



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE TELECOMUNICACIONES

**Banco de Aplicaciones en MATLAB y LabVIEW
para cursos de Señales y Sistemas.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA “ANDRÉS BELLO”

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR José Miguel Hobaica Alvarado

TUTOR Trina Adrián de Pérez

FECHA Caracas, 26 de Septiembre de 2011.



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE TELECOMUNICACIONES

**Banco de Aplicaciones en MATLAB y LabVIEW para cursos
de Señales y Sistemas.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA “ANDRÉS BELLO”

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR José Miguel Hobaica Alvarado

TUTOR Trina Adrián de Pérez

FECHA Caracas, 26 de Septiembre de 2011.



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE TELECOMUNICACIONES

Banco de Aplicaciones en MATLAB y LabVIEW para cursos de Señales y Sistemas.

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su
contenido con el resultado:

J U R A D O E X A M I N A D O R

Firma

Firma

Firma:

Nombre:

Nombre:

Nombre:

REALIZADO POR José Miguel Hobaica Alvarado

TUTOR Trina Adrián de Pérez

FECHA Caracas, 26 de Septiembre de 2011.

RESUMEN

Este Trabajo Especial de Grado consiste en la creación de un banco de aplicaciones, proyectos y tutoriales destinados principalmente a reforzar el aprendizaje de las asignaturas de Señales y Sistemas en cuanto a asignación de proyectos, realización de prácticas y ejemplificación de los conceptos teóricos; se orienta también a la motivación de estudiantes que ingresan en la carrera, ya que se muestran fenómenos y situaciones directamente relacionadas con las Telecomunicaciones. Dichos proyectos consisten en una serie de programas que simulan diversas aplicaciones relacionadas con Señales y Sistemas, como generación, manipulación y procesamiento de Señales reales y simuladas, paso de señales por sistemas lineales y no lineales, modulaciones analógicas y digitales, y transformadas como Fourier, Hilbert, Coseno, entre otras. Para la realización de estos proyectos se hizo uso de las herramientas de simulación MATLAB y LabVIEW, las cuales son utilizadas constantemente en la carrera y cuyo manejo es fundamental en varias asignaturas.

Cada aplicación incluye un video explicativo de su funcionamiento, el cual consiste en una captura continua de la pantalla y de la señal proveniente del micrófono de la computadora mientras se ejecuta la simulación. Dicho video es realizado por medio del software Debut Video Capture 1.49.

Cada uno de los elementos mencionados estará disponible en la web, por medio de un sitio cuyo acceso es cnx.org, el cual contiene cursos de todo tipo y en distintos idiomas con videos, programas y tutoriales, denominados *Módulos*; las *Colecciones* son grupos de Módulos que comparten autor y un tema en común. cnx.org es un sitio con proyección mundial, toda la información contenida por el mismo está completamente referenciada y es constantemente revisada.

Palabras Clave: Señal, Sistema, MATLAB, LabVIEW, Tutorial.

ABSTRACT

This Thesis Degree consists in the creation of a set of applications, projects and tutorials intended mainly for firming up the learning on Signals and Systems subject-matters respecting to the assignment of projects, performance of practices and exemplification of theoretical topics; it is also proposed for the motivation of new students because it shows situations and events related with Telecommunications. These projects consist in a group of programs which simulate some issues related with Signals and Systems, like generating, manipulation and processing of real and simulated signals; passing of signals through lineal or non-lineal systems, analogical and digital modulations, and transforms like Fourier, Cosine, Hilbert, etc. The tools of simulation MATLAB and LabVIEW were utilized for the implementation of the projects; these tools are constantly employed throughout the career, and their correct usage is essential in several subject-matters.

Each application includes an explanatory video about its performance, which consists in a continuous capture of the screen and the microphone of the PC while the simulation is in course. The videos were made by the software Debut Video Capture 1.49.

Each of these elements are available on internet through a website called cnx.org, which contains *modules* (a compilation of information of any kind of subject or topic) in different languages, with videos, programs and tutorials; there are modules that share the same author and a common subject which are grouped in *Collections*. cnx.org is a global website; all the information contained on it is completely referenced and is constantly reviewed.

Keywords: Signal, System, MATLAB, LabVIEW, Tutorial.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
INTRODUCCIÓN	x
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	1
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
I.2 OBJETIVOS	2
I.2.1.-Objetivo General	2
I.2.2.-Objetivos Específicos	2
I.3 LIMITACIONES Y ALCANCES	3
I.3.1.-Alcances	3
I.3.2.-Limitaciones	4
CAPÍTULO II	5
MARCO REFERENCIAL	5
II.1 PERSPECTIVAS DEL APRENDIZAJE	6
II.1.1.-Comparación entre el Cognitivismo y el Constructivismo	6
II.2 SOFTWARE	7
II.2.1.-MATLAB (MATrix LABoratory)	7
II.2.2.-LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)	8
II.3 CONCEPTOS	10
II.3.1.-Las señales y sus diferentes clasificaciones	10
II.3.1.1.-Señales Continuas y Señales Discretas	10
II.3.1.2.-Señales de Energía y Señales de Potencia	11
II.3.1.3.-Señales Periódicas y Señales Aperiódicas	13
II.3.1.4.-Señales Determinísticas y Señales Aleatorias	15
II.3.2.-Los sistemas y sus diferentes clasificaciones	15

II.3.2.1.-Sistemas Lineales y No Lineales	16
II.3.2.2.-Sistemas Causales y No Causales	17
II.3.2.3.-Sistemas Variantes e Invariantes en el Tiempo.	17
II.3.2.4.-Sistemas Estables e Inestables.....	18
II.3.3.-Convolución	19
II.3.3.1.-Propiedades de la convolución	23
II.3.4.-Serie de Fourier	24
II.3.4.1.-Teorema de Parseval.....	26
II.3.5.-Transformada de Fourier	26
II.3.5.1.-Propiedades de la Transformada de Fourier	28
II.3.5.2.-Transformada Discreta de Fourier	29
II.3.6.-Procesos Aleatorios.....	29
II.3.6.1.-Función de Densidad de Probabilidades.....	30
II.3.6.2.-Procesos Estacionarios.....	30
II.3.6.3.-Procesos Ergódicos	31
II.3.6.4.-Autocorrelación	32
II.3.6.5.-Densidad Espectral de Potencia (DEP):.....	32
CAPITULO III	33
METODOLOGÍA.....	33
III.1 ETAPA DE INVESTIGACIÓN	33
III.2 ETAPA DE SELECCIÓN	33
III.3 ETAPA DE EJECUCIONES I	33
III.4 ETAPA DE EJECUCIONES II	34
III.5 ETAPA DE CULMINACIÓN	34
CAPITULO IV	35
DESARROLLO	35
IV.1 TRABAJO ESPECIAL DE GRADO I.....	35
IV.2 TRABAJO ESPECIAL DE GRADO II.....	37
IV.2.1.-Estructura general de proyectos en MATLAB.....	37
IV.2.1.1.-Función <i>OpeningFCN</i>	37

IV.2.1.2.-Función de Procesamiento y Operaciones	38
IV.2.1.3.-Función Selectora	40
IV.2.2.-Estructura general de proyectos en LabVIEW	42
IV.2.2.1.-Conjunto de Inicialización	43
IV.2.2.2.-Conjunto para lectura de archivos	44
IV.2.2.3.-Conjunto de Procesamiento y Operaciones	47
IV.2.2.4.-Bloques MATLAB Script	48
IV.2.3.-Elaboración de videos explicativos.....	49
IV.2.4.-Publicación de material electrónico	50
CAPITULO V	54
RESULTADOS	54
CAPÍTULO VI	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
VI.1 Conclusiones	61
VI.2 Recomendaciones.....	62
Referencias Bibliográficas	64
Medios Electrónicos.....	65
ANEXOS Y APÉNDICES	67
Anexo A: Inventario de enunciados y programas recopilados	68
Anexo B: Tutorial a ser publicado en la Web	71
Anexo C: Vínculos.....	79
APÉNDICE A	81
APÉNDICE B	81
APÉNDICE C	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del marco referencial.....	5
Figura 2: Señal Continua	11
Figura 3: Señal Discreta.....	11
Figura 4: Señal Periódica Continua.....	14
Figura 5: Señal Periódica Discreta	14
Figura 6: Representación gráfica de un sistema	16
Figura 7: Sistema Invariante en el Tiempo	18
Figura 8: Funciones a convolucionar	19
Figura 9: funciones similares en términos de τ	20
Figura 10: Convolución para t entre 0 y 3	20
Figura 11: Convolución para t entre 3 y 5	21
Figura 12: Convolución para t entre 5 y 8	22
Figura 13: Convolución para t mayor que 8	22
Figura 14: Resultado de la Convolución	23
Figura 15: Señal cuadrada periódica	25
Figura 16: Espectro Bilateral en Magnitud (derecha) y en Fase (izquierda)	26
Figura 17: Pulso cuadrado.....	27
Figura 18: Espectro Bilateral en Magnitud (derecha) y en Fase (izquierda)	28
Figura 19: Función de Densidad de Probabilidades Gaussiana y Uniforme.....	30
Figura 20: Diagrama de flujo de la metodología	34
Figura 21: Botón de Reproducir inicialmente desactivado	38
Figura 22: Botones que invocan a Función de Procesamiento y Operaciones	39
Figura 23: Varias Funciones de Procesamiento y Operaciones	40
Figura 24: Menú para selección de aplicación	40
Figura 25: Aspecto de la GUI para la primera opción	41
Figura 26: Aspecto de la GUI para la cuarta opción	42
Figura 27: Función Selectora invocada desde Función OpeningFCN	42
Figura 28: Inicialización en programa “Generación de Funciones y Operaciones Variadas” ..	43
Figura 29: Ocultando el control “inicialización”	43
Figura 30: Empleo de variable inicializada	44
Figura 31: Conjunto para lectura de archivos	45
Figura 32: Empleo de más de un conjunto para lectura de archivos.....	46
Figura 33: Generación de señal a procesar para aplicación que no lee archivos	47
Figura 34: Conjunto de Procesamiento y Operaciones.....	48
Figura 35: Bloque MATLAB Script.....	48
Figura 36: Interfaz del software Debut Video Capture	49
Figura 37: Botón para seleccionar área de captura	50
Figura 38: Botones para grabar, pausar y detener	50

Figura 39: Fragmento de MyCNX Home	51
Figura 40: Espacio para editar el módulo	51
Figura 41: Aspecto del módulo luego de cargado el documento	52
Figura 42: Aspecto de edición de autoevaluación	52
Figura 43: Aspecto definitivo de autoevaluación	53
Figura 44: Colección sin editar	53
Figura 45: Interfaz original	55
Figura 46: Interfaz definitiva de proyecto en MATLAB	56
Figura 47: Diagrama de bloques de proyecto en LabVIEW	56
Figura 48: Aspecto del módulo	58
Figura 49: Sección de Autoevaluación	59
Figura 50: Sección de Simuladores, videos y vínculos de descarga para los proyectos	60

INTRODUCCIÓN

Diego Carralbal, en su artículo *Aprender a Enseñar, Enseñar a Aprender*, plantea lo siguiente: *“Desde el comienzo de la educación formal, se ha trabajado sobre el mejor modo de enseñar. De las técnicas autoritarias a las democráticas, de los procesos centrados en el docentes a los enfocados en el alumno y de la enseñanza directa a la indirecta. Se han desarrollado innumerables estudios e investigaciones tendientes a la búsqueda de la mejor práctica de enseñanza, y sin embargo, la conclusión es avasalladora: no hay una manera de enseñar que sea la mejor”*.

Con el presente Trabajo Especial de Grado se plantea apoyar un *Proceso de Enseñanza- Aprendizaje*; las modalidades de dicho proceso vienen explicadas por diversas teorías y enfoques diferentes uno de otro, entre los cuales se encuentran el *Cognitivismo* y el *Constructivismo*, conceptos que serán desarrollados posteriormente. Se espera que, aplicando ambos enfoques en este Trabajo Especial de Grado, se impactarán positivamente, al menos, los siguientes aspectos:

1. La motivación creada en los alumnos de semestres inferiores al mostrárseles todo lo que pueden lograr con los conceptos que van adquiriendo en asignaturas como Cálculo, Matemáticas, Probabilidades, entre otras, hará más fácil tanto la Enseñanza de estas asignaturas, como la futura Enseñanza en los cursos de Señales y Sistemas.
2. El Aprendizaje será consolidado si se observa directamente el funcionamiento de una aplicación que utiliza determinado concepto mientras el mismo es expuesto.

En cuanto a la asignación de proyectos en los cursos de Señales y Sistemas, se evidencia la práctica del *cognitivismo* y el *constructivismo* en la importancia que tiene el conocimiento previo para la realización de los mismos, y en las conclusiones a las que se llega por medio de las pruebas realizadas con los proyectos una vez completados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los cursos de Señales y Sistemas, el estudiante es introducido en el modelado de situaciones o fenómenos como la acción conjunta de una entrada o impulso, un sistema y una respuesta; además se debe familiarizar con la utilización de términos que serán utilizados en el resto de su carrera, como lo son Ancho de Banda, Modulación, Espectro, Densidad Espectral de Potencia, entre otros.

Para formar buenos Ingenieros en Telecomunicaciones, es necesaria una base sólida en el área de Señales y Sistemas, ya que dicha área, además de cumplir con lo antes mencionado, soporta un conjunto de asignaturas que conforman una de las ramas más importantes de la carrera: **Comunicaciones**.

Hoy en día, en la universidad se imparten estas asignaturas de forma teórica por medio de las exposiciones del profesor y de forma práctica por medio de la realización de prácticas y de proyectos que, hasta hace un tiempo, se realizaban usando el programa MATLAB. Desde hace un año se ha incluido en la asignatura de Señales y Sistemas Continuos el simulador LabVIEW de National Instruments y a partir del período académico que está por empezar, se hará más énfasis en la utilización de este último, tanto para prácticas como para proyectos.

Este Trabajo de Grado tiene como objetivo generar un Banco de Aplicaciones para las asignaturas de Señales y Sistemas que apoye el proceso de enseñanza ofreciendo tanto a los profesores como a los estudiantes un material estructurado que presente diversas aplicaciones prácticas de los conceptos más importantes cubiertos en dichos cursos.

El nuevo medio al que se hace referencia es una herramienta que incluye aplicaciones interactivas y tutoriales acerca de simuladores, modulaciones, transformadas, y variados procesos sobre señales diversas reales y simuladas. Esta herramienta está disponible en la web, por medio de un sitio cuyo acceso es cnx.org, el cual contiene cursos de todo tipo con ayudas, programas, tutoriales, etc.

Adicionalmente este Trabajo de Grado servirá también como herramienta de motivación para los nuevos estudiantes que ingresan en la carrera ya que se les puede mostrar todo lo que pueden lograr con los conceptos que van adquiriendo en asignaturas como Cálculo, Matemáticas, Probabilidades, etc.

I.2 OBJETIVOS

I.2.1.-Objetivo General

Diseñar una herramienta motivacional y de apoyo a la enseñanza de los cursos de Señales y Sistemas, útil para profesores a la hora de definir proyectos o para mostrar ejemplos prácticos de los conceptos de teoría y también para los estudiantes a la hora de estudiar, verificar conceptos y desarrollar proyectos.

I.2.2.-Objetivos Específicos

- Enmarcar el proyecto en base a teorías que explican el proceso de aprendizaje, como el *Cognitivismo* y el *Constructivismo*.
- Recopilar la mayoría de los proyectos propuestos anteriormente a alumnos que han cursado las asignaturas de Señales y Sistemas.
- Elegir un subconjunto de proyectos que sea representativo de aplicaciones de Señales y Sistemas diversas: generación, manipulación y procesamiento de señales reales y simuladas, paso de señales por sistemas lineales y no lineales, modulaciones analógicas y digitales, transformadas como Fourier, Hilbert, Coseno.

- Hacer las debidas modificaciones y ampliaciones a los programas elaborados sobre MATLAB, corregir sus deficiencias hasta lograr que funcionen en la versión más actualizada del software.
- Crear un banco de proyectos similares a los que existen sobre MATLAB pero en LabVIEW. Para aquellos desarrollados originalmente sobre LabVIEW crear una versión en MATLAB.
- Elaborar los tutoriales necesarios para el uso de los simuladores MATLAB y LabVIEW.
- Elaborar algunos tutoriales que apoyen aquellos proyectos que tienen algunos conceptos no cubiertos en los cursos de Señales y Sistemas para garantizar su comprensión.
- Colocar el banco de proyectos en la web (cnx.org) para facilitar el acceso público al mismo
- Realizar el informe correspondiente al Trabajo de Grado el cual incluirá anexos electrónicos con todos los programas, guías y tutoriales que se desarrollen en el presente proyecto.

I.3 LIMITACIONES Y ALCANCES

I.3.1.-Alcances

En este proyecto se logró la corrección y actualización de los proyectos recopilados, la mayoría de ellos hechos en MATLAB, los cuales se han realizado a lo largo de la utilización de este simulador en los cursos de Señales y Sistemas Continuos y Discretos. Asimismo, se realizaron proyectos equivalentes a los mismos pero en LabVIEW.

Se logró también la colocación de los proyectos realizados en la web, donde se podrá acceder públicamente a ellos.

I.3.2-Limitaciones

La versión más actualizada de LabVIEW de la cual se dispone en la universidad es la versión 8.6, es decir, no se realizaron simulaciones ni aplicaciones que requieran funciones que sólo posea alguna versión superior (como la versión 9, por ejemplo)

Un estudiante que desee comprobar el funcionamiento de un proyecto deberá tener instalado en su computadora el *software* en el cual se realizó dicha aplicación.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

El Marco Referencial contiene cierta información teórica acerca de las teorías del proceso de aprendizaje que enmarcan al presente Trabajo Especial de Grado, acerca del Software utilizado para llevarlo a cabo, y contiene también una síntesis acerca de los tópicos cubiertos por las materias de Señales y Sistemas Continuos y Discretos.

A continuación se muestra un esquema donde se observa la estructura del marco referencial.

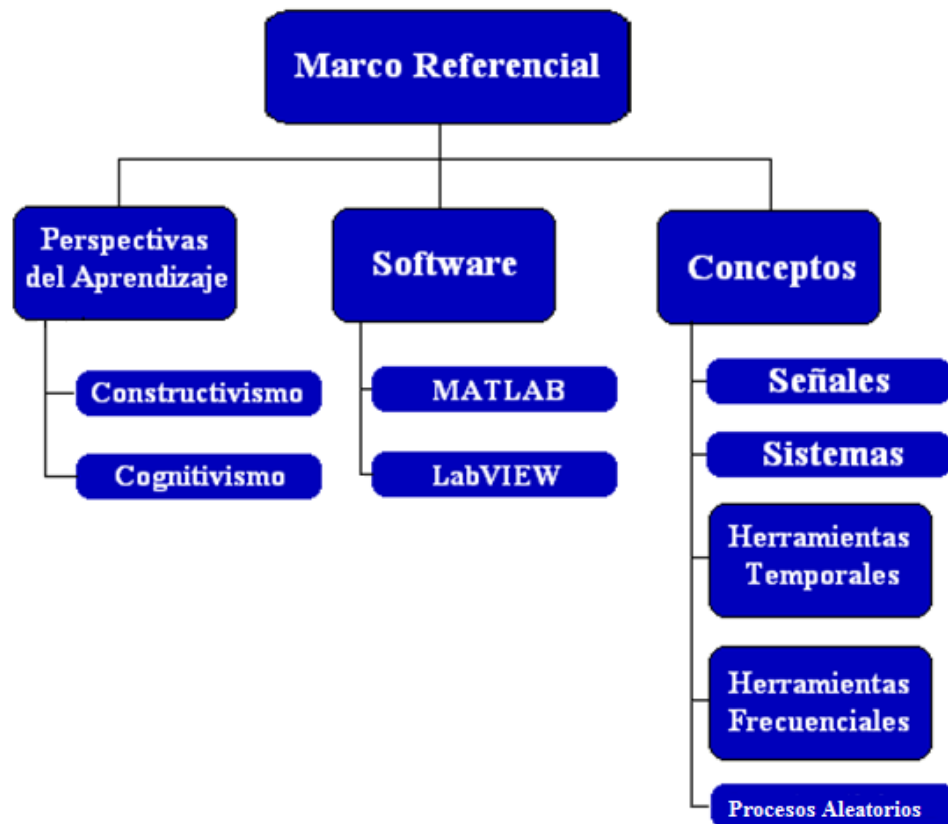


Figura 1: Esquema del marco referencial
Fuente: Elaboración propia.

II.1 PERSPECTIVAS DEL APRENDIZAJE

Cuando se presenta un proyecto que plantea apoyar un Proceso de Enseñanza-Aprendizaje, es importante entender las teorías que explican las modalidades de dicho proceso. Se incluye una tabla comparativa entre dos enfoques, el Cognitivismo y el Constructivismo, a fin de ir comprendiendo en qué medida los diferentes proyectos se acercan a una u otra corriente (STEFANELLI, 2000). En una primera aproximación, se afirma que si se asigna un proyecto, el cognitivismo se verá reflejado en la importancia del conocimiento previo necesario por parte del alumno para realizarlo, y el constructivismo se reflejará en las conclusiones a las que se llega con la realización y puesta en práctica de dicho proyecto.

II.1.1.-Comparación entre el Cognitivismo y el Constructivismo

Constructivismo	Cognitivismo
Es apropiado para explicar aprendizajes complejos y poco estructurados. Es efectivo en las etapas de adquisición de conocimiento avanzado donde los prejuicios y malas interpretaciones adquiridas durante la etapa inicial pueden ser descubiertos, modificados o eliminados.	Es apropiado para explicar aprendizajes complejos como razonamiento, resolución de problemas, procesamiento de información, haciendo énfasis en las estrategias de procesamiento para lograr en forma eficiente la transferencia de conocimiento a los aprendices.
La memoria está siempre en construcción, el énfasis está en dotar al aprendiz de los medios para generar comprensiones novedosas por medio del ensamblaje de conocimientos previos adecuados al problema a resolver en vez del recuerdo de esquemas pre-elaborados.	La memoria tiene un lugar primordial. El aprendizaje se produce cuando la información es almacenada de forma organizada y significativa.

La meta es lograr que el aprendiz elabore e interprete el conocimiento, que el aprendizaje sea significativo. Los objetivos de aprendizaje no están predeterminados, ni la instrucción prediseñada.	La meta es que el conocimiento sea significativo y que el estudiante relacione la nueva información con el conocimiento previo. La instrucción se basa en los procesos mentales existentes en el aprendiz.
-Énfasis en la identificación del contexto en el que las habilidades serán aprendidas y luego aplicadas -Énfasis en el control por parte de los estudiantes y en la capacidad para que el mismo pueda manipular la información. -Necesidad de que la información provenga de diferentes fuentes y se presente de diferentes formas. -Incentivar la utilización de las habilidades de solución de problemas que permitan al aprendiz ir más allá de la información presentada.	-Énfasis en la participación activa del estudiante en el proceso de aprendizaje -Uso de análisis jerárquico para identificar y determinar su predisposición para el aprendizaje. -Énfasis en la estructuración, organización y secuencia de la información para facilitar su procesamiento. -Creación de ambientes de aprendizaje que estimulen las conexiones a conocimientos previos.

II.2 SOFTWARE

II.2.1.-MATLAB (MATrix LABoratory)

Es un entorno de programación basado en matrices, ampliamente utilizado en el ámbito de la ingeniería por su versatilidad en la resolución de cálculos numéricos sin importar cuán complejos sean. Se caracteriza también por permitir visualizar los resultados fácilmente y de distintas formas.

El uso de MATLAB está bastante extendido en la rama de Comunicaciones, debido a que permite el modelado de cualquier tipo de señales por medio de funciones, las cuales, al igual que todas las variables definidas, son representadas por matrices numéricas, que pueden incluir elementos complejos. MATLAB además incorpora ciertas librerías denominadas *toolboxes*, que no son más que conjuntos de funciones diseñados para la resolución de problemas específicos; en particular el *Communications Toolbox* y el *Signal Processing Toolbox* son muy útiles para simular la generación, procesamiento, transmisión y recepción de señales.

La ventana de comandos (***command window***), ventana principal de MATLAB, guarda cierta semejanza con el Shell de un sistema operativo ya que, al igual que éste, permite ejecutar instrucciones, moverse entre directorios y gestionar el software en general. Para obtener ayuda sobre el uso de funciones predefinidas puede utilizarse la instrucción **help** <comando>. Siempre que una instrucción cree una variable, la misma se almacena en el ***workspace***. Las variables se pueden guardar para futuras sesiones y se almacenarán en formato .mat, utilizando el comando **save**, y pueden ser cargadas de nuevo utilizando el comando **load**.

MATLAB permite el almacenamiento de secuencias de instrucciones en archivos por medio del editor de texto. Dichos archivos reciben el nombre de ***archivos .m*** debido a que se guardan con esta extensión. Una rutina .m se ejecuta con sólo escribir su nombre sin la extensión en la ventana de comandos, siempre y cuando se encuentre en el directorio apropiado. Al ejecutar un archivo .m, se ejecutarán una por una las instrucciones almacenadas por el mismo, lo que permite que se creen programas y funciones capaces de cumplir tareas específicas.

II.2.2.-LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)

Es un programa desarrollado por National Instruments destinado a pruebas, control y diseño de aplicaciones; emplea la programación gráfica o *lenguaje G*, es decir, crea programas basados en diagramas de bloques mediante la colocación y

conexión de elementos. Al igual que MATLAB, es muy útil en el área de las comunicaciones, ya que permite el tratamiento de señales diversas y el modelado de sistemas de comunicación completos utilizando bloques interconectados.

Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabVIEW incluye librerías específicas para la adquisición y envío de datos por medio de los diversos puertos de la computadora.

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan *Instrumentos Virtuales (VIs)*, porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Todos los VIs tienen un *panel frontal* y un *diagrama de bloques*:

Panel Frontal: El Panel Frontal se utiliza para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. El usuario puede observar los datos del programa en tiempo real. En esta interfaz se definen los controles (botones, selectores, etc.) y gráficas o indicadores.

Diagrama de Bloques: El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. Es donde se colocan e *interconectan* los objetos que realizan una determinada función. En el diagrama de bloques se procesan las entradas presentes en el Panel Frontal para dar lugar a los resultados mostrados en las salidas.

Las opciones que se emplean para crear y modificar los VIs están contenidas en las *paletas*. Existen tres tipos de paletas:

Menú de Herramientas (*Tools palette*): Contiene las herramientas necesarias para editar y depurar los objetos tanto del panel frontal como del diagrama de bloques.

Paleta de controles (*Controls palette*): Se utiliza únicamente en el panel frontal. Contiene todos los controles e indicadores que se emplearán para crear la interfaz del VI con el usuario.

Paleta de funciones (*functions palette*): Se emplea en el diseño del diagrama de bloques. La paleta de funciones contiene todos los objetos que se emplean en la implementación del programa del VI.

II.3 CONCEPTOS

La carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones de la UCAB inicia en el quinto semestre con la enseñanza de las Señales y su paso por Sistemas. En el primer curso se cubren los siguientes tópicos:

- Definición y Clasificación de Señales y Sistemas Continuos
- Herramientas temporales para resolver el problema del paso de Señales determinísticas y aleatorias por diversos sistemas: Convolución
- Herramientas frecuenciales para resolver el problema del paso de Señales determinísticas y aleatorias por diversos sistemas: Series y Transformada de Fourier
- Procesos y señales aleatorias

En el curso siguiente, Señales y Sistemas Discretos, se cubren básicamente los mismos tópicos pero para señales discretas o secuencias.

II.3.1.-Las señales y sus diferentes clasificaciones

Una señal puede definirse como la manifestación eléctrica de algún fenómeno natural (OPPENHEIM, 1997), la cual toma valores de voltaje que varían en función del tiempo según el comportamiento de dicho fenómeno. Existen varias formas de clasificar las señales entre las que se encuentran: continuas y discretas, de energía y de potencia, periódicas y aperiódicas o determinísticas y aleatorias.

II.3.1.1.-Señales Continuas y Señales Discretas

El dominio para las señales continuas puede contener cualquier valor perteneciente a los números reales, y para cada uno de estos valores, la señal puede

tomar cualquier valor real, normalmente comprendido entre un máximo y un mínimo; un ejemplo de señal continua se muestra en la figura 2:

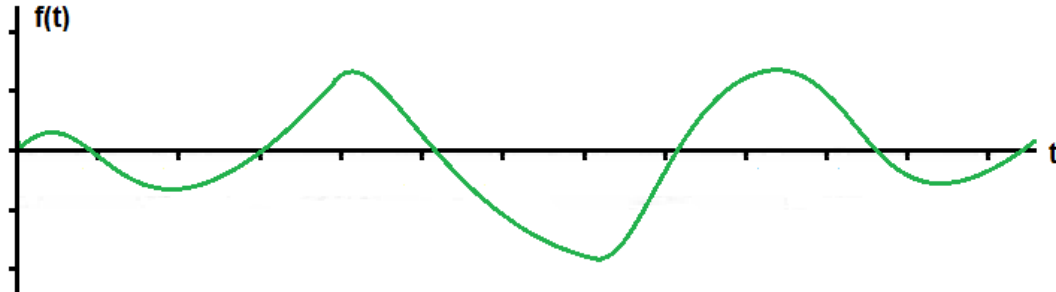


Figura 2: Señal Continua
Fuente: Elaboración propia.

Las señales discretas pueden tomar cualquier valor real pero sólo existen para una cantidad limitada de valores los cuales normalmente se encuentran equiespaciados; una señal discreta puede venir de un proceso en el cual la variable independiente de por sí es discreta, por ejemplo, el valor de la temperatura de cierto objeto medida cada minuto; o puede proceder del muestreo de una señal analógica o continua. La figura 3 muestra un ejemplo de señal discreta:

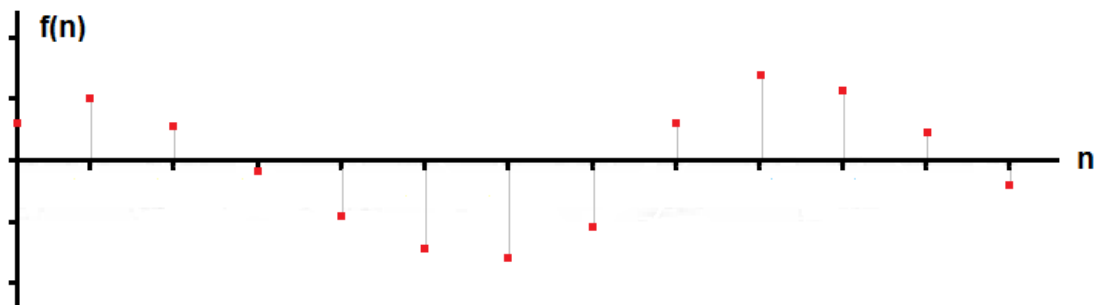


Figura 3: Señal Discreta
Fuente: Elaboración propia.

II.3.1.2.-Señales de Energía y Señales de Potencia.

La energía y la potencia de una señal $f(t)$ para un intervalo definido entre $T1$ y $T2$ vienen dadas por las ecuaciones 1 y 2 respectivamente:

$$E_{T1 \rightarrow T2} = \int_{T1}^{T2} |f(t)|^2 dt \quad (1)$$

$$P_{T1 \rightarrow T2} = \frac{1}{T2 - T1} \int_{T1}^{T2} |f(t)|^2 dt \quad (2)$$

Comúnmente será necesario cuantificar la energía y la potencia para un intervalo de tiempo infinito, es decir, definido entre -infinito y +infinito. Para ello se definen las ecuaciones 3 y 4 por medio de límites quedando de la siguiente forma:

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt \quad (3)$$

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{2T} \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt \right] \quad (4)$$

Si $f(t)$ se trata de una función existente para todo valor de t , como la señal periódica $f(t) = \text{sen}(t)$, la integral de la ecuación 3 puede separarse en la suma de infinitas integrales en intervalos definidos similares a los de la ecuación 1, las cuales arrojarán resultados positivos, por lo que el valor de la energía total será infinito; si se realiza el mismo proceso de separación en la ecuación 4 se obtendrá la misma suma de una cantidad infinita de valores positivos pero dividida entre esa misma cantidad de valores (lo cual corresponde con el proceso realizado para el cálculo de promedios), resultando un valor de potencia finito y positivo denominado Potencia Promedio Total. Toda señal con una energía total infinita y con una potencia promedio total finita recibe la denominación de Señal de Potencia; en general, las señales de potencia serán aquellas no limitadas en tiempo.

Si $f(t)$ se trata de una función existente sólo para un intervalo de valores de t (o para una limitada cantidad de intervalos), la integral de la ecuación 3 será nula para todo valor fuera del intervalo de existencia de $f(t)$, por lo cual la energía total será un valor finito y positivo; para calcular la potencia promedio total se divide la cantidad

obtenida entre infinito como lo indica la ecuación 4, dando como resultado un valor nulo. Toda señal con una potencia promedio total igual a cero y con una energía total finita recibe la denominación de Señal de Energía; en general, pueden clasificarse en este grupo las señales limitadas en tiempo como por ejemplo un pulso rectangular que tiene un valor de 1 para $0 \leq t \leq 1$ y de 0 para cualquier otro caso.

Puede encontrarse otro tipo de señales para las cuales la energía y potencia promedio total son infinitas, por ejemplo la señal $f(t) = e^t$; en general se incluyen en este grupo aquellas señales que cumplan lo siguiente:

$$\left| \lim_{t \rightarrow \infty} f(t) \right| = \infty \quad (5)$$

Todo lo anterior se cumple también para señales discretas; las ecuaciones para la Energía Total y para la Potencia Promedio Total se expresan en las ecuaciones 6 y 7 respectivamente:

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |f(n)|^2 \quad (6)$$

$$P = \lim_{N \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N |f(n)|^2 \right] \quad (7)$$

II.3.1.3.-Señales Periódicas y Señales Aperiódicas

Las señales periódicas se encuentran entre las Señales de Potencia explicadas anteriormente y son aquellas que para todo valor de t cumplen con la igualdad en la ecuación 8:

$$f(t) = f(t + kT) \quad (8)$$

Esto quiere decir que la señal no cambiará para un desplazamiento de tiempo T para todo valor entero de k positivo o negativo; dicho valor T se conoce como Período. En la figura 4 se muestra un ejemplo de señal periódica:

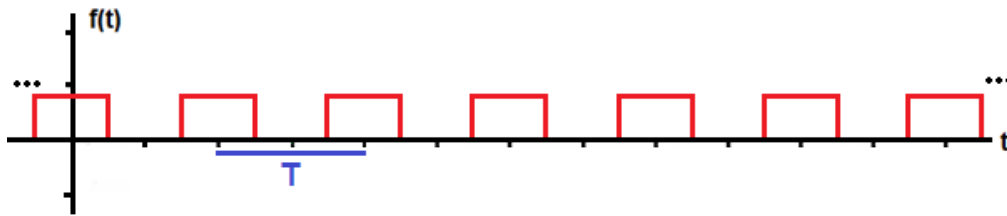


Figura 4: Señal Periódica Continua
Fuente: Elaboración propia.

De forma análoga, una señal discreta es periódica si cumple con la ecuación 9:

$$f(n) = f(n + kN) \quad (9)$$

Donde N es un valor entero positivo correspondiente con el periodo de la señal, y k representa un valor entero que indica que la señal es periódica para cualquier múltiplo de N. La figura 5 muestra un ejemplo de señal periódica discreta con un período de N=8:

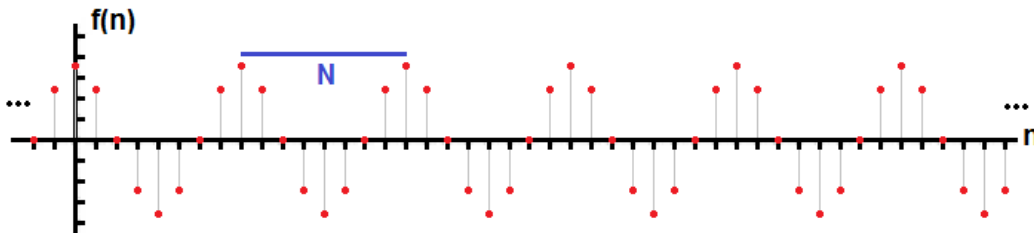


Figura 5: Señal Periódica Discreta
Fuente: Elaboración propia.

Las señales aperiódicas son simplemente aquellas que no son periódicas, es decir, no cumplen con las ecuaciones 8 o 9. Según la definición, una señal periódica tendría que estar definida en un intervalo de tiempo que va desde $-\infty$ hasta ∞ , esta es una situación ideal, de hecho, en la vida real se considera que una señal es periódica si su duración tiende a infinito con respecto a su período, por ejemplo, la señal en una línea eléctrica es una onda senoidal con un período de $[1/60]$ segundos la cual sufre de cortes muy eventualmente, por lo que esta señal estará definida desde el momento en el que se recupera de un corte hasta el momento en el que ocurre otro corte, un tiempo que tiende a infinito comparado con el período; las señales también pueden ser periódicas para un tiempo limitado, pero que sea el tiempo total de duración de cierto evento, por ejemplo, una señal cuadrada similar a

la de la figura 4 usada para mantener la sincronización en un dispositivo electrónico sólo está definida cuando dicho dispositivo esté encendido y es nula el resto del tiempo, se considera periódica a esta señal ya que el tiempo en el que el dispositivo no esté encendido no entra en el análisis.

II.3.1.4.-Señales Determinísticas y Señales Aleatorias

Las señales determinísticas pueden ser modeladas por medio de una expresión matemática totalmente determinada, mientras que las aleatorias pueden ser modeladas por medio de la *Función de Densidad de Probabilidades*, o en el mejor de los casos, por medio de la función de *Autocorrelación*. Como se muestra en la ecuación 10, podría construirse una expresión matemática para alguna señal aleatoria, la misma puede involucrar una variable independiente (el tiempo, por ejemplo) y una variable aleatoria de la que podría conocerse la función de densidad de probabilidades.

$$x(t) = \cos(2\pi t + \theta) \quad (10)$$

Considerándose que esta función está definida para $t \geq 0$, θ será la variable aleatoria que representa el valor de fase que puede tener la señal para $t=0$; esto se interpreta como el hecho de que al momento de encender un generador de funciones, el valor de la fase puede ser cualquiera entre 0 y 2π . Se profundiza más acerca de los procesos aleatorios y sus elementos más adelante.

II.3.2.-Los sistemas y sus diferentes clasificaciones

Un sistema hace referencia a cualquier medio físico que modifique las características de una señal; el mismo puede tratarse de algún dispositivo electrónico como un filtro, un amplificador, entre otros, como también puede tratarse del canal por el que se transmite la señal como el aire o los cables. Los sistemas se modelan por medio de la Respuesta Impulsiva $h(t)$, una función en el dominio del tiempo que representa la salida del sistema cuando la entrada es la función delta de Dirac; y por medio de la Función de Transferencia $H(\omega)$, una función en el dominio de la

frecuencia que corresponde con la *Transformada de Fourier* de la respuesta impulsiva. Gráficamente, los sistemas suelen representarse de la siguiente forma:



Figura 6: Representación gráfica de un sistema
Fuente: Elaboración propia.

Existen varias formas de clasificar los sistemas, entre las que se encuentran las siguientes:

II.3.2.1.-Sistemas Lineales y No Lineales

Si la salida de un sistema es igual a $y_1(t)$ cuando se estimula con una la señal $x_1(t)$ y es igual a $y_2(t)$ cuando se estimula con una la señal $x_2(t)$, dicho sistema será lineal si se cumple que cuando se estimula con la señal $x_1(t) + x_2(t)$, su salida será igual a $y_1(t) + y_2(t)$; esto se conoce como principio de superposición. Para la linealidad se debe cumplir también que si la señal de entrada se multiplica por una constante, la salida se multiplicará también por dicha constante.

Como primer ejemplo, supóngase un sistema que duplica la amplitud de la señal entrante:

$$\begin{aligned}x_1(t) &\rightarrow y_1(t) = 2x_1(t) \\ 3x_2(t) &\rightarrow y_2(t) = 6x_2(t)\end{aligned}\tag{11}$$

Para que el sistema sea lineal debe cumplirse que su salida sea igual a:

$$y_1(t) + y_2(t) = 2x_1(t) + 6x_2(t)\tag{12}$$

Si el sistema se alimenta con $x_1(t) + 3x_2(t)$, en la salida se obtiene:

$$x_1(t) + 3x_2(t) \rightarrow 2(x_1(t) + 3x_2(t)) = 2x_1(t) + 6x_2(t)\tag{13}$$

Como puede observarse, las ecuaciones 12 y 13 arrojan el mismo resultado, de donde se concluye que el sistema es lineal. Como un segundo ejemplo, supóngase un sistema que eleva al cuadrado la señal de entrada:

$$\begin{aligned}x_1(t) &\rightarrow y_1(t) = (x_1(t))^2 \\x_2(t) &\rightarrow y_2(t) = (x_2(t))^2\end{aligned}\tag{14}$$

Para que el sistema sea lineal debe cumplirse que su salida sea igual a:

$$y_1(t) + y_2(t) = (x_1(t))^2 + (x_2(t))^2\tag{15}$$

Si el sistema se alimenta con $x_1(t) + x_2(t)$, en la salida se obtiene:

$$x_1(t) + x_2(t) \rightarrow (x_1(t) + x_2(t))^2\tag{16}$$

Al no ser iguales las ecuaciones 15 y 16, el sistema no es lineal.

II.3.2.2.-Sistemas Causales y No Causales

Los sistemas causales son también conocidos como sistemas No anticipativos, esto quiere decir que su salida no depende del futuro de la señal de entrada, sólo depende del presente o del pasado. Por ejemplo, un sistema que al ser estimulado con una señal $x(t)$, su salida $y(t)$ es igual a $x(t+2)$ será un sistema no causal, ya que para $t=0$ su entrada es $x(0)$ y su salida es $x(2)$, es decir la salida depende del futuro de la señal de entrada. Si por el contrario se tiene un sistema que al ser estimulado con una señal $x(t)$, su salida es igual a $x(t-2)$, dicho sistema será causal, ya que en este caso la salida depende del pasado de la señal; un sistema que duplica la amplitud de la señal de entrada ($x(t) \rightarrow 2x(t)$) es un sistema causal, ya que la salida depende en este caso del presente de la señal de entrada.

II.3.2.3.-Sistemas Variantes e Invariantes en el Tiempo.

Un sistema es invariante en el tiempo si se cumple que: $x(t-T) \rightarrow y(t-T)$, esto quiere decir que si hay un retardo T , será igual si el mismo se aplica a la señal antes de pasar por el sistema o si se aplica luego de pasada por el sistema, como se ilustra en la figura 7:

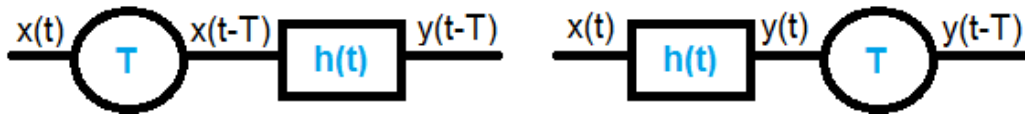


Figura 7: Sistema Invariante en el Tiempo
Fuente: Elaboración propia.

Si no se cumple esta propiedad, se dice que el sistema es Variante en el Tiempo; como ejemplo, supóngase un sistema con un comportamiento como el siguiente:

$$x(t) \rightarrow y(t) = t \cdot x(t) \quad (17)$$

Si la señal se retarda primero y luego se pasa por el sistema se obtiene:

$$t \cdot x(t - T) \quad (18)$$

Si la señal se pasa por el sistema primero y luego se retarda se obtiene:

$$(t - T) \cdot x(t - T) \quad (19)$$

Como puede observarse, el resultado para ambos casos difiere, de donde se concluye que el sistema es variante en el tiempo.

II.3.2.4.-Sistemas Estables e Inestables.

Un sistema estable es aquel cuya salida no diverge cuando es alimentado con una señal acotada; esto es resumido en la ecuación 20:

$$|x(t)| \leq M \rightarrow y(t) < \infty \quad (20)$$

Un ejemplo de sistema inestable es el descrito en la ecuación 17, ya que aun si $x(t)$ es una señal acotada (como $\cos(t)$, por ejemplo), la salida divergirá para $t \rightarrow \infty$. Si en cambio, el sistema se trata de un duplicador de amplitud, el mismo es estable, ya que si se alimenta con una señal acotada como $\cos(t)$, la salida tendrá valores entre -2 y 2 para todo valor de t .

II.3.3.-Convolución

Es una herramienta temporal para la resolución del problema del paso de señales por sistemas que aplica para el caso específico en el que el sistema sea Lineal e Invariante en el Tiempo. Si se tiene la señal en el dominio del tiempo y la respuesta impulsiva del sistema, se puede aplicar la operación convolución entre ambos y se obtiene la salida del sistema en el dominio del tiempo.

Se define la convolución entre dos funciones $f(t)$ y $g(t)$ como el área bajo la curva formada por el producto de las mismas luego de invertir una de ellas y desplazarla una cantidad de tiempo que varía entre $-\infty$ e ∞ ; la expresión para la convolución viene dada por la ecuación 21:

$$y(t) = f(t) * g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(t - \tau)d\tau \quad (21)$$

Una mejor forma de entender este proceso es haciendo el análisis gráfico del mismo, para ello supónganse las dos funciones $f(t)$ y $g(t)$ mostradas en la figura 8:

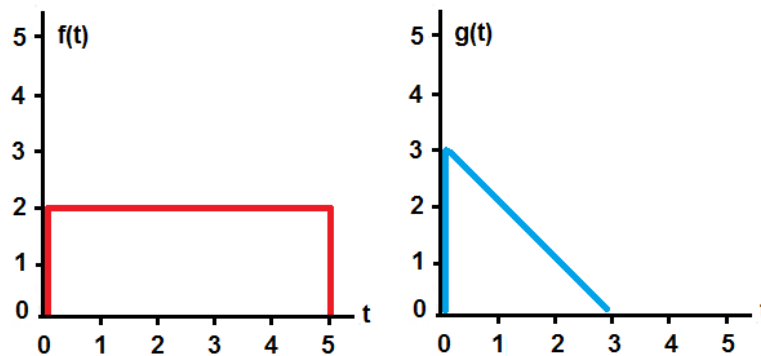


Figura 8: Funciones a convolucionar
Fuente: Elaboración propia.

Las ecuaciones para cada uno de los pulsos de la figura 8 son:

$$f(t) = 2 \Rightarrow 0 \leq t \leq 5 \quad (22)$$

$$g(t) = -t + 3 \Rightarrow 0 \leq t \leq 3 \quad (23)$$

Para comenzar se debe crear una función similar a $f(t)$ pero expresada en términos de la variable τ presente en la ecuación 21, también se debe crear una

función similar a $g(t)$ pero con la variable τ negativa, además desplazada una cantidad t , tal como se indica en la figura 9:

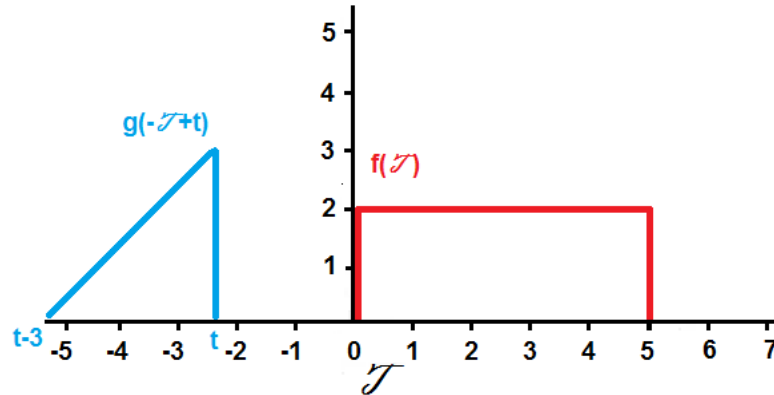


Figura 9: funciones similares en términos de τ
Fuente: Elaboración propia.

La cantidad t irá tomando valores desde $-\infty$ hasta ∞ , lo que causará que la función g haga un recorrido completo por el eje τ , en dicho recorrido se multiplican ambas funciones y se toma el área bajo el producto, por lo que la convolución valdrá 0 en todos los puntos donde las funciones no se intersecten, como sucede en la figura 9. Con esto ya se puede concluir que, para este caso:

$$y(t) = 0 \Rightarrow t < 0 \quad (24)$$

Desde el instante en el que t es igual a 0 hasta que es igual a 3 se dará la situación descrita en la figura 10:

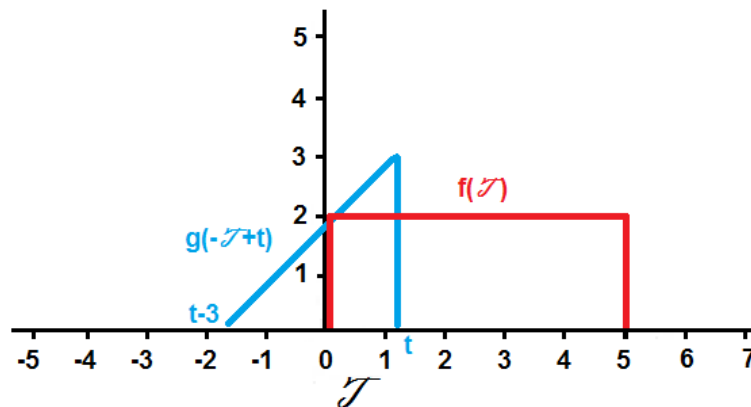


Figura 10: Convolución para t entre 0 y 3
Fuente: Elaboración propia.

Para este intervalo se cumple que:

$$y(t) = \int_0^t 2(\tau - t + 3)d\tau = -t^2 + 6t \Rightarrow 0 \leq t \leq 3 \quad (25)$$

Una vez las dos funciones se solapan completamente como se observa en la figura 11, la expresión para la convolución será como la descrita en la ecuación 26, esto ocurre para valores de t situados entre 3 y 5:

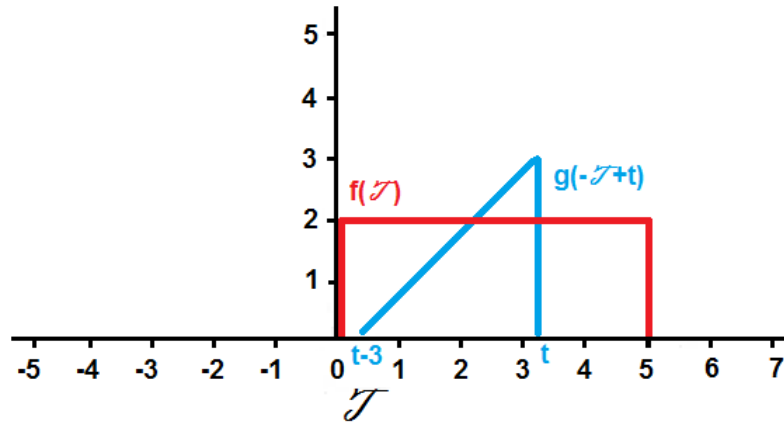


Figura 11: Convolución para t entre 3 y 5
Fuente: Elaboración propia.

$$y(t) = \int_{t-3}^t 2(\tau - t + 3)d\tau = 9 \Rightarrow 3 < t \leq 5 \quad (26)$$

El siguiente intervalo es el ocurrido para valores de t entre 5 y 8, el mismo se observa en la figura 12 y se describe con la ecuación 27:

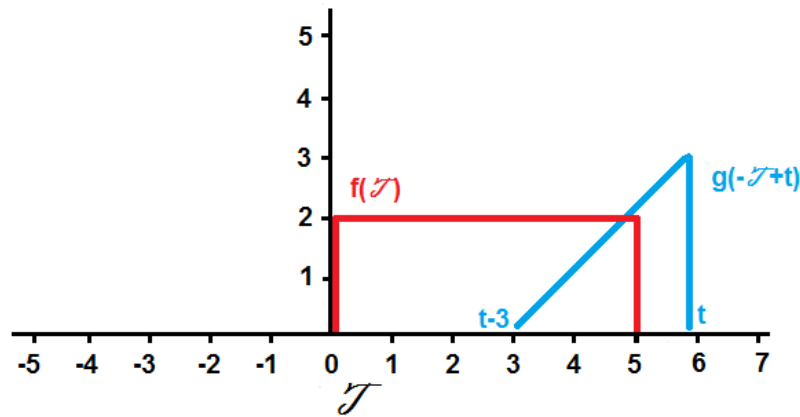


Figura 12: Convolución para t entre 5 y 8
Fuente: Elaboración propia.

$$y(t) = \int_{t-3}^5 2(\tau - t + 3) d\tau = (t - 8)^2 \Rightarrow 5 < t \leq 8 \quad (27)$$

Para valores de t mayores a 8 las funciones no volverán a intersectarse como puede observarse en la figura 13:

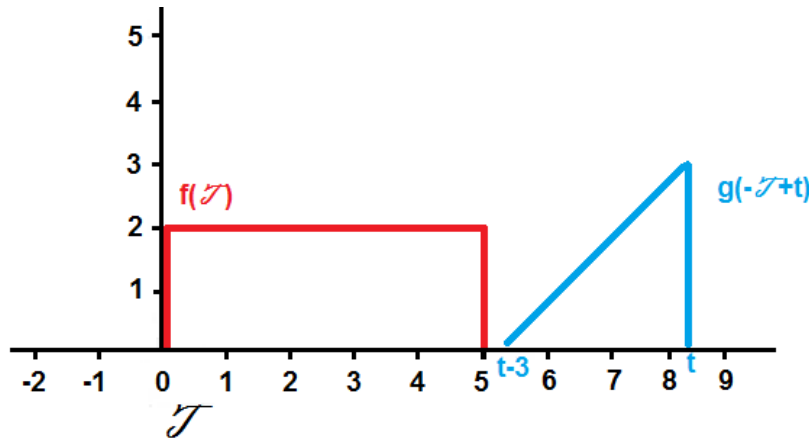


Figura 13: Convolución para t mayor que 8
Fuente: Elaboración propia.

Como se explicó antes, la convolución vale 0 en los puntos donde las funciones no se intersectan:

$$y(t) = 0 \Rightarrow t > 8 \quad (28)$$

Con los resultados obtenidos para cada intervalo, mostrados en las ecuaciones anteriores puede construirse la función resultante $y(t) = f(t) * g(t)$:

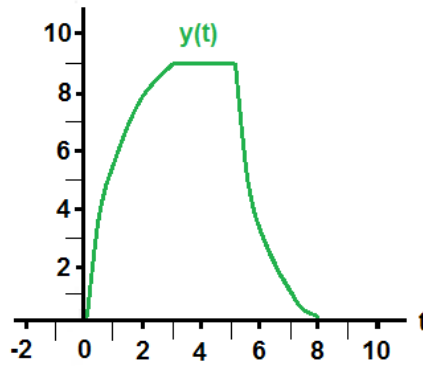


Figura 14: Resultado de la Convolución
Fuente: Elaboración propia.

II.3.3.1.-Propiedades de la convolución

Propiedad conmutativa:

$$f(t) * g(t) = g(t) * f(t) \quad (29)$$

De esta propiedad puede concluirse que es indiferente cuál de las dos funciones será la que se invierte y traslada, y cuál se queda fija.

Propiedad asociativa:

$$f(t) * [g(t) * h(t)] = [f(t) * g(t)] * h(t) \quad (30)$$

Propiedad distributiva:

$$f(t) * [g(t) + h(t)] = [f(t) * g(t)] + [f(t) * h(t)] \quad (31)$$

Multiplicación por escalar:

$$af(t) * g(t) = f(t) * ag(t) = a[f(t) * g(t)] \quad (32)$$

Siendo a cualquier número real o complejo.

Derivación:

$$\frac{\partial(f(t))}{\partial t} * g(t) = f(t) * \frac{\partial(g(t))}{\partial t} = \frac{\partial[f(t) * g(t)]}{\partial t} \quad (33)$$

Transformada de Fourier de la convolución:

$$F[g(t) * h(t)] = F[f(t)] \cdot F[g(t)] \quad (34)$$

La transformada de Fourier, denotada con la expresión F se explica más adelante. Con esta propiedad puede demostrarse la propiedad de la Convolución por delta de Dirac:

$$f(t) * \delta(t) = f(t) \quad (35)$$

Si se aplica la transformada de Fourier a la expresión $f(t) * \delta(t)$ se obtendrá el producto de las transformadas; la transformada de Fourier de la función Delta de Dirac es igual a 1, por lo que sólo quedará la transformada de la función $f(t)$. Generalizando la ecuación 35 se obtiene que:

$$f(t) * \delta(t - t_1) = f(t - t_1) \quad (36)$$

$$f(t - t_2) * \delta(t - t_1) = f(t - t_1 - t_2) \quad (37)$$

II.3.4.-Serie de Fourier

La Serie de Fourier consiste en la descomposición de una función en la suma infinita de funciones senoidales. Este proceso facilita la resolución del problema del paso de una señal por un sistema lineal e invariante en el tiempo, principalmente porque al expresarse la señal como una suma de funciones, podrá aplicarse el principio de superposición explicado anteriormente. Es de bastante utilidad aplicar este proceso a señales periódicas para determinar su espectro bilateral en magnitud y fase. La forma exponencial de la serie de Fourier se expresa por medio de la ecuación 38:

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k \cdot e^{j \frac{2\pi k t}{T}}$$

$$C_k = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \cdot e^{-j \frac{2\pi k t}{T}} dt \quad (38)$$

Donde T es el valor del período fundamental. Como ejemplo, se determina el espectro bilateral en magnitud y fase de la señal en la figura 15:

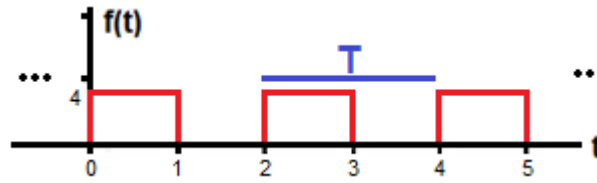


Figura 15: Señal cuadrada periódica
Fuente: Elaboración propia.

El período fundamental para esta señal es de 2 segundos, para la primera mitad del período la señal vale 4 y para la segunda mitad vale 0, quedando la ecuación para C_k como sigue:

$$C_k = 0.5 \int_0^1 4 \cdot e^{-j\pi k t} dt = \frac{2j}{\pi k} [e^{-j\pi k} - 1] \quad (39)$$

De la expresión se extrae como factor común $e^{-j\pi k/2}$ quedando:

$$\frac{2j}{\pi k} \left[e^{-\frac{j\pi k}{2}} - e^{\frac{j\pi k}{2}} \right] e^{-\frac{j\pi k}{2}} = \frac{4}{\pi k} \sin\left(\frac{\pi k}{2}\right) e^{-\frac{j\pi k}{2}} = 2 \text{Sinc}\left(\frac{k}{2}\right) e^{-\frac{j\pi k}{2}} \quad (40)$$

Con esta expresión se encuentran los valores de los principales C_k : $C_0=2$; $C_1=(4/\pi)e^{-j\frac{\pi}{2}}$; $C_{-1}=(4/\pi)e^{j\frac{\pi}{2}}$; $C_2=C_{-2}=0$; $C_3=(4/3\pi)e^{-j\frac{\pi}{2}}$; $C_{-3}=(4/3\pi)e^{j\frac{\pi}{2}}$; $C_4=C_{-4}=0$; $C_5=(4/5\pi)e^{-j\frac{\pi}{2}}$; $C_{-5}=(4/5\pi)e^{j\frac{\pi}{2}}$.

Las gráficas para el espectro bilateral se muestran en la figura 16, la magnitud de cada coeficiente C_k definirá los valores colocados en el espectro de magnitud, la posición de cada valor corresponde con k/T , de esta forma para un valor de T de 2 segundos, el coeficiente C_1 estará ubicado en $\frac{1}{2} = 0.5\text{Hz}$, el coeficiente C_2 estará

ubicado en 1Hz, etc. De la misma forma se construye el espectro de fase utilizando el valor de fase de cada coeficiente C_k .

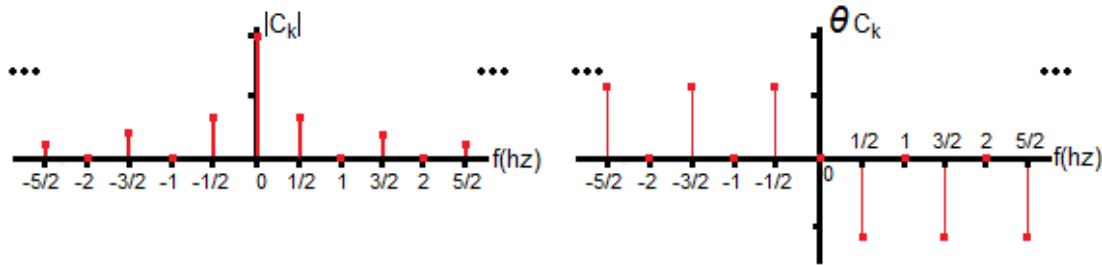


Figura 16: Espectro Bilateral en Magnitud (derecha) y en Fase (izquierda)
Fuente: Elaboración propia.

II.3.4.1.-Teorema de Parseval

Este teorema expone que la potencia total de una señal puede ser calculada con la suma del cuadrado del valor absoluto de cada uno de los coeficientes C_k de dicha señal:

$$Potencia = \sum_{k=-\infty}^{\infty} |C_k|^2 \quad (41)$$

II.3.5.-Transformada de Fourier

Al aplicar la Transformada de Fourier a una señal en el dominio del tiempo, se observa el comportamiento frecuencial de dicha señal, específicamente, se observan los valores de frecuencia que conforman a la señal. Aplica también para los sistemas, si se aplica la Transformada de Fourier a la respuesta impulsiva de un sistema, se obtendrá la respuesta en frecuencia del mismo, también denominada Función de Transferencia. Poniendo en práctica la propiedad de la convolución en la ecuación 34, al multiplicar la respuesta en frecuencia del sistema con el comportamiento frecuencial de una señal, se obtendrá el comportamiento frecuencial de la señal de salida. La expresión para la transformada de Fourier es la siguiente:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad (42)$$

Si se tiene el comportamiento frecuencial de una señal, la misma puede recuperarse con una expresión similar:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) \cdot e^{j2\pi ft} df \quad (43)$$

Como ejemplo, se determina la transformada de Fourier del pulso cuadrado de la figura 17. Los valores de amplitud (A) y duración (τ) se dejan expresados:

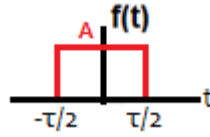


Figura 17: Pulso cuadrado
Fuente: Elaboración propia.

La función solo está definida entre $-\tau/2$ y $\tau/2$, intervalo para el que toma un valor de A, por lo que la expresión para la transformada de Fourier queda de la siguiente forma:

$$X(f) = \int_{-\tau/2}^{\tau/2} A \cdot e^{-j2\pi ft} dt = \frac{A}{-2j\pi f} \left[e^{-j\pi f\tau} - e^{j\pi f\tau} \right] \quad (44)$$

Simplificando esta expresión queda:

$$\frac{A}{-2j\pi f} [-\sin \pi f\tau] \cdot 2j = A\tau \cdot \text{Sinc}(f\tau) \quad (45)$$

El espectro bilateral en magnitud y fase para la señal $X(f)$ se muestra en la figura 18; un valor de fase de π o $-\pi$ representa valores negativos en la función, los mismos aparecen en el espectro de fase en las zonas donde el Sinc es negativo; en el espectro se debe alternar entre π y $-\pi$ ya que la fase de la transformada de Fourier es una función impar.

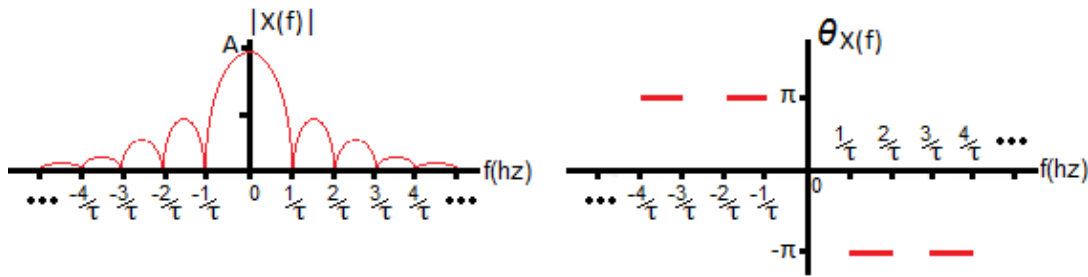


Figura 18: Espectro Bilateral en Magnitud (derecha) y en Fase (izquierda)
Fuente: Elaboración propia.

II.3.5.1.-Propiedades de la Transformada de Fourier

Linealidad: la Transformada de Fourier cumple con los principios de superposición y multiplicación por constante; si $X_1(f)$ es la transformada de $x_1(t)$ y $X_2(f)$ es la transformada de $x_2(t)$ se cumple que:

$$\alpha \cdot x_1(t) + \beta \cdot x_2(t) \xrightarrow{F} \alpha \cdot X_1(f) + \beta \cdot X_2(f) \quad (46)$$

Traslación en tiempo: si $X(f)$ es la transformada de $x(t)$ se cumple que:

$$x(t - t_0) \xrightarrow{F} X(f) \cdot e^{-j2\pi f \cdot t_0} \quad (47)$$

Traslación en frecuencia: si $X(f)$ es la transformada de $x(t)$ se cumple que:

$$x(t) \cdot e^{j2\pi f_0 \cdot t} \xrightarrow{F} X(f - f_0) \quad (48)$$

Esta propiedad se conoce como Teorema de Modulación; en aplicaciones reales, la señal en tiempo se multiplica por la señal senoidal $\cos(2\pi f_0 t)$, la cual es representada por medio de exponenciales, quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$x(t) \cdot \left[\frac{e^{j2\pi f_0 \cdot t} + e^{-j2\pi f_0 \cdot t}}{2} \right] \xrightarrow{F} \frac{1}{2} [X(f - f_0) + X(f + f_0)] \quad (49)$$

Cambio de escala: si $X(f)$ es la transformada de $x(t)$ se cumple que:

$$x(\alpha t) \xrightarrow{F} \frac{1}{|\alpha|} X(f / \alpha) \quad (50)$$

Teorema de Rayleigh: si $X(f)$ es la transformada de $x(t)$ se cumple que:

$$Energía = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df \quad (51)$$

Se cuenta también la propiedad de la Transformada de Fourier de la Convolución presente en la ecuación 34.

II.3.5.2.-Transformada Discreta de Fourier

La Transformada de Fourier aplica también para señales discretas, con la condición de que las mismas tengan una duración finita. La expresión para la Transformada Discreta de Fourier de una señal discreta $x[n]$ de longitud N es la siguiente:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N} kn} \quad (52)$$

II.3.6.-Procesos Aleatorios

Un Proceso Aleatorio se define como el conjunto de señales provenientes de realizar un determinado experimento o de un evento de la naturaleza. La naturaleza aleatoria del experimento proviene del desconocimiento de cuál de las señales se obtendrá al realizar el experimento. Para caracterizar los Procesos Aleatorios se definen diversas variables aleatorias como la secuencia de valores de las diversas señales evaluadas en tiempos específicos. Así se puede hablar de $x(t_1)$, $x(t_2)$, etc. Procesos Aleatorios pueden ser continuos o discretos. Los casos especiales para Procesos Aleatorios mayormente utilizados en el ámbito de las comunicaciones son los *Procesos Estacionarios* y los *Procesos Ergódicos*.

II.3.6.1.-Función de Densidad de Probabilidades

La Función de Densidad de Probabilidades es una función que, al integrarse entre un límite inferior (L1) y un límite superior (L2), indica la probabilidad de que la variable aleatoria tome valores entre L1 y L2; el área total definida por la función de densidad de probabilidades es igual a 1. Existen varios tipos de distribución, como uniforme, gaussiana, exponencial, entre otras. La figura 19 muestra la función de densidad de probabilidades para una distribución gaussiana y una distribución uniforme respectivamente, el área pintada en azul claro representa el valor de la probabilidad de que la variable tome valores entre L1 y L2:

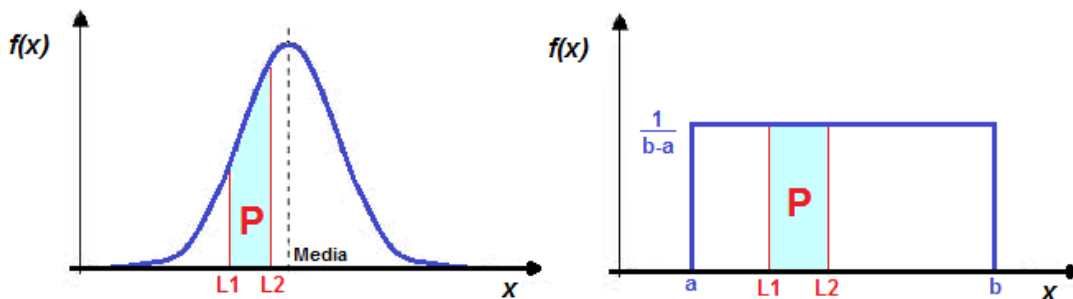


Figura 19: Función de Densidad de Probabilidades Gaussiana y Uniforme
Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la ecuación 10, la función de densidad de probabilidades para la variable θ es uniforme y está definida entre 0 y 2π . El concepto de función de densidad de probabilidades puede generalizarse a más de una variable, convirtiéndose en una función n-dimensional denominada Función de Densidad de Probabilidades Conjunta.

II.3.6.2.-Procesos Estacionarios

Si la función de densidad de probabilidades aplicada a una señal aleatoria en cierto instante es igual si la misma se desplaza cualquier valor de tiempo, se dice que representa un proceso estacionario de primer orden, resumiendo:

$$fdp(x(t)) = fdp(x(t + \tau)) \quad (53)$$

Tomándose en cuenta dos variables aleatorias de un mismo proceso: $x(t_1)$ y $x(t_2)$, si la función de densidad de probabilidades conjunta aplicada a ambas variables aleatorias es igual para un desplazamiento de tiempo cualquiera, se dice que el proceso es estacionario de segundo orden:

$$f_{dp}(x_1(t), x_2(t)) = f_{dp}(x_1(t + \tau), x_2(t + \tau)) \quad (54)$$

En general, se dice que un proceso es estacionario de orden N si se cumple que:

$$f_{dp}(x_1(t), x_2(t) \dots x_N(t)) = f_{dp}(x_1(t + \tau), x_2(t + \tau) \dots x_N(t + \tau)) \quad (55)$$

Cualquier proceso estacionario de cierto orden, será estacionario en órdenes inferiores.

II.3.6.3.-Procesos Ergódicos

Un proceso aleatorio es ergódico respecto al primer momento si el promedio estadístico (o valor esperado $E[x(t)]$) y el promedio temporal ($\langle x(t) \rangle$) coinciden; resumiendo:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x(t) f_{dp}(x(t)) dx(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_T x(t) d(t) \quad (56)$$

Generalizando, se define la ergodicidad en orden N:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^N(t) f_{dp}(x(t)) dx(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_T x^N(t) d(t) \quad (57)$$

Cualquier proceso ergódico de cierto orden, es estacionario en ese mismo orden, además será ergódico en órdenes inferiores. Para procesos ergódicos de segundo orden se cumple que:

- El nivel DC de la señal es igual al 1er momento: $\langle x(t) \rangle = E[x(t)]$
- La potencia promedio total de la señal es igual al 2do momento: $\langle x^2(t) \rangle$

- La potencia AC de la señal se conoce como varianza: $\langle x^2(t) \rangle - \langle x(t) \rangle^2$

II.3.6.4.-Autocorrelación

La Autocorrelación es una función que indica la relación que tiene el valor que toma una señal en un momento específico con sus vecinos temporales. El concepto de Autocorrelación se aplica para señales determinísticas y aleatorias aunque para estas últimas es una herramienta insustituible si el Proceso es Ergódico; la expresión para la misma corresponde con el valor esperado de la multiplicación de la señal en un tiempo t_1 por la misma señal en un tiempo t_2 :

$$\mathfrak{R}_x(\tau) = E[x(t_1)x(t_2)] = E[x(t)x(t + \tau)] \quad (58)$$

La variable τ de la función de autocorrelación hace referencia a la diferencia entre los instantes de tiempo involucrados t_1 y t_2 . Si el proceso es ergódico, puede sustituirse la expresión para el valor esperado por la expresión para el promedio temporal como indica la ecuación 56, quedando así una expresión determinística:

$$\mathfrak{R}_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_T x(t)x(t - \tau)dt \quad (59)$$

II.3.6.5.-Densidad Espectral de Potencia (DEP):

La DEP de una señal indica cómo está distribuida la potencia de la señal en función de la frecuencia. Para Procesos Ergódicos corresponde con la Transformada de Fourier de la función de autocorrelación y su área coincide con la potencia promedio total de la señal, y coincide a su vez la autocorrelación en $\tau=0$.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

A continuación se describe la metodología seguida para la elaboración del presente Trabajo de Grado, la cual hace referencia a los objetivos cumplidos y al orden en el cual se llevaron a cabo, se muestra también en la figura 20 un diagrama de flujo que expone el orden general de la realización de las actividades:

III.1 ETAPA DE INVESTIGACIÓN

Se procedió a investigar y a familiarizarse con todos los elementos que formarán parte del proyecto: los temas de Señales y Sistemas a cubrir, las herramientas de software a utilizar, los aspectos relacionados con el Proceso de Enseñanza- Aprendizaje y el sitio web donde se colocó el material.

Fue necesario investigar también acerca del impacto motivacional que el proyecto puede tener sobre alumnos que inicien la carrera.

III.2 ETAPA DE SELECCIÓN

En esta etapa se procedió a recopilar proyectos existentes de Señales y Sistemas, para luego seleccionar cuáles de ellos debían ser actualizados y puestos en funcionamiento. En esta etapa también se clasificaron los proyectos de acuerdo al tipo de aplicación que representan. En los casos en que existían diferentes versiones de un determinado proyecto se escogieron las que tenían un mayor alcance.

III.3 ETAPA DE EJECUCIONES I

Para la primera fase del trabajo de grado (TEG1) se procedió a corregir y actualizar una pequeña muestra de los proyectos en MATLAB, se crearon también las versiones de éstos en LABVIEW para finalmente publicarlos en el sitio web seleccionado. Sólo un proyecto fue publicado en esta fase.

III.4 ETAPA DE EJECUCIONES II

En esta etapa (perteneciente a la segunda fase del Trabajo de Grado), se elaboraron y corrigieron el resto de los proyectos seleccionados; además se procedió a preparar todos los programas realizados para publicarlos en la web, junto con sus tutoriales e instructivos de uso.

III.5 ETAPA DE CULMINACIÓN

En la etapa de culminación se procedió a realizar el informe del Trabajo Especial de Grado y una versión electrónica con cada uno de los materiales de apoyo hechos para cada proyecto que incluye tutoriales y guía de uso.

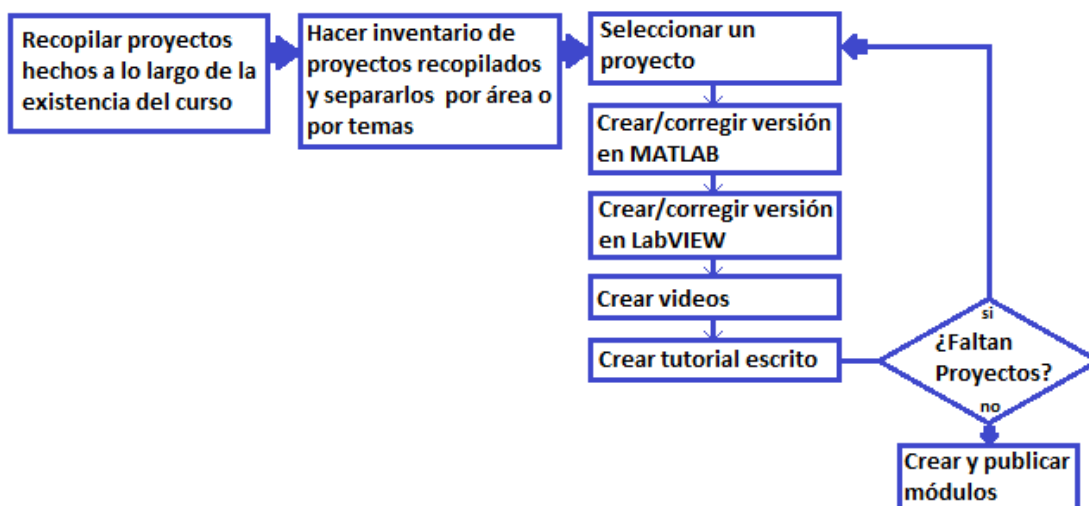


Figura 20: Diagrama de flujo de la metodología
Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

DESARROLLO

La explicación acerca del desarrollo del Trabajo de Grado se divide en las dos fases conocidas como Trabajo Especial de Grado I y Trabajo Especial de Grado II, la primera comprendida entre octubre de 2010 y febrero de 2011, y la segunda comprendida entre febrero de 2011 hasta la fecha de entrega final.

IV.1 TRABAJO ESPECIAL DE GRADO I

La Primera Etapa es, como su nombre lo indica, la iniciación en el Trabajo de Grado; de esta etapa se obtuvo la información conceptual necesaria para enmarcar el proyecto en las teorías del proceso de aprendizaje antes referidas y para comenzar a desarrollar las aplicaciones, se obtuvo también la práctica en el manejo de las herramientas de simulación MATLAB y LabVIEW. La práctica en el uso de los simuladores, principalmente en el uso de MATLAB, se adquirió por medio de la revisión de los trabajos y proyectos realizados durante la sección práctica de la cátedra de Señales y Sistemas I, conocida ahora como Señales y Sistemas Continuos. La Etapa de Investigación se llevó a cabo entre los meses de Octubre y Noviembre de 2010.

En la Segunda Etapa (Etapa de Selección) se procedió a reunir todos los archivos que contienen los enunciados de los proyectos que se han realizado a lo largo de la existencia de la asignatura de Señales y Sistemas Continuos (Señales y Sistemas I anteriormente), se lograron conseguir archivos de enunciados con fechas desde Octubre de 2004 hasta fechas recientes. Se logró recopilar también algunos de los proyectos presentes en los enunciados llevados a cabo en el programa de simulación correspondiente. El recopilatorio fue llevado a cabo con la ayuda de la profesora Trina Adrián, quién contaba con el material en cuestión.

Hecho el recopilatorio de enunciados y proyectos, se procedió a hacer una lista separada por fechas, que contenía el título de todos los proyectos asignados, en la que se indica al lado de cada uno si se cuenta con el programa hecho en el simulador correspondiente, dicha lista está presente en el Anexo A. Luego de esto, se procedió a separar cada título por subconjuntos de temas de Señales y Sistemas, eliminando enunciados repetidos o parecidos, y combinando enunciados de poca complejidad y de cierta semejanza entre sí. Esta nueva lista fue filtrada haciendo selección de aquellos proyectos con mayor relevancia para los fines del presente Trabajo de Grado. Aquellos programas ya simulados cuyo título no haya sido seleccionado vendrán siendo utilizados en la corrección o realización de los proyectos presentes en la lista. Cabe destacar que la lista de proyectos a realizar estuvo sujeta a cambio, es decir, enunciados de proyectos no seleccionados previamente fueron agregados y proyectos previamente seleccionados fueron fusionados con otros, la lista definitiva de proyectos a realizar se incluye más adelante.

La Etapa de Ejecuciones I fue pautada para ser completada en el mes de Febrero de 2011. En esta etapa se seleccionó uno de los subconjuntos de proyectos y se corrigió y actualizó cada uno de los proyectos miembros del mismo. El subconjunto seleccionado contiene tres programas, de los cuales se completó en la fecha pautada la versión en MATLAB y la versión en LabVIEW, además de algunos de los videos explicativos; se escogió luego una de las aplicaciones concretadas y se publicó en la red. En esta aplicación se incluye la versión en MATLAB del proyecto y su video además del tutorial acerca del tema central de la aplicación (Modulación DSB en Cuadratura). El acceso a esta aplicación puede hacerse por medio del siguiente vínculo: <http://cnx.org/content/m36768/1.1/>; la única forma de tener acceso a esta aplicación es por medio del vínculo, ya que ingresando a cnx.org y buscándola de manera tradicional, sólo aparecerá la versión de este módulo que ya incluye la versión en LabVIEW del proyecto, la cual fue colocada en la red en septiembre junto con todos los demás. Previo a esto se adquirieron los conocimientos necesarios para la publicación de módulos en cnx.org por medio de un tutorial encontrado

precisamente en un módulo de esta página, al cual puede accederse por medio del siguiente vínculo <http://cnx.org/content/m12660/latest/>

IV.2 TRABAJO ESPECIAL DE GRADO II

Durante la Etapa de Ejecuciones II se continuó con la elaboración del resto de los proyectos seleccionados, además se continuó completando cada uno de los proyectos ya realizados en la Etapa de Ejecuciones I, y se realizaron los videos explicativos necesarios. A continuación se describirá la estructura general del código fuente de cada proyecto elaborado en MATLAB; seguido de esto, se explica la estructura general del diagrama de bloques de los proyectos elaborados en LabVIEW; también se define el mecanismo para crear y editar los videos explicativos para cada programa, y por último, se describen los pasos seguidos para la publicación de material en cnx.org.

IV.2.1.-Estructura general de proyectos en MATLAB

El código fuente de cualquier programa complejo hecho en MATLAB, en especial aquellos que hacen uso de *GUIs*, está dividido en bloques de instrucciones conocidos como Funciones. Para explicar generalizadamente la estructura del código fuente de los programas realizados en MATLAB, se exponen las funciones más importantes que además son comunes entre cada proyecto realizado. El único proyecto de los que funcionan con MATLAB que no entra en la siguiente clasificación es el de “Ortogonalización Gram-Schmidt” el cual realmente fue realizado en LabVIEW pero haciendo uso únicamente de lenguaje MATLAB por medio de “MATLAB Script”, una función de LabVIEW explicada más adelante.

IV.2.1.1.-Función *OpeningFCN*

Es una función que se ejecuta apenas se corre el programa; en la misma se carga y se muestra en alguna de las gráficas una imagen que identifique a la institución, por ejemplo, el escudo de la UCAB o el sello de la Escuela de Telecomunicaciones. Algunos de los programas inicializan sus variables y cargan

archivos dentro de esta función. En esta función se asegura también que el usuario no realice acciones “no permitidas”, por ejemplo, en el programa “Compresión de voz por medio de Transformadas”, el botón “Reproducir Recuperada” se desactiva al principio al no haber aún una señal recuperada que reproducir porque no se ha procesado la señal por primera vez, como se muestra en la figura 21.

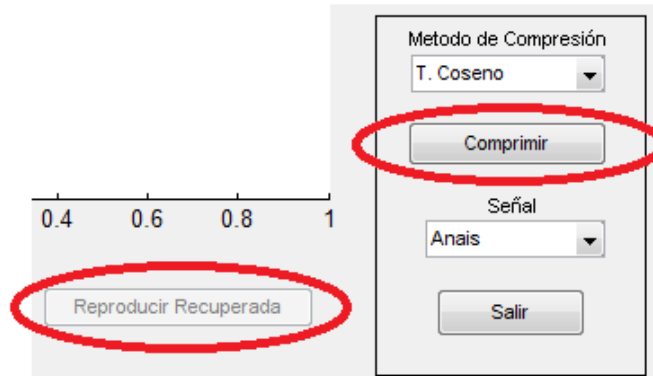


Figura 21: Botón de Reproducir inicialmente desactivado
Fuente: Elaboración propia.

Una vez se haga clic en “Comprimir”, ya habrá una señal recuperada por lo que se activa el botón “Reproducir Recuperada”.

Esta función, para todos los casos, recibe el nombre del archivo .m del proyecto seguido de “_OpeningFCN”, por ejemplo, si el archivo se llama “Generador.m”, la función se llamará “Generador_OpeningFcn”.

En la función *OpeningFCN* de los programas con múltiples aplicaciones como lo son el de “Aplicaciones de la Transformada Ondícula”, “Compresión de voz por medio de Transformadas” y “Ecuilizador y Sintetizador Musical” se llama a la *Función Selectora* explicada más adelante.

IV.2.1.2.-Función de Procesamiento y Operaciones

Esta función es la encargada de realizar las operaciones características del programa, por ejemplo, en el programa de “Filtraje Óptimo”, esta función se encarga de generar (o cargar) la señal original, contaminarla con ruido y luego filtrarla; esta función también muestra las gráficas de las señales en diversas etapas del sistema,

además se muestran indicadores como Potencia, Relación Señal a Ruido, Tasa de Compresión, entre otras, según el tópico del programa; dentro de esta función, el programa también lee los valores y opciones elegidos por el usuario por medio de los controles en la GUI. Si la función se ha ejecutado exitosamente, se activan los controles previamente desactivados en la función *OpeningFCN*.

Esta función para casi todos los programas es de tipo *callback*. Una función de este tipo representa la acción o movimiento del elemento de la GUI al que corresponde; el elemento encargado de activar la Función de Procesamiento y Operaciones es de tipo *push button* y tiene un nombre alusivo a la acción que realiza, por ejemplo “Comprimir”, el cual se muestra en la figura 21, otros nombres utilizados fueron “Ecualizar”, “Analizar”, “Generar”, “Transmitir”, entre otros; el *tag* para estos botones lleva un nombre similar al del botón.

Esta función recibe el nombre del *tag* del botón seguido de “_Callback”, por ejemplo, la función se llamará “ecualizar_Callback” si el tag del botón es “ecualizar”. Para el único proyecto en el que la Función de Procesamiento y Operaciones no es de tipo *callback* es el “Receptor Superheterodino”, para el cual esta función es una función normal con el nombre de “Sintonizar”, la cual es llamada dentro de la función de callback de cada botón que la emplea, los cuales se muestran en la figura 22:

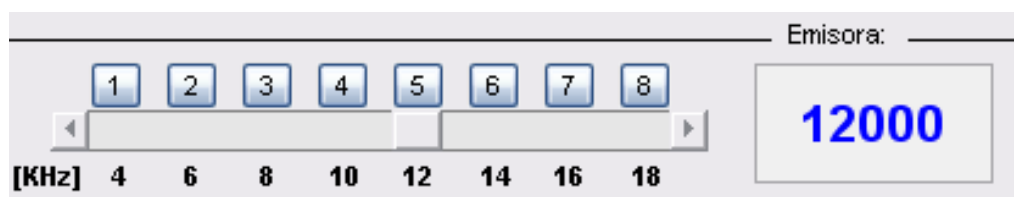


Figura 22: Botones que invocan a Función de Procesamiento y Operaciones
Fuente: Elaboración propia.

Para el proyecto de “Sistema AM-DSB-SSB con Repetidoras y Caracterización del Ruido” existen varias funciones de procesamiento cada una con su respectivo botón, esto ocurre ya que este programa muestra el proceso etapa por etapa; en cada función se activan y desactivan los controles necesarios para evitar

errores, como se explicó anteriormente. Los botones para este proyecto se muestran en la figura 23:



Figura 23: Varias Funciones de Procesamiento y Operaciones
Fuente: Elaboración propia.

IV.2.1.3.-Función Selectora

Esta función está presente en los programas con múltiples aplicaciones como “Aplicaciones de la Transformada Ondícula”, “Compresión de voz por medio de Transformadas” y “Ecuilizador y Sintetizador Musical”; la misma se encarga de hacer visibles los controles y gráficas correspondientes a la aplicación seleccionada, y de hacer invisibles los elementos correspondientes a las demás aplicaciones. Esta función corresponde con la función de callback de un elemento de tipo *pop-up menu*, cuyo tag para cada caso fue “menuPrincipal”, dando a la función el nombre de “menuPrincipal_Callback”. Este menú tiene un aspecto como el mostrado en la figura 24, también puede ser observado en la figura 21 bajo el título de “método de compresión”.

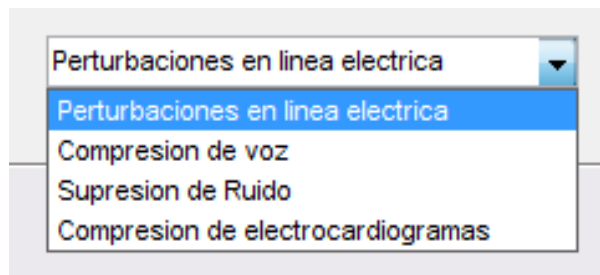


Figura 24: Menú para selección de aplicación
Fuente: Elaboración propia.

Seleccionándose la primera opción, la GUI tendrá un aspecto como el siguiente:

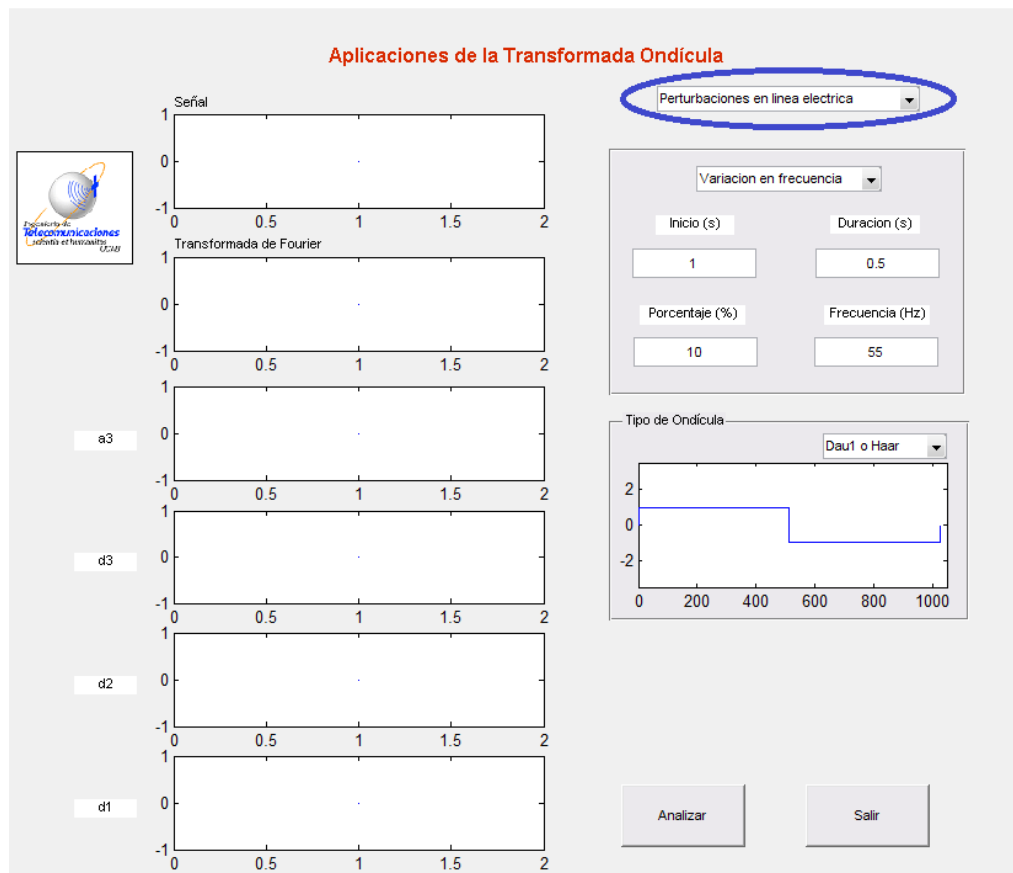


Figura 25: Aspecto de la GUI para la primera opción
Fuente: Elaboración propia.

Si se selecciona otra opción, se ocultan los controles y gráficas correspondientes con la aplicación previa y se mostrarán los elementos de la aplicación seleccionada:

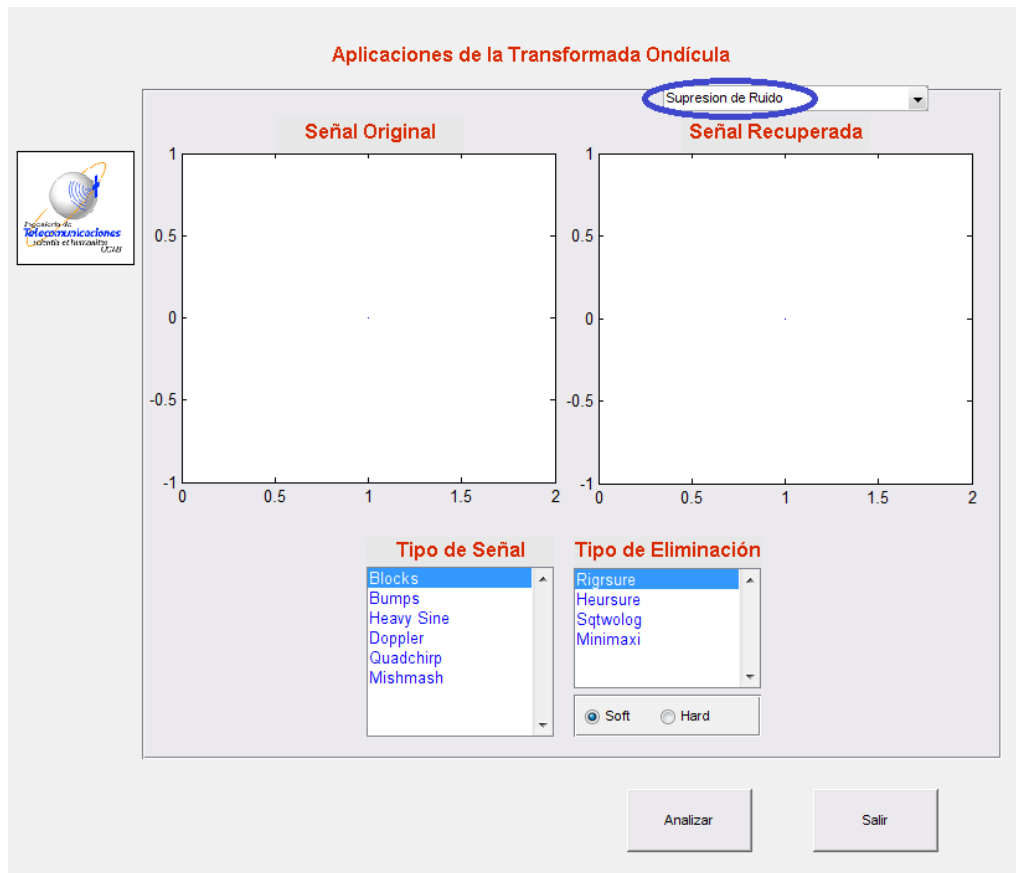


Figura 26: Aspecto de la GUI para la cuarta opción
Fuente: Elaboración propia.

Como fue mencionado antes, esta función se llama dentro de la función OpeningFCN de los programas que la aplican, esto se hace para que la GUI aparezca por primera vez mostrando sólo los elementos de una aplicación:

```

46  function Ondiculas_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
47  -   menuPrincipal_Callback(hObject, eventdata, handles) ←
48  -   tinodeondicula_Callback(hObject, eventdata, handles)
    
```

Figura 27: Función Selectora invocada desde Función OpeningFCN
Fuente: Elaboración propia.

IV.2.2.-Estructura general de proyectos en LabVIEW

Para explicar la estructura del diagrama de bloques de los programas realizados en LabVIEW de una forma generalizada, se hace una separación en conjuntos de bloques, los cuales ejecutan una función específica cuyo resultado es empleado por el conjunto siguiente.

IV.2.2.1.-Conjunto de Inicialización

El mismo es empleado sólo en los programas de “Filtraje Óptimo” y de “Generación de Funciones y Operaciones Variadas”, tiene una estructura como la mostrada en la figura 28:

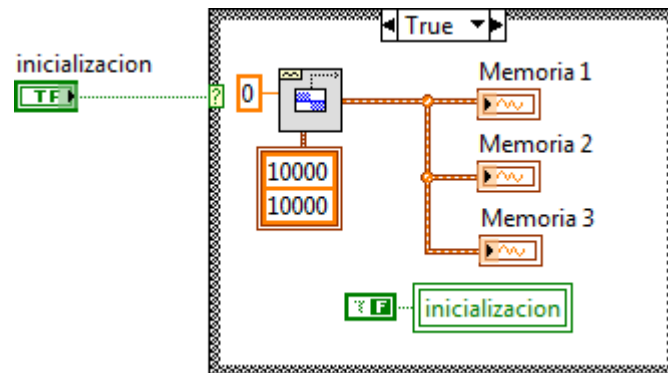


Figura 28: Inicialización en programa “Generación de Funciones y Operaciones Variadas”
Fuente: Elaboración propia.

El conjunto consta de un control booleano denominado “inicialización” el cual tiene *true* o verdadero como valor por defecto, lo que significa que tendrá dicho valor cada vez que el programa sea abierto. Para evitar que el valor de este control booleano sea modificado por el usuario, el mismo es escondido del panel de control como se indica en la figura 29:

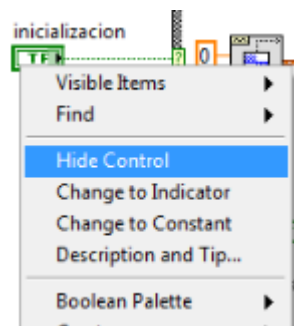


Figura 29: Ocultando el control “inicialización”
Fuente: Elaboración propia.

Una vez se ejecutan las funciones dentro del *case*, se le asigna un valor de *false* al control booleano, por lo cual dichas funciones no volverán a ejecutarse hasta que el programa se cierre y se vuelva a abrir. Nótese que el conjunto de inicialización no está directamente conectado con ninguna otra parte del diagrama de

bloques; si se desea que el mismo funcione correctamente debe ser incluido en la primera secuencia de una *stacked sequence structure*, en cuyas secuencias posteriores se agregará el resto del diagrama de bloques, esto con el fin de que la inicialización se ejecute primero que el resto del programa.

Para el caso específico del conjunto de inicialización mostrado en la figura 28, los elementos denominados “memoria 1”, “memoria 2” y “memoria 3” son de tipo *Waveform(DBL)*, es decir, un vector de números reales que incluye información de muestreo; a estos elementos se les asigna una secuencia de ceros con la información de muestreo vista en la figura, la cual corresponde con la información de muestreo con la que trabaja el resto del programa. Esta inicialización es de suma importancia ya que como se muestra en la figura 30, más adelante en el programa se opera con variables locales que apuntan a estos tres elementos, y si los mismos no poseen información alguna el programa se detendrá indicando un error.

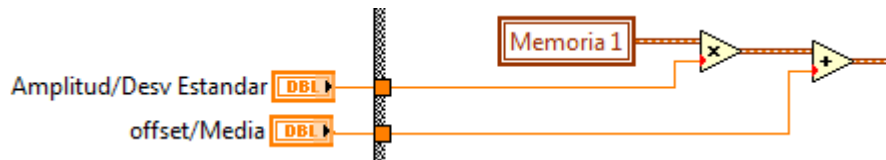


Figura 30: Empleo de variable inicializada
Fuente: Elaboración propia.

IV.2.2.2.-Conjunto para lectura de archivos

Este conjunto se emplea en los programas que operan con archivos de audio o señales electrocardiográficas, siendo los primeros los más comunes. El objetivo de este conjunto es el de hacer automática la apertura del archivo y trabaja de la siguiente forma: el elemento indicado con el número 1 en la figura 31 retorna la ruta del VI que se está ejecutando y el elemento número 2 lo transforma en cadena de caracteres; la ruta del VI incluye el nombre de las carpetas contenedoras y el nombre del VI (SistemaAM.vi en este caso); este último se sustituye por el nombre del archivo que desea abrirse (8.wav) por medio del elemento número 3, por lo que a la salida del elemento número 4 se tendrá la ruta del archivo que desea abrirse (el elemento número 4 cambia de cadena de caracteres a ruta); el elemento 5 es un subVI

que recibe la ruta de un archivo de audio y devuelve un vector con la señal de audio y su respectiva información de muestreo, devuelve además un valor booleano que tendrá un valor de *false* si el archivo se procesó correctamente, y un valor de *true* en caso contrario; como se indica en la parte inferior de la figura, el archivo no se procesará correctamente si no se encuentra en la misma carpeta que el VI o si la ruta del mismo no es correcta, lo cual sucederá si el nombre del VI o el nombre del archivo no coinciden con los colocados en el diagrama de bloques; como puede observarse, de no procesarse el archivo, el usuario será informado con un cuadro de diálogo y se detendrá la simulación:

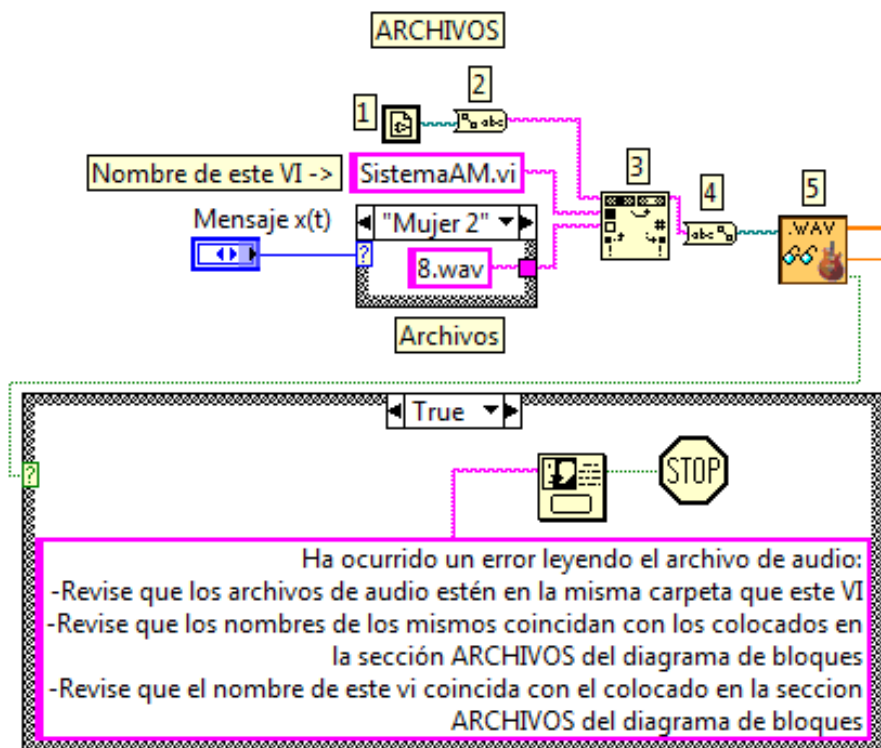


Figura 31: Conjunto para lectura de archivos
Fuente: Elaboración propia.

Para los programas que trabajan con señales electrocardiográficas el diagrama es muy similar, con la diferencia que el elemento número 5 es un subVI que se encarga de extraer la información de archivos de tipo .dat y transformarla en un vector. Los programas que emplean este conjunto son: Sistema AM-DSB-SSB con Repetidoras y Caracterización del Ruido, Receptor Superheterodino, Ecualizador y

Sintetizador Musical, Compresión de Voz por Medio de Diversas Transformadas, Modulación DSB en Cuadratura, Aplicaciones de la Transformada Ondícula y Filtrado Óptimo, este último sólo lo emplea para la sección de Filtrado de Señales Electrocardiográficas; en programas como el de Modulación DSB en Cuadratura o el Receptor Superheterodino se emplea más de un conjunto de apertura ya que al sistema entra más de una señal como se muestra en la figura 32:

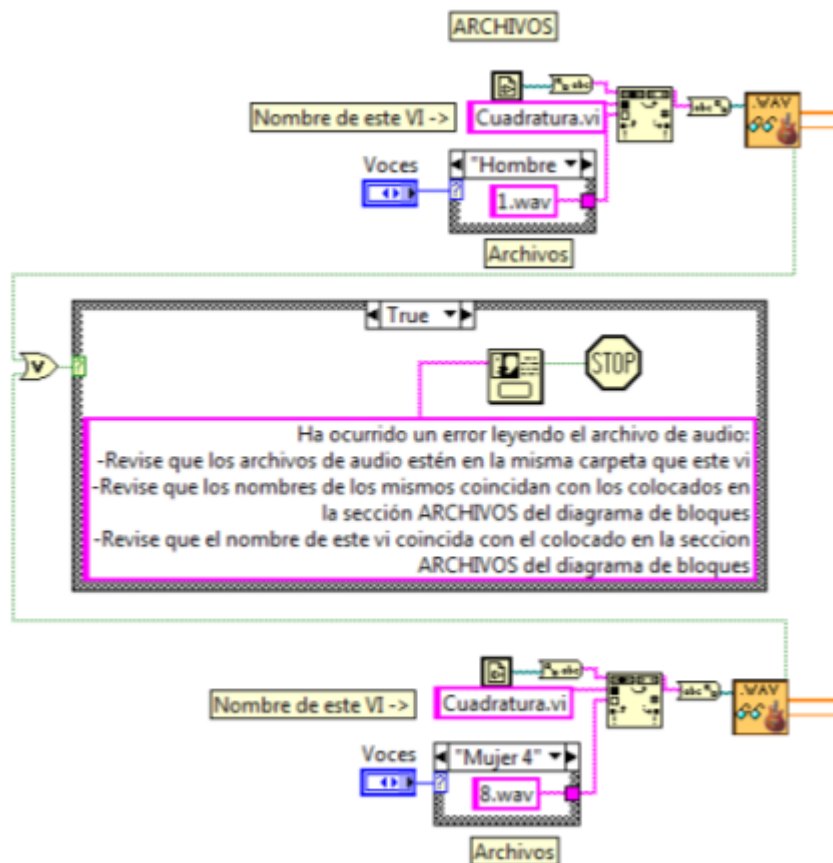


Figura 32: Empleo de más de un conjunto para lectura de archivos
Fuente: Elaboración propia.

Los programas que no emplean este conjunto generan las señales a utilizar o procesar de forma interna, por ejemplo, el programa de Filtrado Óptimo en la sección de Detección de Bits emplea el conjunto mostrado en la figura 33 para generar la señal que se contamina con ruido y luego se filtra:

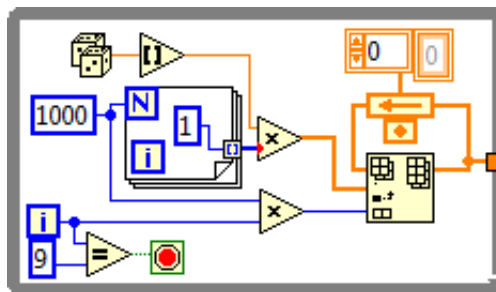


Figura 33: Generación de señal a procesar para aplicación que no lee archivos
Fuente: Elaboración propia.

La salida de este conjunto es la entrada al conjunto siguiente, la misma generalmente se muestra por medio de un indicador o una gráfica en el panel frontal con un título como “Señal de entrada”, “Señal original” o similar; si se trata de una señal de audio, la misma es pasada por un reproductor de sonido manejado por un control booleano con un nombre como “Reproducir entrada” o similar.

IV.2.2.3.-Conjunto de Procesamiento y Operaciones

Este conjunto de bloques es el que realiza las operaciones características del programa, por ejemplo, en los programas del subconjunto de modulaciones, la señal es modulada, pasada por el canal y recuperada por medio de este conjunto; tiene como entradas la mayoría de los controles manejados desde el panel frontal además de la señal proveniente del conjunto anterior, y tiene como salida la señal pasada por el sistema; suelen incluirse gráficas e indicadores que muestran la señal y/o sus características en ciertas etapas del conjunto, además se incluyen reproductores de sonido si el programa procesa señales auditivas. En la figura 34 se muestra un ejemplo de este conjunto, nótese los controles de entrada (“Fase 1”, “frecuencia”...), puede observarse también a la izquierda de la figura las dos señales de entrada identificadas con los números 1 y 2, nótese además las gráficas que muestran la señal en las diferentes etapas (“Señal+ Canal”, “Señal 2 out”...) y el reproductor de sonido situado a la derecha de la figura identificado con el número 3:

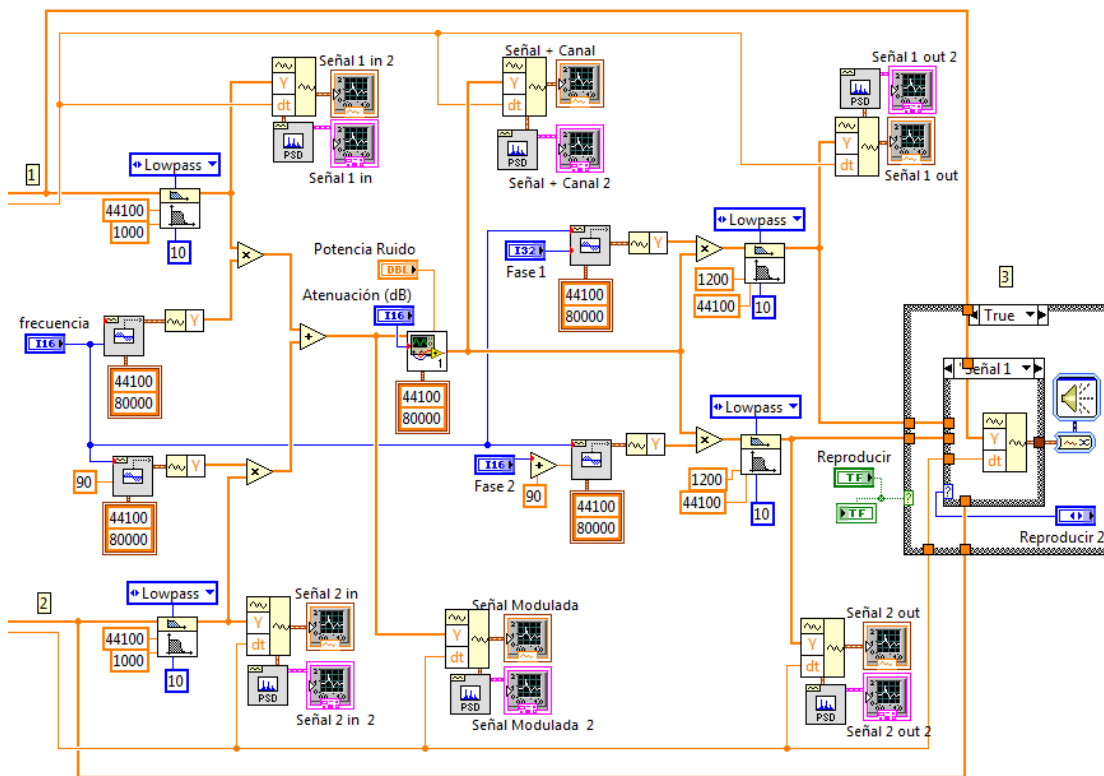


Figura 34: Conjunto de Procesamiento y Operaciones
Fuente: Elaboración propia.

IV.2.2.4.-Bloques MATLAB Script

La función “MATLAB Script” de LabVIEW consiste en un espacio con cualquier número de entradas y salidas en el que pueden agregarse instrucciones en lenguaje MATLAB. Para el funcionamiento de MATLAB Script se requiere que el software MATLAB versión 6.5 o superior esté instalado en el equipo donde se ejecuta el programa; su apariencia y comportamiento se pueden observar en la figura 35; en este caso las entradas serían off, A, W, D y la salida sería S.

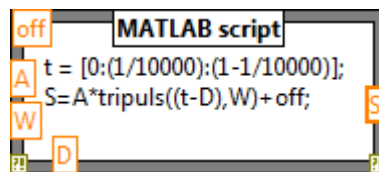


Figura 35: Bloque MATLAB Script
Fuente: Elaboración propia.

MATLAB Script se emplea en los programas “Aplicaciones de la Transformada Ondícula”, “Generador de Funciones y Operaciones Varias” y

“Compresión de Voz por Medio de Transformadas Diversas” en el uso de la transformada ondícula; normalmente es conveniente el uso de esta función en ocasiones en las que LabVIEW no tiene el alcance suficiente para realizar una operación, por ejemplo, el cálculo de la transformada ondícula. Hay dos programas llamados “Ortogonalización Gram-Schmidt” realizados en LabVIEW, aunque uno de ellos emplea únicamente MATLAB Script para su funcionamiento, por lo cual se considera la versión en MATLAB de este proyecto.

IV.2.3.-Elaboración de videos explicativos

Para la elaboración de los videos explicativos de cada programa se utilizó el software Debut Video Capture 1.49; la interfaz del mismo se muestra en la figura 36:

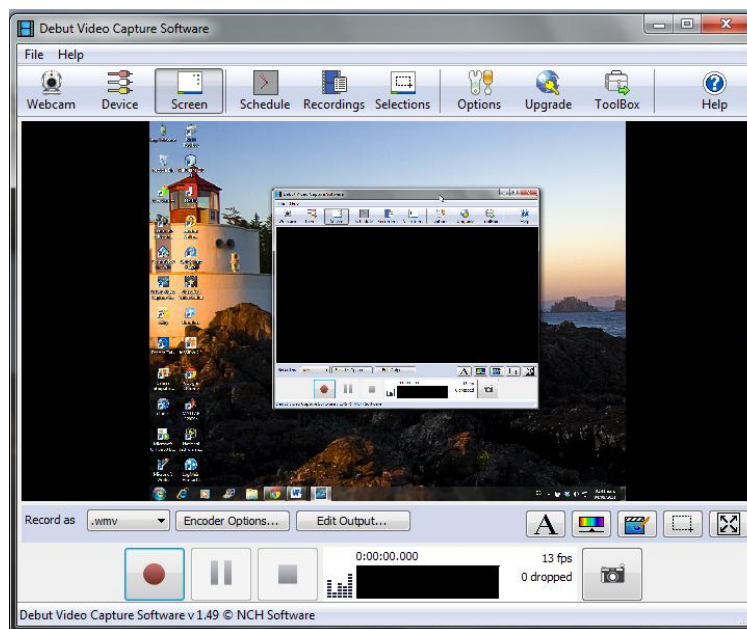


Figura 36: Interfaz del software Debut Video Capture
Fuente: Elaboración propia.

Cada video consiste en una captura continua de pantalla mientras el programa se encuentra en funcionamiento, el audio narrativo proviene del micrófono de la computadora y es capturado al mismo tiempo que se realiza la captura de pantalla. Lo primero que se realiza es reducir el área de captura por medio del botón mostrado en la figura 37:



Figura 37: Botón para seleccionar área de captura
Fuente: Elaboración propia.

Luego de elegida el área de captura, la cual corresponde con la interfaz del programa, se inicia la captura por medio del botón circular ubicado a la izquierda en la figura 38; una vez terminada la explicación del programa se detiene la captura por medio del botón cuadrado ubicado a la derecha:



Figura 38: Botones para grabar, pausar y detener
Fuente: Elaboración propia.

La grabación obtenida es editada por medio del software Windows Live Movie Maker, una herramienta bastante sencilla por medio de la cual se pueden recortar partes de la grabación y hacer otras modificaciones; el programa guarda la grabación editada como un video con resolución estándar para no ocupar tanto espacio en la memoria del PC.

En cada video se incluye una explicación detallada acerca del uso del programa y del efecto de cada control, además se realiza una o más pruebas, las cuales resultan sumamente útiles para comprender un poco más acerca del tema en el que se basa dicho programa.

IV.2.4.-Publicación de material electrónico

El material estará presente en la web por medio de la página cnx.org; cada tema individual está presente en *módulos*, y todos los módulos están agrupados en una sola *colección* denominada “Señales y Sistemas en MATLAB y LabVIEW”. Cada módulo incluye un tutorial acerca del tema central del mismo, un link de descarga para el programa realizado en MATLAB y uno para el realizado en LabVIEW, incluye un video explicativo para cada programa y por último incluye un

pequeño cuestionario de autoevaluación. Para poder publicar material en esta página hace falta crear una cuenta y luego acceder a ella. Una vez se accede a la cuenta aparece en pantalla el sitio “MyCNX Home”, en donde se hace clic en “Create a new module” como se indica en la figura 39:



Figura 39: Fragmento de MyCNX Home
Fuente: Elaboración propia.

Hecho esto, se leen y aceptan las normas para publicar material y se configura la *metadata* del módulo, en la que se incluye el nombre, idioma, categoría y descripción. Completados estos datos, ya puede comenzarse a editar el módulo como puede observarse en la figura 40; la forma más sencilla de construir el módulo es hacer previamente un documento en Microsoft Word con la información, ecuaciones y figuras del tutorial, y luego cargar este documento en el módulo por medio del botón “Import”.



Figura 40: Espacio para editar el módulo
Fuente: Elaboración propia.

Al importar el documento de Word, cnx reconoce automáticamente los títulos, párrafos, ecuaciones y figuras, quedando el módulo con un aspecto como el siguiente:

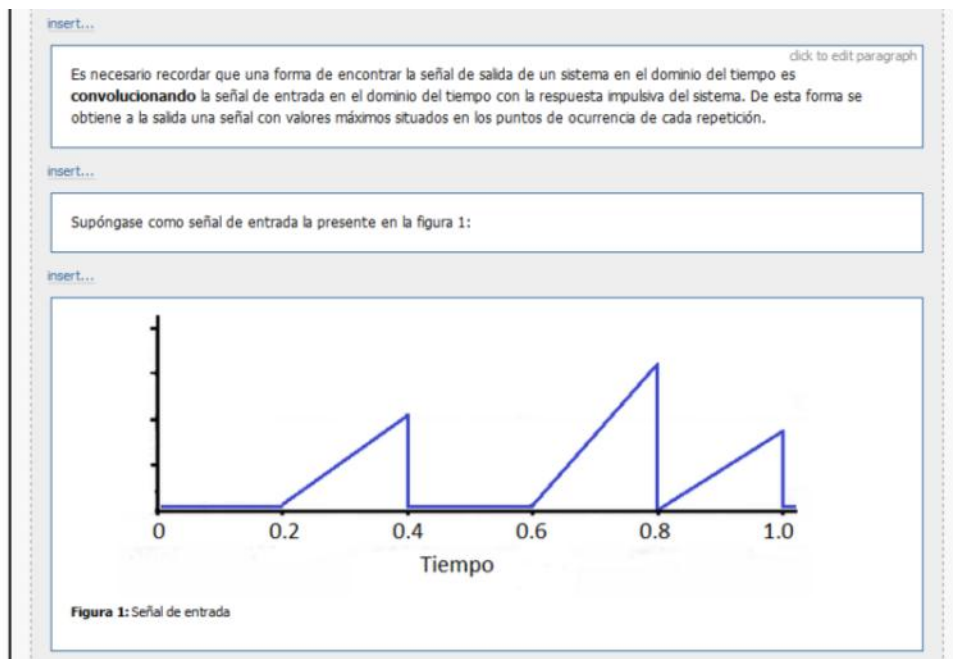


Figura 41: Aspecto del módulo luego de cargado el documento
Fuente: Elaboración propia.

La parte de autoevaluación se agrega en forma de “Ejercicio” una modalidad que incluye pregunta y respuesta, al publicarse el módulo, la respuesta queda escondida hasta que se haga clic en “SHOW SOLUTION”. El aspecto en edición de la autoevaluación se observa en la figura 42, y el aspecto luego de publicado se observa en la figura 43.

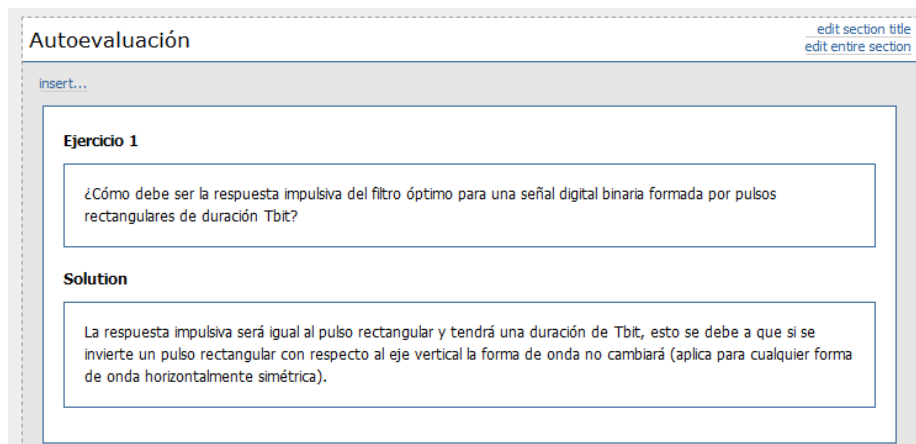


Figura 42: Aspecto de edición de autoevaluación
Fuente: Elaboración propia.

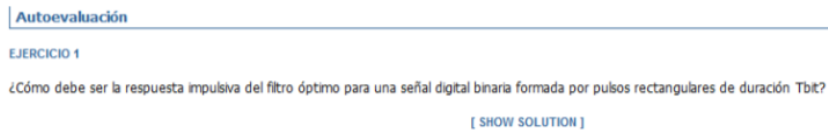


Figura 43: Aspecto definitivo de autoevaluación
Fuente: Elaboración propia.

Para agregar los videos, es necesario cargar previamente los mismos a youtube.com; para poder ver videos de YouTube en el módulo, debe agregarse el código indicado en el antes citado tutorial situado en cnx.org: <http://cnx.org/content/m12660/latest/#youtube>.

Los links de descarga de los programas se agregan por medio de la siguiente instrucción: `<link url="CarpetaContenedora.rar">TEXTO</link>`. Se supone que el programa fue cargado previamente en el módulo por medio de un archivo comprimido que para este ejemplo recibe el nombre de "CarpetaContenedora.rar".

Una vez completados y publicados todos los módulos, se creó una colección que los contiene a todos. Para crear una colección se hace clic en el botón "Create a new collection" apreciado en la figura 39. Al igual que en la creación de módulos se aceptan las normas y se introducen los datos de la colección, quedando la misma como se muestra en la figura 44, seguido de esto se hace clic en "Add modules" para seleccionar los módulos que deben formar parte de la colección.

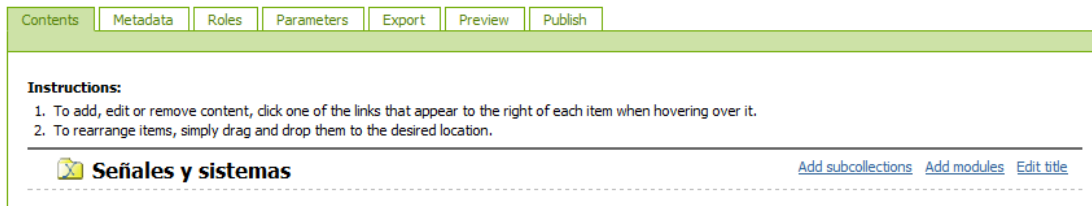


Figura 44: Colección sin editar
Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

RESULTADOS

Los resultados en este capítulo se exponen como el cumplimiento de los objetivos específicos, cada uno de ellos fue cumplido satisfactoriamente. El resultado para el primer objetivo es expuesto más adelante. El segundo objetivo expone lo siguiente: “Recopilar la mayoría de los proyectos propuestos anteriormente a alumnos que han cursado las asignaturas de Señales y Sistemas”. Como prueba del cumplimiento de este objetivo (sin el cual habría sido muy difícil el cumplimiento de cada uno de los objetivos siguientes), se realizó la lista separada por semestres de la cual se hace referencia anteriormente, y que está presente en el anexo A.

El tercer objetivo dice: “Elegir un subconjunto de proyectos que sea representativo de aplicaciones de Señales y Sistemas diversas: Generación, manipulación y procesamiento de señales reales y simuladas, paso de señales por sistemas lineales y no lineales, modulaciones analógicas y digitales, transformadas como Fourier, Hilbert, Coseno”. Los proyectos completados fueron los siguientes:

- “Sistema AM-DSB-SSB con Repetidoras y Caracterización del Ruido”
- “Receptor Superheterodino”
- “Modulación DSB en Cuadratura”
- “Generación de Funciones y Operaciones Variadas”
- “Ecuilizador y Sintetizador Musical”
- “Compresión de Voz por Medio de Diversas Transformadas”
- “Aplicaciones de la Transformada Ondícula”
- “Filtraje Óptimo”
- “Ortogonalización Gram-Schmidt”

El cuarto y el quinto objetivo son análogos; en el cuarto objetivo se expone lo siguiente: “Hacer las debidas modificaciones y ampliaciones a los programas elaborados sobre MATLAB, corregir sus deficiencias hasta lograr que funcionen en la versión más actualizada del software”; el quinto expone básicamente lo mismo pero basado en el software LabVIEW: “Crear un banco de proyectos similares a los que existen sobre MATLAB pero en LabVIEW. Para aquellos desarrollados originalmente sobre LabVIEW crear una versión en MATLAB”; la figura 45 muestra la interfaz original de un programa en MATLAB que fue corregido y ampliado resultando en el programa “Sistema AM-DSB-SSB con Repetidoras y Caracterización del Ruido”, de este programa se realizó también la versión en LabVIEW. En la figura 46 se muestra la interfaz del programa en MATLAB definitivo y en figura 47 se muestra la interfaz (panel frontal) de la versión en LabVIEW. Los nueve programas realizados, indicados en la lista anterior están disponibles en el apéndice A. En los módulos cuyos vínculos se agregan en el anexo C también pueden obtenerse los programas realizados.

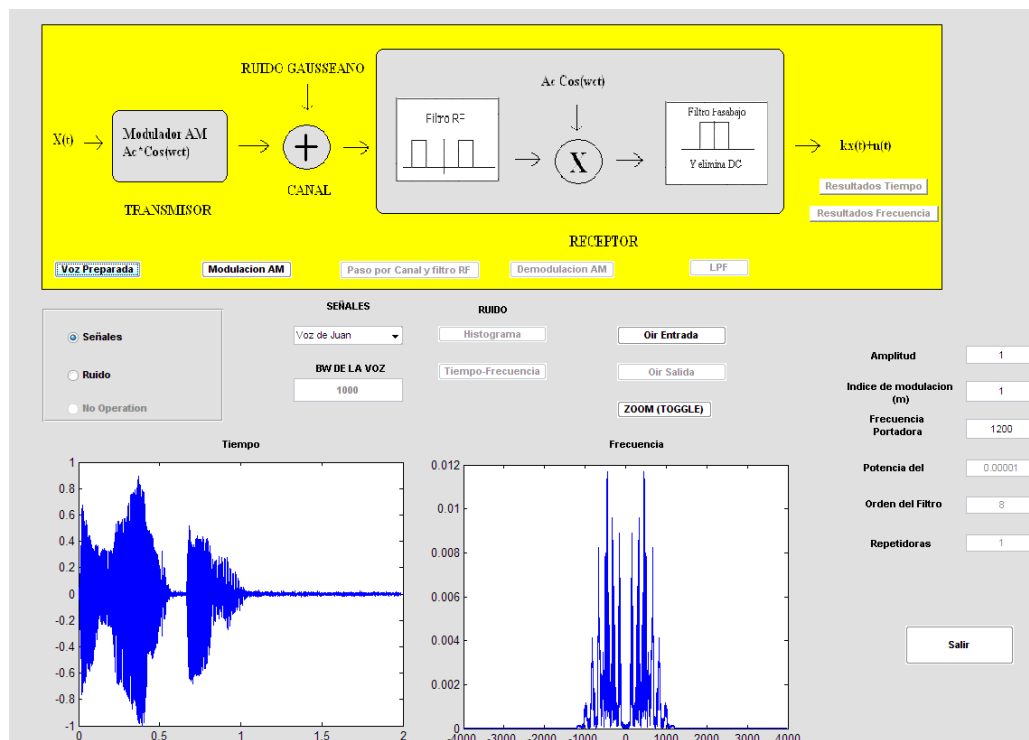


Figura 45: Interfaz original
Fuente: Elaboración propia.

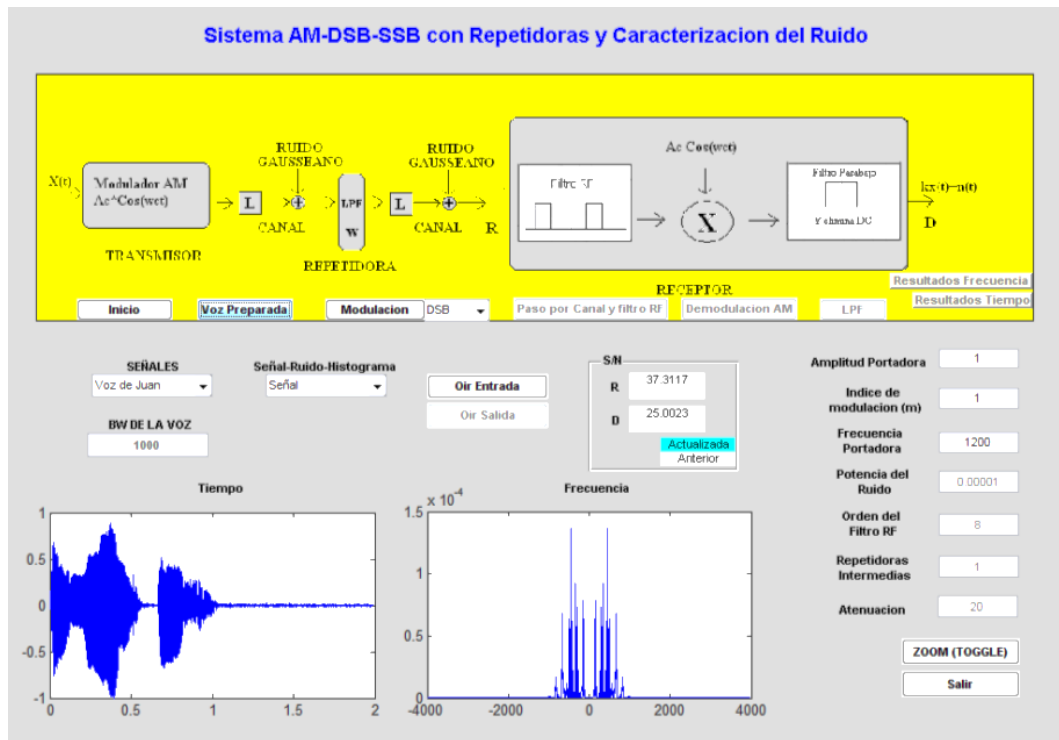


Figura 46: Interfaz definitiva de proyecto en MATLAB
Fuente: Elaboración propia.

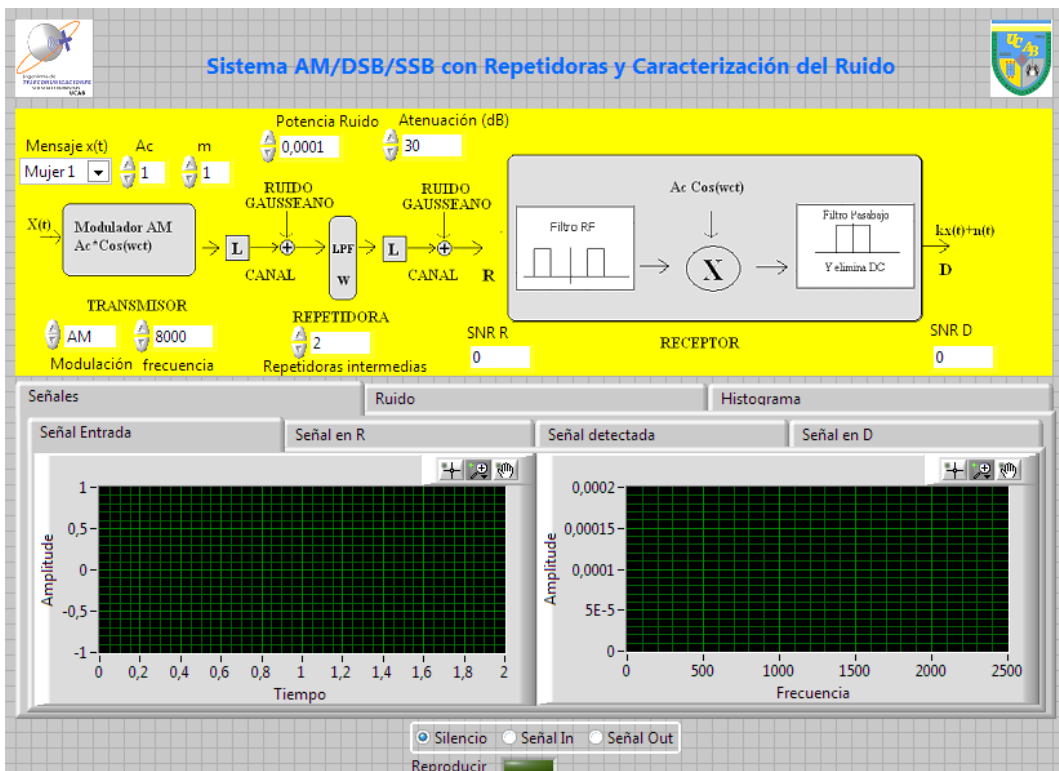


Figura 47: Diagrama de bloques de proyecto en LabVIEW
Fuente: Elaboración propia.

El séptimo objetivo expone: “Elaborar algunos tutoriales que apoyen aquellos proyectos que tienen algunos conceptos no cubiertos en los cursos de Señales y Sistemas para garantizar su comprensión”; cada uno de los proyectos realizados en sus versiones en MATLAB y LabVIEW incluye un video que explica su utilización, y en el que a la vez se realiza una o más pruebas representativas del concepto del proyecto. Cabe destacar que los videos explicativos fueron realizados no sólo para los proyectos con conceptos no cubiertos en los cursos de Señales y Sistemas, sino que se realizaron videos para todos y cada uno de los proyectos. Cada uno de los videos realizados está presente en el apéndice B. Además de videos con pruebas y simulaciones, cada concepto cubierto por los proyectos cuenta con un tutorial escrito con imágenes y ecuaciones como el presente en el anexo B; se realizaron también tutoriales “comunes”, los mismos no están referidos a un proyecto en específico, sino que son utilizados como complemento de los demás tutoriales. En total hay 9 tutoriales para los 9 proyectos indicados anteriormente, y 5 tutoriales “comunes” para el complemento de los primeros.

Los tutoriales para el uso de los simuladores MATLAB y LabVIEW a los cuales se hace referencia en el sexto objetivo están incluidos entre los 5 tutoriales complementarios; ambos explican los tópicos básicos de cada simulador, y fueron realizados en base a los manuales proporcionados en los cursos de Señales y Sistemas en su sección práctica.

El octavo objetivo expone “Colocar el banco de proyectos en la web (cnx.org) para facilitar el acceso público al mismo”; los proyectos realizados en sus ambas versiones, los videos y los tutoriales escritos de cada uno forman cada una de las aplicaciones a las que se hace referencia anteriormente; todas las aplicaciones fueron publicadas en el portal cnx.org, sitio en el cual cada publicación recibe el nombre de “módulo”. Los vínculos hacia los 9 módulos con las aplicaciones se encuentran en el anexo C, igualmente se incluyen los vínculos hacia 5 módulos más que contienen los tutoriales complementarios antes citados, entre los que se incluyen los tutoriales para el uso de los simuladores MATLAB y LabVIEW; el anexo C también contiene un

vínculo hacia la colección que reúne a los 14 módulos. Todos estos vínculos representan evidencia del cumplimiento de los objetivos anteriores. El portal cnx.org permite descargar los módulos en formato PDF; el apéndice C contiene el archivo PDF generado por cnx.org para toda la colección. La figura 48, la figura 49 y la figura 50 muestran el aspecto de uno de los módulos publicados:

Modulaciones AM-DSB-SSB, Repetidoras y Ruido Pasabanda

Module by: [José Miguel Hobaica Alvarado](#). [E-mail the author](#)

Summary: Se explican diversos tipos de modulación en amplitud, se explica el efecto del canal para estos tipos de modulación y se ilustra el uso de repetidoras. Se incluye un programa en MATLAB y otro en LabVIEW, cada uno acerca de un sistema que incluye distintos tipos de modulación, repetidoras intermedias y caracterización del ruido

Todo sistema de transmisión tiene un transmisor, un canal y un receptor. Cuando se desea compartir un canal conviene utilizar algún tipo de modulación. El canal tiene ciertos efectos sobre el [mensaje](#) transmitido, el mismo atenúa la señal, añade ruido blanco, entre otros efectos, los cuales se harán más notorios mientras mayor sea la distancia entre transmisor y receptor. Es por esto que en estos [sistemas](#) se hace el uso de Repetidoras, las cuales amplifican y hacen regeneraciones de la señal en puntos intermedios del trayecto, logrando así un mayor alcance para la comunicación. En este módulo se hace referencia a los esquemas de modulación AM (Modulación de Amplitud), DSB (Doble Banda Lateral) y SSB (Banda Lateral Única), se exponen las características del Ruido que afecta a la comunicación en su paso por el canal inalámbrico, y por último se explica el funcionamiento de las Repetidoras Analógicas.

Modulación AM, DSB y SSB

Si se conoce como $x(t)$ al mensaje o señal original, las fórmulas para cada modulación serán las siguientes:

$$x_{AM}(t) = A_c(1 + mx(t))\cos\omega_c t \quad (1)$$

$$x_{DSB}(t) = A_c x(t)\cos\omega_c t \quad (2)$$

$$x_{SSB}(t) = 0.5A_c x(t)\cos\omega_c t \pm 0.5A_c \hat{x}(t)\sin\omega_c t \quad (3)$$

En las fórmulas anteriores:

- m es el índice de modulación, el mismo está comprendido entre 0 y 1.
- La señal senoidal $\cos\omega_c t$ es la portadora.
- A_c es la amplitud de la portadora.
- ω_c equivale a $2\pi f_c$ donde f_c es la frecuencia de la portadora.
- $\hat{x}(t)$ es la transformada de Hilbert de $x(t)$ la cual representa lo siguiente, en los dominios de tiempo y frecuencia:

$$\hat{x}(t) = \frac{1}{\pi t} * x(t) \quad (4)$$

$$\hat{X}(f) = -j\text{sgn}(f)X(f) \quad (5)$$

Es decir la transformada de Hilbert puede verse como un desfaseador de -90° .

Para el mejor entendimiento de cómo sería el comportamiento en frecuencia de este sistema de modulación supóngase que $X(f)$ ([representación en frecuencia](#) del mensaje $x(t)$) luce como se muestra en la figura 1:

Figura 48: Aspecto del módulo
Fuente: Elaboración propia.

trayectos con la mitad de la atenuación, es decir 30dB ($L_t=10^{30/10}$), el receptor se cuenta como repetidora, por tanto $m=2$. La ganancia en este caso será de:

$$10\text{Log}\left(\frac{10^6}{2 \cdot 10^3}\right) = 10\text{Log}(500) = 27\text{dB} \quad (14)$$

Esto significa que la relación señal a ruido lineal se multiplica por 500 o que la relación señal a ruido en dB se incrementa en 27dB produciéndose una mejora considerable en la calidad de la transmisión. Si en vez de agregar una sola, se agregan dos repetidoras intermedias, existirán 3 trayectos con una atenuación de 20dB ($L_t=10^{20/10}=100$), para este caso m es igual a 3 y la ganancia aumentará con respecto al caso anterior:

$$10\text{Log}\left(\frac{10^6}{3 \cdot 100}\right) = 10\text{Log}(3333.33) = 35.23\text{dB} \quad (15)$$

Para toda transmisión existe un número M máximo de repetidoras, esto significa que la ganancia aportada por $M+1$ repetidoras es menor que la ganancia aportada por M repetidoras, para este número se cumple que: $(M+1)L_{t[M+1]} > M L_{t[M]}$

Autoevaluación

EJERCICIO 1

¿Puede recuperarse una señal SSB con el filtro pasabanda correspondiente al de una señal DSB a la misma frecuencia? ¿idad al ruido a la salida del filtro pasabanda?

[SHOW SOLUTION]

EJERCICIO 2

Observado lo ocurrido con los valores cercanos a 0 en el histograma de la figura 6, ¿cómo varia este resultado con respecto a la frecuencia de portadora?

[SHOW SOLUTION]

EJERCICIO 3

Una relación S/N a la salida del filtro pasabanda mayor para una señal AM que para una señal DSB, ambas con una misma amplitud de portadora indica una mayor calidad de la modulación AM, ¿Verdadero o Falso?

[SHOW SOLUTION]

EJERCICIO 4

Si la ganancia de cada repetidora fuese mayor que la pérdida por trayecto en vez de ser igual, ¿cómo cambiaría la relación señal a ruido?

[SHOW SOLUTION]

EJERCICIO 5

Entre una señal SSB y una señal DSB transmitidas a la misma potencia, ¿Cuál tiene mayor inmunidad al ruido a la salida del filtro pasabanda?

[SHOW SOLUTION]

Simuladores

Figura 49: Sección de Autoevaluación
Fuente: Elaboración propia.

Simuladores

[ESTE VINCULO](#) contiene una carpeta con un programa realizado en **MATLAB** que simula un Sistema AM-DSB-SSB con Repetidoras. La carpeta incluye el .m y todos los archivos necesarios para su funcionamiento, si se elimina o renombra alguno de estos archivos, el programa podría no funcionar correctamente. La figura 9 contiene un video explicativo acerca del uso del programa.

Sistema de Transmisión en MATLAB

Figura 9: Video explicativo de la utilización del programa realizado en MATLAB

Puede obtenerse también un programa realizado en **LabVIEW** acerca del mismo tema por medio de [ESTE VINCULO](#). La carpeta incluye el .vi y todos los archivos necesarios para su funcionamiento. Igualmente, si se elimina o renombra alguno de estos archivos, el programa podría no funcionar correctamente. La figura 10 contiene un video explicativo acerca del uso del programa.

Sistema de Transmisión en LabVIEW

Figura 50: Sección de Simuladores, videos y vínculos de descarga para los proyectos
Fuente: Elaboración propia.

Por último, el primer objetivo, el cual expone “Enmarcar el proyecto en base a teorías que explican el proceso de aprendizaje, como el *Cognitivismo* y el *Constructivismo*”. Como refuerzo para este objetivo, cada módulo que incluye proyectos contiene una sección autoevaluativa como la mostrada en la figura 49, con preguntas acerca del tema, pero cuya respuesta no será encontrada directamente en el tutorial, sino que deberá ser deducida en base a los conocimientos adquiridos; sin embargo, cada pregunta es respondida al hacer clic en “[SHOW SOLUTION]” para de esta forma comparar la respuesta deducida con la correcta.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este Trabajo Especial de Grado se creó un banco de aplicaciones, totalmente actualizado y operativo, utilizando los simuladores más empleados en el área de Telecomunicaciones, complementados con tutoriales y videos destinados, principalmente, a reforzar el aprendizaje de las asignaturas de Señales y Sistemas, a motivar a estudiantes que ingresan a la carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones y a facilitar a los profesores la presentación de ejemplos de aplicación de las herramientas temporales y frecuenciales del área de las comunicaciones.

A continuación se presenta una lista de conclusiones que exponen el uso que se le puede dar al banco de aplicaciones y el éxito que el mismo puede llegar a tener basadas en observaciones y experiencias previas. También se ofrecen recomendaciones dirigidas a la ampliación de algunos de los programas hechos en MATLAB y LabVIEW, y del banco de aplicaciones en general.

VI.1 Conclusiones

- Por su contenido, el banco de aplicaciones puede ser empleado por alumnos en los cursos de Señales y Sistemas Continuos, Señales y Sistemas Discretos, Comunicaciones I, Laboratorio de Comunicaciones I, Comunicaciones II, Procesamiento de Señales y Sistemas de Audio y Video.
- Cada programa realizado en MATLAB y LabVIEW no sólo ayuda a comprender el tema en el que está basado, sino que también sirve como tutorial para el uso del simulador en el que está desarrollado, ya que se observa directamente la aplicación y resultados de cierto conjunto de instrucciones o de bloques para los caso de MATLAB y LabVIEW respectivamente. Esto se concluye a partir de la Etapa de Investigación, donde

la visualización de programas previamente desarrollados contribuyó esencialmente con la familiarización con los simuladores.

- El éxito que pueden llegar a tener los tutoriales realizados en el complemento del aprendizaje de los alumnos se concluye a través del éxito que han venido teniendo los tutoriales empleados por la profesora Trina Adrián para la asignación de proyectos.
- Si bien varios de los videos realizados no se caracterizan por tener una gran nitidez, los mismos logran mostrar la acción que se está realizando, además de estar apoyados por la narración oral.
- Cuando se desee emplear el banco de aplicaciones como una herramienta motivacional para alumnos nuevos o de semestres inferiores, puede emplearse el proyecto “Ecuallizador y Sintetizador Musical”, concretamente la versión en LabVIEW; una persona aún no relacionada con la carrera probará u observará el funcionamiento del sintetizador musical y tendrá aspiraciones de algún día poder lograr desarrollar una herramienta similar. Para motivar a alumnos de semestres inferiores puede emplearse también el proyecto “Filtraje Óptimo para eventos inmersos en ruido”, ya que el mismo crea un gran impacto al lograr rescatar la información de una señal totalmente contaminada. Esto se concluye a partir de la opinión de alumnos de los primeros semestres de Ingeniería de Telecomunicaciones e incluso de Ingeniería Industrial.

VI.2 Recomendaciones

- A cada programa hecho en LabVIEW puede agregársele un “botón de Stop” para cuando se les ejecute con Simulación Continua; igualmente, para aquellos programas en LabVIEW diseñados para ser estrictamente ejecutados con Simulación Continua, el Diagrama de Bloques completo puede ser incluido dentro de un *ciclo while* que sólo se detendrá cuando sea pulsado el “botón de Stop”.

- El programa “Compresión de voz por medio de Transformadas” comprime las señales de voz cuantificando de forma uniforme elementos en el dominio transformado; puede añadirse la opción de comprimir por medio de Cuantificación no Uniforme.
- En la sección de “Eliminación de Ruido” del proyecto “Aplicaciones de la Transformada Ondícula” en su versión en MATLAB, es recomendable agregar la opción de cambiar el tipo de ondícula empleada, ya que este programa realiza el procedimiento de denoising únicamente con la ondícula “db1”.
- En la versión en LabVIEW del proyecto “Generación de Funciones y Operaciones Variadas” pueden agregarse indicadores de energía y potencia a las señales, de la misma forma que se hace en la versión en MATLAB.
- Los tutoriales realizados pueden ser apoyados por medio de pequeños programas realizados en MATLAB o LabVIEW basados únicamente en la sección del tutorial en los que se encuentren, tal cual se hace en el módulo “Modulaciones AM-DSB-SSB, Repetidoras y Ruido Pasabanda” en la sección “Caracterización del Ruido Pasabanda” con el VI llamado “pruebaHistograma.vi”.
- Puede realizarse una versión del proyecto “Ortogonalización Gram-Schmidt” utilizando únicamente el simulador MATLAB. Como ayuda, puede emplearse el código utilizado para la versión de este proyecto hecha con MATLAB Script.
- Los módulos en cnx.org que explican el uso de los simuladores MATLAB y LabVIEW podrían ser complementados con videos similares a los realizados para los proyectos, en los cuales se ponga en práctica todo lo que se explica.
- En una ampliación del banco de proyectos, podrían incluirse módulos acerca de otros esquemas de modulación y de otras técnicas para el procesamiento de señales.

Referencias Bibliográficas

ADRIAN, Trina. (2007). Introducción a MATLAB y Práctica 1 y 2: Señales Continuas y Discretas. Caracas, Venezuela: Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Electrónica.

ADRIAN, Trina. (2008). Señales y Sistemas I [Apuntes]. Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello, Escuela de Telecomunicaciones.

HERRERA, Enrique. (2006). Comunicaciones I: señales, modulación y transmisión (Volumen 1). México D.F, México: Editorial Limusa S.A.

LAJARA, José. (2007). LabVIEW: entorno gráfico de programación. Barcelona, España: Editorial Marcombo S.A.

MACIAS, José. (2006). MATLAB: Una Introducción con Ejemplos Prácticos. Barcelona, España: Editorial Reverté.

OPPENHEIM, Alan. (1997). Signals and Systems (2ª Edición). New Jersey, Estados Unidos: Editorial Prentice Hall.

RODRIGUEZ, María. (2008). Introducción a LabVIEW: Laboratorio de Señales y Sistemas I. Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello, Escuela de Telecomunicaciones.

STEFANELLI, María. (2000). Conductismo, Cognitivismo y Constructivismo: Una comparación de los aspectos críticos desde la perspectiva del Diseño de Instrucción. Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello, Área de Humanidades y Educación.

TOMASI, Wayne. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas. (4ª Edición). México D.F, México: Editorial Prentice Hall.

Medios Electrónicos

ADRIAN, Trina. (2004-2011). *Enunciados de proyectos de Señales y Sistemas*. Disponible: <http://modulo7.ucab.edu.ve> [Consulta: 2011].

CARRALBAL, Diego. (2009). Aprender a Enseñar, Enseñar a Aprender. Disponible: <http://www.articuloz.com/educacion-articulos/aprender-a-ensenar-ensenar-a-aprender-997759.html> [Consulta: 14-1-2011].

GALVAN, Adan. (2010). Adding Multimedia to Your Connexions Content. Disponible: <http://cnx.org/content/m12660/latest/> [Consulta: 15-2-2011].

HERNANDEZ, Héctor & NUÑEZ, Luis. (2009). Ortogonalización: Método de Gram-Schmidt, Espacios Vectoriales. Disponible: http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/hector/prontuario/metodos1/S03_C09.pdf. [Consulta: 18-9-2011].

MEZA, Fara. (2007). Clasificación y Propiedades de los Sistemas. Disponible: <http://cnx.org/content/m12822/latest/> [Consulta: 15-9-2011].

MEZOA, Mariangela. (2010). Ortogonalización Gram-Schmidt y teoría básica de las Constelaciones. Disponible: <http://cnx.org/content/m35711/latest/> [Consulta: 18-9-2011].

ANEXOS Y APÉNDICES

Anexo A: Inventario de enunciados y programas recopilados

2004 (2)

- Proyecto 1: Simulación de un sistema de RADAR
- Proyecto 2: Música, tonos y filtraje
- Proyecto 3: Modulación en Banda Lateral Única
- Proyecto 4: Eliminación de ruido e interferencias dentro de un Electrocardiograma
- Proyecto 5: Detección de Bandas de frecuencia en un Electroencefalograma (EEG)
- Proyecto 6: Detección de ondas dentro de un Electrocardiograma
- Proyecto 7: Promediación de señales ECG para eliminar ruido
- Proyecto 8: Obtención de Potenciales Evocados(EP o PE) o Potenciales Relacionados a Eventos(ERP o PRE)
- Proyecto 9: Diseño de un MODEM para transmisión de datos a través de líneas telefónicas
- Proyecto 10: Detección del complejo QRS utilizando Filtrado Óptimo
- Proyecto 11: Análisis Frecuencial de un Electromiograma.
- Proyecto 12: Conversión de texto a sonido usando Código Morse

2005 (1)

- Proyecto 1: Transmisión de señales en cuadratura (ML)
- Proyecto 2: Música, tonos y filtraje
- Proyecto 3: Modulación en Banda Lateral Única
- Proyecto 4: Transmisión en Banda Base con y sin repetidoras
- Proyecto 5: Modulación Digital Binaria: ASK, FSK, PSK
- Proyecto 6: Detección de período de una señal periódica inmersa en ruido blanco utilizando Filtrado Óptimo (ML)
- Proyecto 7: Promediación de señales periódicas para eliminar ruido
- Proyecto 8: Obtención de Potenciales Evocados o Potenciales Relacionados a Eventos(ERP o PRE) (ML)
- Proyecto 9: Análisis Frecuencial y estadístico de registros vocales (ML)
- Proyecto 10: Caracterización y comparación de Filtros analógicos

2005 (2)

- Proyecto 1: Generador y Procesador de Señales (ML)
- Proyecto 2: Música, tonos y filtraje (ML)
- Proyecto 3: Modulación Lineal (ML)
- Proyecto 4: Compresión de señales de voz usando la Transformada de Fourier (ML)
- Proyecto 5: Compresión de señales de voz usando la transformada Coseno (ML)
- Proyecto 6: Filtrado de señales (ML)
- Proyecto 7: Sistema Pasabanda con modulación AM. Caracterización del ruido pasabanda (ML)
- Proyecto 8: Cuantificación uniforme y no uniforme de señales de voz (ML)
- Proyecto 9: Repetidoras analógicas. (ML)
- Proyecto 10: La Transformada ondícula para análisis de las perturbaciones de la línea eléctrica (ML)

2006 (1)

- Proyecto 1: Modulación en Banda Lateral Vestigial (Vestigial Side Band/VSB) y en Banda Lateral única (Single Side Band/SSB) (ML)
- Proyecto 2: Ecualizador y Analizador de potencia por banda para música (ML)
- Proyecto 3: Teclado Telefónico
- Proyecto 4: Procesos Aleatorios (ML)
- Proyecto 5: Receptor Superheterodino para detectar emisoras AM (ML)
- Proyecto 6: Filtrado Óptimo para detección de eventos inmersos en ruido (ML)
- Proyecto 7: Efectos sobre registros vocales (ML)

Proyecto 8: Identificación de vocales (ML)
Proyecto 9: Clasificador de sistemas
Proyecto 10: Conversión analógica-Digital: Muestreo, Cuantificación y Codificación. (ML)
Proyecto 11: La Transformada ondícula para identificación y eliminación de perturbaciones y ruido
Proyecto 12: Detección de ondas P en un sismograma usando Transformada ondícula (ML)
Proyecto 13: Detección de yacimientos petroleros usando la función de ambigüedad
Proyecto 14: Transformada Walsh para Compresión de señales electrocardiográficas. (ML)

2006 (2)

Proyecto 1: Transmisión de señales DSB en cuadratura (ML)
Proyecto 2: La Convolución como herramienta: Paso de señales por sistemas
Proyecto 3: Modulación Digital Binaria: ASK, FSK, PSK (ML)
Proyecto 4: Procesos Aleatorios (ML)
Proyecto 5: Detección de yacimientos petroleros usando la función de ambigüedad (ML)
Proyecto 6: Transformada Walsh para Compresión de señales electrocardiográficas.
Proyecto 7: Análisis espectral paramétrico y no paramétrico aplicado a vocales y a DTMF (ML)
Proyecto 8: Promediación de señales periódicas para eliminar ruido (ML)
Proyecto 9: Análisis estadístico de registros vocales (ML)
Proyecto 10: Generación y Manipulación de señales (ML)

2007 (1)

Módulo de generación de señales de diversos procesos físicos: ECG, EEG, voces y adecuadas para el
Módulo de transformadas: Fourier, Coseno, Ondícula y Walsh. (ML)
Módulo de generación de señales de diversos procesos físicos: ECG, EEG, voces y adecuadas para el
Módulo de Modulaciones (ML)
Módulo de Generación de señales Determinísticas y Aleatorias (ML)
Módulo de Manipulación de señales (ML)
Módulo de caracterización de sistemas
Módulo de Filtraje (ML)

2007 (2)

Proyecto 1: La Transformada ondícula para detección de complejos QRS en electrocardiogramas y compresión de datos
Proyecto 2: La Convolución como herramienta: Paso de señales por sistemas
Proyecto 3: Generación, Manipulación y Transformada de Fourier de señales determinísticas y Aleatorias
Proyecto 4: Prueba de linealidad, causalidad e Invarianza temporal en sistemas
Proyecto 5: Compresión de señales de voz usando la transformada Coseno
Proyecto 6: Modulación en Banda Lateral Vestigial (Vestigial Side Band/VSB) y en Banda Lateral única (Single Side Band/SSB) (ML)
Proyecto 7: Identificación de vocales

2008 (1)

Proyecto 1: La Transformada ondícula para detección de complejos QRS en electrocardiogramas y compresión de datos (ML)
Proyecto 2: La Convolución como herramienta: Paso de señales por sistemas (ML)
Proyecto 3: Generación, Manipulación y Transformada de Fourier de señales determinísticas y Aleatorias
Proyecto 4: Prueba de linealidad, causalidad e Invarianza temporal en sistemas
Proyecto 5: Compresión de señales de voz usando la transformada Coseno (ML)
Proyecto 6: Modulación en Banda Lateral Vestigial (Vestigial Side Band/VSB) y en Banda Lateral única (Single Side Band/SSB)
Proyecto 7: Grabación e Identificación de vocales (ML)
Proyecto 8: Radio receptor de señales moduladas en AM

Proyecto 9: Promediador de Señales para reducción de ruido (ML)

Proyecto 10: Comparación de métodos para localización de complejos QRS en señales electrocardiográficas: (ML)

Proyecto 11: Análisis frecuencial de un electromiograma

Proyecto 12: Sistema de Transmisión y Recepción DSB

2008 (2)

Proyecto Sec 01: Sistema de transmisión de voz con modulación AM y repetidoras (ML)

Proyecto Sec 02: Aplicaciones de la transformada ondícula. (ML)

Proyecto Sec 03: Sistema de transmisión de voz digitalizada (ML)

2009 (1)

Proyecto 1: Sistema de Transmisión de Voz Bandabase con Repetidoras analógicas. (ML)

Proyecto 2: Sistema de Transmisión de Voz Bandabase con modulación AM y Caracterización del ruido pasabanda (ML) (LV)

2009 (2)

Proyecto 1: Receptor Superheterodino para detectar emisoras AM (ML)

Proyecto 2: Generación y Manipulación de señales (ML)

Proyecto 3: Caracterización de las vocales (LV)

Proyecto 4: Análisis de señales de voz

Proyecto 5: Sistemas Lineales representados por Ecuaciones Diferenciales

Proyecto 6: Ecualizador y Analizador de potencia por banda para música

Proyecto 1: Diseño de un MODEM para transmisión de datos a través de líneas telefónicas (ASK, FSK, PSK)

Proyecto 2: Transmisión de señales en cuadratura

Proyecto 3: Receptor Superheterodino para detectar emisoras AM

Proyecto 4: Generación y Manipulación de señales

Proyecto 5: Caracterización de las vocales (ML)

Proyecto 6: Análisis de señales de voz

2010 (1)

Proyecto 1: SAET

Proyecto 2: Sintetizador de señales periódicas (LV)

Proyecto 3: Generador de Funciones varias

(ML): Se cuenta con la versión en MATLAB del proyecto

(LV): Se cuenta con la versión en LabVIEW del proyecto

Anexo B: Tutorial a ser publicado en la Web

Sistema AM-DSB-SSB con Repetidoras y Ruido Pasabanda

Todo sistema de transmisión tiene un transmisor, un canal y un receptor. Cuando se desea compartir un canal conviene utilizar algún tipo de modulación. El canal tiene ciertos efectos sobre el mensaje transmitido, el mismo atenúa la señal, añade ruido blanco, entre otros efectos, los cuales se harán más notorios mientras mayor sea la distancia entre transmisor y receptor. Es por esto que en estos sistemas se hace el uso de Repetidoras, las cuales amplifican y hacen regeneraciones de la señal en puntos intermedios del trayecto, logrando así un mayor alcance para la comunicación. En este módulo se hace referencia a los esquemas de modulación AM (Modulación de Amplitud), DSB (Doble Banda Lateral) y SSB (Banda Lateral Única), se exponen las características del Ruido que afecta a la comunicación en su paso por el canal inalámbrico, y por último se explica el funcionamiento de las Repetidoras Analógicas.

Modulación AM, DSB y SSB

Si se conoce como $x(t)$ al mensaje o señal original, las fórmulas para cada modulación serán las siguientes:

$$x_{AM}(t) = A_c(1 + mx(t))\cos\omega_c t \quad 1$$

$$x_{DSB}(t) = A_c x(t)\cos\omega_c t \quad 2$$

$$x_{SSB}(t) = 0.5A_c x(t)\cos\omega_c t \pm 0.5A_c \hat{x}(t)\sin\omega_c t \quad 3$$

En las fórmulas anteriores:

- m es el índice de modulación, el mismo está comprendido entre 0 y 1.
- La señal senoidal $\cos\omega_c t$ es la portadora.
- A_c es la amplitud de la portadora.
- ω_c equivale a $2\pi f_c$ donde f_c es la frecuencia de la portadora.
- $\hat{x}(t)$ es la transformada de Hilbert de $x(t)$ la cual representa lo siguiente, en los dominios de tiempo y frecuencia:

$$\hat{x}(t) = \frac{1}{\pi} * x(t) \quad 4$$

$$\hat{X}(f) = -j \operatorname{sgn}(f) X(f) \quad 5$$

Es decir la transformada de Hilbert puede verse como un desfasador de -90° .

Para el mejor entendimiento de cómo sería el comportamiento en frecuencia de este sistema de modulación supóngase que $X(f)$ (respuesta en frecuencia del mensaje $x(t)$) luce como se muestra en la figura 1:

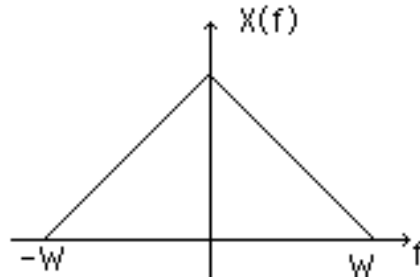


Fig. 1

Las señales moduladas en AM (figura 2) y DSB (figura 3) tendrían un espectro parecido al del mensaje solo que trasladado alrededor de la frecuencia de portadora f_c . Además en AM aparece la portadora en f_c en forma de delta (recordándose que el comportamiento en frecuencia de una señal senoidal luce como una delta).

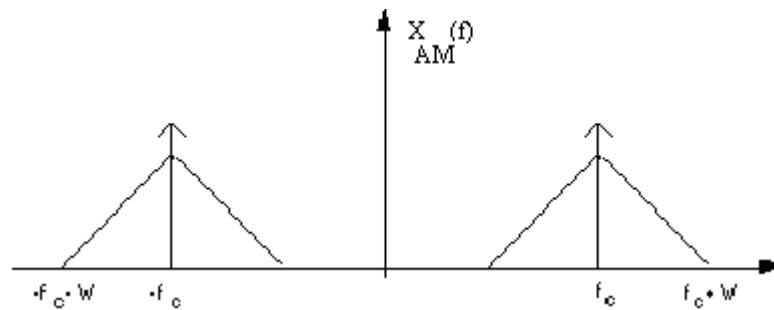


Fig. 2

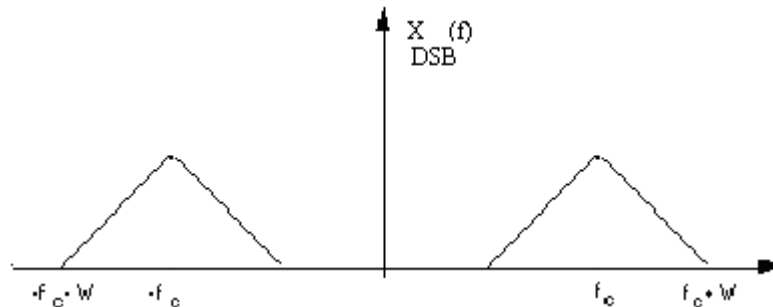


Fig. 3

En cambio, en SSB, dependiendo del signo elegido en la fórmula temporal de la señal modulada, lucirá en frecuencia de la siguiente forma:

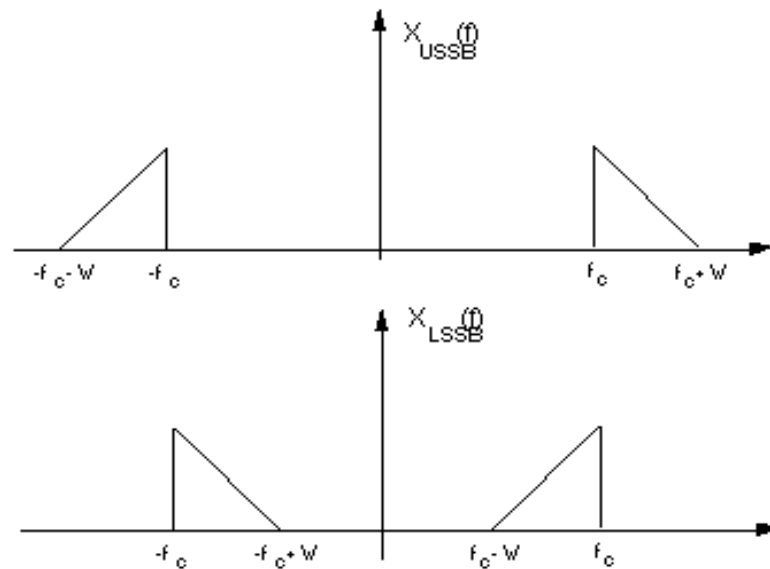


Fig. 4

Si en la fórmula original se toma el signo (-) se tendrá USSB (Upper Single Side Band) es decir se toma la banda superior del espectro del mensaje original. Si se toma el signo (+) entonces se tendrá LSSB (Lower Single Side Band) es decir se toma la banda inferior.

Para rescatar cada uno de los mensajes existen varias técnicas diferentes entre las que se encuentra lo que se conoce como detector síncrono, que no es más que un multiplicador por una senoide de frecuencia igual a la de la portadora, seguido de un filtro pasabajos de frecuencia de corte igual a la del mensaje y de un bloqueador de DC.

Caracterización del Ruido Pasabanda

Una vez modulada la señal en el canal se contaminará con ruido blanco, gaussiano con Densidad Espectral de Potencia existente para todo valor de frecuencia y con un rango situado alrededor de 0.5η . La suma de señal modulada y el ruido blanco gaussiano debe ser pasada por un filtro denominado filtro RF, el cual es de tipo pasabanda que estará centrado en f_c y tendrá como ancho de banda el doble del mensaje en caso de que la modulación sea AM o DSB, tendrá un ancho de banda igual al mensaje y su frecuencia de corte superior será f_c en caso de que la modulación sea LSSB, o tendrá un ancho de banda igual al mensaje y una frecuencia de corte inferior igual a f_c en caso de que la modulación sea USSB. En la figura 5 se muestra la Densidad Espectral de Potencia del ruido pasado por un filtro RF centrado en 2000Hz y con un ancho de banda de 1000Hz:

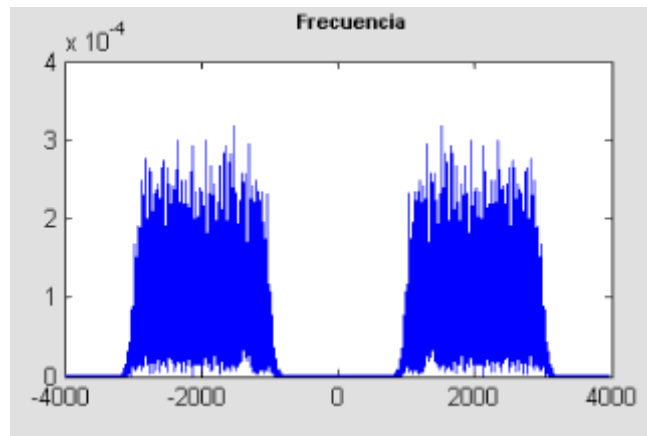


Fig. 5

El ruido suele ser caracterizado también por medio del histograma (figura 6). El histograma es una representación en barras que indica el número de veces que una función tuvo valores en cierta cantidad de intervalos. A cada intervalo le corresponden los valores ocupados por la barra correspondiente.

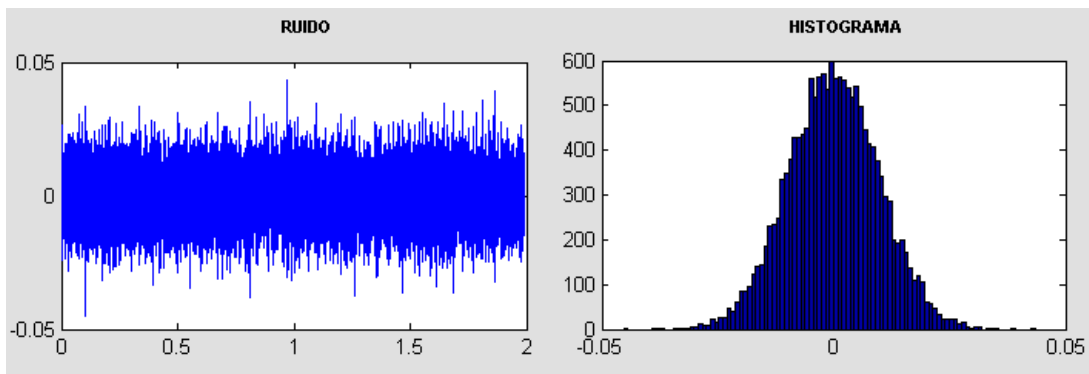


Fig. 6

El histograma está centrado y presenta un mayor número de muestras alrededor de un valor que corresponde a la media del ruido (casi 600), por lo que se comprueba que el ruido tiene media 0; se observa también que los valores se repiten un menor número de veces mientras más se alejan de la media, y que la forma dada a la gráfica por este decrecimiento tiene la forma de una campana de Gauss, por lo que se dice que el ruido es gaussiano.

En la figura 7 se observa el histograma de la señal demodulada pero no pasada por el filtro pasabajos aún:

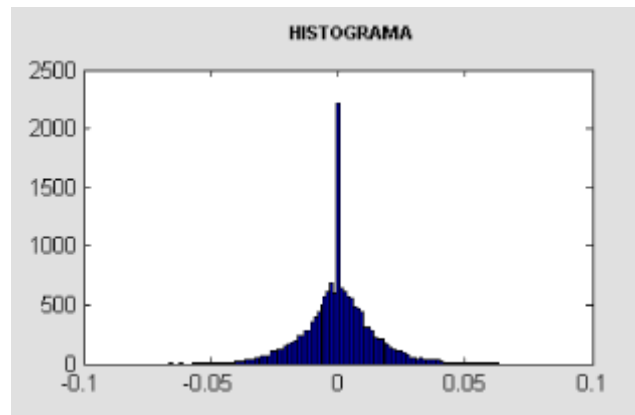


Fig. 7

En este caso el histograma muestra un mayor número de muestras cercanas a 0, esto se debe a que el ruido ha sido multiplicado por una señal senoidal que cíclicamente toma valores cercanos a 0, por lo cual se incrementa la cantidad de veces que el valor del ruido pertenece a dicho intervalo.

Repetidoras Analógicas

En la figura 8 se muestra un esquema que incluye el transmisor, el efecto del canal y la primera etapa del receptor.

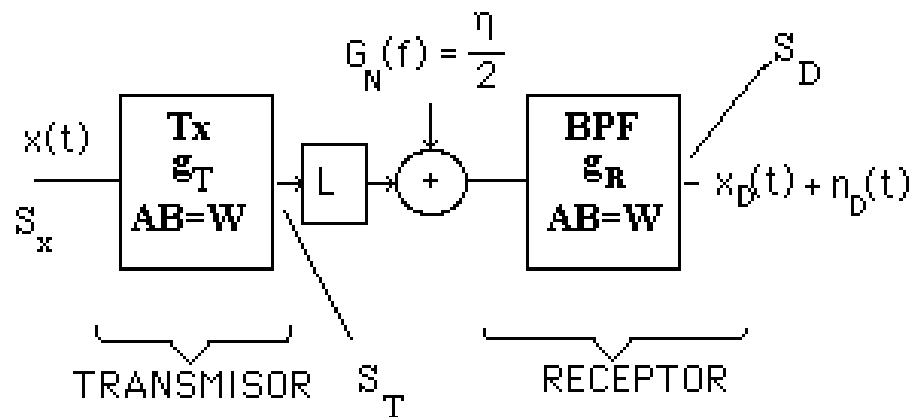


Fig. 8

Se tiene a la salida del transmisor una señal modulada, que puede ser similar a la mostrada en figuras anteriores, con un ancho de banda W y potencia S_T . Luego el canal produce una atenuación de potencia L y el filtro pasabanda del receptor una amplificación g_R . Así, la potencia de señal a la salida de este filtro será:

$$S_D = \frac{g_R \cdot S_T}{L}$$

6

Esto es asumiendo que el filtro del receptor tiene un ancho de banda apropiado (W) para que pase todo el contenido de señal. Por su parte el ruido sólo se afecta por g_R . La DEP del ruido de entrada es constante (ruido blanco) y con valor $\eta/2$; al pasar por el filtro, la DEP queda confinada entre los valores que limitan en ancho de banda W de tal forma que al integrar la DEP para obtener la potencia del ruido a la salida queda:

$$N_D = g_R \cdot \eta \cdot W \quad 7$$

Finalmente, se calcula la relación señal a ruido (S/N) a la salida del filtro dividiendo la potencia de la señal entre la potencia del ruido en este punto:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_D = \frac{g_R \cdot S_T}{L \cdot \eta \cdot g_R \cdot W} = \frac{S_T}{L \cdot \eta \cdot W} \quad 8$$

Se observa que la relación señal a ruido recibida aumenta cuando la potencia de señal S_T aumenta, cuando la atenuación L disminuye o cuando la potencia del ruido (η o W) disminuye. Además se nota que la relación señal a ruido, y por ende la calidad de la transmisión:

- No depende de la ganancia del receptor.
- Es inversamente proporcional al ancho de banda del filtro.
- Es inversamente proporcional a la atenuación que produce el canal.

Una manera de mejorar la relación señal a ruido es colocando estaciones repetidoras equiespaciadas en zonas intermedias del trayecto de transmisión. El diagrama de la figura 9 ilustra el uso de estas estaciones para un caso en el que se cuenta con 2 repetidoras intermedias más el receptor; el receptor se cuenta también como una repetidora, ya que el mismo también amplifica la señal de la misma forma que lo hacen las demás:

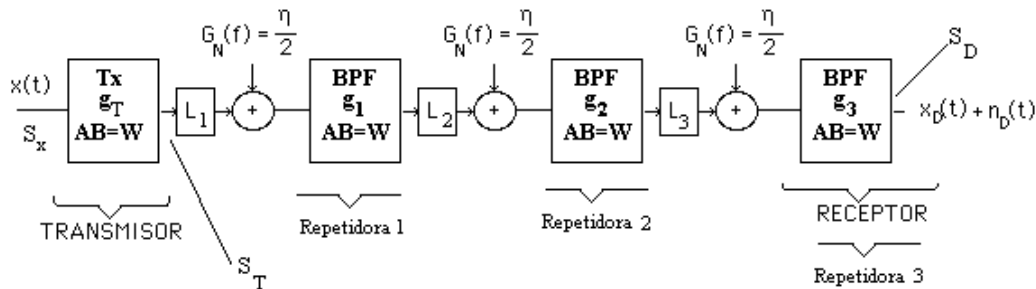


Fig. 9

Normalmente la ganancia de cada repetidor compensa la pérdida del trayecto ($L_k = g_k$); de esta forma, la potencia de señal se mantiene a la salida del sistema ($S_T = S_D$). Se asumirá que el ruido que ingresa al sistema en cualquier trayecto es el mismo y que las pérdidas parciales son iguales ($L_1 = L_2 = L_3$)

Por su parte, la potencia de ruido a la salida de la primera repetidora será:

$$N_{D1} = g_1 \cdot \eta \cdot W = L_1 \cdot \eta \cdot W \quad 9$$

La potencia de este ruido al final de las m repetidoras queda igual ya que cada pérdida de canal será compensada por la ganancia de cada repetidora. Sin embargo se irán sumando contribuciones idénticas de ruido, tantas como repetidoras existan. Al final para m repetidoras (incluyendo al receptor):

$$N_D = m \cdot L_1 \cdot \eta \cdot W \quad 10$$

Finalmente

$$\left(\frac{S}{N}\right)_D = \frac{g_T \cdot S_x}{m \cdot L_1 \cdot \eta \cdot W} \quad 11$$

Para comparar con la relación señal a ruido sin repetidoras se sustituyen en esta ecuación los valores de la ecuación 8 obteniéndose:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{D(\text{con Rep.})} = \frac{L}{mL_1} \left(\frac{S}{N}\right)_{D(\text{sin Rep.})} \quad 12$$

Interesa también esta comparación en decibelios, para esto se aplica 10Log a ambos lados de la ecuación obteniéndose:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{D(\text{con Rep.})[dB]} = 10\text{Log}\left(\frac{L}{mL_1}\right) + \left(\frac{S}{N}\right)_{D(\text{sin Rep.})[dB]} \quad 13$$

Para ilustrar esto, considere un sistema basado en un medio inalámbrico con una pérdida total de 60 dB ($L=10^{60/10}$) en lineal, si se coloca una repetidora intermedia, existirán dos trayectos con la mitad de la atenuación, es decir 30dB ($L_1=10^{30/10}$), el receptor se cuenta como repetidora, por tanto m=2. La ganancia en este caso será de:

$$10\text{Log}\left(\frac{10^6}{2 \cdot 10^3}\right) = 10\text{Log}(500) = 27\text{dB} \quad 14$$

Esto significa que la relación señal a ruido lineal se multiplica por 500 o que la relación señal a ruido en dB se incrementa en 27dB produciéndose una mejora considerable en la calidad de la transmisión. Si en vez de agregar una sola, se agregan dos repetidoras intermedias, existirán 3 trayectos con una atenuación de 20dB ($L_1=10^{20/10}=100$), para este caso m es igual a 3 y la ganancia aumentará con respecto al caso anterior:

$$10\text{Log}\left(\frac{10^6}{3 \cdot 100}\right) = 10\text{Log}(3333.33) = 35.23\text{dB} \quad 15$$

Para toda transmisión existe un número M máximo de repetidoras, esto significa que la ganancia aportada por $M+1$ repetidoras es menor que la ganancia aportada por M repetidoras, para este número se cumple que: $(M+1)L_{1[M+1]} > M L_{1[M]}$

Autoevaluación

1. ¿Puede recuperarse una señal SSB con el filtro pasabanda correspondiente al de una señal DSB a la misma frecuencia?
2. Observado lo ocurrido con los valores cercanos a 0 en el histograma de la figura 7, ¿cómo varia este resultado con respecto a la frecuencia de portadora?
3. Una relación S/N a la salida del filtro pasabanda mayor para una señal AM que para una señal DSB, ambas con una misma amplitud de portadora indica una mayor calidad de la modulación AM, ¿Verdadero o Falso?
4. Si la ganancia de cada repetidora fuese mayor que la pérdida por trayecto en vez de ser igual, ¿cómo cambiaría la relación señal a ruido?
5. Entre una señal SSB y una señal DSB transmitidas a la misma potencia, ¿Cuál tiene mayor inmunidad al ruido a la salida del filtro pasabanda?

R1: Puede recuperarse, pero debe tenerse en cuenta que esto empobrece la calidad del sistema, ya que la relación señal a ruido es inversamente proporcional al ancho de banda del filtro, el cual se está duplicando innecesariamente en este caso.

R2: Si la frecuencia de portadora aumenta, habrá un mayor número de pasos por 0 en el ruido multiplicado por la portadora, por lo que la barra central en el histograma será mucho mayor y las demás barras disminuirán de tamaño.

R3: Falso, la señal AM tiene una mayor relación S/N debido a que la portadora está presente, y la misma no forma parte del mensaje.

R4: La relación S/N permanecería igual, ya que la ganancia de la repetidora amplifica tanto a la señal como al ruido.

R5: Si se transmite una señal SSB con la misma potencia con la que se transmite una señal DSB, la primera tendrá una mayor inmunidad al ruido a la salida del filtro pasabanda, ya que se mantiene la potencia de la señal pero la potencia del ruido se reduce a la mitad al reducirse el ancho de banda. Especificando un poco más, la S/N se multiplica por dos o lo que es lo mismo, la $S/N_{[dB]}$ se incrementa en 3dB. (Para duplicar la potencia de transmisión, la amplitud de la portadora debe ser multiplicada por $\sqrt{2} \approx 1.41$)

Simuladores

<Agregar los links de descarga de los proyectos en MATLAB y LabVIEW y los videos>

Anexo C: Vínculos

Colección “Señales y Sistemas en MATLAB y LabVIEW”:

<http://cnx.org/content/col11361/latest/>

Módulos:

“Introducción a LabVIEW, uso de estructuras y funciones básicas” (MC):

<http://cnx.org/content/m41078/latest/?collection=col11361/latest>

“Introducción a MATLAB, comandos básicos y uso de GUIDE” (MC):

<http://cnx.org/content/m41083/latest/?collection=col11361/latest>

“Las Señales y sus diferentes clasificaciones” (MA):

<http://cnx.org/content/m41094/latest/?collection=col11361/latest>

“Los Sistemas y sus diferentes clasificaciones” (MC):

<http://cnx.org/content/m41096/latest/?collection=col11361/latest>

“Convolución” (MC):

<http://cnx.org/content/m41085/latest/?collection=col11361/latest>

“Compresión de voz por medio de Transformadas” (MA):

<http://cnx.org/content/m41093/latest/?collection=col11361/latest>

“Procesos Aleatorios” (MC):

<http://cnx.org/content/m41097/latest/?collection=col11361/latest>

“Modulaciones AM-DSB-SSB, Repetidoras y Ruido Pasabanda” (MA):

<http://cnx.org/content/m41102/latest/?collection=col11361/latest>

“Transmisión de señales DSB en cuadratura” (MA):

<http://cnx.org/content/m36768/latest/?collection=col11361/latest>

“Receptor Superheterodino para detectar emisoras AM” (MA):

<http://cnx.org/content/m41106/latest/?collection=col11361/latest>

“Filtraje Óptimo para detección de eventos inmersos en ruido” (MA):

<http://cnx.org/content/m41100/latest/?collection=col11361/latest>

“La Transformada Ondícula y sus aplicaciones” (MA):

<http://cnx.org/content/m41101/latest/?collection=col11361/latest>

“Ecualizador y Sintetizador Musical” (MA):

<http://cnx.org/content/m41060/latest/?collection=col11361/latest>

“Ortogonalización Gram-Schmidt” (MA):

<http://cnx.org/content/m41108/latest/?collection=col11361/latest>

MC: Módulo Complementario.

MA: Módulo que incluye programas y videos.

APÉNDICE A

Carpetas con archivos para programas en MATLAB y LabVIEW

APÉNDICE B

Videos de los programas

APÉNDICE C

PDF con colección