figura 3.16). Cada Interfaz tiene un cable de 2.5 m de longitud y cuenta con un conector IEEE 488 de 24 pines y un conector USB para dar soporte a los estándares IEEE 488.2 y USB 2.0/1.1 respectivamente. Soportan bibliotecas VISA, SICL y Plug&Play, así como bibliotecas de programación en lenguajes de alto nivel como Visual Basic 6.0, Visual C++, Visual estudio 6.0, Agilent VEE 6.0, BASIC y LabVIEW 6.0 en entornos de sistema operativo Windows 98/Me/2000/XP [3].
- *Pasarela GPIB/LAN*: es una pasarela (*gateway*) modelo E5810 de la firma Agilent Technologies (Figura 3.17) encargada de interfazar los protocolos GPIB y Ethernet. Da soporte a los protocolos VXI-11, IEEE 488.1 e IEEE 488.2 y RS-232, a redes 10BASE-T/100BASE-TX y a bibliotecas VISA 2.2 y SICL. Su firmware permite aplicaciones Web como Internet Explorer y Netscape Navigator bajo sistema operativo Windows 98/NT/Me/2000/XP. Cuenta con conectores IEEE 488 de 24 terminales, RS-232 de 9 terminales, RJ-45 LAN. Las aplicaciones de control se pueden desarrollar en lenguajes de alto nivel como Visual Basic, Visual C++, MS Visual Studio, Agilent VEE, BASIC para Windows y Visual Studio.NET (con la herramienta Agilent T&M). Permite 16 conexiones máximas de entradas y salidas simultáneas, da soporte a protocolos de red como ARP, DHCP, DNS, FTP, HTTP, ICMP, RPC y Telnet [4].
- *Cable GPIB*: las interfaces GPIB se conectan a los instrumentos de medida mediante cables GPIB modelos HP 10833B y HP 10833A de 2 y 1 m de longitud respectivamente, lo cual permite controlar, configurar y realizar mediciones precisas en forma remota. Los cables GPIB cuentan con conectores hermafroditas para un seguimiento del bus, como se puede apreciar en la Figura 3.18.
- *Comunicación serial*: la comunicación serial se emplea para comunicar a la estación de trabajo con el sistema de entrenamiento de microcontroladores y con instrumentos electrónicos de medida. El tipo de conector más utilizado es el DB9 y el protocolo para la comunicación serial es el RS-232 (inciso 2.2.5.2).
- *Internet*: la comunicación del LabCD con el exterior se realiza mediante una LAN (inciso 2.2.5.3.) con la finalidad de compartir sus recursos a usuarios externos en forma virtual. Se emplea el protocolo Ethernet con conectores RJ-45. Para compartir los recursos de instrumentación electrónica programable se utiliza la pasarela modelo E5810.



**Figura 3.16.** Interfaz USB/GPIB modelo 82357A de la firma Agilent Technologies.



**Figura 3.17.** Pasarela modelo E5810 de la firma Agilent Technologies.



**Figura 3.18.** Cable y conector GPIB modelo 10833B de la firma Agilent Technologies.



## **4. Administración de los requerimientos del LabCD**

El LabCD se administra para satisfacer las necesidades de las materias correspondientes a las carreras de ingeniería en electrónica, ingeniería en computación e ingeniería industrial de la UTM.

El ciclo escolar se divide en semestres, en el semestre impar se imparten las materias de metrología y transductores, metrología e instrumentos, teoría de comunicaciones, diseño de circuitos electrónicos, sistemas digitales; y en el semestre par se imparten las materias de arquitectura de microcomputadoras, sistemas de comunicaciones vía microondas, procesamiento digital de señales y redes de computadoras.

El administrador tiene la función de organizar los accesos a las cuentas para cada materia y proporcionar el soporte, hardware y software, necesario durante todo el curso. A continuación se describe la forma de administrar el LabCD en base a diagramas, diseñados por el administrador y los profesores, de asignación de los recursos del LabCD.

### **4.1. Administración del LabCD en un semestre impar**

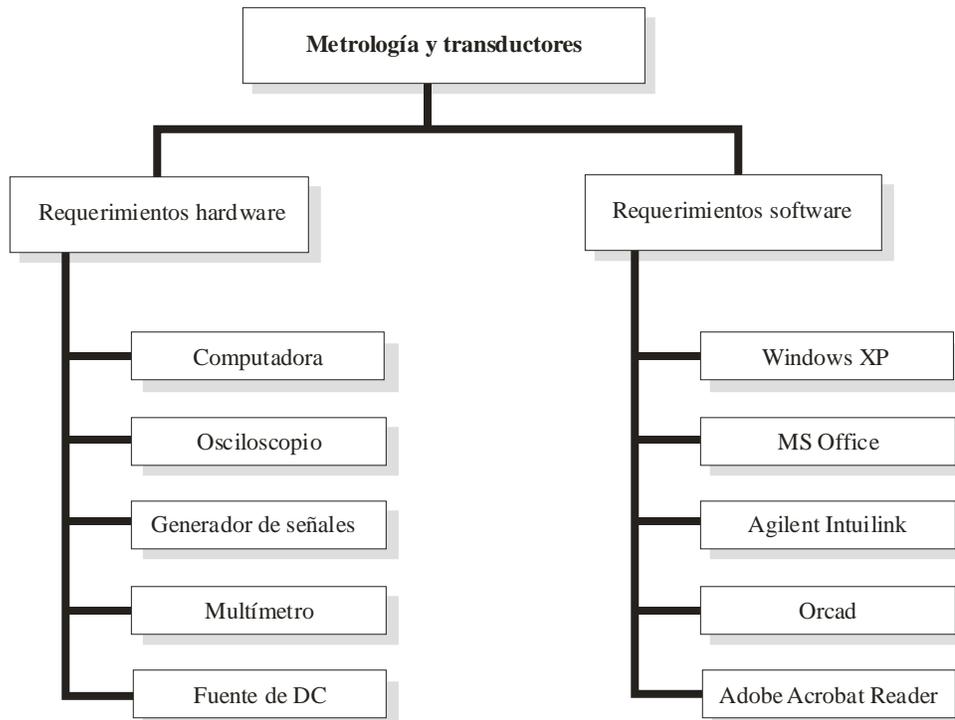
En el semestre impar se encuentran los grupos de primero, tercero, quinto, séptimo y noveno semestre de las carreras de ingeniería en electrónica e ingeniería en computación de la UTM. La administración del LabCD se ajusta a las necesidades de cada semestre de acuerdo a las materias que se imparten como laboratorio. Al inicio de cada semestre, la jefatura de servicios escolares de la UTM proporciona al encargado del LabCD el horario y la asignación de materias con laboratorio, en base a ello, el encargado debe administrar los recursos del LabCD para dar el servicio adecuado.

La administración del LabCD en un semestre impar inicia con la asignación de recursos para la materia de metrología y transductores, la cual se imparte en tercer semestre de la carrera de ingeniería en electrónica. Los requerimientos, hardware y software, para esta materia se muestran en la Figura 4.1.

La siguiente asignación de recursos (Figura 4.2), es para la materia de teoría de comunicaciones que se imparte en quinto semestre de las carreras de ingeniería en electrónica e ingeniería en computación.

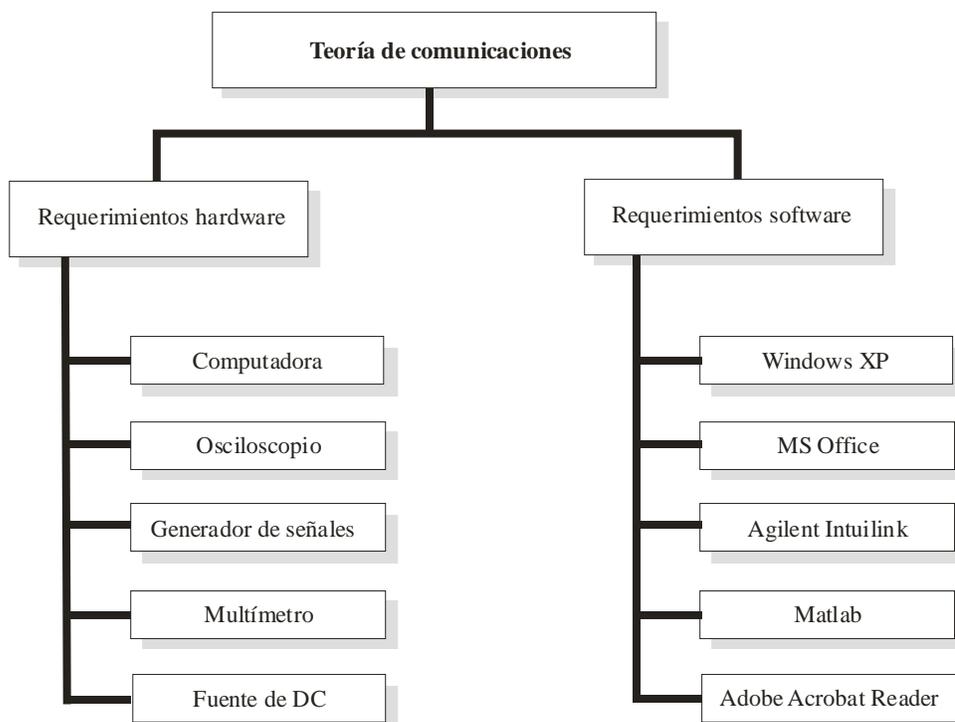
La materia de sistemas digitales se imparte en séptimo semestre de las carreras de ingeniería en electrónica e ingeniería en computación y la asignación de recursos del LabCD para dicha materia se muestra en la Figura 4.3.

La materia de modulación y codificación se imparte en séptimo semestre de la carrera de ingeniería en electrónica y la asignación de recursos del LabCD para esta materia se muestra en la Figura 4.4.

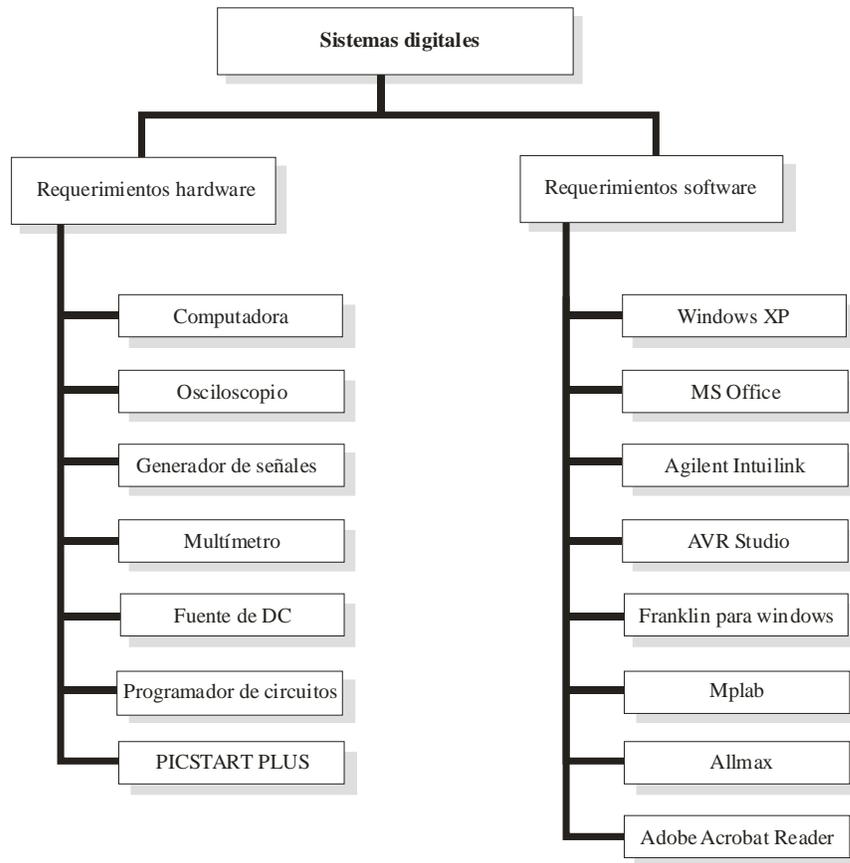


**Figura 4.1.** Asignación de los recursos del LabCD para la materia de metrología y transductores.

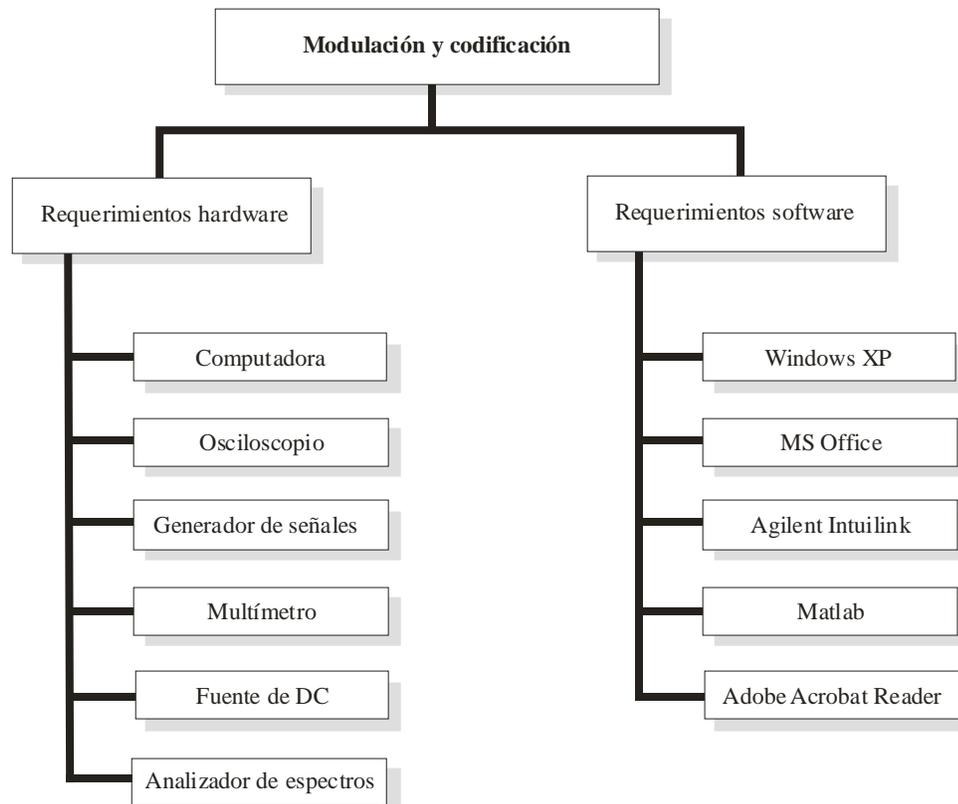
Por último, la materia de metrología e instrumentos se cursa en el séptimo semestre de la carrera de ingeniería industrial, su asignación de recursos se muestra en la Figura 4.5.



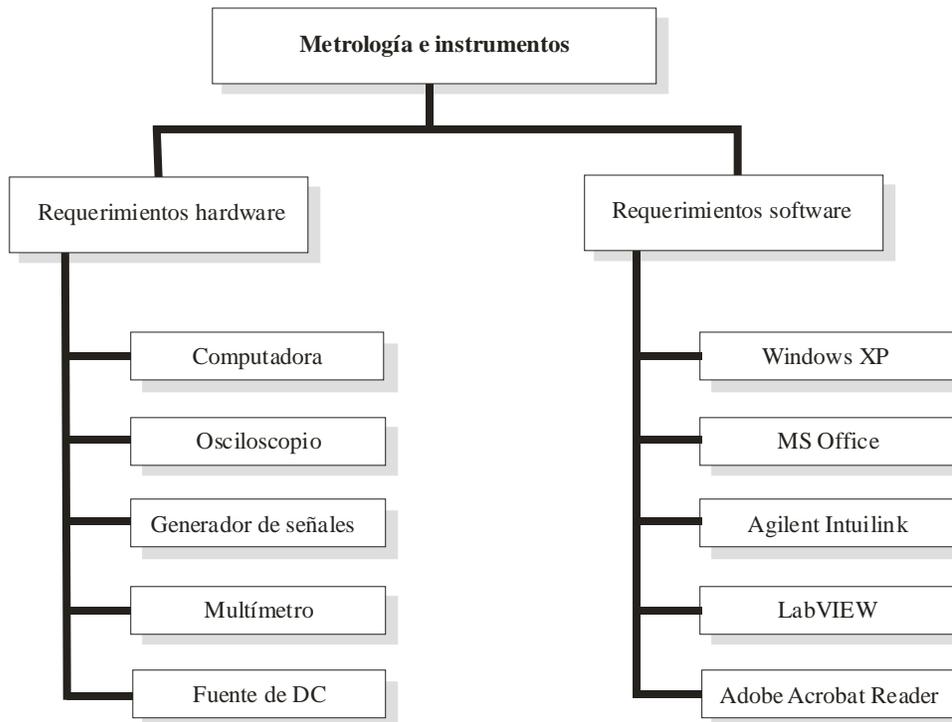
**Figura 4.2.** Asignación de los recursos del LabCD para la materia de teoría de comunicaciones.



**Figura 4.3.** Asignación de los recursos del LabCD para la materia de sistemas digitales.



**Figura 4.4.** Asignación de los recursos del LabCD para la materia de modulación y codificación.



**Figura 4.5.** Asignación de los recursos del LabCD para la materia de metrología e instrumentos.

## 4.2. Administración del LabCD en un semestre par

El semestre par corresponde a los grupos de segundo, cuarto, sexto, octavo y décimo semestre de las carreras que se imparten en la UTM. En este caso, los recursos del LabCD deben asignarse dependiendo de los requisitos de las materias correspondientes.

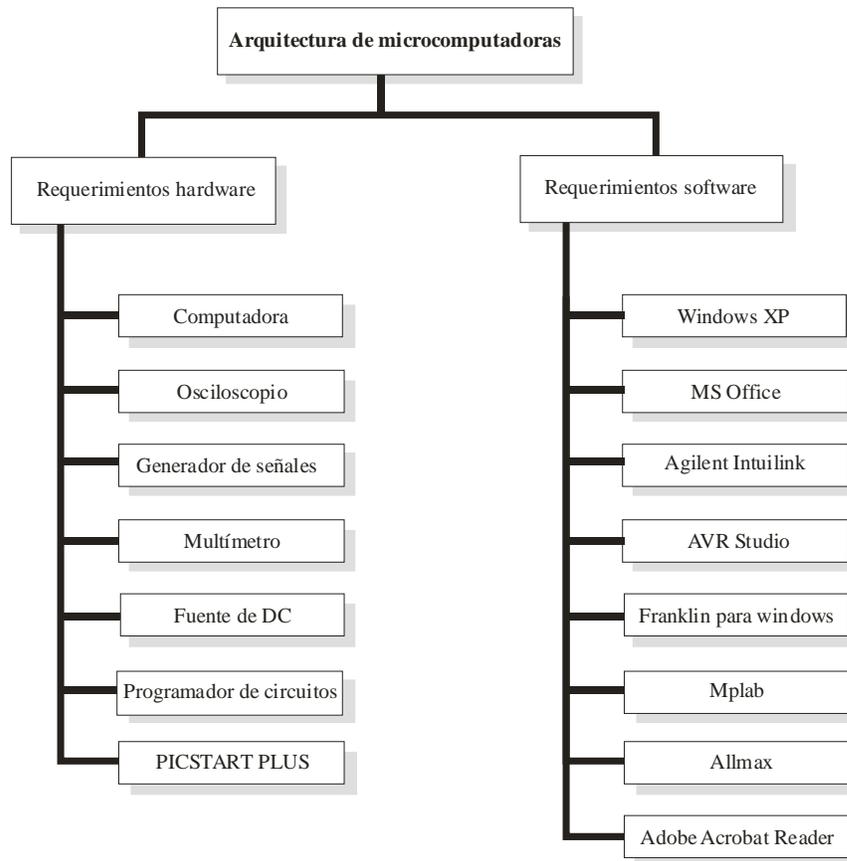
Al iniciar un semestre par, se deshabilitan las cuentas del semestre impar, no se eliminan del sistema. Al igual que en un semestre impar, el encargado del LabCD asigna los recursos del laboratorio de acuerdo a la asignación de horarios y materias realizada por la jefatura de servicios escolares.

La administración del LabCD en un semestre par inicia con la asignación de recursos para la materia de arquitectura de microcomputadoras, la cual se imparte en octavo semestre de las carreras de ingeniería en electrónica e ingeniería en computación. La asignación de recursos del LabCD para dicha materia se muestra en la Figura 4.6.

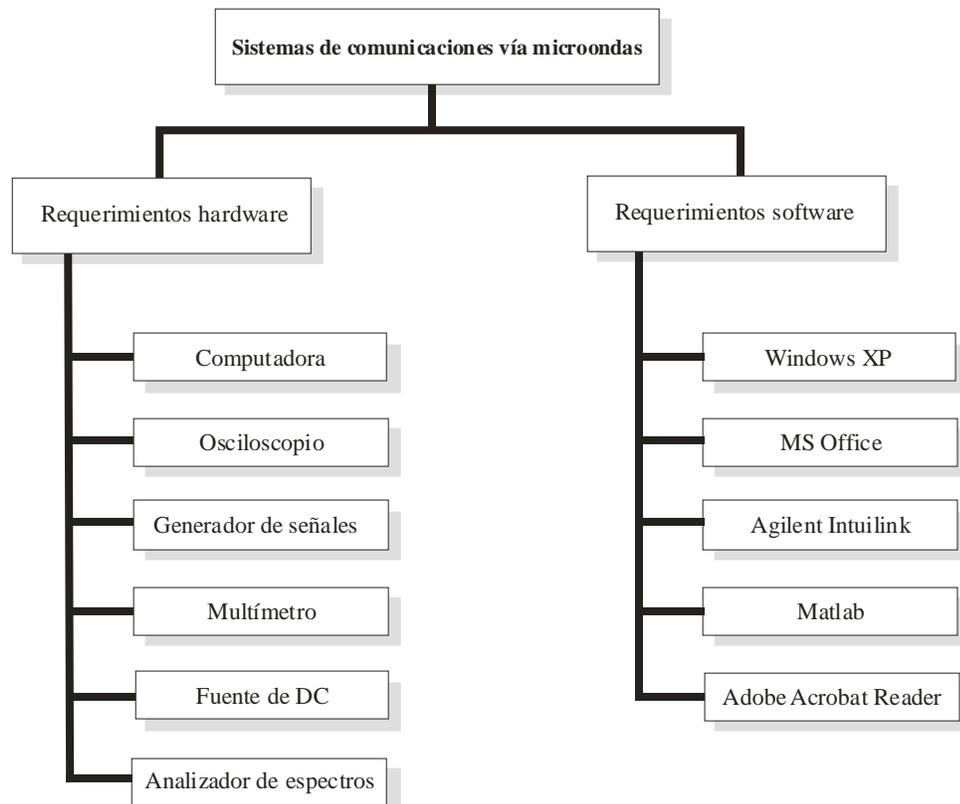
La siguiente materia es sistemas de comunicaciones vía microondas, la cual se imparte en octavo semestre de la carrera de ingeniería en electrónica, su asignación de recursos del LabCD se muestra en la Figura 4.7.

La materia de procesamiento digital de señales se imparte en octavo semestre de las carreras de ingeniería en electrónica e ingeniería en computación y su asignación de recursos se muestra en la Figura 4.8.

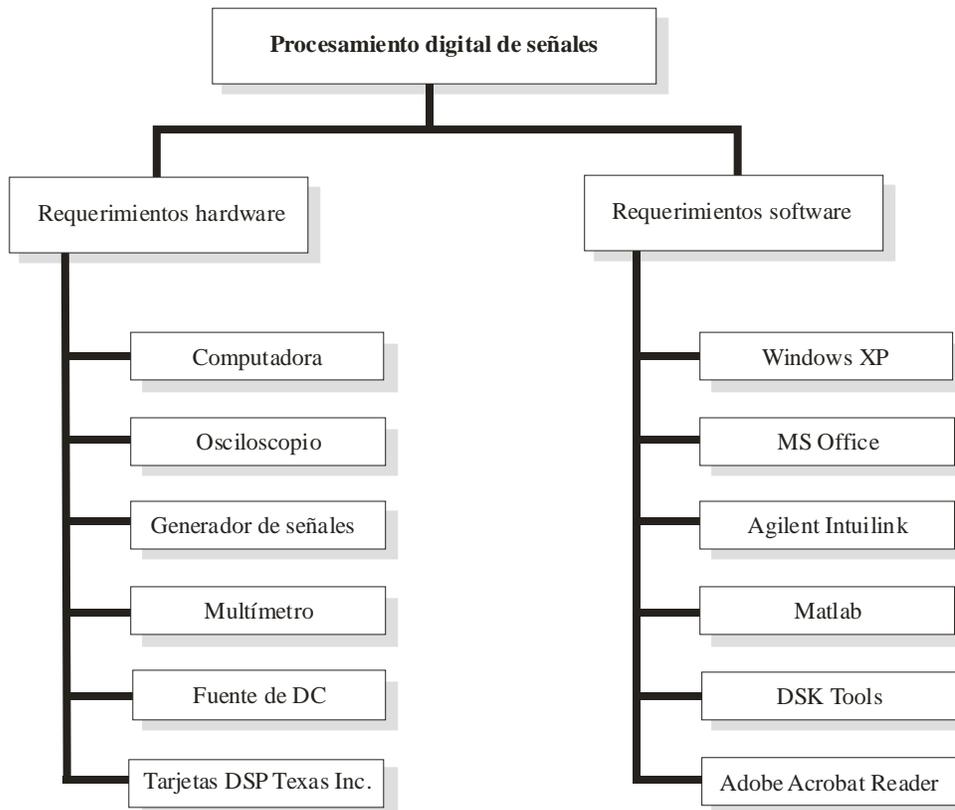
Por último, la asignación de recursos del LabCD para la materia de redes de computadoras, impartida en décimo semestre de la carrera de ingeniería en electrónica, se muestra en la Figura 4.9.



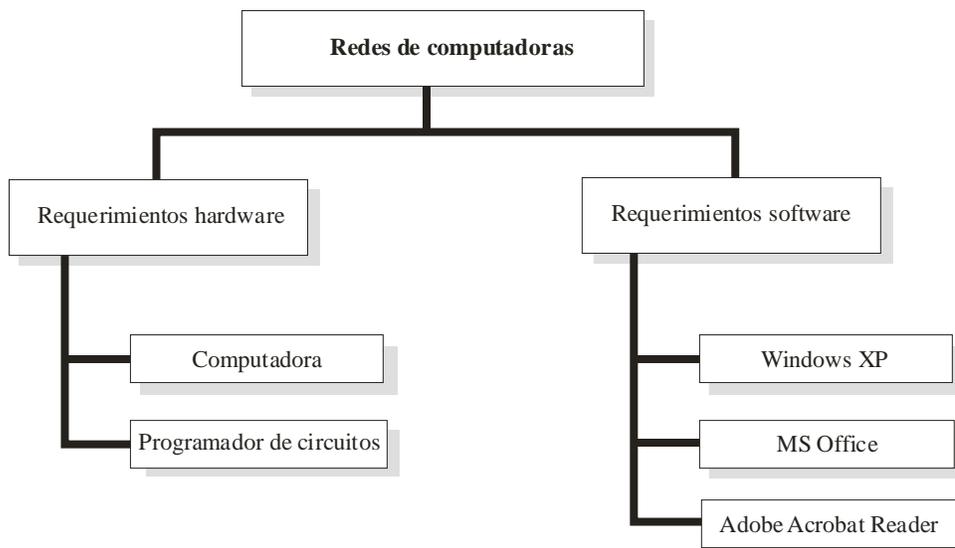
**Figura 4.6.** Asignación de los recursos del LabCD para la materia de arquitectura de microcomputadoras.



**Figura 4.7.** Asignación de los recursos del LabCD para la materia de sistemas de comunicaciones vía microondas.



**Figura 4.8.** Asignación de los recursos del LabCD para la materia de procesamiento digital de señales.



**Figura 4.9.** Asignación de los recursos del LabCD para la materia de redes de computadoras.

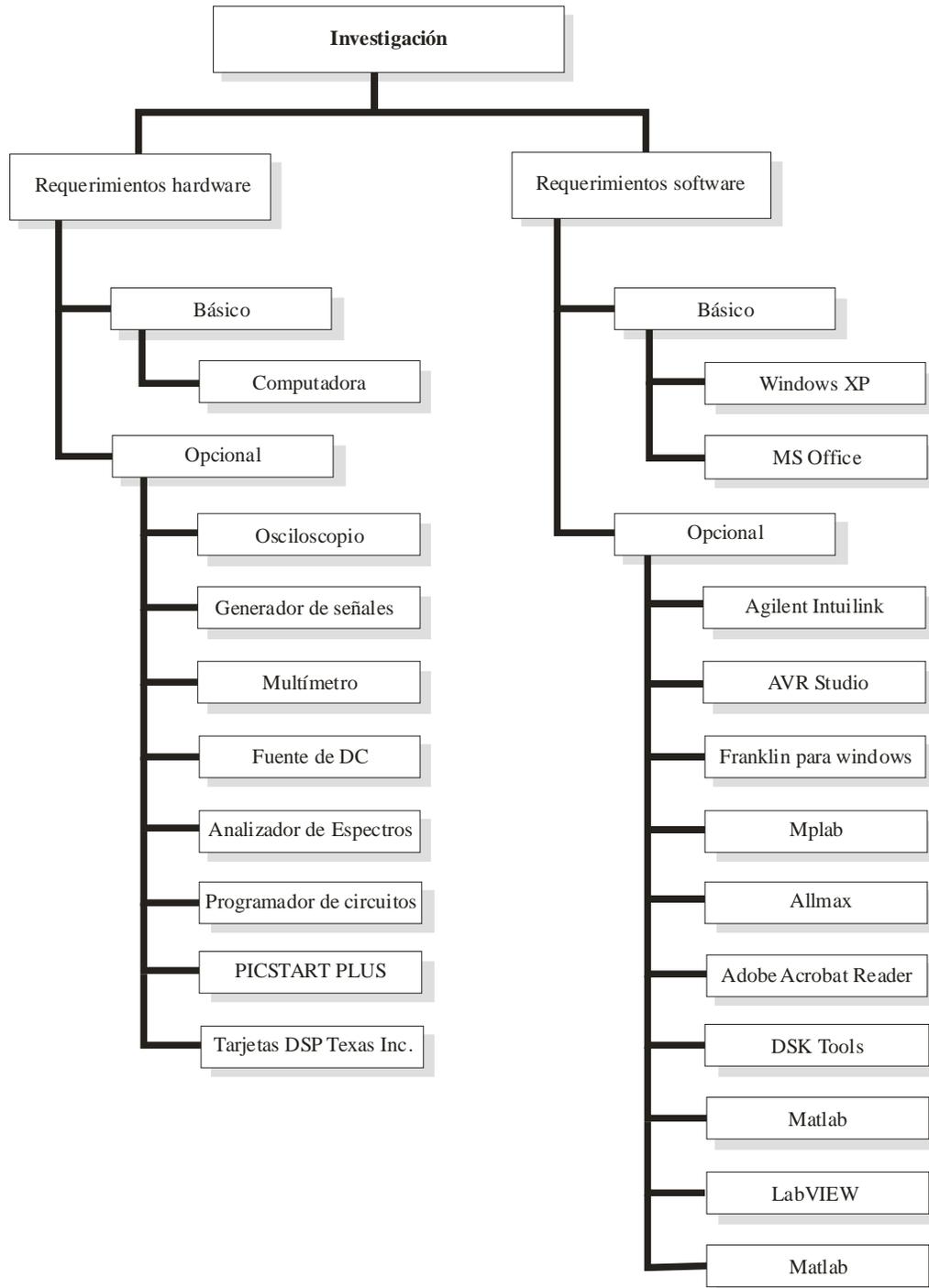
### 4.3. Asignación de recursos del LabCD para la investigación

El LabCD también tiene una asignación de los recursos dedicada a la investigación que desarrolla el Cuerpo Académico de Redes de Instrumentación del Instituto de Electrónica y Computación de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, dentro de las tareas de investigación cabe destacar la utilización del LabCD como plataforma de trabajo de titulación para los egresados de la UTM en ingeniería electrónica e ingeniería en computación.

La asignación se muestra en la Figura 4.10, la cual presenta los recursos básicos asignados y los recursos opcionales con los que cuenta el LabCD y se encuentran disponibles.

#### 4.4. Reglamento del LabCD

Como todo centro de trabajo, el LabCD cuenta con un reglamento que es aplicado a cada usuario del LabCD. El reglamento incluye el comportamiento de los usuarios, el horario de trabajo, una guía de acceso a las estaciones de trabajo, y la normativa para el uso del equipo tanto presencial como virtual y del uso en horas extraclase.



**Figura 4.10.** Asignación de los recursos del LabCD para la investigación.



## 5. Modelo de ingeniería de software de la página Web del LabCD

Un modelo del proceso del software es una representación gráfica del desarrollo de un software. Existen atributos esenciales de un buen software, los cuales reflejan su comportamiento durante su ejecución, en cuanto a la estructura y organización del programa fuente, y en la documentación asociada. Los principales atributos son: mantenibilidad, confiabilidad, eficiencia y usabilidad [42].

Las prácticas que presenta el LabCD en su modalidad de laboratorio virtual se sitúan, en el contexto del desarrollo de la ingeniería de software, dentro de un modelo en cascada y evolutivo (Figura 5.1), debido a que se desarrollan a partir de una especificación abstracta y se refinan con ayuda del usuario final. Asimismo, se considera una implementación inicial, en donde se consideraron los comentarios del usuario y se refinó mediante diferentes versiones hasta llegar a una versión final. Dicho modelo cuenta con las siguientes etapas:

1. *Análisis y definición de los requerimientos*: hace referencia a los servicios, restricciones y metas del sistema, definidos junto al usuario. En el este caso corresponde al estudio teórico de la práctica y a la obtención de los requerimientos del profesor. Esta parte del modelo se encuentra descrita en los subcapítulos 5.1 y 5.2, correspondiente al documento de requisitos de usuario para la página Web del LabCD y al documento de especificación de requisitos de la página Web del LabCD respectivamente.
2. *Diseño del sistema y del software*: se establece una arquitectura del sistema basada en un programa principal y las subrutinas correspondientes, y se divide en desarrollo de sistemas hardware y desarrollo de sistemas software. El diseño y desarrollo de las prácticas considera los requerimientos obtenidos y la configuración de los equipos para ejecutar la aplicación final. El diseño del sistema se describe en el subcapítulo 5.3.
3. *Implementación y prueba de unidades*: verifica que cada unidad cumpla con su especificación. Corresponde a las pruebas realizadas a los módulos con que cuenta cada práctica, dichos módulos se realizaron de acuerdo al diseño de las prácticas. En el subcapítulo 5.4 se describen las pruebas y en el capítulo 6 la implementación de las prácticas en el lenguaje de desarrollo utilizado.
4. *Integración y prueba del sistema*: integra todas las unidades pequeñas y prueba el sistema por completo. Son las pruebas que se realizaron a cada práctica final. En el subcapítulo 6.1 se describe el desarrollo de la página Web, que brinda el servicio del uso de los recursos del LabCD.
5. *Operación y mantenimiento*: se instala el sistema y se pone en uso, así se van corrigiendo los errores que vayan surgiendo. Son los cambios realizados a partir de los comentarios realizados por los usuarios finales.

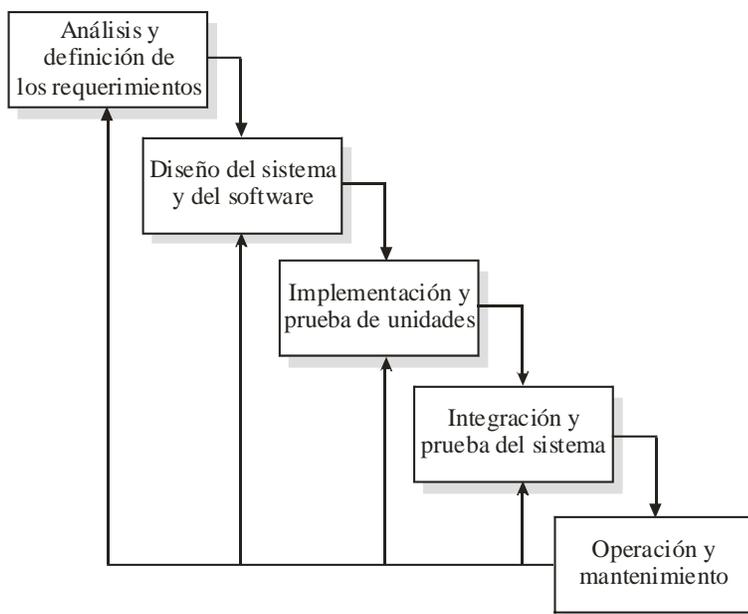


Figura 5.1. Modelo Utilizado en el desarrollo de las prácticas.

## 5.1. Requisitos de usuario para la página Web del LabCD

### 5.1.1. Introducción

La UTM tiene como propósito adaptar su modelo educativo a las nuevas propuestas originadas por la rápida evolución de las nuevas tecnologías, las cuales establecen la integración entre Universidad y Empresa para obtener egresados que cuenten con un perfil afín a las necesidades de la industria. La UTM cuenta con un Laboratorio de Comunicaciones Digitales (LabCD), conformado con recursos similares a los empleados en la mayoría de las empresas, dividido en tres áreas principales: redes de instrumentación, comunicaciones inalámbricas y comunicaciones ópticas.

#### 5.1.1.1. Organización del LabCD

El LabCD cuenta con la siguiente organización:

- *Jefe de Carrera de Ingeniería en Electrónica*: es el encargado de tomar las decisiones importantes concernientes al LabCD.
- *Administrador del LabCD*: se refiere al encargado del trato con los profesores y alumnos, además de mantener en correcto funcionamiento del LabCD en sus aspectos software y hardware.
- *Profesores*: son los encargados de impartir las clases a los alumnos.
- *Alumnos*: son los principales usuarios finales del LabCD.

### 5.1.2. Gestión del LabCD

#### 5.1.2.1. Situación actual

En la actualidad, el LabCD se encuentra en la etapa inicial de funcionamiento, y es objeto del presente trabajo el obtener los requisitos y requerimientos necesarios para su completo funcionamiento. Para ello se consideró el funcionamiento de los laboratorios y salas de cómputo de la UTM, dando como resultado las siguientes observaciones:

- La administración de los recursos software no está organizada mediante usuarios.

- El horario de trabajo no está administrado con respecto a alumnos, profesores y desarrollo de la investigación.
- El hardware que se utiliza en los laboratorios se podía cambiar de un lugar físico sin el consentimiento del administrador en turno.
- No cuentan con equipo de medida especializado.
- No se cuenta con equipo para trabajar remotamente, por lo tanto no existe una interfaz que realice este trabajo.

#### **5.1.2.2. Requisitos**

El LabCD pretende solucionar los problemas anteriores mediante su correcta administración (Figura 1.1). Dicha administración incluye la organización de los recursos hardware y software basada en las clases que se imparten, dicha organización considera el acceso local o remoto a los recursos del laboratorio.

La administración y configuración del LabCD proporcionarán a los usuarios un servicio eficiente en la utilización de sus recursos.

Como resultado, se realizará un documento que describa los conceptos necesarios para comprender la funcionalidad de los recursos del LabCD.

### **5.1.3. Administración de los recursos software**

#### **5.1.3.1. Situación actual**

El LabCD no presenta una situación actual de la administración de los recursos software debido a su reciente creación, pero se pondrán en funcionamiento las soluciones propuestas para la correcta administración de sus recursos.

#### **5.1.3.2. Requisitos**

La administración de los recursos software contará con una cuenta de usuario destinada a cada clase que se imparte dentro del LabCD, lo cual restringirá el acceso a la estación de trabajo y a los recursos destinados. La estructura interna de cada materia está organizada de acuerdo a la utilización del LabCD y en términos generales consta de la interfaz con la LAN, la interfaz con los programas de uso para la materia impartida, la interfaz mediante GPIB a los equipos y los propios equipos.

También se deberán organizar los recursos software asociados a los recursos hardware, esto con el fin de tener una comunicación correcta con los mismos.

El acceso a los recursos del LabCD en forma remota se basará en una página Web, en donde se publicarán los resultados e información del LabCD, así como las prácticas de instrumentación electrónica programable y virtual.

El desarrollo de las prácticas de instrumentación electrónica programable o virtual, en forma remota o local, deberá considerar la documentación necesaria para su correcto funcionamiento. Se invitará a los profesores que imparten clases en el LabCD a que aporten información para la realización de nuevas aplicaciones y éstas sean públicas en la página Web correspondiente.

### **5.1.4. Administración de los recursos hardware**

#### **5.1.4.1. Situación actual**

El LabCD no presenta una situación actual de la administración de los recursos hardware debido a su reciente creación, pero se pondrán en funcionamiento las soluciones propuestas para la correcta administración de tales recursos.

#### **5.1.4.2. Requisitos**

La administración de los recursos hardware deberá contar con la correcta instalación para la comunicación con los equipos y con el material necesario como son: puntas para conexión, cables, etc. Los equipos deberán funcionar correctamente.

Se instalará y configurará la estructura que soporte los dispositivos que darán acceso de forma remota. Lo cual requiere conocimientos especializados para la correcta conexión y configuración de la LAN que da servicio al LabCD, asimismo se contemplará la instalación y configuración de los diferentes sistemas de comunicaciones (GPIB, serie, etc.) para dar servicio local o remoto.

#### **5.1.5. Desarrollo de las prácticas**

##### **5.1.5.1. Situación actual**

El desarrollo de las prácticas de instrumentación electrónica programable y virtual, en forma remota o en forma local, se basará en una metodología (Subcapítulo 6.1), dicha metodología está enfocada al desarrollo de aplicaciones en el campo de la instrumentación electrónica.

Las prácticas estarán destinadas a la enseñanza-aprendizaje del alumno y pondrán en práctica los conceptos manejados en clase, lo anterior con la finalidad de facilitar al alumno la comprensión de los conocimientos que se le imparten.

##### **5.1.5.2. Requisitos**

El desarrollo de las prácticas requiere de la supervisión del profesor, el cual tomará el papel de experto en la materia, y proporcionará los conocimientos necesarios para realizar correctamente dicha práctica. Las prácticas se desarrollarán en un lenguaje especializado para el área de instrumentación electrónica, con la finalidad de facilitar el diseño y desarrollo de las prácticas por el alumno, asimismo éste podrá aprender un lenguaje de desarrollo que se emplea en la industria.

En forma remota, las prácticas se ejecutarán mediante la página Web.

Se establecerán las bases para que los profesores o alumnos puedan realizar y ampliar el repertorio de las aplicaciones para prácticas, así como el mejoramiento de las mismas.

### **5.2. Especificación de los requisitos de la página Web del LabCD**

#### **5.2.1. Introducción**

Este documento es una especificación de los requisitos software para el sistema WebLabCD que administra los recursos del LabCD, todo su contenido ha sido elaborado de acuerdo a la experiencia del administrador y de los usuarios de los laboratorios de electrónica existentes en la UTM.

##### **5.2.1.1. Propósito**

El objetivo de este documento es definir, de manera clara y precisa, las funcionalidades y restricciones referentes a la administración del LabCD, asimismo se describe el desarrollo y funcionamiento de las prácticas que presenta el LabCD en forma remota. El documento está dirigido al desarrollador del software, que en este caso es el administrador del LabCD.

##### **5.2.2. Descripción general**

A continuación se describen los recursos que conforman el LabCD y el desarrollo de las prácticas.

### **5.2.2.1. Perspectiva de las prácticas y del LabCD**

La administración de los recursos hardware y software del LabCD se encuentra en funcionamiento y está sujeta a cambios dependiendo de las recomendaciones y observaciones realizadas por los responsables del LabCD. Las prácticas realizadas en esta primera versión tienen como finalidad el mostrar las capacidades en forma remota que proporciona el LabCD, con lo cual se presenta al LabCD como un laboratorio virtual.

### **5.2.2.2. Funciones del LabCD y prácticas**

En términos generales se deberá proporcionar soporte a las siguientes funciones del LabCD:

- La administración de los recursos del LabCD.
- El desarrollo de prácticas en el campo de la instrumentación electrónica programable y virtual.
- El desarrollo de una página Web para publicar y dar acceso a los resultados de la administración del LabCD.

A continuación, se describen detalladamente dichas tareas.

#### **5.2.2.2.1. Administración de los recursos del LabCD**

El correcto funcionamiento del LabCD está basado en la administración de sus recursos hardware y software, con el objetivo de proporcionar a los usuarios un área de trabajo dentro de las actividades docentes y de investigación que se exigen en la UTM.

El LabCD está formado por 11 estaciones de trabajo, cada una compuesta por una PC, diferentes equipos de medida y de estimulación, y sistemas de entrenamiento para microcontroladores. El LabCD cuenta con un sistema ATE destinado a dar acceso remoto a sus recursos, para lo cual se necesitan instalar las bibliotecas de funciones y aplicaciones correspondientes.

El acceso a los recursos se realiza mediante el sistema operativo de la computadora y se asignará de acuerdo a las clases que se imparten en el LabCD. A cada clase se le asignará una contraseña y su respectiva clave para dar acceso a los recursos requeridos.

#### **5.2.2.2.2. Desarrollo de las prácticas**

Las prácticas desarrolladas corresponden a las aplicaciones que proporciona el LabCD, en forma remota en su modalidad de laboratorio virtual. El desarrollo de dichas prácticas se basó en una metodología descrita en los capítulos anteriores.

Las prácticas pertenecen a las áreas de instrumentación electrónica programable e instrumentación electrónica virtual. Dichas prácticas se pueden ejecutar en forma local o en forma remota, como se describe a continuación.

El usuario puede ejecutar las prácticas de instrumentación electrónica programable en forma local sin tener que cumplir con todos los requerimientos, gracias a que el administrador del LabCD es el encargado de instalar el software necesario en dicha ejecución.

En forma remota es necesario realizar los siguientes pasos: acceder a la página principal del LabCD; en la sección Requisitos para prácticas se elige la opción Prácticas de instrumentación electrónica programable; instalar las librerías y archivos que se mencionan (sólo la primera vez que se deseen ejecutar las prácticas o cuando no se tengan instaladas las bibliotecas de funciones necesarias); una vez instalados los requerimientos, se regresa a la página principal y se selecciona la opción Prácticas de instrumentación electrónica para tener acceso a la página que contiene las prácticas disponibles (cabe aclarar que para trabajar con una práctica de instrumentación electrónica programable, es neces-

rio tener conectado físicamente el circuito y los instrumentos correspondientes); finalmente, se descarga y ejecuta el archivo correspondiente a la práctica.

Con respecto a la ejecución de las prácticas de instrumentación electrónica virtual, también se pueden ejecutar en forma local o en forma remota. En forma local se considera lo mismo que en las prácticas de instrumentación electrónica programable. En forma remota es necesario realizar los siguientes pasos: acceder a la página principal del LabCD; en la sección Requisitos para prácticas se elige la opción Prácticas de instrumentación electrónica virtual; instalar las bibliotecas de funciones y archivos que se mencionan (sólo la primera vez que se deseen ejecutar las prácticas o cuando no se tengan instaladas las bibliotecas de funciones necesarias); regresar a la página principal y se selecciona la opción Prácticas de instrumentación virtual para acceder a la página que proporciona las prácticas disponibles (en esta modalidad, no es necesario que los sistemas de medida y estimulación se encuentren activos, ya que precisamente se simula su funcionamiento); descargar y ejecutar el archivo correspondiente a la práctica.

#### 5.2.2.2.3. Desarrollo de la página Web

El desarrollo de la página Web cumple con la necesidad de proporcionar un laboratorio virtual y de mostrar los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación. Dicha página proporciona a los usuarios la información necesaria para la ejecución de las prácticas desarrolladas, así como también presenta la información descriptiva de los recursos del LabCD. La página se encuentra en constante actualización para ofrecer un mejor funcionamiento.

#### 5.2.2.3. Características de los usuarios del LabCD

El LabCD debe contar con una administración de sus recursos hardware y software que facilite su utilización. Asimismo, las prácticas y la página Web deben presentar una interfaz intuitiva y amigable al usuario para su fácil comprensión y manipulación.

#### 5.2.2.4. Restricciones

El LabCD rige su funcionamiento bajo las políticas de la UTM y por lo tanto su administración deberá estar acorde al esquema de trabajo de dicha institución. Con respecto a las restricciones en la utilización de los recursos, el LabCD da preferencia a los integrantes del Cuerpo Académico de Redes de Instrumentación del Instituto de Electrónica y Computación de la UTM. Además se exige a los usuarios finales del LabCD un conocimiento previo de los recursos que lo conforman.

Las restricciones del LabCD en su modalidad de laboratorio virtual dependen principalmente del horario asignado a los usuarios para trabajar con el equipo en forma remota y de la correcta instalación y configuración de las bibliotecas de funciones para comunicación con los equipos de medida.

### 5.2.3. Requisitos específicos

Esta parte del documento presenta los requisitos específicos de la administración de los recursos del LabCD, así como el desarrollo de las prácticas y su puesta en funcionamiento.

#### 5.2.3.1. Requisitos funcionales

##### 5.2.3.1.1. Uso del LabCD

- Requisito (01) Los usuarios del LabCD podrán tener acceso a los recursos dependiendo del permiso correspondiente.
- Requisito (02) La utilización de los recursos del LabCD deberá limitarse al horario proporcionado por el departamento de servicios escolares de la UTM.

- |                |  |
|----------------|--|
| Requisito (03) | Para realizar la solicitud de material extra en el funcionamiento de los recursos del LabCD, el usuario deberá presentar su credencial vigente de la UTM.  |
| Requisito (04) | Para utilizar una estación de trabajo del LabCD, el usuario deberá contar con una cuenta de usuario y su respectiva clave de acceso.   |
| Requisito (05) | Para desarrollar una nueva práctica, es necesario instalar las bibliotecas de funciones VISA, SCPI y el lenguaje de desarrollo Agilent VEE como plataforma de desarrollo.  |
| Requisito (06) | Si es necesario, en el desarrollo de las actividades en el LabCD, se debe tener acceso al equipo de medida correspondiente.  |
| Requisito (07) | El usuario deberá tener conocimientos previos sobre los recursos del LabCD y sobre las herramientas de desarrollo.   |
| Requisito (08) | Los equipos de medida que conforman el LabCD son de la Firma Agilent Technologies y por lo tanto el lenguaje de desarrollo es Agilent VEE.   |
| Requisito (09) | Para ejecutar correctamente las prácticas que proporciona el LabCD, en forma local o remota, se deben descargar de la página Web del LabCD las correspondientes bibliotecas de funciones, controladores, imágenes y la versión RunTime de la práctica. |
| Requisito (10) | El usuario deberá contar con los permisos necesarios para acceder, local o remotamente, al LabCD.  |
| Requisito (11) | Con la finalidad de comprender los resultados obtenidos en la ejecución de las prácticas, se recomienda al usuario realizar un estudio teórico sobre el tema.  |
| Requisito (12) | Las prácticas se ejecutan secuencialmente y su funcionamiento dependerá del circuito que esté conectado a los equipos de medida.   |

#### **5.2.3.2. Requisitos de interfaces externas**

La interfaz de usuario de las prácticas debe estar orientada a un ambiente Windows y el manejo del programa se realizará mediante el teclado y el ratón de la PC.

Las interfaces hardware hacen referencia a los sistemas de comunicaciones entre la PC y los sistemas de medida, así como la comunicación entre la LAN y el GPIB para control en forma remota.

Dichas interfaces corresponden a las tarjetas GPIB/PCI, la pasarela GPIB/LAN y los cables GPIB/USB con que cuenta el LabCD.

Las interfaces software para trabajar con las prácticas y los recursos del LabCD son las bibliotecas de funciones VISA y el lenguaje SCPI, encargados de la comunicación entre los sistemas de medida y la PC.

#### **5.2.3.3. Requisitos de rendimiento**

El LabCD permite trabajar en forma remota a un usuario a la vez debido a las restricciones en la adquisición de los datos y a la respuesta de los sistemas. En forma local, el LabCD cuenta con 11 estaciones de trabajo que pueden funcionar individualmente.

#### **5.2.3.4. Requisitos de desarrollo**

Las prácticas están desarrolladas de acuerdo al prototipo del modelo en cascada y evolutivo, de manera que puedan incorporar fácilmente modificaciones y nuevas funciones.

### 5.2.3.5. *Requisitos tecnológicos*

Las prácticas se ejecutan en una PC con una configuración mínima de:

- Computadora con procesador Pentium II a 500 MHz o superior.
- 64 Mb en memoria RAM.
- Disco duro de 1 GB.
- Tarjeta de red o modem.
- Conexión a Internet (el acceso dependerá de la velocidad de la conexión).
- Sistema operativo Windows 9x/Me/NT/2000/XP.

## 5.3. Diseño del sistema y del software

### 5.3.1. Introducción

El diseño de las prácticas se basan en un diseño estructurado y en un modelo de flujo de datos, mediante el cual se observan los procesos y los datos que el sistema contiene.

En dicho modelo, los procesos funcionales procesan sus entradas y producen sus salidas, los datos pasan de un lugar a otro y sufren cambios, en cada proceso existe o se implementa una transformación. Los datos de entrada pasan a través de los diferentes procesos hasta llegar a convertirse en salidas, los procesos se pueden ejecutar en forma secuencial o en forma paralela y los datos se pueden procesar uno a uno o por lote.

El modelo de flujo de datos presenta ventajas para el desarrollo de las prácticas ya que permite la reutilización de procesos; es intuitiva ya que se puede analizar el proceso en términos de entradas y salidas; permite que se realicen mejoras con mayor facilidad; y es fácil de implementar.

Para el diseño de las prácticas se utilizó el software BPwin versión 2.0, el cual es un software de aplicación dedicado al desarrollo de este tipo de diseños. Los diagramas del flujo de datos se presentan a continuación.

### 5.3.2. Diagramas de flujo de datos de la página Web del LabCD

Los diagramas de flujo de datos (DFD) describen los procesos que se ejecutan dentro del sistema Web del LabCD, el diagrama de nivel cero describe los datos de entrada y salida del sistema.

La página Web del LabCD proporciona el acceso a los recursos a los usuarios, teniendo como entradas la selección del usuario, así como los datos que se ingresan para ejecutar las prácticas. El sistema responde con una salida del sistema mediante una página Web, gráficas, resultados, así como por archivos. La página Web del LabCD se descompone en 7 subprocesos, que se describen a continuación.

- *Introducción*: presenta un panorama general del LabCD.
- *Descripción del LabCD*: se describe la organización del LabCD así como la estructura hardware y software del mismo.
- *Reglamento del LabCD*: se presenta una propuesta acerca de las reglas a seguir para utilizar los recursos del LabCD.
- *Equipos de medida*: se describen los recursos hardware con los que cuenta el LabCD.
- *Requisitos para prácticas*: aquí se presentan los requisitos hardware y software necesarios para la ejecución de las prácticas, se dividen en 2 partes:
  - *Requisitos para las prácticas de instrumentación electrónica programable*: describe el proceso para ejecutar las prácticas correspondientes, primeramente insta-

lar las imágenes de fondo, después instalar el programa Agilent Run Time, y por último instalar y configurar las bibliotecas de funciones VISA.

- *Requisitos para las prácticas de instrumentación electrónica virtual*: describe el proceso para ejecutar las prácticas correspondientes, primeramente se instalan las imágenes de fondo y por último se instala el programa Agilent Run Time.
- *Prácticas de instrumentación electrónica*: se presentan las prácticas que se pueden ejecutar en el sistema, las cuales son: Análisis de un filtro pasa bajas de primer orden, Modulación programable y Modulación virtual.
- *Contactos*: se presentan la información de los responsables del LabCD.

Todos los procesos mencionados se presentan gráficamente mediante los diagramas de flujo de datos.

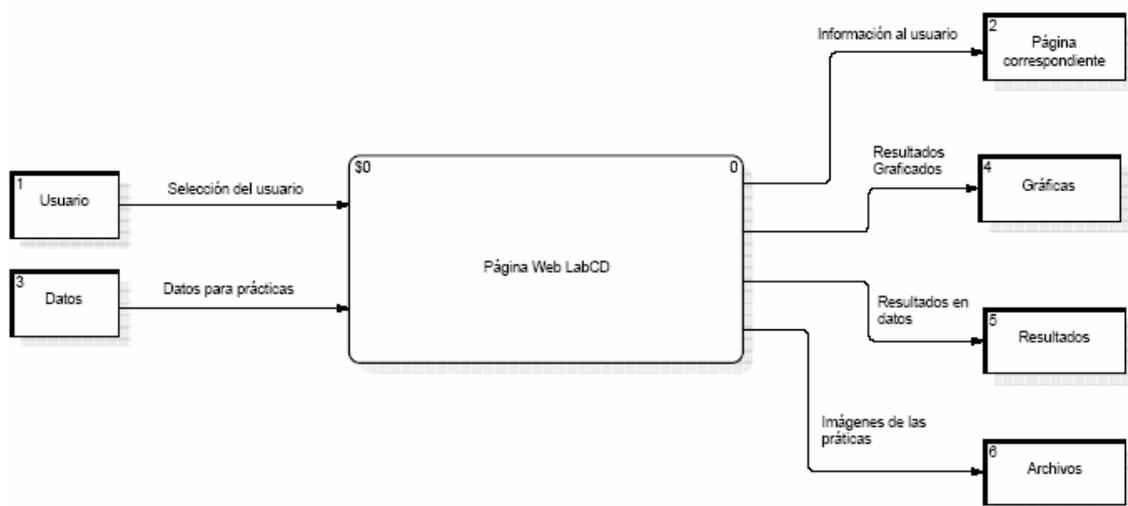
La Figura 5.2 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 0, en donde se describen las entradas que debe tener el sistema, así como las correspondientes salidas que el sistema puede arrojar. La Página Web del LabCD debe responder a la selección que hace el usuario, así también recibe los datos que son útiles para el funcionamiento de las prácticas, dependiendo de la selección del usuario se presenta la página Web correspondiente, también dependerá de los datos introducidos, el resultado mediante gráficas, datos u archivos.

La Figura 5.3 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 1, en donde se describen las diferentes opciones que presenta la página Web del LabCD, como son la introducción, descripción del LabCD, reglamento del LabCD, equipos de medida, requisitos para prácticas, prácticas de instrumentación electrónica y contactos, cada proceso descrito anteriormente.

La Figura 5.4 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 2, perteneciente al proceso número 5, en donde se describen las diferentes opciones que presenta la opción de requisitos para prácticas.

La Figura 5.5 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 3, perteneciente al proceso número 5.1, en donde se describen los requisitos para ejecutar las practicas de Instrumentación electrónica programable.

La Figura 5.6 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 3, perteneciente al proceso número 5.2, en donde se describen los requisitos para ejecutar las practicas de Instrumentación electrónica virtual.



**Figura 5.2.** Diagrama de flujo de datos de nivel 0.

La Figura 5.7 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 2, perteneciente al proceso número 6, en donde se describen las diferentes practicas de instrumentación electrónica que se tienen en la página Web del LabCD.

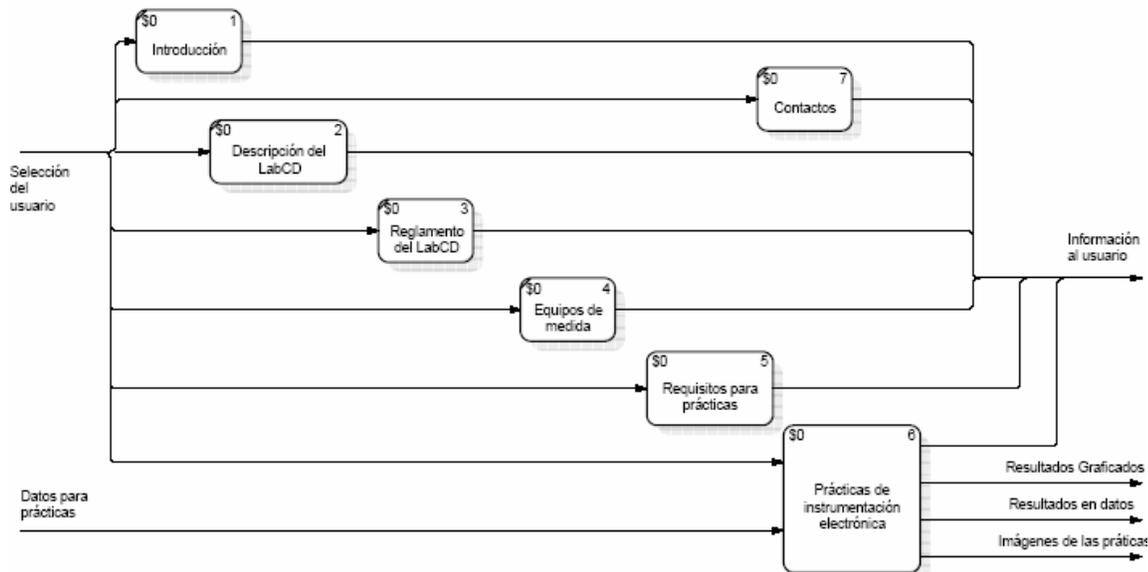


Figura 5.3. Diagrama de flujo de datos de nivel 1.

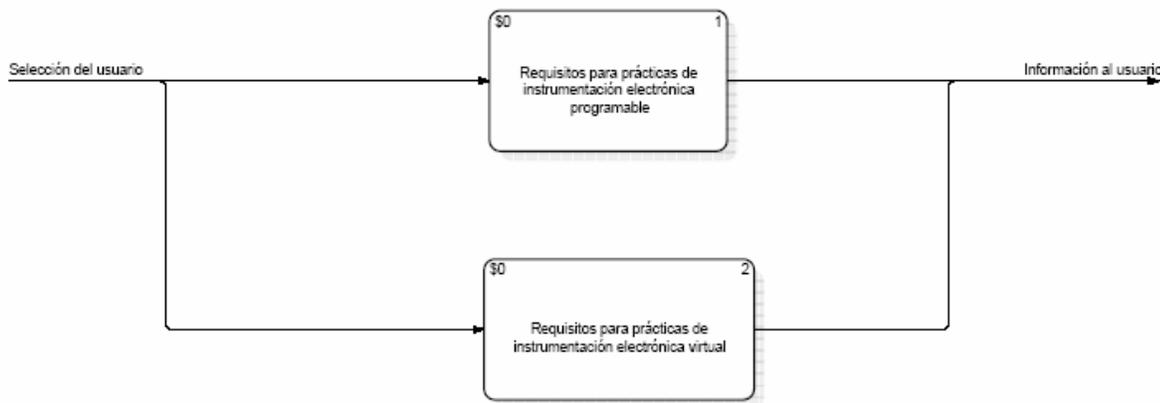


Figura 5.4. Diagrama de flujo de datos de nivel 2.

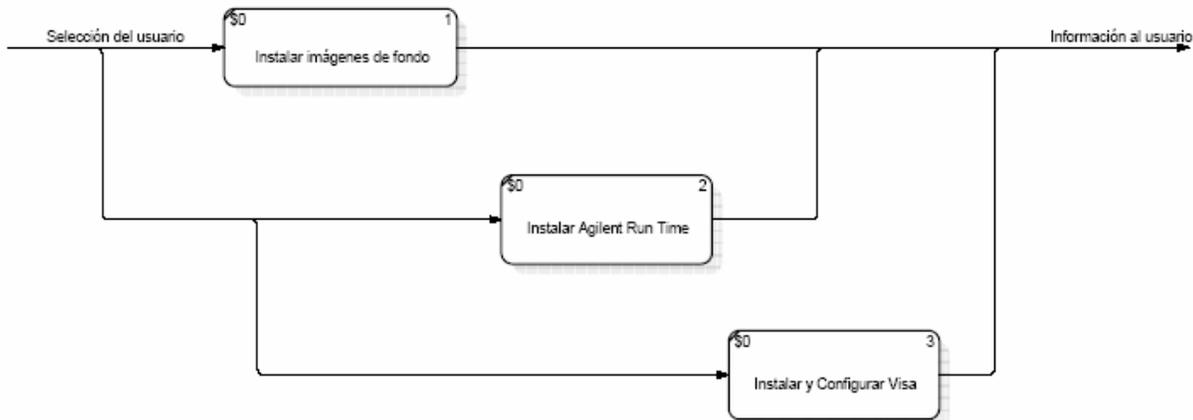


Figura 5.5. Diagrama de flujo de datos de nivel 3.

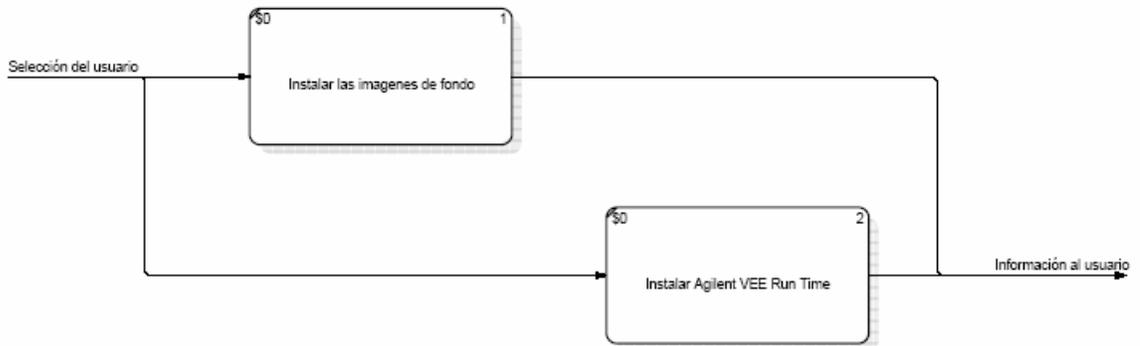


Figura 5.6. Diagrama de flujo de datos de nivel 3.

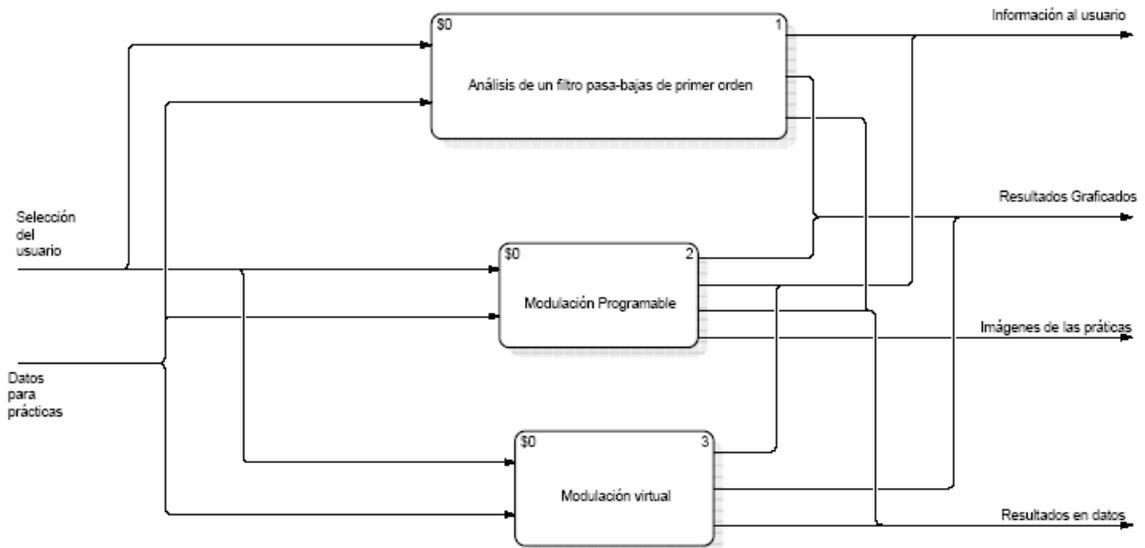


Figura 5.7. Diagrama de flujo de datos de nivel 2.

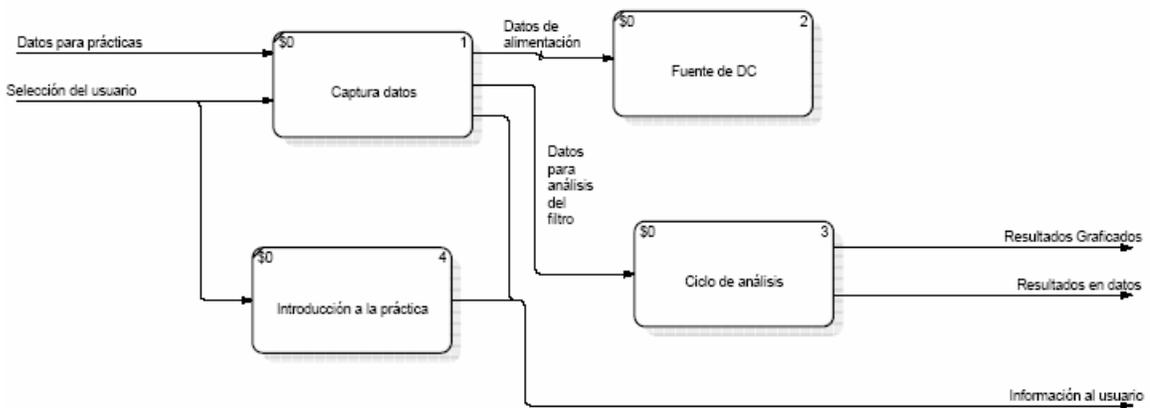


Figura 5.8. Diagrama de flujo de datos de nivel 3.

La Figura 5.8 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 3, perteneciente al proceso número 6.1, que describe los pasos que se siguen en el análisis de in filtro pasa bajas, como son la captura de los datos de entrada, el paso de valores a la fuente de DC el ciclo del análisis y la introducción de la practica.

La Figura 5.9 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 4, perteneciente al proceso número 6.1.3 en donde se describen los pasos que ejecuta el ciclo de análisis, como son el cálculo de fórmulas, la obtención de medidas del osciloscopio y la generación de gráficas.

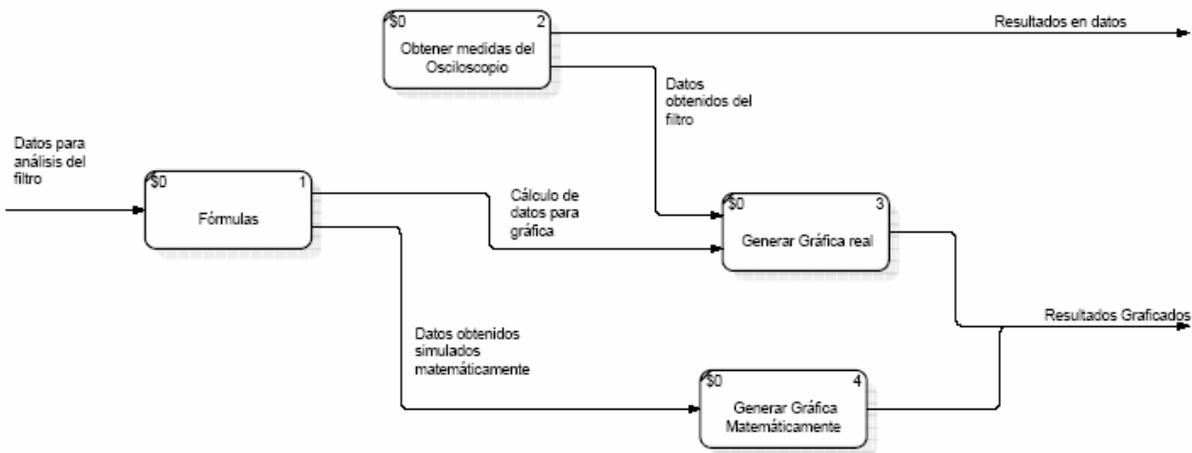


Figura 5.9. Diagrama de flujo de datos de nivel 4.

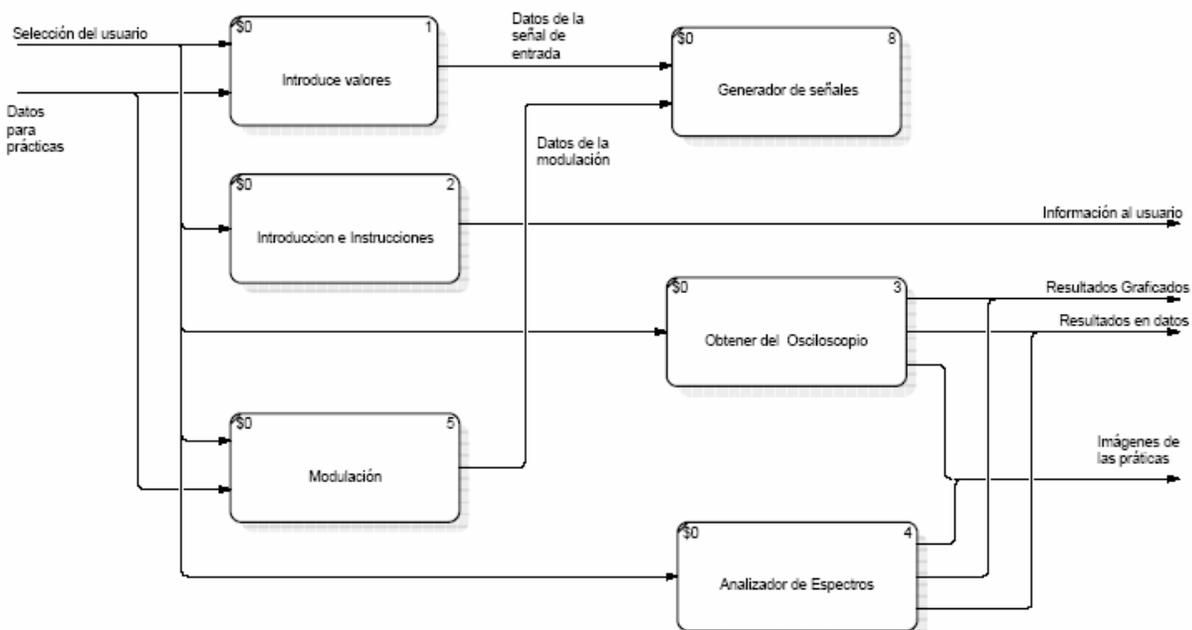


Figura 5.10. Diagrama de flujo de datos de nivel 3.

La Figura 5.10 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 3, perteneciente al proceso número 6.2, que describe los procesos para la realización de la práctica de modulación programable, los cuales son: la introducción de los valores, la configuración del generador de funciones, la activación de la modulación, la obtención de medidas del osciloscopio y del espectro de las señales.

La Figura 5.11 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 3, perteneciente al proceso número 6.3 que describen los procesos para la realización de la práctica de modulación virtual.

La Figura 5.12 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 4, perteneciente al proceso número 6.2.2, que describe los procesos para poder mostrar en el osciloscopio las señales 1 y 2 de la práctica.

La Figura 5.13 representa el diagrama de flujo de datos de nivel 4, perteneciente al proceso número 6.2.6 que describe los procesos para mostrar en el osciloscopio la señal 3.

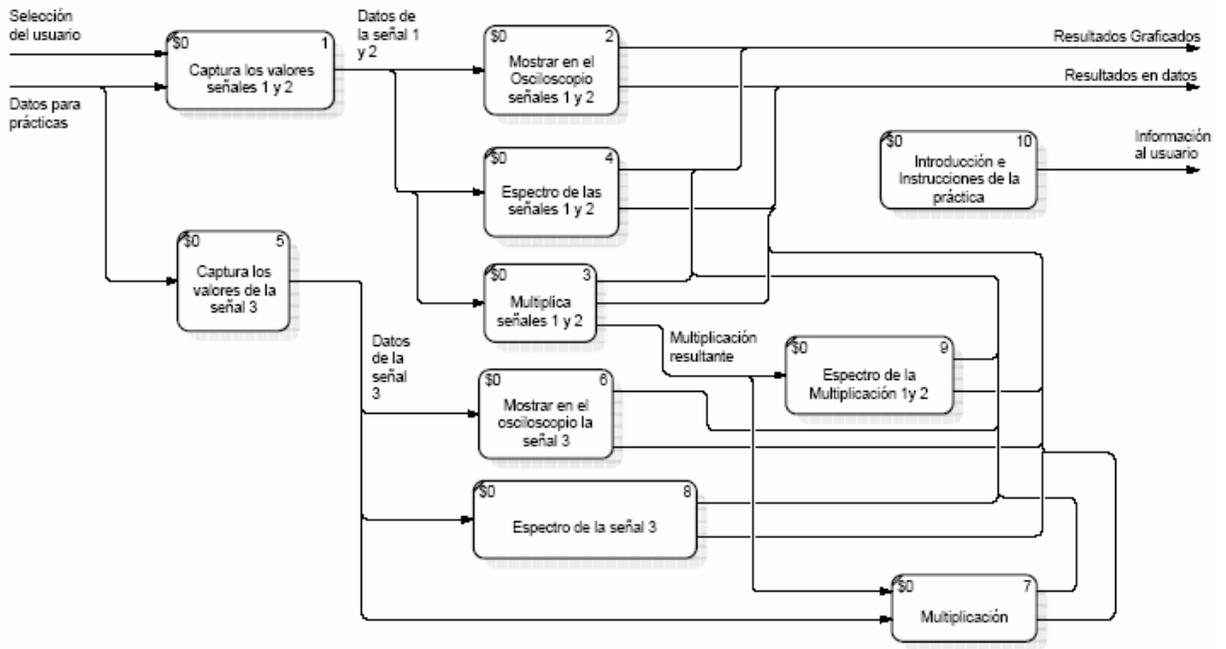


Figura 5.11. Diagrama de flujo de datos de nivel 3.

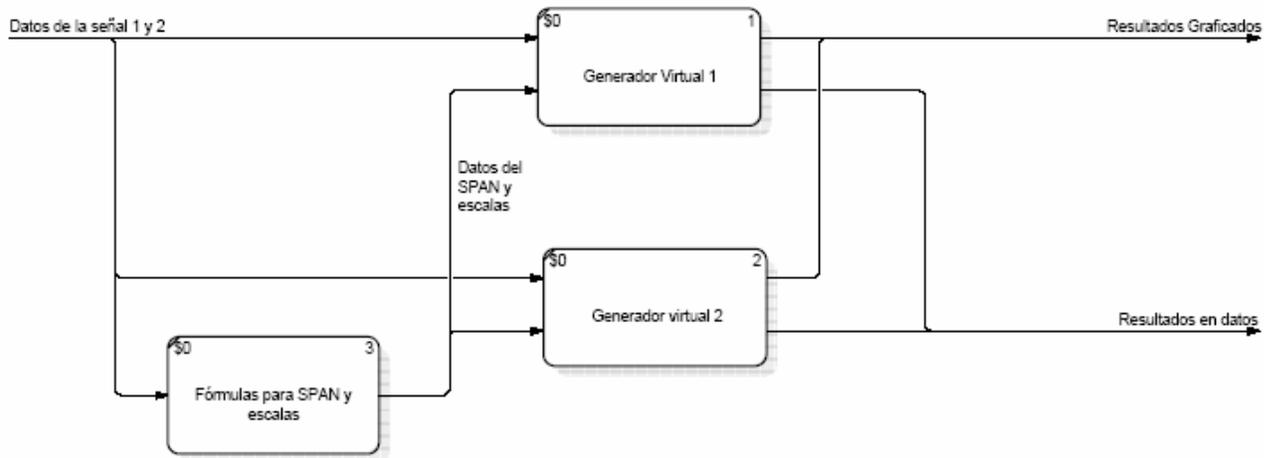


Figura 5.12. Diagrama de flujo de datos de nivel 4.

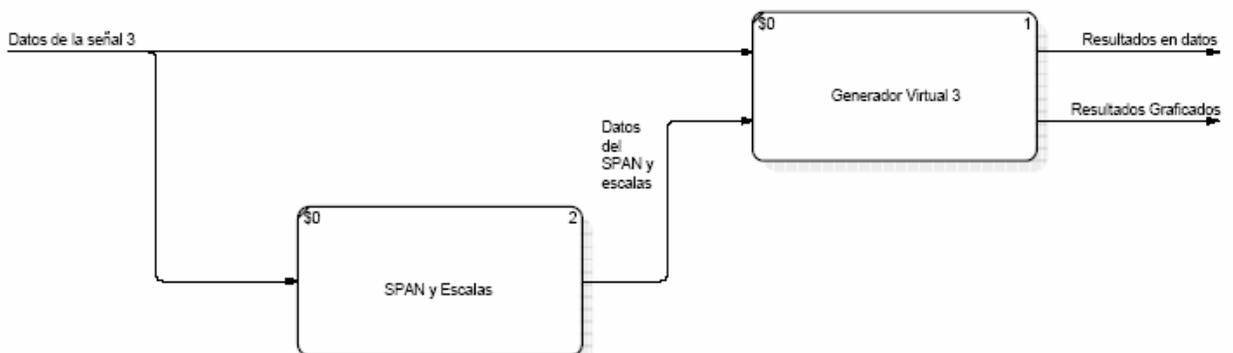


Figura 5.13. Diagrama de flujo de datos de nivel 4.

## 5.4. Pruebas del Software

### 5.4.1. Introducción

El objetivo de la fase de pruebas de un sistema software es detectar los errores que puedan provocar un mal funcionamiento antes de ser presentado al usuario final. Un error detectado en la fase de desarrollo disminuye considerablemente los costos de reparación del sistema.

Si se pudiera probar completamente un sistema, con todos los posibles datos de entrada, se tendría una aplicación perfecta. Sin embargo, generalmente no es posible probar con todos los posibles casos y como consecuencia se requiere de un criterio para elegir los casos más representativos e importantes.

A continuación se describe las pruebas que se realizaron en el desarrollo de las prácticas del LabCD, las cuales consistieron en pruebas de caja negra.

### 5.4.2. Pruebas de caja negra

Las pruebas de caja negra, también llamadas funcionales, tienen el objetivo de probar la funcionalidad de la aplicación y no la implementación de la misma, es decir se prueba “lo que el programa tiene que hacer” y al menos se debe realizar una prueba de todas y cada una de las funciones que el programa tiene que hacer. Es importante realizar una cobertura de caja negra al 100%.

Para realizar dichas pruebas se deben elegir datos concretos. Es importante utilizar datos que el usuario empleará en la ejecución de la aplicación final. Cabe destacar que no es necesario probar con muchos datos de este tipo debido a que los programas funcionan igual con datos parecidos o del mismo tipo.

Es importante identificar los rangos de datos que pueden alterar el comportamiento del sistema con la finalidad de definir las zonas de trabajo. Es importante superar dichas pruebas con al menos un dato de cada zona.

#### 5.4.2.1. Ejemplo de pruebas

Las prácticas se sometieron a las pruebas de caja negra ya que muchos de los valores proporcionados a la aplicación son fijos o se encuentran determinados con anterioridad. A continuación se describe una función con sus respectivos datos de prueba, se incluyen datos que provocan un mal funcionamiento; una vez procesados por el sistema, se presentan los resultados de dichas pruebas.

Se analiza la función para capturar los datos de la práctica del filtro pasa bajas, en donde las entradas dependen del circuito conectado al sistema y están validadas de acuerdo a un rango de valores permitidos.

La función Captura datos se encarga de obtener la información del usuario, dicha información corresponde a los valores reales de los circuitos que se encuentran conectados de acuerdo al diagrama de la práctica. La GUI para realizar este procedimiento proporciona los datos de entrada a la aplicación (Figura 5.3).

Para introducir los datos al sistema es necesario que el usuario presione el botón correspondiente, una vez seleccionado el dato de entrada, se presentará una ventana de información sobre el dato que se ingresará. Por ejemplo, la Figura 5.4 presenta la información para capturar el dato del voltaje de alimentación del circuito.

Una vez presionado el botón OK se presenta una ventana para capturar el valor correspondiente (Figura 5.5), el cual se acepta mediante el botón Correcto. Si el dato no es el correcto, se presiona el botón Cancelar y se presenta nuevamente la ventana Captura datos. Al presionar el botón Correcto, el sistema verifica que el dato se encuentre entre los límites válidos, una vez validado dicho dato, se

presenta de la ventana Captura datos, en caso contrario se presenta una ventana con información del error correspondiente (Figura 5.6).

Una vez mostrada la información del error cometido, se presiona el botón OK y se regresa nuevamente a la ventana Captura datos para repetir el proceso. Algunos datos a capturar dependerán del valor físico del circuito (resistencia y capacitancia), si este dato no corresponde al que se tiene conectado a los equipos, el resultado se verá afectado; por otro lado, si los datos son correctos la salida del sistema presentará las gráficas correctas del análisis.

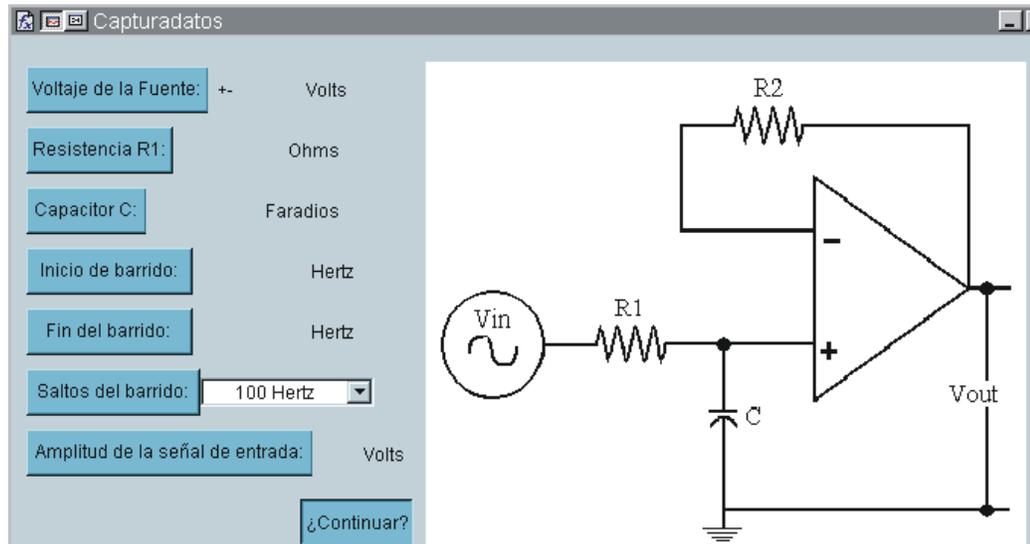


Figura 5.14. GUI para la captura de datos.

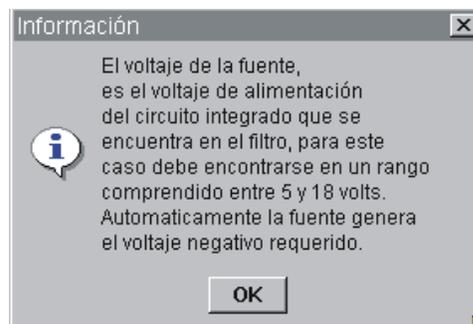


Figura 5.15. Información para el usuario del dato a capturar.

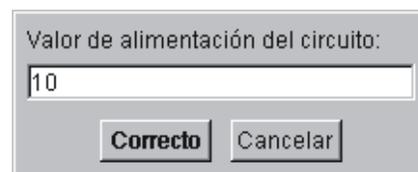


Figura 5.16. GUI para introducir un valor.

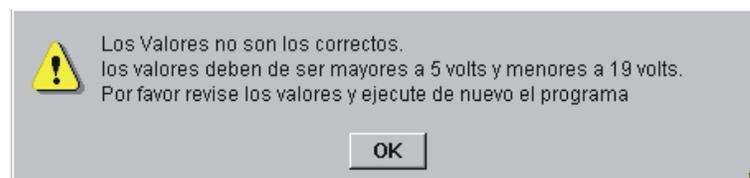


Figura 5.17. GUI presentando un error de información.



## 6. Resultados

El desarrollo de aplicaciones para la automatización de procesos de medida y automatización ocupa un lugar preponderante dentro del entorno industrial y académico.

Como resultado de la investigación realizada, en el presente trabajo de tesis se desarrollaron prácticas destinadas a la enseñanza de la instrumentación electrónica programable y virtual, así como también se diseñó y desarrolló la página Web del LabCD para ser publicada en Internet. Las prácticas utilizan los recursos hardware, software y firmware del LabCD descritas en los capítulos anteriores.

### 6.1. Página Web del LabCD

En la actualidad una forma eficiente de publicar el trabajo realizado es mediante el desarrollo de una página Web. El trabajo desarrollado en este documento también tiene como resultado una página de este tipo, en la cual los usuarios del LabCD puedan tener el acceso al trabajo y al uso de los equipos.

La página que presenta al LabCD se encuentra en servicio permanente en el servidor de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. El acceso a los equipos depende del horario de trabajo asignado y se realiza a través de la dirección <http://www.utm.mx/~labcd/LabCD.htm> (Figura 6.1).

La página contiene diferentes enlaces, los cuales presentan la mayor parte del documento aquí desarrollado, y que a continuación se detalla:

- *Introducción*: corresponde al capítulo 2 de este trabajo de investigación, el cual presenta la introducción del desarrollo del mismo, una breve descripción del marco teórico que comprenden: las redes de área local, la instrumentación electrónica programable y el concepto de los buses de campo. La estructura de la página cuenta con los respectivos enlaces hacia un punto en específico o un enlace de retorno a la página principal, con el fin de hacer más amigable la navegación.
- *Descripción del LabCD*: corresponde al capítulo 3 de la gestión del LabCD, donde se describe la estructura organizacional del LabCD, la composición de los módulos y el software con el que cuenta cada módulo.
- *Reglamento del LabCD*: se refiere al apéndice C de este documento correspondiente al reglamento que rige el LabCD, el cual indica a los alumnos sus derechos y obligaciones con el uso y permanencia de este centro de trabajo. Es obligatorio que todo usuario que trabaje en el LabCD tenga conocimiento del mismo.



Figura 6.1. Página principal del LabCD.

- *Equipos de medida*: hace referencia a la descripción de las estaciones de trabajo, así como la descripción de las características del hardware y software con el que cuenta el LabCD, también introduce los conceptos correspondientes a los sistemas de comunicación que utiliza el LabCD.
- *Requisitos para las prácticas y archivos de las prácticas*: se describen los requisitos para las prácticas que se manejan en la página y que se encuentran descritas en los apartados 5.2.1 y 5.2.2, se muestran las prácticas para ser ejecutadas en las estaciones de trabajo.
- *Contactos*: corresponde a los datos de los miembros que trabajan en el LabCD, así como los miembros del Cuerpo Académico de Redes de Instrumentación, los cuales intervinieron en el desarrollo del LabCD.

## 6.2. Descripción general de una práctica

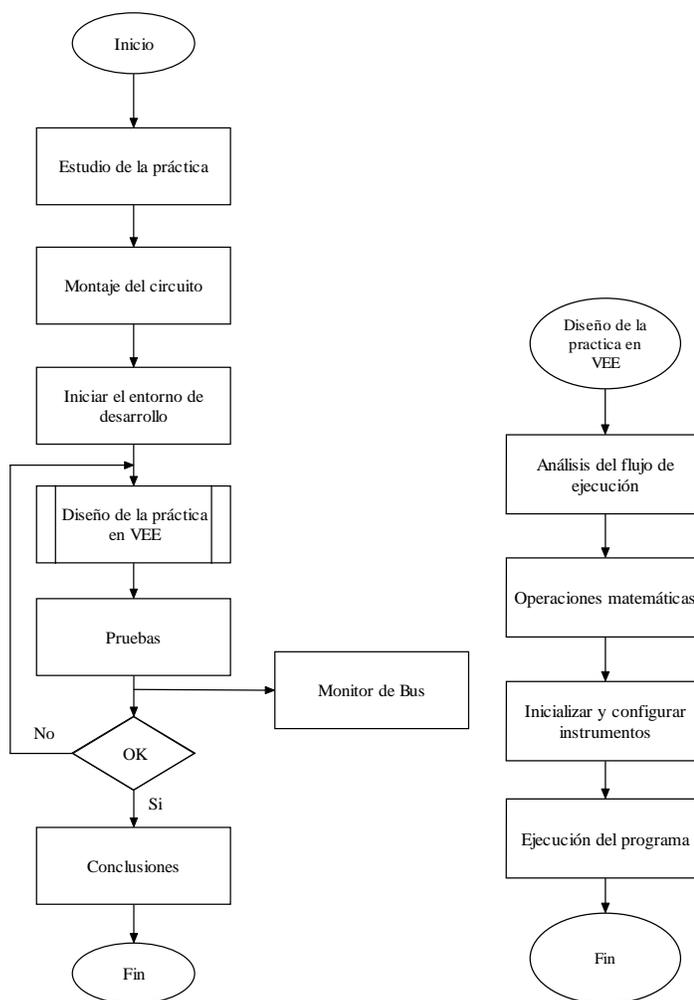
El desarrollo de soluciones para la automatización de procesos mediante herramientas software, como cualquier otro desarrollo, debe contar con el procedimiento adecuado para implementar la solución correcta. Las prácticas aquí descritas siguen el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 6.2 [29]. El cual se describe a continuación.

En primer lugar, se realiza el estudio teórico de la práctica con la finalidad de adquirir los conocimientos necesarios para interpretar correctamente los valores obtenidos durante la ejecución. A continuación y si la práctica lo requiere, se procede a montar el circuito correspondiente en las tarjetas de prueba. Una vez verificadas las conexiones físicas del circuito, se inicia el entorno de trabajo para realizar el programa que automatice el proceso.

Para realizar la programación del proceso, se sugiere la metodología indicada en la Figura 6.2, en donde se realiza el análisis del flujo de ejecución, el tipo de datos de entrada y salida del programa, las operaciones necesarias y la GUI.

Después se plantean las operaciones matemáticas necesarias para obtener el resultado correcto y se configuran los instrumentos con las instrucciones necesarias para llevar a cabo el programa.

Por último, se realiza la ejecución completa del programa y se realizan las pruebas necesarias para comprobar que el programa se está ejecutando correctamente.



**Figura 6.2.** Diagrama de flujo del diseño y desarrollo de una práctica.

Si los resultados son los correctos se concluye con el desarrollo de la práctica, de lo contrario se modifica el diseño de la práctica y se realizan los pasos necesarios.

El monitor de bus permite visualizar el flujo de datos a través del bus en todo momento, lo cual es útil en el estudio y análisis del protocolo de comunicaciones que se esté empleando, en este caso se hace referencia al protocolo IEEE 488 (inciso 2.2.5.1).

### 6.3. Desarrollo de las prácticas

Las prácticas desarrolladas en el LabCD se dividen en prácticas de instrumentación electrónica programable y de instrumentación electrónica virtual (subcapítulo 2.3), ambas basadas en la metodología descrita anteriormente. Se utilizó el ambiente de desarrollo Agilent VEE, desarrollado por la firma Agilent Technologies (párrafo 2.2.4.1.3), el cual es un lenguaje de programación dedicado a la automatización de procesos en el campo de la instrumentación electrónica programable y virtual. A continuación se describen las dos diferentes tipos de prácticas desarrolladas en el LabCD.

#### 6.3.1. Prácticas de instrumentación electrónica virtual

Las prácticas de instrumentación electrónica virtual son ejercicios en donde se simula el funcionamiento de los sistemas de instrumentación que conforman el LabCD sin que éstos intervengan físicamente, es decir, se muestra una GUI que realiza las diferentes funciones simulando el funcionamiento del mismo equipo en forma presencial.

### 6.3.1.1. Práctica de modulación de señales

La práctica de modulación de señales describe el proceso básico de la modulación en amplitud (AM, Amplitud Modulada). Las Figuras 6.3, 6.4 y 6.5 muestran el flujo de ejecución, la estructura y la GUI del programa respectivamente.

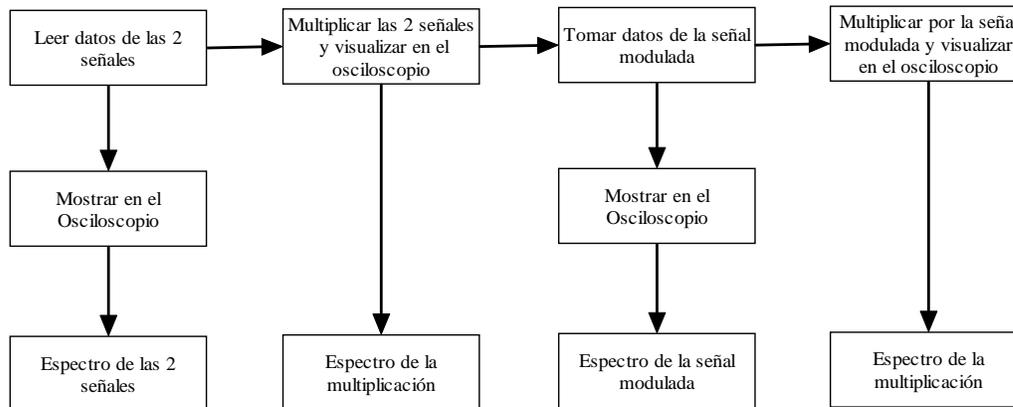


Figura 6.3. Diagrama de flujo para la práctica de modulación en amplitud.

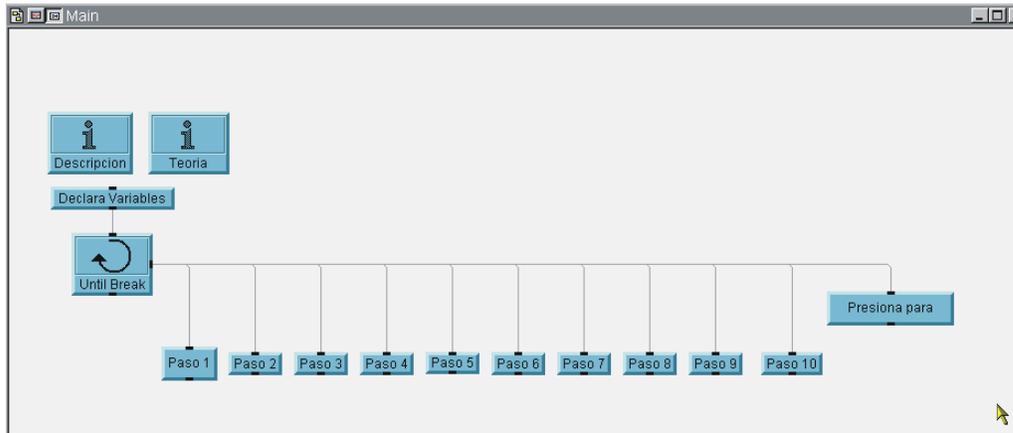


Figura 6.4. Estructura completa del programa correspondiente a la práctica de modulación en amplitud.

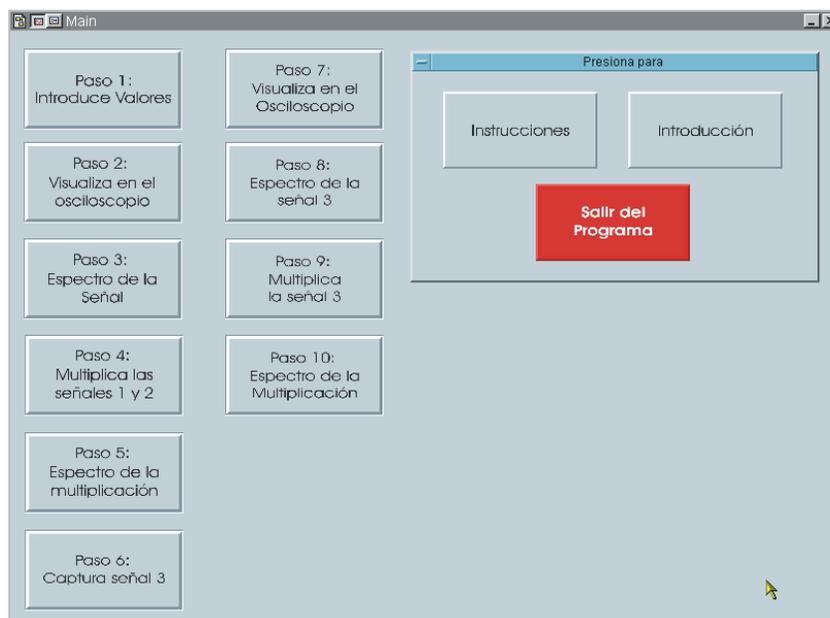


Figura 6.5. GUI correspondiente a la práctica de modulación en amplitud.

*Paso 1. Introduce valores:* es el proceso de leer los datos de frecuencia y voltaje de las dos señales de entrada a procesar (Figura 6.6). Los datos de frecuencia se encuentran en el rango de 10 Hz a 15 MHz y los valores de amplitud están comprendidos entre 1 y 10 Volts.

*Paso 2. Visualiza en el osciloscopio:* muestra los datos obtenidos en forma de onda mediante un generador de funciones y un osciloscopio virtual, con la finalidad de observar y comparar las señales originales antes de procesarlas. La Figura 6.7 muestra la estructura del programa y la interfaz del usuario en donde se aprecian las señales de entrada y sus valores.

*Paso 3. Espectro de la señal:* se obtiene el espectro de cada una de las señales aplicando la transformada rápida de Fourier (FFT, *Fast Fourier Transform*) a ambas señales mediante un analizador de espectros virtual. La Figura 6.8 muestra la estructura del programa y la GUI correspondiente.



Figura 6.6. Estructura del programa para la captura de las señales de entrada.

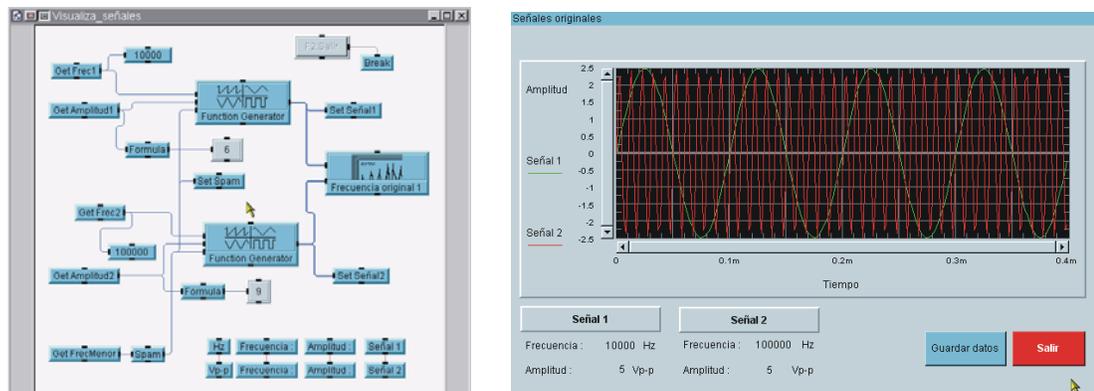


Figura 6.7. Estructura del programa y GUI para generar y mostrar las señales de entrada.

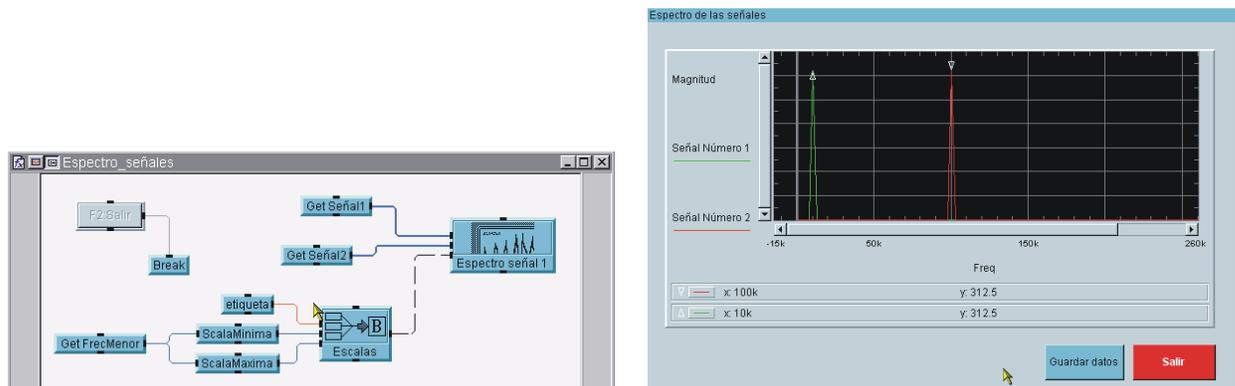


Figura 6.8. Estructura del programa y GUI para mostrar los espectros de las señales de entrada.

*Paso 4. Multiplica las señales 1 y 2:* se multiplican ambas señales para obtener la modulación. El programa multiplica punto a punto las dos señales. Realizado lo anterior, se procede a mostrar la señal resultante en un osciloscopio virtual, el cual permite mover las marcas para obtener una medición en específico. La Figura 6.9 muestra la estructura del programa con el resultado de la multiplicación de las señales de entrada, así como la GUI correspondiente.

*Paso 5. Espectro de la multiplicación:* una vez multiplicadas las señales de entrada se obtiene el espectro de la señal resultante de la multiplicación mediante un analizador de espectros virtual. La Figura 6.10 muestra la estructura del programa y GUI de la obtención del espectro de la multiplicación.

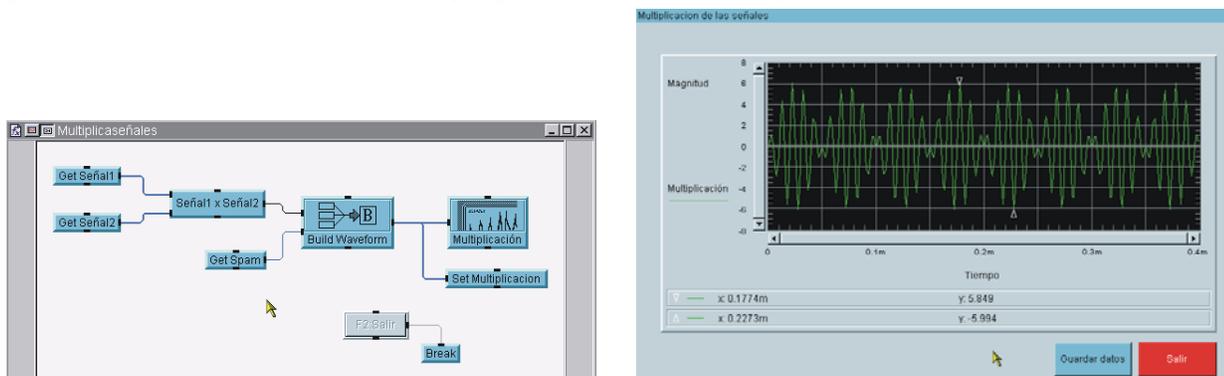
*Paso 6. Captura señal 3:* el programa permite capturar los valores de la frecuencia y amplitud de una tercera señal (Figura 6.11), la cual se multiplicará para recuperar la señal original.

*Paso 7. Visualiza en el osciloscopio:* se pueden observar los valores que se capturaron, mediante un generador de señales y un osciloscopio virtual. La Figura 6.12 muestra la estructura del programa y la GUI correspondiente.

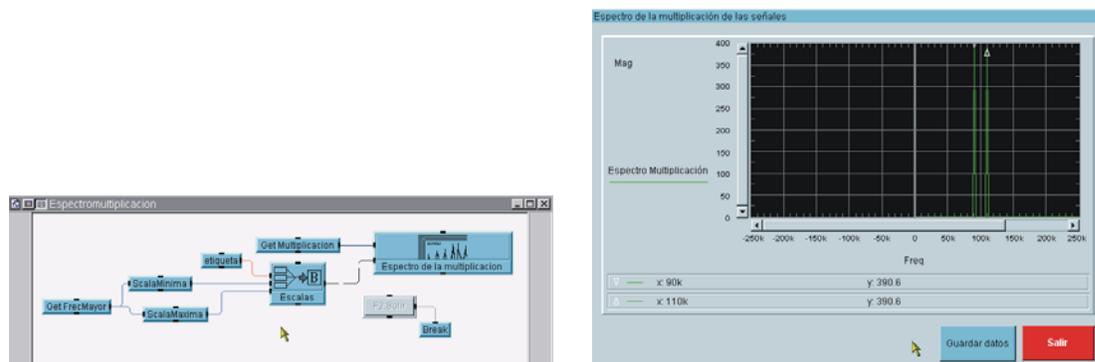
*Paso 8. Espectro de la señal 3:* se obtiene el espectro de la señal 3 mediante un analizador de espectros virtual. La Figura 6.13 presenta la estructura del programa y la GUI que presenta el espectro de la tercera señal.

*Paso 9. Multiplica la señal 3:* una vez capturada la tercera señal, se multiplica por la señal resultante de la multiplicación de las dos primeras señales de entrada con el fin de conseguir recuperar la señal original. La Figura 6.14 muestra la parte del programa que realiza dicha multiplicación y la GUI correspondiente.

*Paso 10. Espectro de la multiplicación:* por último se obtiene el espectro de la última multiplicación, al introducir la señal obtenida en la multiplicación en el analizador de espectros virtual. La Figura 6.15 muestra la estructura del programa y la GUI correspondiente.



**Figura 6.9.** Estructura del programa y GUI de la multiplicación de las 2 señales de entrada.



**Figura 6.10.** Estructura del programa y GUI que muestra el espectro de la multiplicación de las señales de entrada.

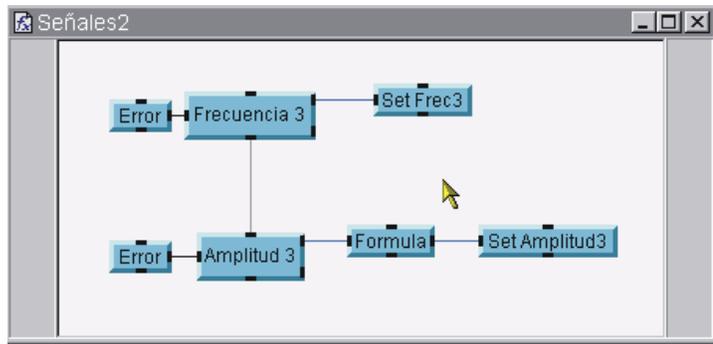


Figura 6.11. Estructura de la captura de valores de la tercera señal.

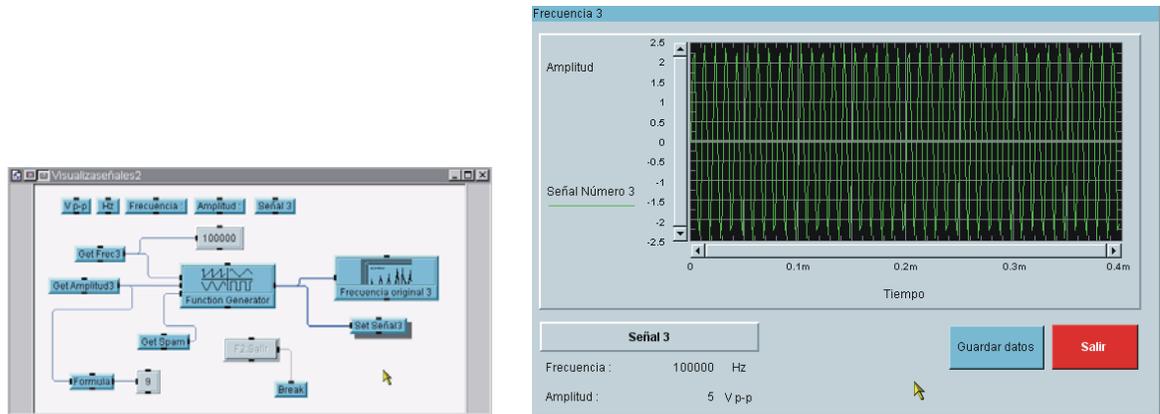


Figura 6.12. Estructura del programa y GUI que visualiza la tercera señal.

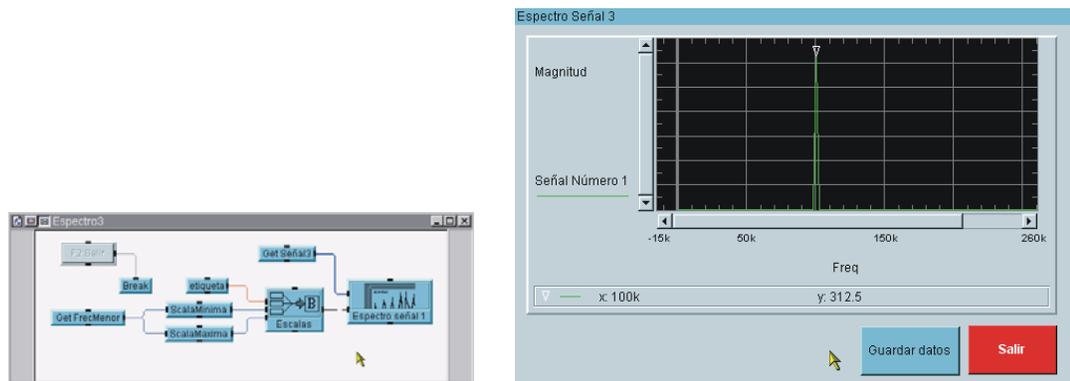


Figura 6.13. Estructura del programa y GUI que presenta el espectro de una señal.

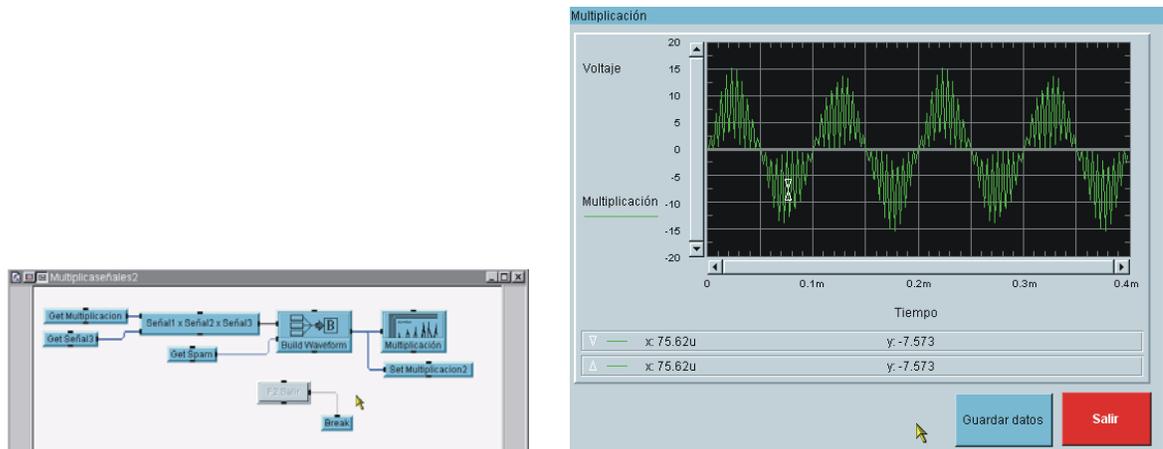


Figura 6.14. Estructura del programa y GUI para que presenta la multiplicación.

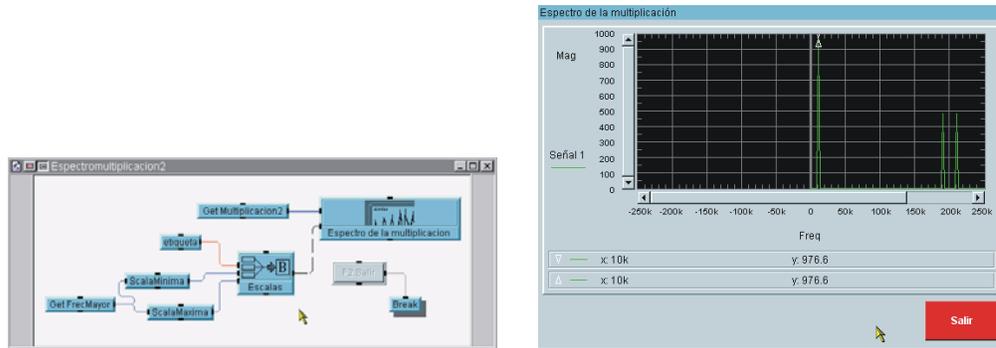


Figura 6.15. Estructura del programa y GUI que presenta el espectro de la multiplicación.

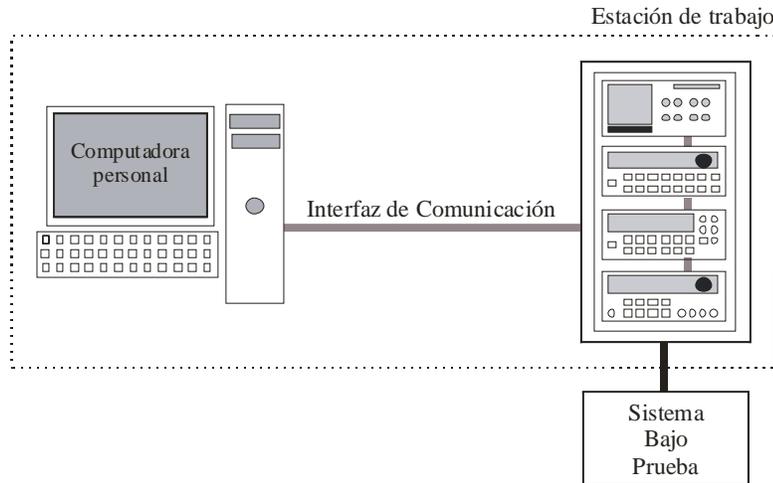


Figura 6.16. Diagrama general de una práctica de instrumentación electrónica programable.

### 6.3.2. Prácticas de instrumentación electrónica programable

Las prácticas de instrumentación electrónica programable corresponden a ejercicios en donde intervienen los diferentes equipos y sistemas del LabCD controlados mediante una computadora, para realizar la automatización de estímulos y medidas a un sistema bajo prueba, tal como lo muestra la Figura 5.16.

A continuación se describe el desarrollo de las prácticas de instrumentación electrónica programable, mediante el modelo propuesto en el subcapítulo 5.1.

#### 6.3.2.1. Práctica de modulación en AM

En esta práctica interviene un generador de funciones, un osciloscopio y una conexión GPIB entre los dos equipos. La práctica describe el proceso de modulación en AM de una señal. Inicialmente se hizo un estudio teórico de la práctica para comprender los conceptos de la modulación en AM y acondicionarlo a las necesidades del profesor. Como resultado se obtuvo el diagrama a bloques que muestra la Figura 6.17 en donde se pueden distinguir 6 módulos: Obtener la señal a modular, Visualizar la señal en el osciloscopio, Mostrar el espectro de la señal, Activar la modulación, Visualizar la modulación en el osciloscopio y por último Mostrar el espectro de la modulación.

Realizado el análisis teórico se procede al montaje del circuito, que en este caso consiste en una conexión directa entre el generador de funciones y el osciloscopio.

Se inicializa el entorno de desarrollo para realizar el diseño de la práctica basado en las operaciones matemáticas y la configuración de los instrumentos (Figura 6.18). La figura 6.19 muestra la GUI de la práctica.

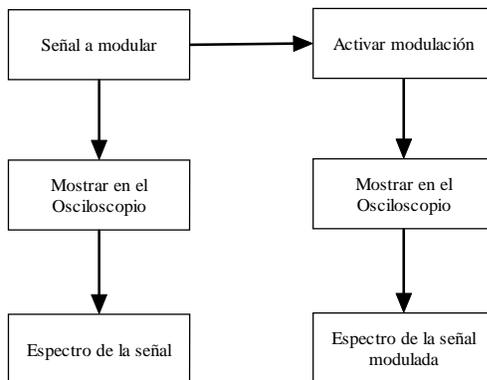


Figura 6.17. Diagrama de flujo del programa de modulación en AM.

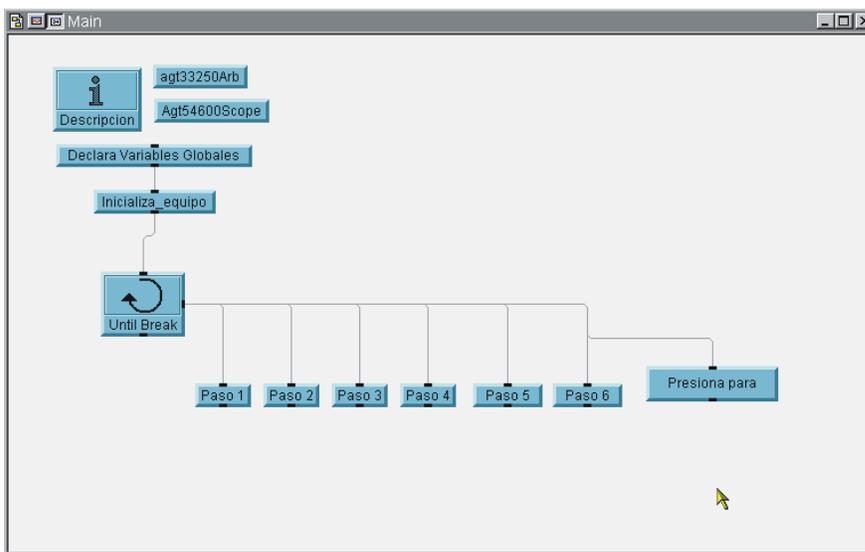


Figura 6.18. Estructura interna del programa de la práctica de modulación en AM.

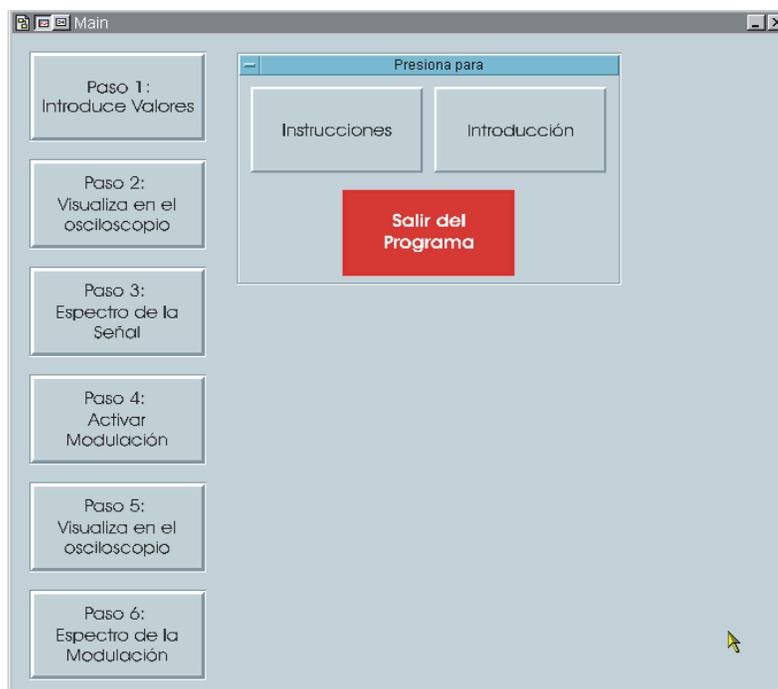


Figura 6.19. GUI de la práctica de la modulación programable.

*Paso 1. Introduce valores:* tiene como objetivo capturar los valores de la señal que se va a modular, para ello solicita los valores correspondientes al tipo, la frecuencia y el voltaje de la señal (Figura 6.20).

Una vez capturados los datos se muestran en una interfaz con el generador de funciones. Para esto se utilizan dos funciones, obtener señal y envía datos al generador, tal como se muestra en la Figura 6.21.

Cada función cuenta con diferentes procesos, incluida la interfaz con el equipo que se está utilizando, en donde el usuario proporciona el tipo de señal a modular (rampa, seno, cuadrada o triangular), la frecuencia de la señal (1 Hz a 1.5 MHz, dependiendo del tipo de señal), y el voltaje de la señal (1 a 10 V). Una vez obtenidos los valores, se aceptan mediante el botón Salir e inmediatamente los valores son configurados en el generador de funciones.

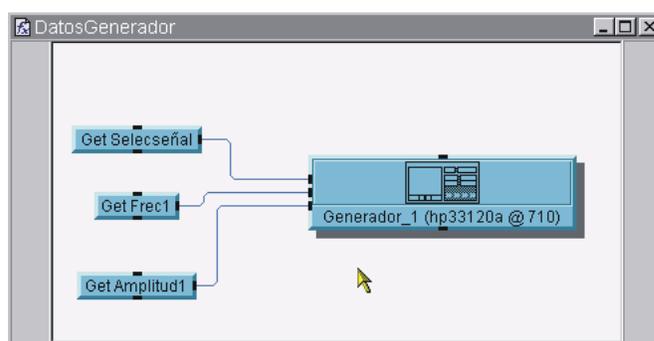
*Paso 2. Visualiza en el osciloscopio:* realiza la interfaz con el osciloscopio mediante una serie de consultas de mediciones como frecuencia, voltaje pico-pico y voltaje RMS, para posteriormente obtener los puntos de la señal y visualizarla en una gráfica. La Figura 6.22 muestra la estructura del programa y la GUI en el momento que hace la visualización de la señal, físicamente se puede observar en la pantalla del osciloscopio la señal y las mediciones obtenidas.

*Paso 3. Espectro de la señal:* obtiene el espectro de la señal. Primero la interfaz con el osciloscopio, enviándole valores para ajustar correctamente la señal y para que el usuario pueda observar correctamente el proceso. La imagen que se presenta en la pantalla del programa se almacena en una unidad de almacenamiento conjuntamente con la medida del valor del espectro en frecuencia. La Figura 6.23 muestra la estructura del programa y la GUI para obtener el espectro de la señal.

*Paso 4. Activar modulación:* a continuación se activa la modulación en AM. El módulo pide al usuario algunas características de la señal modulante y una vez capturados, el programa realiza la interfaz con el generador proporcionándole las nuevas características de la señal (Figura 6.24). Físicamente se observa este proceso en la ventana de despliegue del generador de señales. La Figura 6.25 muestra la GUI correspondiente.



**Figura 6.20.** Estructura del programa y GUI para obtener la señal a modular.



**Figura 6.21.** Función envía datos al generador.

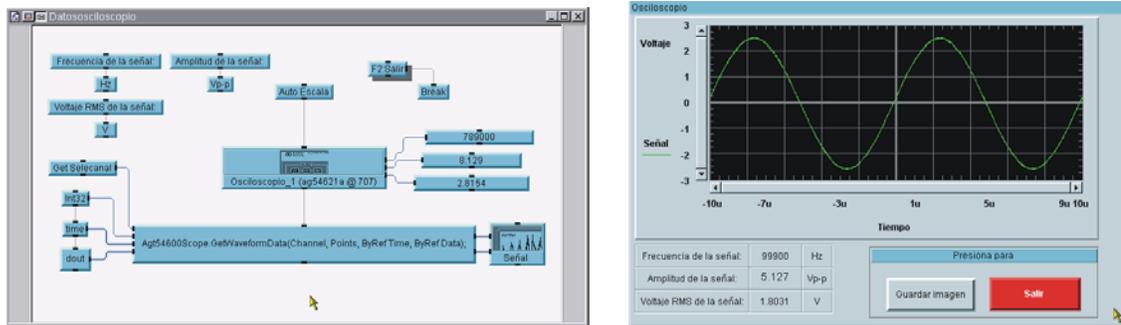


Figura 6.22. Estructura del programa y GUI para mostrar la señal de entrada en el osciloscopio.

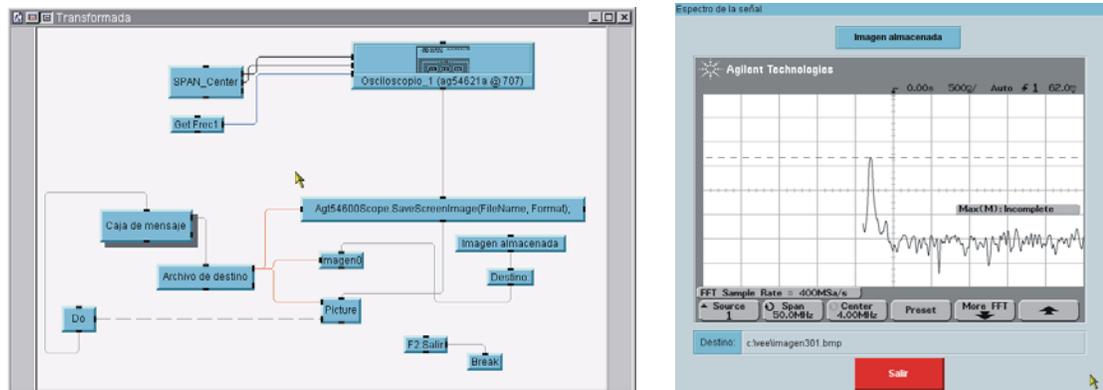


Figura 6.23. Estructura del programa y GUI para obtener el espectro de la señal de entrada.

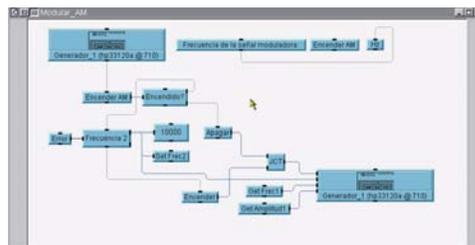


Figura 6.24. Función de la activación de la modulación en AM.

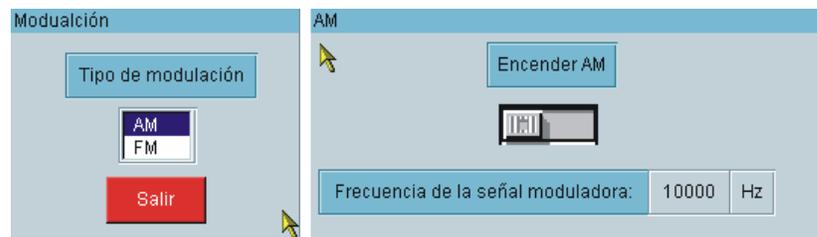


Figura 6.25. GUI para el proceso de la activación de la modulación en AM.

*Paso 5. Visualiza en el osciloscopio:* se visualiza la modulación en el osciloscopio y en la pantalla de la computadora. Para ello, el módulo realiza la interfaz con el osciloscopio para obtener la señal y visualizarla en la pantalla, también tiene la posibilidad de detener la señal del osciloscopio para visualizarla. La estructura del programa y la GUI se muestran en la Figura 6.26.

*Paso 6. Espectro de la modulación:* obtiene el espectro de la modulación de la señal, y se muestra en la pantalla de la computadora y en el osciloscopio. Dicho módulo realiza la interfaz con el osciloscopio, enviándole valores para ajustar correctamente la señal y para que el usuario pueda observar correctamente el proceso, en este caso la imagen que se presenta en pantalla del programa se almacena en una unidad de almacenamiento. La Figura 6.27 muestra la estructura del programa y la GUI correspondiente. Por último, la Figura 6.28 muestra los equipos utilizados en esta práctica.

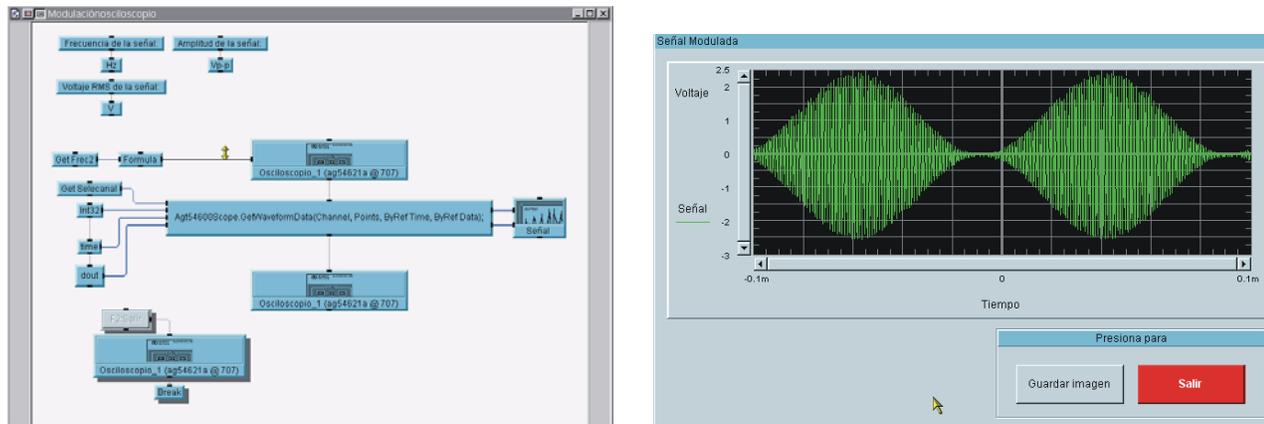


Figura 6.26. Estructura del programa y GUI para mostrar la modulación en el osciloscopio.

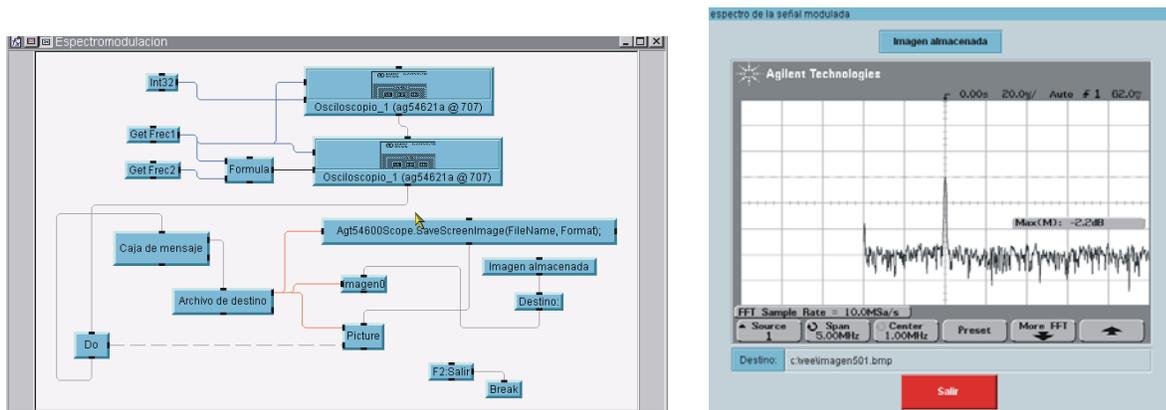


Figura 6.27. Estructura del programa y GUI para obtener el espectro de la modulación.



Figura 6.28. Vista física de los equipos utilizando la práctica de modulación en AM.

Al final se realizan las pruebas necesarias para que se obtengan los resultados correctos y se obtengan las conclusiones.

### 6.3.2.2. Práctica de un análisis del Filtro pasa-baja de primer orden

En esta práctica intervienen el generador de funciones, el osciloscopio y la fuente de alimentación de DC, además del circuito electrónico correspondiente que realiza la función del filtro. La práctica describe el proceso de un filtro pasa-baja de primer orden y se basa en el diagrama a bloques de la Figura 6.29, en donde se describe el flujo de ejecución. La Figura 6.30 describe la estructura interna del programa y la Figura 6.31 describe la GUI correspondiente.

Conforme a la metodología planteada, se procedió a realizar el análisis teórico del filtro, cuyo resultado fue el diagrama de conexión del circuito. Se activo el entorno de desarrollo y se diseñó la práctica en Agilent VEE. A continuación se describe el diseño de la práctica.

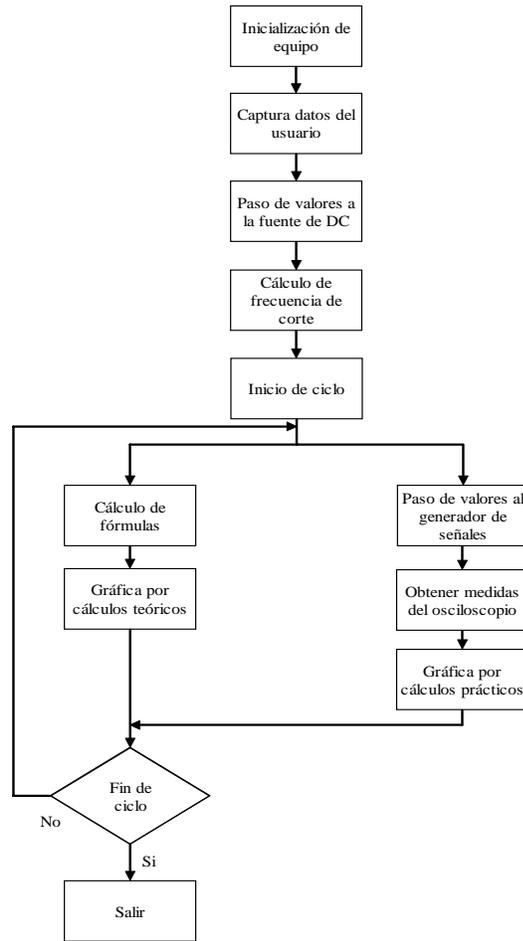


Figura 6.29. Diagrama de flujo del programa de un filtro pasa-bajas

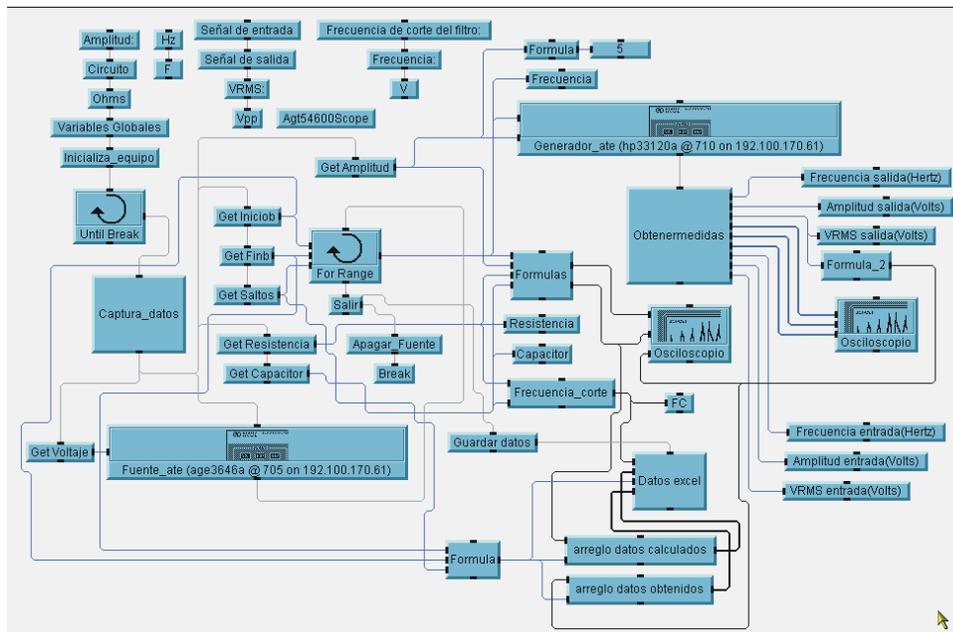


Figura 6.30. Estructura interna del programa del filtro pasa-bajas.

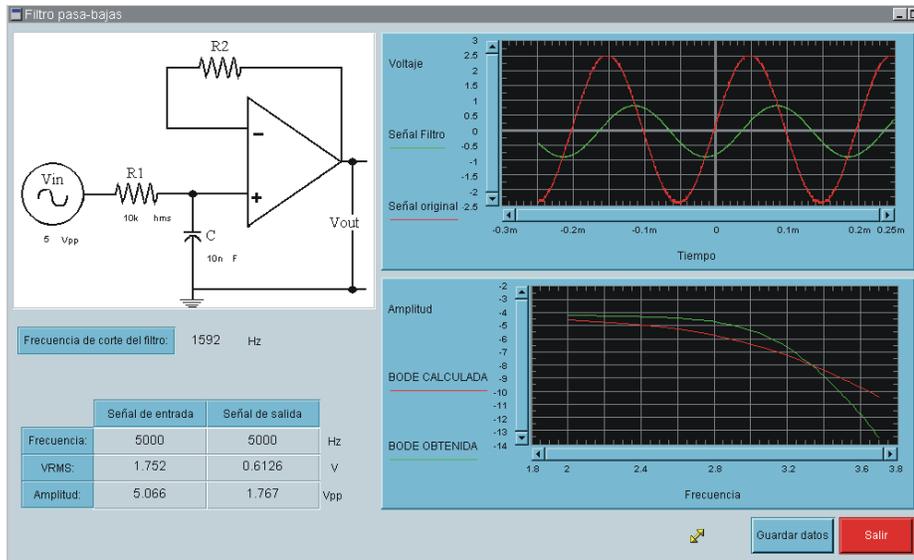


Figura 6.31. GUI para la práctica del filtro pasa-bajas.

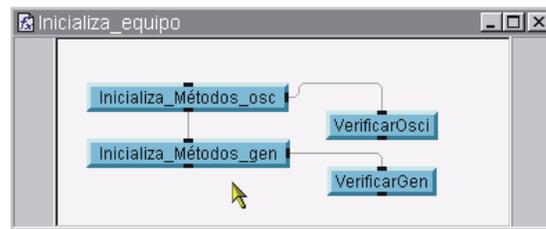


Figura 6.32. Función de inicializar el equipo.

*Paso 1.* En primer lugar se inicializan los dispositivos de medida, con la finalidad de verificar el funcionamiento y conexión de los dispositivos de medida (Figura 6.32).

*Paso 2.* Una vez que el programa ha verificado que los dispositivos se encuentren encendidos y configurados con la dirección correspondiente, se capturan los datos del usuario. Esta parte del programa está dedicada a registrar los datos que el usuario proporciona para realizar los cálculos necesarios en la práctica. Los datos corresponden al voltaje de alimentación del circuito (5 a 18 V), la resistencia (1  $\Omega$  a 100 M $\Omega$ ), la capacitancia (1 pF a 0.001 F), el inicio de la frecuencia de barrido (1 a 500 Hz), el fin de la frecuencia de barrido (1 KHz a 15 MHz), los saltos del barrido de la señal y la amplitud de la señal (1 mV a 10 V). Estos datos permiten al programa realizar los cálculos y gráficas correspondientes. La Figura 6.33 presenta la estructura del programa y GUI para la captura de los diferentes valores.

*Paso 3.* Obtenidos los valores, se envían a la fuente de DC y se calcula la frecuencia de corte, mediante la formula:  $F_c = 1 / 2\pi RC$ , en donde  $R$  corresponde a la resistencia y  $C$  al valor del capacitor. Este proceso es transparente al usuario, el programa sólo presenta al usuario el valor obtenido (Figura 6.34).

*Paso 4.* A continuación se realiza el ciclo en donde se calculan las fórmulas y se envían los valores al generador de funciones de acuerdo a los datos del barrido de la señal y al tamaño de los saltos del mismo barrido. Esta parte del programa comienza con el inicio del ciclo del programa, el cual depende del rango de frecuencias y de los saltos de barrido. Todos los cálculos que se utilizan en el programa se deben realizar en cada salto de barrido de las frecuencias con el objetivo de obtener una gráfica inicial y compararla con la obtenida con los valores reales (Figura 6.35). Se transmiten los mismos valores al generador de funciones para que los envíe al circuito electrónico (Figura 6.36). Al igual que el proceso anterior, este proceso es transparente al usuario.

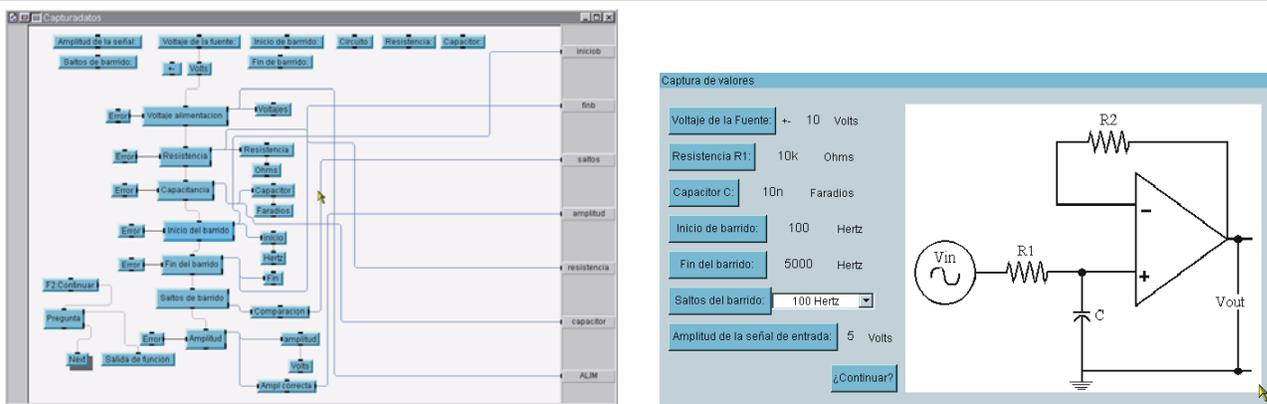


Figura 6.33. Estructura del programa y GUI para capturar los datos del usuario.

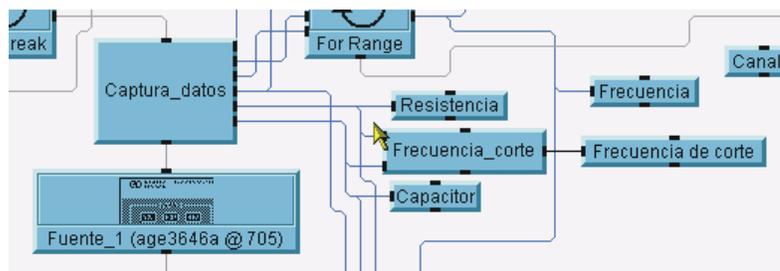


Figura 6.34. Funciones para el paso de valor a la fuente de DC y cálculo de la frecuencia de corte.

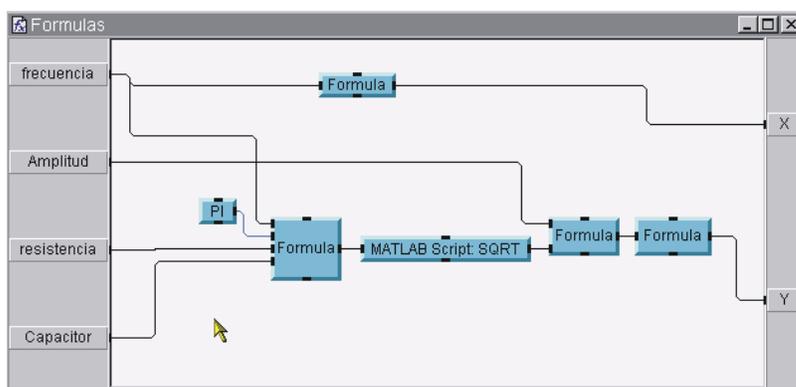


Figura 6.35. Función del cálculo de fórmulas.

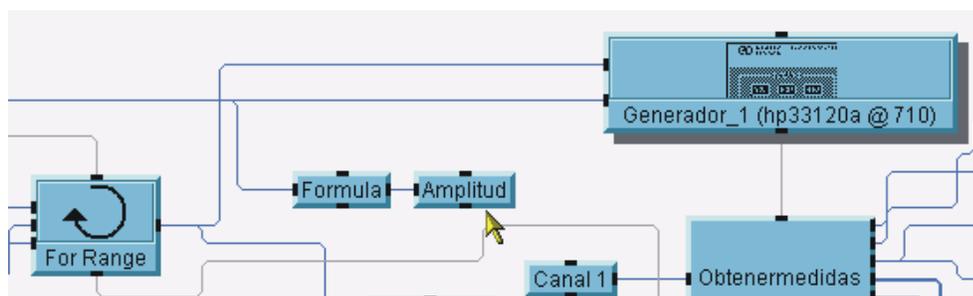


Figura 6.36. Función del paso de valores al generador de señales.

El proceso para obtener los valores medidos en el circuito tiene como objetivo realizar las gráficas de forma real, la primera gráfica muestra la señal de entrada comparándola con la medida en el filtro, la otra gráfica muestra la grafica de Bode del filtro, junto a la gráfica calculada matemáticamente (Figura 6.37). La Figura 6.38 presenta la GUI con las gráficas y la estructura del programa que realiza las gráficas. Una vez terminado el ciclo de barrido de la señales se da por terminado el proceso de la práctica.

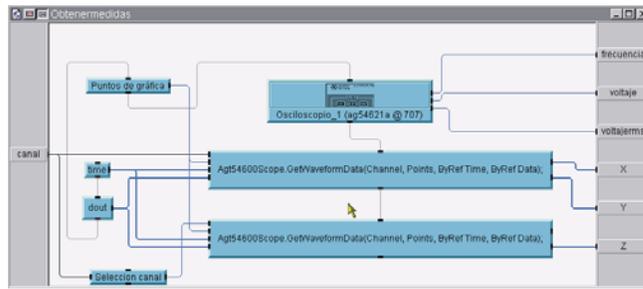


Figura 6.37. Función para obtener las medidas del osciloscopio.

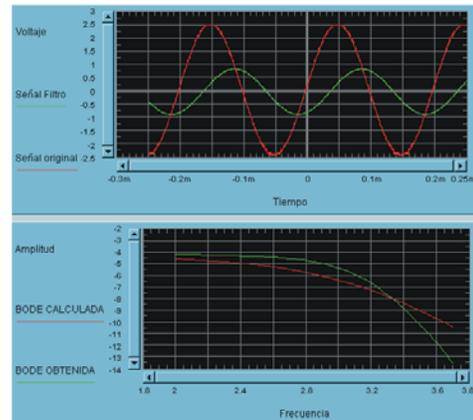
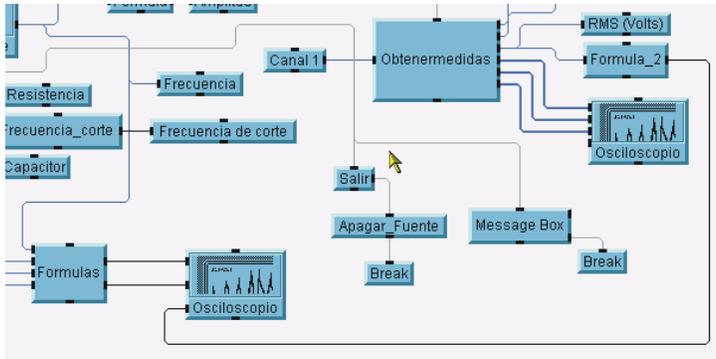


Figura 6.38. Estructura del programa y gráficas que obtiene el análisis del filtro pasa-bajas.

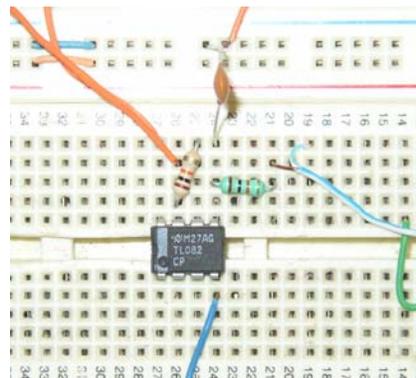
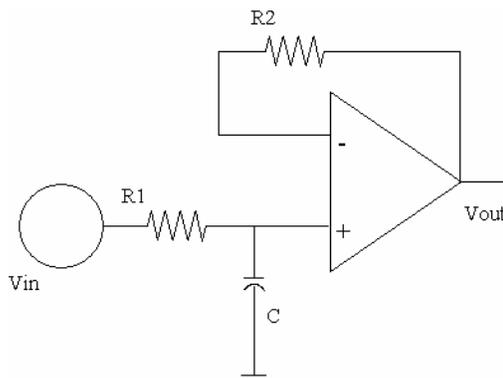


Figura 6.39. Circuito utilizado en la práctica.



Figura 6.40. Ejecución de la práctica en los equipos.

La práctica se basa en un circuito que se conecta a la fuente de alimentación de DC, generador de funciones y osciloscopio, el circuito contiene un amplificador operacional, resistencias y capacitancia, que son los circuito que conforman el filtro la Figura 6.39 muestra el diagrama y la conexión física del circuito. La ejecución de la práctica se muestra en la Figura 6.40.

Cabe señalar que las prácticas desarrolladas cuentan con la opción de almacenar los datos resultantes en la herramienta MS Excel mediante la utilización de funciones ActiveX, proporcionadas por el entorno de desarrollo Agilente VEE (Figura 6.41). Lo anterior ayuda a que dichos datos se puedan analizar y procesar después de la realización de la práctica.

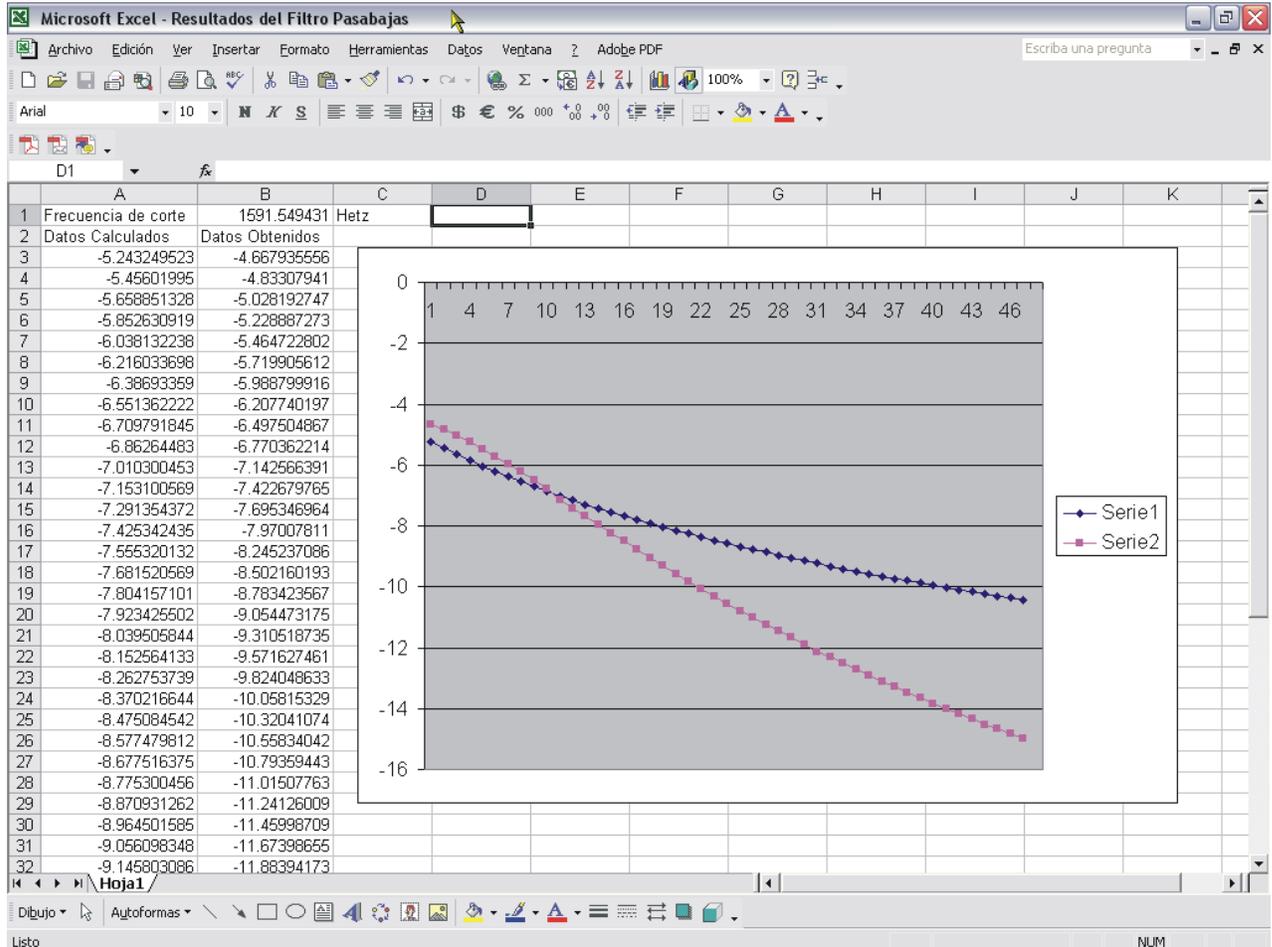


Figura 6.41. Utilización de la herramienta MS Excel para análisis y procesamiento de datos.



## 7. Conclusiones

El presente trabajo de tesis consistió en una investigación en el campo de la instrumentación electrónica, programable y virtual, con la finalidad de administrar los recursos del LabCD en aspectos académicos y de investigación.

Este trabajo es acorde a la línea de investigación propuesta por el Cuerpo Académico de Redes de Instrumentación del Instituto de Electrónica y Computación de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, consistente en el estudio de los sistemas de instrumentación programable y de los protocolos de comunicaciones industriales y de instrumentación.

El LabCD fue planeado como plataforma en las actividades del Cuerpo Académico mencionado y por lo tanto, es de vital importancia la correcta administración de sus recursos en aspectos académicos y de investigación.

El desarrollo del trabajo de investigación requirió de trabajos complementarios, como resultados pueden mencionarse las siguientes aportaciones:

- Se realizó un estudio del estado del arte de los sistemas automatizados de medida (ATEs), imprescindible para obtener los conocimientos en el campo de la instrumentación electrónica programable y virtual, asimismo se llega al concepto de laboratorio virtual, tendencia que pretende seguir el LabCD.
- En base a los conocimientos adquiridos en la investigación teórica, se definieron y planificaron los aspectos más importantes del LabCD para describir sus recursos hardware, software y firmware, todo ello con la finalidad de administrarlos para dar soporte a las actividades académicas y de investigación requeridas.
- Con la finalidad de definir el LabCD como un laboratorio virtual, se desarrollaron prácticas destinadas a la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de instrumentación electrónica virtual e instrumentación electrónica programable. Cabe señalar la importancia de realizar el modelado de ingeniería de software empleado para diseñar y desarrollar la página Web del LabCD y de las prácticas de instrumentación electrónica.
- Se diseñó una página Web (<http://www.utm.mx/~labcd/LabCD.htm>) como interfaz externa al LabCD, en donde se presenta la mayoría de la información del presente documento y da acceso, de forma remota, al laboratorio virtual.
- La administración del LabCD requirió de actividades que al usuario final pasan inadvertidas, por ejemplo la instalación de los recursos hardware y software, de los primeros cabe destacar la instalación y configuración de los equipos de medida y de las interfaces GPIB. En cuanto a la instalación de los recursos software del LabCD, cabe señalar la importante tarea de planeación y asignación de los recursos, no sin antes conocer la tarea de adminis-

tración de cuentas de usuario en el sistema operativo correspondiente.

- Por último cabe señalar que en base a la experiencia adquirida como administrador del LabCD se propone el reglamento de laboratorio (página Web del LabCD) a consideración de las autoridades correspondientes.

La valoración final del trabajo realizado en esta tesis es positiva, la experiencia adquirida en la utilización de los conceptos en el campo de la instrumentación electrónica en la planeación y administración de los recursos del LabCD ha sido muy satisfactoria y han apoyado en gran medida las tareas requeridas.

Cabe señalar que en el tiempo dedicado a la administración del LabCD, éste no ha dejado de prestar los servicios a los usuarios finales y, con las restricciones que permite su correcta administración, el LabCD se ha visto libre de problemas de intrusión y malos manejos por parte de los usuarios. Lo anterior puede demostrar que el LabCD ofrece un buen servicio a profesores y alumnos en tareas académicas y de investigación.

Los resultados obtenidos refuerzan algunos trabajos en desarrollo y plantean otros en la misma línea de investigación:

- Se encuentra en proceso el desarrollo de una herramienta hardware, para convertir el protocolo IEEE 488 a USB, cuyo objetivo es realizar una herramienta de monitoreo de las señales en el GPIB en tiempo real. Lo anterior intenta incrementar el rendimiento de la asignación de los recursos con que cuenta el ATE principal del LabCD.
- Se encuentran en investigación proyectos para la creación de controladores y herramientas de monitoreo del protocolo GPIB en un ambiente Linux y para el desarrollo de interfaces inalámbricas para conectar dispositivos GPIB. También se propone la especificación del protocolo GPIB mediante un lenguaje de descripción de hardware (HDL, *Hardware Description Language*).
- Se planea el crecimiento del LabCD para dar mayor cobertura e introducir nuevos dispositivos de medida con arquitecturas VXI y PXI, por lo cual el presente documento intenta ser la referencia para comprender el funcionamiento actual del LabCD.
- Con base en los resultados obtenidos, se propondrá incorporar una materia de instrumentación electrónica virtual en la Maestría en Sistemas Distribuidos que se imparte en la Universidad Virtual de la UTM.

## Bibliografía

- [1] Agilent Technologies: Agilent 82350A High-Performance PCI GPIB, Interface for Windows® Data Sheet. Agilent Technologies, Agosto, 2001.
- [2] Agilent Technologies: Agilent 82350 PCI GPIB Interface Installation Guide. Agilent Technologies, 2<sup>nd</sup> Edition, February, 1999.
- [3] Agilent Technologies: Agilent 82357A USB/GPIB Interface for Windows User's Guide. Agilent Technologies, January, 2002.
- [4] Agilent Technologies: Agilent E5810 LAN/GPIB Gateway for Windows User's Guide. Agilent Technologies, May, 2002.
- [5] Agilent Technologies: Guía de usuario Generador de Funciones / Generador de Formas de Ondas Arbitrarias Agilent 33120A. Agilent Technologies, Enero, 1994.
- [6] Agilent Technologies : Guia del Usuario Multimetro Agilent 34401A. Agilent Technologies, 2<sup>a</sup>. Edición, Octubre, 1992.
- [7] Agilent Technologies: Guía de usuario Osciloscopios Agilent 54621A/22A/24A y osciloscopios de señal mixta Agilent 54621D/22D. Agilent Technologies, Agosto, 2000.
- [8] Agilent Technologies: Programmer's Guide Agilent 54621A/22A/24A/41A/42A Oscilloscopes and Agilent 54621D/22D/41D/42D Mixed-Signal Oscilloscopes. Agilent Technologies, March, 2002.
- [9] Agilent Technologies: Service Guide Agilent 34401A Multimeter. Agilent Technologies, March, 2000.
- [10] Agilent Technologies: Specifications Guide Agilent Technologies ESA-L Series Spectrum Analyzers. Agilent Technologies, December, 2001.
- [11] Agilent Technologies: User's Guide Agilent Technologies E364xA Dual Output DC Power Supplies. Agilent technologies, 2<sup>nd</sup> Edition, April, 2000.
- [12] Agilent Technologies: VEE Pro User's Guide. Agilent Technologies Inc., 2000.
- [13] Antonio, M., Biel, D., Olive, J., Prat, J. y Sánchez, F: Instrumentación Virtual: Adquisición, procesamiento y análisis de señales. Editorial UPC. 2001.
- [14] Black, J.: The system engineer handbook, a guide to building VMEbus and VXIbus systems. Academic press, 1992.
- [15] Coftas, P., Ursutiu, D. & Samoila, C.: "Virtual Laboratory and Virtual Instrumentation". Faculty of Technological Engineering, Transilvania University of Brasov, Romania, 2001.

- [16] Fernández, R., Peres, R., Dmytrak, R. & Ramirez-Fernandez, F.: "Remote Monitoring and Control of Electronic Nutrunners with Embedded Internet". Escola Politécnica da Universidade de Sao Paulo, Brazil, IECON2002.
- [17] García, E.: Automatización de procesos industriales. Alfaomega, 2001.
- [18] Giraldo, H., Álvarez, M. y Aedo, J.: "Implementación de una tecnología para la construcción de laboratorios remotos para la enseñanza de electrónica usando Internet". Vicerectoría de investigaciones de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, Junio 2002.
- [19] González, A.: Estudio del protocolo IEEE 488 mediante el desarrollo de una herramienta de simulación. Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2003, México.
- [20] Gordón, P., Bojta, P., Hertel, L., Kallai, I., Lepsenyi, I. & Varnai, L.: "Development of Virtual Laboratory for Education of Electronics Packaging Technology". Department of Electronics Technology, Budapest University of Technology and Economics, Hungary, 1999.
- [21] Helsel, R.: Visual Programming with HP VEE. Tercera Edición, Prentice Hall, 3<sup>th</sup> edition, 1998.
- [22] HP E2078A PCI High-Performance HP-IB, Interface for HP-UX 10.20, Technical Specifications. Hewlett-Packard Company. Abril, 1999.
- [23] Lázaro, M.: LabVIEW 6i, Programación Gráfica para el Control de Instrumentación. Paraninfo, 2001.
- [24] Mariño, P.: Las comunicaciones en la empresa; Normas, redes y servicios. RA-MA, 2<sup>a</sup> edición, 1995.
- [25] Mariño, P., Nogueira, J. & Hernández, H.: "Programmable Instrumentation Laboratory for Testing of Electronic Circuits and GPIB's Signal Analysis". Proceedings of the IASTED International Conference on Computers and Advanced Technology in Education, CATE'99, pp. 167-171, Philadelphia, Pennsylvania (USA), May 6-8, 1999.
- [26] Mariño, P., Nogueira, J. & Hernández, H.: "Training on Programmable Instrumentation for a curriculum of Electronic Engineering". Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference in Recent Advances in Mechatronics, ICRAM'99, Estambul (Turquía), May 24-26, 1999.
- [27] Mariño, P., Nogueira, J. & Hernández, H.: "Electronics Laboratory Practices based on Virtual Instrumentation". Proceedings of the Frontiers in Education Conference, FIE'99, ASEE/IEEE, Vol. 2, pp. 6-10, San Juan (Puerto Rico), November 10-13, 1999.
- [28] Mariño, P., Nogueira, J. & Hernández, H.: "Laboratory of Virtual Instrumentation for Industrial Electronics". Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT'2000, GOA (India), January 19-22, 2000.
- [29] Mariño, P., Nogueira, J. y Hernández, H.: "Laboratorio de instrumentación programable para pruebas de circuitos electrónicos y análisis de señales de Bus GPIB". Revista TEMAS, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Vol. 4, pp. 29-36, Mayo-Agosto 2000, México.
- [30] Microchip Technology: PICSTART Plus User's Guide. Microchip Technology Inc., 2001.
- [31] National Instruments: The Measurement and Automation Catalog. National Instruments Co., 2003.
- [32] National Instruments: PXI Measurement Instrumentation. The PC platform for Measurement and Instrumentation. National Instruments Co., 1997.
- [33] National Instruments: PXI Specification, PCI eXtensions for Instrumentation and Implementation of CompactPCI. National Instruments Co., Revision 1.0, 1997.
- [34] Pallás R.: Sensores y Acondicionadores de Señal. AlfaOmega-Marcombo, 3<sup>ra</sup> edición, 2001.

- [35] Perales, A. y Barrón, R.: “Simulación de un sistema de medición virtual en tiempo real”. Centro de Investigación en Computación, Laboratorio de Sistemas en Tiempo Real, IPN Unidad Zacatenco, Instituto Tecnológico de Chihuahua, ELECTRO 2001
- [36] Pere J. Riu C., Rosell J., Ramos J: Sistemas de Instrumentación. Reimpresión 1996. Editorial UPC, año 2000.
- [37] Pérez, S., Holguín, G. y Orozco, A.: “Laboratorios de Acceso Remoto. Un Nuevo Concepto en los Procesos de Enseñanza–Aprendizaje”. Universidad Tecnológica de Pereira, La Julita, Pereira, Colombia, 2001.
- [38] PICMG: CompactPCI Specification Short Form. PCI Industrial Computers Manufacturers group, PICMG 2.0 R2.1, September 2, 1997.
- [39] Piedrafita, R.: Ingeniería de la Automatización Industrial. Alfaomega, 2001.
- [40] Poza, F.: Contribución al estudio de los sistemas de comunicaciones industriales mediante técnicas de descripción formal. Tesis Doctoral, Universidad de Vigo, 1997.
- [41] Rodrigo, V. y Bataller, M.: “Realización de medidas de laboratorio a través de Internet”. Departamento de Comunicaciones, Universidad Politécnica de Valencia, España, Agosto, 2000.
- [42] Sommerville, Ian: Ingeniería de software. Addison Wesley, 2002.
- [43] Spurgeon Charles E.: Ethernet, The definitive guide. O’Reilly, 2000.
- [44] Winkeler, K.: “Servicios de Medición y Control: La Fundación de Software para Pruebas Automatizadas”. Instrumentation Newsletter, National Instruments Corporation, Primer Trimestre, 2002.

### Sitios de Internet

- [URL1] <http://www.agilent.com>, “Página de la firma Agilent Technologies”, Agilent Technologies 2000-2002.
- [URL2] <http://www.compactpci-systems.com>, “Página de la revista para desarrolladores de la industria, comunicación y sistemas basados en PCI”, CompactPCI Systems Magazine 1997-2003.
- [URL3] <http://www.iec.ch>, “Página de la International Electrotechnical Comisión, IEC”, Switzerland, 2003.
- [URL4] <http://www.isa.org>, Página de la ISA, The Instrumentation, systems and Automation Society, ISA, USA, 1995-2004.
- [URL5] <http://www.microsoft.com/latam/technet/articulos/200202/art07/default.asp> Implementación de WINDOWS XP, Microsoft Corporation, 2002,
- [URL6] <http://www.microsoft.com/latam/technet/articulos/200202/art22/default.asp> Introducción técnica a WINDOWS XP, Microsoft Corporation, 2002,
- [URL7] <http://www.microsoft.com/latam/windowsxp/pro/default.asp>, Página principal del sistema operativo WINDOWS XP de la firma Microsoft, Microsoft Cooperation, 2002.
- [URL8] <http://www.monografias.com/trabajos12/sisto/sisto.shtml#xp> Sistema operativo, Software básico que controla a una computadora; José Antonio Albahaca, Elizabeth Barbosa, Monografias.com, 2002
- [URL9] <http://www.ni.com>, “National instruments – Measurement and Automation, Página principal de la firma National Instrument”, National Instrument Corporation, 2003.
- [URL10] <http://ohm.utp.edu.co/labinstrem/grupo.html>, “Página del laboratorio de instrumentación electrónica, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Pereira”, Colombia, 2002.

- 
- [URL11] <http://www.pxisa.org>, “Página de la Alianza de sistemas basados en PXI”, PXI System Alliance, 2003.
- [URL12] <http://www.rae.es>, “Página principal del diccionario de la real academia de la lengua española”, Real academia española, 2003.
- [URL13] <http://www.teisa.unican.es>, “Página principal Departamento de Tecnología Electrónica, Sistemas e Ingeniería en Automatización, Teisa”, Teisa 2002.
- [URL14] <http://www.unesco.org/education/index.shtml>, “Página principal de la Organización de la Naciones Unidas para la Cultura, Ciencia y Educación”, (UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), 2002.
- [URL15] <http://www.vxibus.org>, “Página del consorcio para el desarrollo de sistemas basados en VXI”, VXI Consortium, Inc.

## **Acrónimos**

ADC (*Analog to Digital Converter*, Convertidor Analógico Digital)

VEE (*Visual Engineering Environment*, Entorno Visual de Desarrollo para Ingeniería)

AM (Amplitud Modulada)

API (*Application Programming Interface*, Interfaz de Aplicación Programable)

ATE (*Automated Test Equipment*, Equipo Automatizado de Medida)

CAN (*Controller Area Network*)

FB (*Field Bus*, Bus de Campo)

GPB (*General Purpose Interface Bus*, Bus de Interfaz de Propósito General)

GUI (*Graphical User Interfaz*, Interfaz Gráfica de Usuario)

HP (*Hewlett Packard*)

HPIB (*Hewlett Packard Internal Bus*, Bus Interno de Hewlett Packard)

IEC (*International Electrotechnical Commission*, Comisión Internacional de Electrotecnia)

ISA (*Instrumentation, Systems, and Automation Society*, Sociedad de Instrumentación, Sistemas y Automatización)

ISO (*International Organization for Standardization*, Organización Internacional para la Normalización)

ISP (*Interoperable System Project*, Proyecto para Sistemas Interoperables)

IV (*Instrumentation Virtual*, Instrumentación Virtual)

IVI (*Interchangeable Virtual Instrument*, Instrumento Virtual Intercambiable)

LabCD (Laboratorio de Comunicaciones Digitales)

LabWindows/CVI (*Complete Virtual Instrumentation*)

LAN (*Local Area Network*, Red de Área Local)

MCU (*Microcontroller*, Sistemas basados en Microcontrolador)

NI-DAQ (*National Instruments Data Acquisition*, Arquitectura de National Instruments para Adquisición de Datos)

OPC (*OLE for Process Control*, OLE para Control de Procesos)

OSI (*Open Systems Interconnection*, Interconexión de Sistemas Abiertos)

PC (*Personal Computer*, Computadora Personal)

PCI (*Peripheral Component Interconnection*)

PICMG (*PCI Industrial Computer Manufactures Group*)

PLC (*Programmable Logic Controller*, Controlador Lógico Programable)

PLD (*Programmable Logic Device*, Dispositivo Lógico Programable)

PXI (*PCI eXtensions for Instrumentation*)

RDA (*Remote Data Acquisition*, Adquisición Remota de Datos)

RTOS (*Real Time Operating System*, Sistema Operativo en Tiempo Real)

SCPI (*Standard Commands for Programmable Instruments*, Órdenes Estandarizadas para la Programación de Instrumentos)

TCP/IP (*Transmission Communication Protocol / Internet Protocol*)

USB (*Universal Serial Bus*, Bus Serial Universal)

VISA (*Virtual Instrumentation Software Application*, Software de Aplicación para Instrumentación Virtual)

VL (*Virtual Laboratory*, Laboratorio Virtual)

VME (*Versa Module Europe*)

VXI (*VME eXtensions for Instrumentation*)

## **Anexo A. Acceso a la pasarela GPIB/LAN**

La pasarela GPIB/LAN modelo E5810 cuenta con una página Web que muestra las características del equipo (Figura A.1), dichas características son importantes en la instalación y configuración del sistema.

Durante la instalación se configuran la dirección IP y un identificador de interfaz GPIB SICL y de interfaz remota al protocolo RS-232.

La pasarela se configura de forma remota mediante la página descrita anteriormente, la cual cuenta con una clave de acceso que protege la configuración de usuario (Figura A.2). Además, presenta las siguientes opciones:

- *Welcome Page*: muestra la página principal con la información general de la pasarela.
- *View & Modify Configuration*: presenta la configuración actual y permite configurar la pasarela (Figura A.3). Una vez realizados los cambios de configuración necesarios, se selecciona la opción Modify Configuration para aceptarlos.

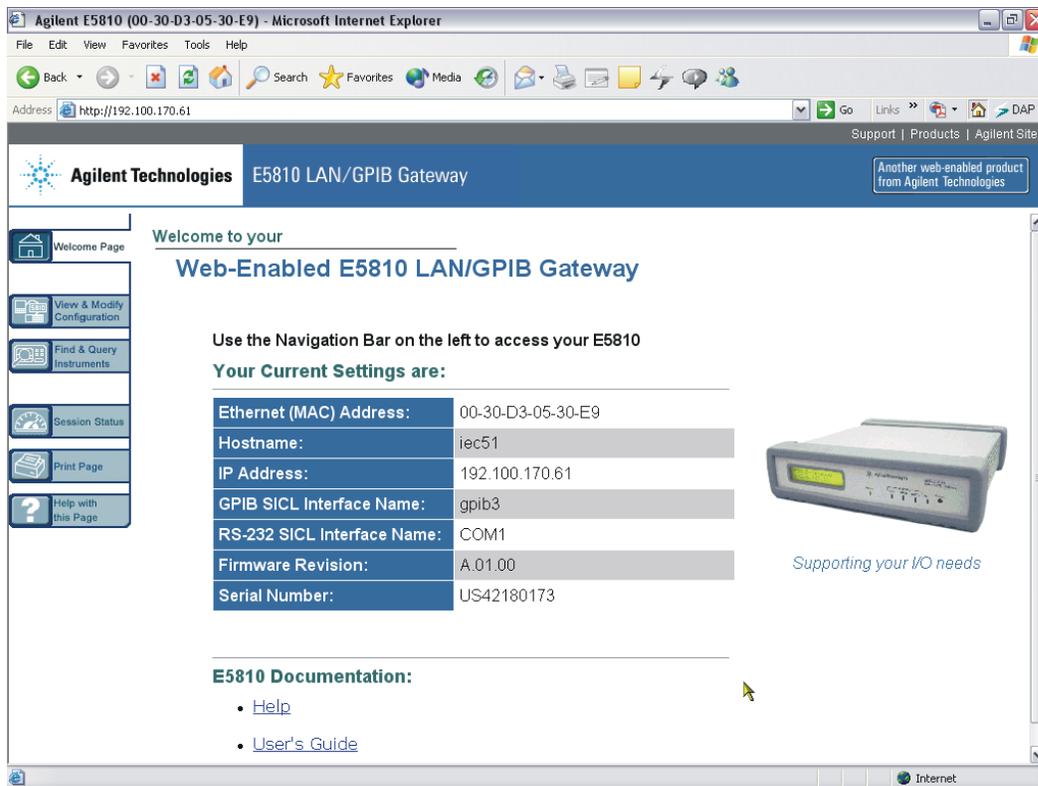


Figura A.1. Página principal de la pasarela GPIB/LAN modelo E5810.

- *Find & Query Instruments*: está opción permite la identificación y comunicación con los instrumentos electrónicos activos y bajo el control de la pasarela (Figura A.4). Para ello, se utiliza la opción Find y como respuesta se mostrarán las direcciones SICL de los instrumentos activos en el bus brindando la posibilidad de comunicarse directamente con dicho instrumento mediante la opción Control Panel for Selected Instrument.
- *Session Status*: presenta el estado actual de la pasarela, incluyendo la versión del firmware, la velocidad de la LAN, la fecha de la última vez que se reinicio la pasarela y el estado de las sesiones de trabajo.
- *Print Page*: permite imprimir la información y configuración de la pasarela.
- *Help with this page*: presenta la ayuda referente al uso y configuración de la pasarela.



Figura A.2. Ventana de solicitud de la clave de acceso.

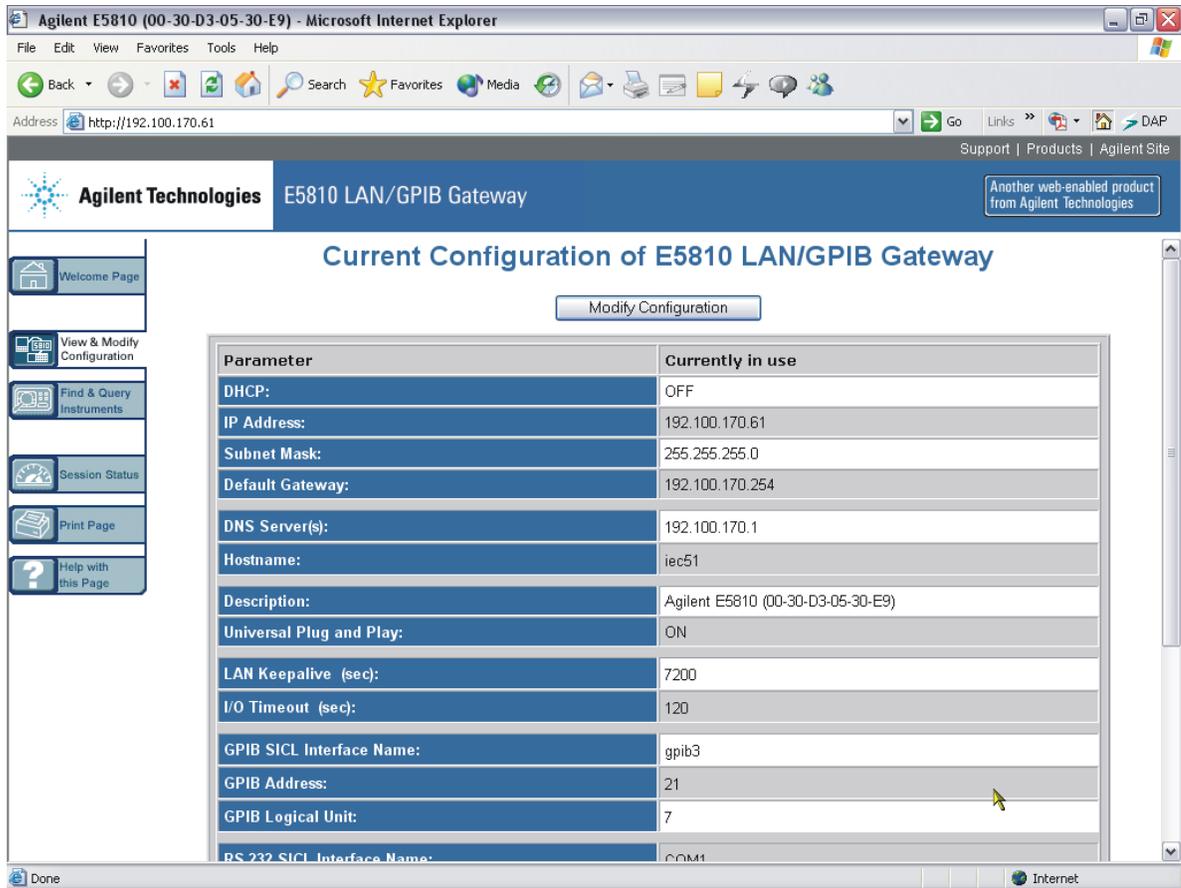


Figura A.3. Ventana de configuración de la pasarela GPI/LAN modelo E5810.

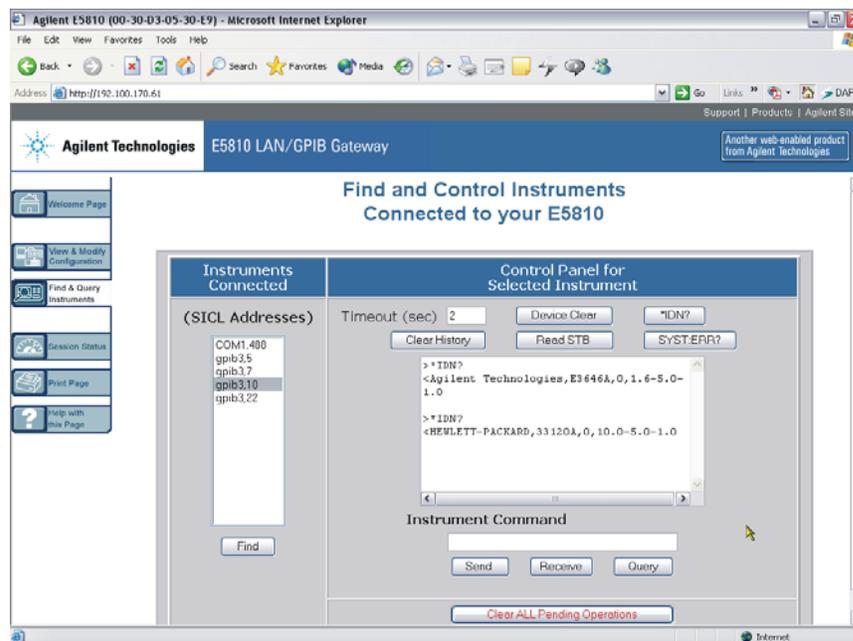


Figura A.4. Ventana para búsqueda y comunicación con los equipos.

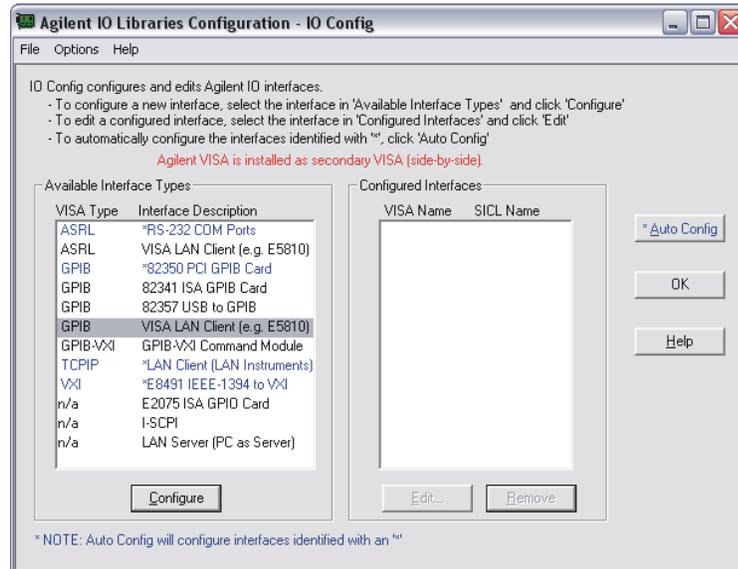


Figura A.5. Icono de acceso a la utilería IO Config.

## A.1. Configurando la pasarela LAN/GPIB

Al instalar las bibliotecas de funciones que proporciona el fabricante, aparece un icono en la barra de tareas del sistema operativo Windows (Figura A.5), el cual da acceso remoto a las bibliotecas VISA y a la configuración de los instrumentos de medida activos.

Para visualizar la ventana principal de configuración de la utilería IO Config, se da un clic sobre el icono y se ejecuta la aplicación Run IO Config, la cual realiza una búsqueda de las interfaces conectadas en la PC y presenta la pantalla principal como muestra la Figura A.6.



**Figura A.6.** Pantalla principal de la aplicación Run IO Config para configurar la comunicación GPIB.

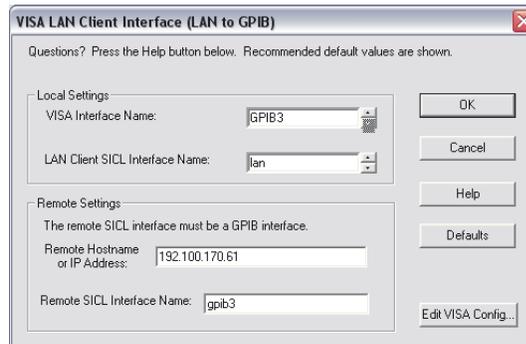
A continuación se elige la opción GPIB VISA LAN Client al seleccionar Configure (Figura A.7), y se siguen los siguientes pasos para configurar la interfaz cliente VISA LAN:

- Cambiar el valor de la dirección IP remota en donde se encuentra conectada la interfaz VISA LAN, mediante la opción Remote Hostname or IP Address. En este caso, la dirección IP es 192.100.170.61.
- Modificar el nombre de la interfaz remota para el uso de las funciones SICL, los cuales se basan en dos valores que se encuentran definidos en la página Web de la pasarela (Figura A.1). Para definir la comunicación GPIB se elige el valor gpib3.
- Se aceptan los cambios mediante el botón OK y a partir de este momento se tiene comunicación GPIB con los equipos remotos que se encuentren activos.

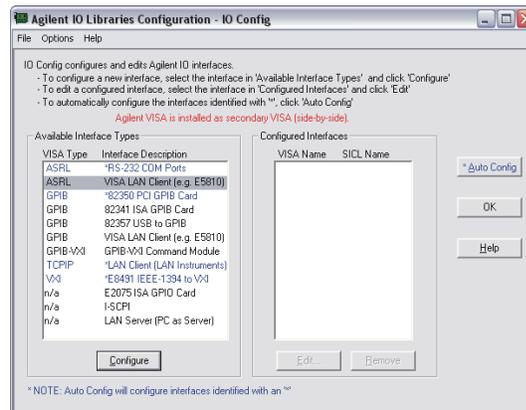
En el caso de existir un equipo de medida que únicamente soporte comunicación vía serial mediante el protocolo RS-232, se procede a realizar los siguientes pasos:

- Se elige la utilería IO Config y se ejecuta la aplicación Run IO Config (Figura A.8). Seleccionar la opción ASRL VISA LAN Client mediante el botón Configure (Figura A.9).
- Cambiar el valor de la dirección IP remota en donde se encuentra conectado la interfaz VISA LAN mediante la opción Remote Hostname or IP Address, en este caso la dirección IP es 192.100.170.61.
- Modificar el nombre de la interfaz remota para el uso de las funciones SICL, los cuales se basan en dos valores que se encuentran definidos en la página de la pasarela (Figura A.1). Para definir la comunicación serial se elige el valor COM1.

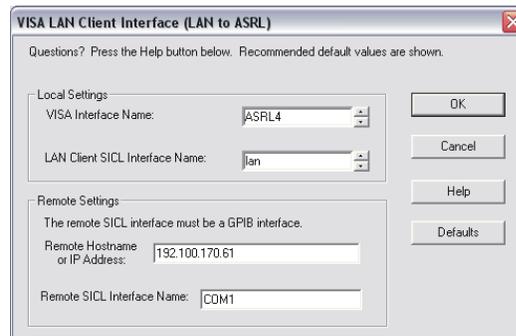
- Se aceptan los cambios mediante el botón OK y a partir de este momento se tiene comunicación serial con los equipos remotos que se encuentren activos.



**Figura A.7.** Ventana de configuración interfaz cliente VISA LAN para la comunicación GPIB.



**Figura A.8.** Pantalla principal de la aplicación Run IO Config para configurar la comunicación serial.



**Figura A.9.** Ventana de configuración interfaz cliente VISA LAN para la comunicación serial.

## A.2. Instalación de las prácticas

A continuación se presentan los pasos a seguir para la ejecución de las prácticas de instrumentación electrónica programable e instrumentación electrónica virtual que presenta el LabCD como laboratorio virtual:

1. Acceder a la página Web del LabCD mediante la dirección <http://www.utm.mx/~labcd/LabCD.htm>
2. Seleccionar la opción Requisitos para prácticas, la cual da acceso a los Requisitos para prácticas de instrumentación programable o Requisitos para prácticas de instrumentación virtual.

3. Seleccionar la opción correspondiente para las prácticas de electrónica programable, aparecerá la ventana que se muestra en la Figura A.10.
4. Para ejecutar correctamente las prácticas de instrumentación electrónica programable, se debe contar con los requerimientos de hardware que se presentan en la ventana. Cumplidos con los requerimientos se procede a descargar los requisitos de software, se descargan los archivos que contienen las imágenes de fondo, dando un clic en el enlace y sobre el botón Open para que el archivo se descargue (Figura A.11).
5. Una vez descargado el archivo se presenta la Figura A.12 en donde se selecciona el botón Instalar para instalarlos en la ruta correcta.
6. Se procede a descargar la versión del software de Agilent, la cual es la versión para ejecutar los archivos de las prácticas, a esta versión se le conoce como Agilent VEE Run Time, y sólo ejecuta los archivos desarrollados en Agilent VEE. Se procede dando un clic en el enlace correspondiente (Figura A.11) y en el botón Open para que el archivo se descargue.
7. Una vez descargado el archivo se presenta una ventana (Figura A.12) en donde se da un clic en el botón Instalar, para descargar los archivos en la ruta correcta y se ejecuta la instalación.
8. Al término de la instalación de Agilent VEE Run Time, se procede con la descarga de las librerías VISA, necesarias para realizar la comunicación con los equipos en forma remota. Se procede dando un clic en el enlace correspondiente (Figura A.11) y se selecciona el botón Open para descargar el archivo.
9. A continuación se presenta la ventana que muestra la Figura A.12 en donde se procede a dar un clic en el botón Instalar para descargar los archivos en la ruta correcta y se presenta la ejecución de la instalación.
10. La instalación de los archivos de imágenes de fondo y bibliotecas sólo se debe realizar cuando las prácticas se ejecutan por primera vez.
11. Una vez instalados los componentes, se procede a descargar el archivo que contiene la práctica, regresando a la página principal del LabCD se da un clic sobre el enlace Prácticas de instrumentación electrónica el cual presenta las prácticas sobre electrónica programable y electrónica virtual.
12. Seleccionar, mediante un clic en el enlace correspondiente, la práctica que se tenga conectada en forma remota, por ejemplo Filtro pasa-bajas (Figura A.11), una vez abierto el archivo se ejecuta la práctica siguiendo las indicaciones de la misma.

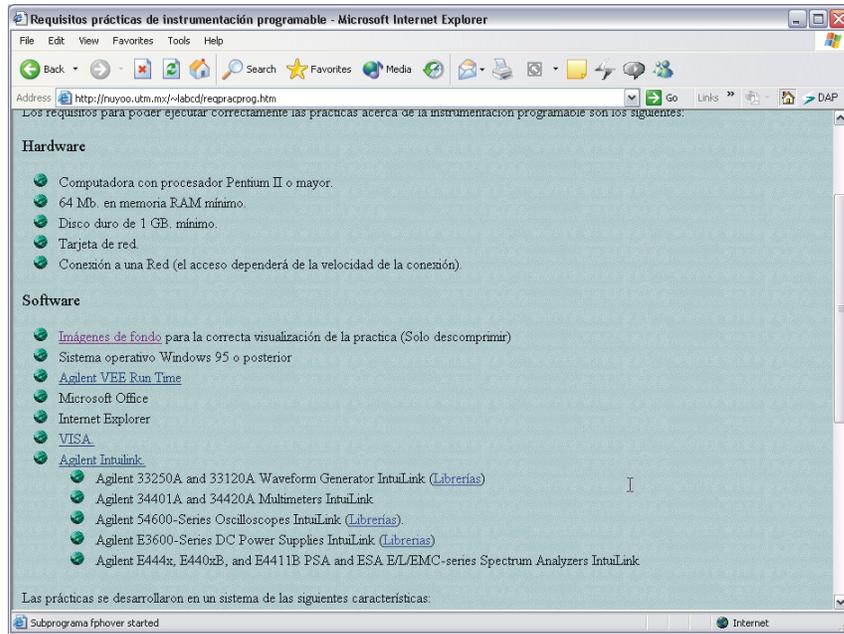


Figura A.10. Página de los requisitos para las prácticas de instrumentación electrónica programable.



Figura A.11. Pantalla para descargar los archivos necesarios.



Figura A.12. Pantalla para instalar el software.