

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA ENSENADA



TESIS

IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO EMULADOR
DE OSCILOSCOPIO

QUE PRESENTA

ÁNGEL MARTÍNEZ MARTÍNEZ

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

C.D., ENSENADA, B. C.

OCTUBRE DE 2010

Resumen

En la presente propuesta de tesis se pretende realizar un dispositivo en circuitería electrónica que logre emular la función de un osciloscopio cumpliendo con las funciones básicas de este equipo, para poder analizar señales alternas, el dispositivo usará la PC ó Laptop para lograr observar y analizar las señales variantes en el tiempo, mediante el uso de una interfaz gráfica la cual, estará recopilando información continuamente por medio de la tarjeta de sonido.

El objetivo de diseñar este dispositivo electrónico es facilitar una herramienta muy necesaria para los estudiantes que se encuentren en zonas rurales ó urbanas que no cuenten con los recursos suficientes como para adquirir un equipo tan costoso como lo es un osciloscopio completo y así lograr un mejor desarrollo académico de los estudiantes, y que ellos puedan seguir desarrollando sus respectivas practicas ó proyectos desde cualquier instalación en la que se encuentren

A mis padres, Antonio Martínez y María Martínez.

*Por todo su cariño, enseñanzas, orientación, apoyo
y sacrificios. Gracias por todo lo que me han dado,
muchas gracias.*

Agradecimientos

A dios, por darme las fuerzas para así culminar este proyecto y darme las fuerzas para continuar con otros proyectos más.

A mis hermanas, Rosalba y Maribel por darme apoyo, consejo en los momentos difíciles a lo largo de mi vida.

A mi sobrina, Ethel Sofía por alegrarme los días.

A mis amigos y amigas por los buenos momentos y malos que hemos pasado, por los consejos que me han dado y apoyo incondicional.

Al Dr. Cesar Cruz por el apoyo, confianza y motivación. Por su atinada y valiosa dirección en la realización de esta tesis.

A mi comité de tesis: Dr. Cesar Cruz Hernández, Dra. Rosa Martha López Gutiérrez, M. C. Hazael Serrano Guerrero, Dr. Efrén Guerrero García, por sus valiosas aportaciones en la realización de esta tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico dado para la realización de esta tesis, a través del proyecto de investigación de ciencia básica con Referencia P50051-Y.

Al Dr. Manuel Moisés Miranda Velasco, por el apoyo, consejos y aportaciones a la realización de esta tesis.

Al M. C. José Ricardo Cuesta García, por el apoyo brindado y su contribución en la realización de esta tesis.

Al M.I. Adrian Arellano Delgado, por su ayuda, apoyo y confianza para la culminación de esta tesis.

A todas las personas y maestros que de una u otra forma colaboraron en la formación profesional y personal que ahora cuento.

Tabla de contenido

I	Introducción.....	1
	1.1. MOTIVACIÓN	1
	1.2. OBJETIVO	4
	1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
	1.3. METODOLOGÍA ADOPTADA EN ESTA TESIS	5
	1.4. ALCANCE DE LA TESIS	5
	1.5. ORGANIZACIÓN DEL MANUSCRITO	5
II	Planteamiento del problema	7
	2.1. PROBLEMA GENERAL	7
	2.2. OSCILOSCOPIO	9
	2.2.1. Sistema analógico	9
	2.2.2. OSCILOSCOPIO ANALÓGICO	10
	2.2.3. SISTEMA DIGITAL	12
	2.2.4. OSCILOSCOPIO DIGITAL	16
	2.2.5. ÚLTIMOS AVANCES TECNOLÓGICOS	18
	2.3. SOLUCIÓN ALTERNATIVA DEL USO DEL OSCILOSCOPIO	20
	2.3.1. HISTORIA DE LA TARJETA DE SONIDO	21
	2.3.1.1. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	22
III	Diseño del dispositivo electrónico	24
	3.1. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO	24
	3.2. Característica en voltaje en función del tiempo	25
	3.2.1. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA	26
	3.3. CARACTERÍSTICA EN FRECUENCIA	27
	3.3.1. ANÁLISIS DE BODE	29
	3.4. IMPLEMENTACIÓN FÍSICA	32
	3.5. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS GENERALES	59
	3.6. SIMULACIÓN DEL CIRCUITO	59
	3.7. COSTOS ESTIMADOS	61

Tabla de contenido (Continuación)

IV	Diseño de interfaz gráfica	62
	4.1. EVALUACIÓN DE LOS PROGRAMAS DISPONIBLE	62
	4.2. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DEL SISTEMA	64
	4.3. ANTECEDENTES DEL PROGRAMA SELECCIONADO	65
	4.4. DESARROLLO DE LA INTERFAZ	66
V	Caos	81
	5.1. ANTECEDENTES DEL CAOS	81
	5.2. CIRCUITO DE LORENZ	82
	5.3. CIRCUITO DE CHUA	83
	5.4. SIMULACIÓN DEL ESTADO CAÓTICO DE LORENZ	86
	5.5. SIMULACIÓN DE LOS ESTADOS DEL CIRCUITO DE CHUA	87
	5.6. RESULTADOS EXPERIMENTALES	88
VI	Conclusiones	91
	Bibliografía	

Índice de figuras

Figura		Página
1	Diagrama a bloques básico de un osciloscopio	3
2	Primer osciloscopio con patente que en 1897 lo creo Braun, Karl Ferdinand en Alemania.....	8
3	Osciloscopios digitales, actualmente los más sofisticados.....	9
4	Imagen del Imagen del osciloscopio usado para desplegar un juego llamado "Tennis for two"	10
5	Diagrama de un osciloscopio analógico.	11
6	Sistema analógico utilizado para interpretar el nivel de flotación en un tanque de agua.....	14
7	Sistema digital utilizado para interpretar el nivel de flotación en un tanque de agua	15
8	Diagrama de un osciloscopio digital	16
9	Gráfica de muestreo de una señal.....	16
10	Diagrama a bloques general del sistema	20
11	Imagen de una tarjeta de sonido común.....	22
12	Diagrama a bloques real del sistema.....	23
13	Gráfica de una onda senoidal a frecuencia normal	28
14	Gráfica de una onda senoidal a baja frecuencia	28
15	Gráfica de una onda senoidal a alta frecuencia.....	29
16	Hendrik wade bode (1905-1982).....	29
17	Gráfica de bode del sistema: masa-resorte-amortiguador	31
18	Bloques que conforman el dispositivo.....	32
19	Gráfica representativa del teorema de muestreo de nyquist-shannon.....	34
20	Gráficas representativas de diferentes frecuencias de muestreo.....	35
21	Filtro pasa-bajas activo butterworth 2do orden con atenuación de -40 db/década	36
22	Célula shallen-key	37

Índice de figuras (Continuación)

Figura	Página
23	Gráfica de respuesta en frecuencia del filtro pasa-bajas de -40 db/déc 40
24	Gráfica ideal de filtro pasa-banda de magnitud y fase requeridas 41
25	Filtro activo butterworth 2do orden pasa-bajo (-40 db/dec) con frecuencia de corte a 239khz 44
26	a) Filtro pasivo de 1er orden pasa-altas. b) Función de transferencia del filtro pasivo de 1er orden 45
27	Filtro pasivo pasa-altas con frecuencia de corte a 100mhz..... 45
28	Filtro pasa-banda con acoplamiento cascada..... 46
29	Respuesta en frecuencia del filtro pasa-banda 46
30	Actual bloque en diseño 47
31	Amplificador operacional modo inversor 48
32	Acoplamiento en cascada de dos amplificadores operaciones inversores..... 48
33	Etapa de re-escalamiento en amplitud, por medio de dos amplificadores operacionales inversores en cascada 52
34	Actual bloque en diseño 52
35	Símbolo del diodo 53
36	Curva característica del diodo..... 53
37	Configuración de protección de voltaje, máxima salida de 0.7V 54
38	Representación matemática de un par de diodos, donde “x” es la señal de entrada, “y” es la señal de salida y $d=0.7V$ 54
39	a) caso 1: la señal de salida es la señal de entrada, b) caso 2: la señal de salida es 0.7V constante. 55
40	Bloques que conforman el dispositivo protector..... 56
41	Función de transferencia de cada bloque que conforma el dispositivo protector, excepto el bloque 3 56
42	Función de transferencia del sistema, excepto el bloque 3 57

Índice de figuras (Continuación)

Figura	Página
43	Acoplamiento en cascada de las 3 etapas que conforman el dispositivo protector 58
44	Simulación del circuito protector con una ganancia de 0.068 y empleando como señales de entrada el sistema caótico de Chua, así como una alimentación de voltaje de $\pm 12V$ para los amplificadores operacionales. 60
45	Resultados de la simulación realizada en función del tiempo y su respectivo atractor caótico, donde CH1 es la salida 1, CH2 es la salida 2, CH3 es la entrada 1 y CH4 es la entrada 2 60
46	Bloques que conforman la interfaz gráfica 66
47	Ejemplo de bloque entre “Block Diagram” y “Frontal Panel”, donde: a) Símbolo de la perilla y b) Representación dinámica 67
48	Iconos encargados de la lectura de información de la tarjeta de sonido 68
49	Arreglo de los iconos que configura, adquieren y arroja la señal analógica que ingresa a la tarjeta de sonido 69
50	Terminales de entrada y salida del icono de lectura 69
51	Icono de separación de una matriz de $2 \times n$, en dos matrices de $1 \times n$ 70
52	Circuito generador de señal triangular con amplitud de $1V_{p-p}$ y frecuencia de 51Hz..... 71
53	a) Respuesta simulada del circuito calibrador y b) Respuesta experimental del circuito calibrador visualizado en un osciloscopio..... 71
54	Ajustes requeridos en el ordenador 72
55	Configuración en “Block Diagram” para calibrar 73
56	Bloque de calibración de la interfaz gráfica visualizada en “Front Panel” 74
57	Bloques empleados para el análisis de información, a) Análisis espectral de una señal, b) Envío de datos a un archivo *.txt con fines de análisis en otro programa, c) Relay para interrumpir la visualización de una señal y d) Gráfica en el plano XY 75
58	Conexión final en “Block Diagram” de todos los iconos que conforman la interfaz gráfica 76

Índice de figuras (Continuación)

Figura	Página
59	Imagen del “Front Panel”, donde se muestra una introducción a la interfaz gráfica 77
60	Imagen del “Front Panel”, donde se muestra una introducción a la calibración de la interfaz gráfica 78
61	Imagen del “Front Panel”, donde se muestra el bloque de calibración de la interfaz gráfica 78
62	Imagen del “Front Panel”, donde se muestran las gráficas en función del tiempo de cada canal y se observa la señal del circuito calibrador explicado en el capítulo IV, además se aprecian las perillas de control de amplitud y tiempo de cada canal, empleando el sistema operativo Windows XP 79
63	Imagen del “Front Panel”, donde se muestran las gráficas en función del tiempo de cada canal y se observa la señal del circuito calibrador explicado en el capítulo IV, además se aprecian las perillas de control de amplitud y tiempo de cada canal, empleando el sistema operativo Windows 7 79
64	Imagen del “Front Panel”, donde se muestra la gráfica en el plano XY con sus respectivas perillas de control 80
65	Imagen del “Front Panel”, donde se muestra el analizador de espectro de cada canal con sus respectivas perillas de control de frecuencia y amplitud 80
66	Combinación de 3 gráficas, donde se aprecian los cambios que hay a diferentes condiciones iniciales del sistema caótico de Chua 82
67	El circuito de Chua contiene un inductor L, dos capacitores C1 y C2, una resistencia R y un resistor no lineal N_r (diodo de Chua). 84
68	Característica $v - i$ de tres segmentos lineales de la resistencia no lineal NR del circuito de Chua. Las regiones externas tienen pendiente m_0 ; la región interna tiene pendiente m_1 . los puntos de quiebre se encuentran dados por $\pm E$ 84
69	Representación a base de amplificadores operaciones del diodo de Chua 85
70	Circuito de Chua 86
71	Atractor caótico de Lorenz, con $(r=30)$, y c.i. $x_3(0)=0;x(2)=0;x(3)=0$ 87

Índice de figuras (Continuación)

Figura		Página
72	Atractores del sistema de Chua	88
73	Implementación física del dispositivo emulador de osciloscopio y visualización gráfica en el ordenador de un atractor tipo doble scroll (Caótico).....	89
74	Implementación física del dispositivo emulador de osciloscopio y visualización gráfica en el ordenador de un atractor tipo doble ciclo límite (periódico)	89
75	Implementación física del dispositivo emulador de osciloscopio y visualización gráfica en el ordenador de un atractor tipo ciclo límite (periódico)	90
76	Implementación física del dispositivo emulador de osciloscopio, así como la visualización de una señal caótica en función del tiempo, tanto en el osciloscopio como en el ordenador.....	90

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Lista de osciloscopios de reciente modelo, con sus principales características.....	19
2	Características eléctricas deseadas del dispositivo protector.....	25
3	Razón de cambio en magnitud y ángulo de fase de un filtro Butterworth....	41
4	Ganancias prepuestas con sus respectivos valores de resistencias que satisfacen los requerimientos de una computadora de escritorio	50
5	Ganancias prepuestas con sus respectivos valores de resistencias que satisfacen los requerimientos de una computadora portátil.....	51
6	Costo promedio de los materiales	61
7	Requerimientos mínimos de la computadora de escritorio o portátil	65

Capítulo I

Introducción

1.1. Motivación

A lo largo de la evolución de la electrónica que el ser humano ha generado, ha sido necesario el uso de instrumentos, los cuales, faciliten el análisis del comportamiento en voltaje que ocurre en un componente ó dispositivo cuando a este se le suministra una tensión de voltaje variable.

Para satisfacer esta necesidad los seres humanos han recurrido a crear una herramienta muy útil denominada *osciloscopio* que en 1897 lo creo Braun, Karl Ferdinand en Alemania, el cual tiene la finalidad de poder visualizar en su pantalla una gráfica con dos ejes cartesianos, un eje X (horizontal) y un eje Y (vertical). En donde el eje X representa el tiempo, y el eje Y la amplitud de la señal que se está midiendo.

La palabra *osciloscopio* describe un instrumento que permite observar oscilaciones (por oscilación se entiende cualquier vibración o cambio en un fenómeno físico que se pueda convertir en señal eléctrica proporcional a ella). El osciloscopio grafica los cambios de amplitud de una señal con respecto al tiempo, por lo tanto, permite determinar amplitud, periodo, nivel DC (corriente directa) entre otras características. Dicho dispositivo grafica en tiempo real los cambios de voltaje que están ocurriendo en el componente ó dispositivo, el voltaje medido solo se representaría como un punto en la pantalla del equipo y a medida que se aumenta la retención de datos que se encuentra adquiriendo el equipo se puede apreciar una señal de voltaje de cierto tiempo de duración, con la cual, el usuario analiza si la señal representada es periódica ó aleatoria.

La evolución que ha tenido el osciloscopio desde sus orígenes ha sido con el fin de que el usuario pueda tener una mayor comprensión de lo que está viendo y pueda hacer uso de dichas señales para otros diseños ó explicar sucesos en algunos dispositivos. El primer osciloscopio creado por Braun, Karl Ferdinand, lo creo al adaptar un tubo de rayos catódicos, de manera que el chorro de electrones del tubo se dirigiera hacia una pantalla fluorescente por medio de campos magnéticos generados por la corriente alterna. Ese osciloscopio fue conocido como el primero osciloscopio analógico, posteriormente se empezaron a implementar mejoras para facilitar el uso del dispositivo, se agregaron perillas de re-escalamiento de tiempo y voltaje de la señal visualizada en pantalla, con la finalidad de medir voltajes más grandes y mayor tiempo de visualización sin la necesidad de incrementar la pantalla.

A su vez una mejora al equipo ha permitido mostrar una de gráfica en el plano X-Y, la cual, puede ser usada para visualizar como por ejemplo “Los atractores de un sistema caótico”, dicha gráfica utiliza los dos canales de un osciloscopio y muestra en su pantalla “voltaje canal 1 versus voltaje canal 2”, un ejemplo a grandes rasgos de las partes que conforman un osciloscopio se muestra en la figura 1.

En los avances que ha tenido la tecnología se ha procurado dejar la tecnología analógica para empezar a utilizar la digital, la cual, presenta muchas mejoras ya que permite que el usuario tenga una mayor facilidad de reproducir y visualizar sus diseño, eso mismo aplica en el osciloscopio, con la finalidad de tener una más rápida respuesta y una mayor eficiencia se han diseñados osciloscopios digitales, los cuales, proporcionan una mayor facilidad de retención de datos, así como manipulación de las señales observadas y por último, la integración de poder grabar la señal visualizada en algún dispositivo para poder ser apreciado ó analizado en una computadora.

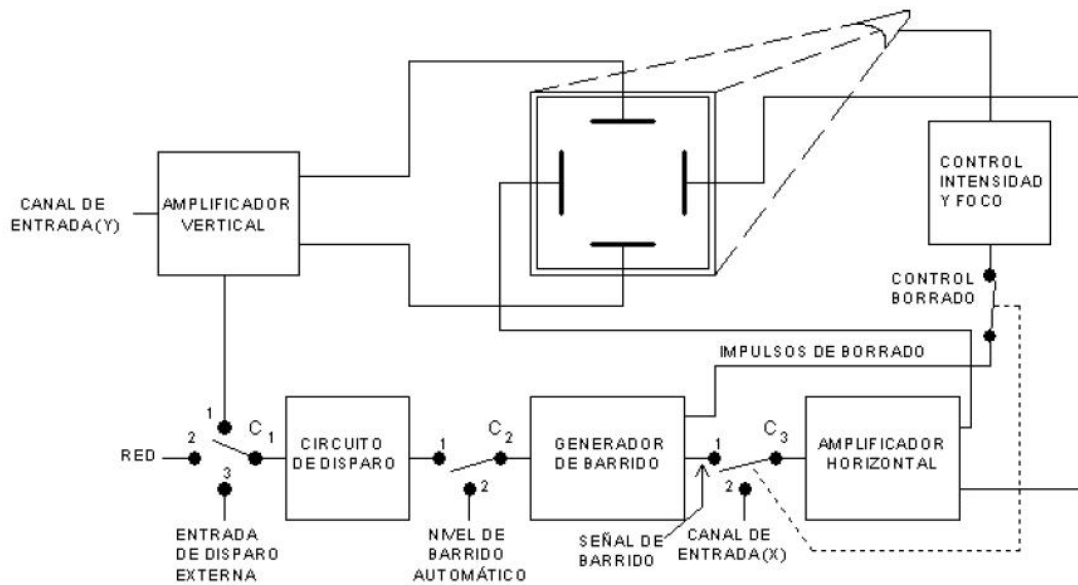


Figura 1. Diagrama a bloques básico de un osciloscopio.

Independientemente de los cambios que se sigan haciendo en el osciloscopio, siempre se buscará obtener una mejor resolución ó mejor adquisición de datos para que el usuario no tenga problemas en futuros estudios de la señal analizada en ese momento.

Por lo mencionado anteriormente, es el motivo principal del presente trabajo de tesis, el cual, se propone contribuir a la ayuda del análisis de señales variantes en el tiempo tanto periódicas, aleatorias y caóticas, es decir, proporcionar una forma alterna y sobre todo económica de poder analizar dichas señales pero ahora usando una computadora digital.

En particular para lograr este objetivo, se estará empleando el uso de la tarjeta de sonido como medio por el cual se adquieran datos y con circuitería externa, la cual, sirva de protección para dicha tarjeta de sonido.

El uso de esta implementación podrá permitir que estudiantes que no cuenten con los recursos suficientes como para adquirir un equipo muy sofisticado puedan

seguir trabajando desde el lugar donde se encuentren, con los únicos dos requisitos, que son:

1. Elaboración del circuito protector.
2. Disponibilidad para usar una computadora personal.

1.2. Objetivo

Dado el interés que se ha prestado por que los estudiantes tengan mayores facilidades de poder seguir trabajando en sus tareas ó proyectos desde la ubicación en donde se encuentren, con la realización de la presente tesis se pretende alcanzar el siguiente objetivo general:

“Diseñar e implementar un dispositivo emulador que realice las funciones de un osciloscopio y lograr visualizar las señales en el monitor de una computadora personal (PC)”

1.2.1. Objetivos específicos

Así mismo poder alcanzar los siguientes objetivos particulares:

- Diseñar un circuito que realice la función de atenuador de voltaje de la señal de entrada que esté presente.
- Diseñar la interfaz gráfica que permita visualizar las señales analógicas.
- Construir por medio de circuitería electrónica el dispositivo que atenué la señal analógica y sirva como interfaz con la PC con el propósito de adquirir información de señales variantes en el tiempo.
- Evaluar la calidad de la información adquirida.

1.3. Metodología adoptada en esta tesis

Se recurrirá a las Leyes de Kirchhoff de circuitos eléctricos, análisis de la respuesta en tiempo determinado por medio de la función de transferencia de todo el dispositivo y análisis en frecuencia por medio de diagrama de Bode.

1.4. Alcances de la tesis

Con la elaboración de la presente tesis de licenciatura, se va a desarrollar un dispositivo electrónico, así como una interfaz gráfica la cual permita que en las instituciones educativas sea posible tener acceso a las funciones que ofrece el osciloscopio, ya que permitirá que una computadora sea empleada para poder lograr esto, utilizando la tarjeta de sonido para la adquisición de datos de los dos canales que contara el emulador de osciloscopio, todo esto gracias a que la tarjeta de sonido del ordenador tiene integrado el convertidor analógico-digital (ADC), lo cual permitirá una comunicación más sencilla entre ambos equipos y la interfaz gráfica ofrecerá una fácil y comprensible visualización de la señal a muestrear.

1.5. Organización del manuscrito

Esta memoria de tesis de licenciatura se organiza en seis capítulos como se describe a continuación:

El **capítulo I** presenta una introducción referente a la finalidad de la tesis, los objetivos que se desean satisfacer así como metodologías empleadas.

El **capítulo II** se hace referencia al planteamiento del problema que se solucionara, algunos antecedentes de sistemas que se han diseñado para cumplir dicha función así como una nueva propuesta de solución.

El **capítulo III** muestra el diseño del dispositivo protector, el cual cumple la finalidad de limitar en amplitud y frecuencia las señales analógicas que son ingresadas a la entrada Line in de la tarjeta de sonido.

El **capítulo IV** se describe el diseño de la interfaz gráfica que representara visualmente las señales analógicas del sistema original que se desea analizar.

El **capítulo V** se hace referencia a explicar brevemente los sistemas caóticos, esto es hablando del sistema de Lorenz y el sistema de Chua, en los cuales es observable diferentes tipos de atractores caóticos empleando algún equipo o software que realice la grafica en el plano XY.

Por último el **capítulo VI** donde se expresan las conclusiones del presente trabajo de tesis, además de mencionarse algunos problemas abiertos para futuros trabajos.

Capítulo II

Planteamiento del problema

En el presente capítulo se enfocará en explicar el problema del cual se realizará su estudio para su solución en este trabajo de tesis, usando el método científico calificado para esto mismo, se describirán los equipos anteriormente usados y los que actualmente se están utilizando para llevar a cabo dicha función.

2.1. Problema general

Desde los orígenes de la electrónica, las personas encargadas de generar nuevos componentes ó del uso mismo de esos componentes para otras aplicaciones, han recurrido a buscar la forma de poder visualizar y así lograr de una manera más entendible los cambios físicos que ocurren en dichos componentes semiconductores, al ser aplicado sobre ellos un diferencial de potencial.

El análisis del comportamiento del componente ante dicho diferencial de potencial, se utiliza principalmente para conocer su funcionamiento, así como su estabilidad a diferentes temperaturas y los requisitos necesarios que se deberán establecer para poder ser conectado a otros componentes ó equipos para así lograr que el intercambio de información sea óptima y con la menor pérdida de información posible, ya que eventualmente al no tener en consideración estas características, no se puede hacer una valoración correcta de la función de un dispositivo más complejo, en el cual, incluyan varios componentes no caracterizados antes, para lograr caracterizar cada componente se diseño un dispositivo denominado *osciloscopio*, en la figura 2 se muestra el primer osciloscopio.



Figura 2. Primer osciloscopio con patente que en 1897 lo creo
Braun, Karl Ferdinand en Alemania.

Es por eso que se han desarrollado equipos muy sofisticados (en la figura 3 se logran apreciar unos ejemplos) para el análisis minucioso de las señales a procesar, para así lograr garantizar una precisión casi exacta y una protección para el equipo contra posibles variaciones abruptas que pudiera tener la señal misma.

En este afán del ser humano por crear equipos tan sofisticados y complejos con el fin en común de proporcionar al investigador ó estudiante una mejor visualización del comportamiento del voltaje que en ese momento se lleva a cabo en el componente ó dispositivo, se ha alcanzado la creación de equipos sumamente eficaces, los cuales, permiten al usuario una fácil interacción con el equipo y comunicación con otros equipos. Pudiendo visualizar más de dos canales a la vez y por último, la grabación de datos ó gráficas para futuros usos, pero a su vez, ha incrementado sus costos llevando esto mismo a que la adquisición de esos equipos sólo sea posible por algunas instituciones educativas ó empresas privadas limitando ampliamente el uso de ellos, ya que sólo puede ser usado por una persona a la vez.



Figura 3. Osciloscopios digitales, actualmente los más sofisticados.

2.2. Osciloscopio

2.2.1. Sistema analógico

Se dice que un sistema es analógico cuando las magnitudes de la señal se representan mediante variables continuas, esto es análogas a las magnitudes que dan lugar a la generación de esta señal. Un sistema analógico contiene dispositivos que manipulan cantidades físicas representadas en forma analógica. En un sistema de este tipo, las cantidades varían sobre un intervalo continuo de valores. Así, una magnitud analógica es aquella que toma valores continuos.

La mayoría de las cosas que se pueden medir cuantitativamente aparecen en la naturaleza en forma analógica. Unos ejemplos de ello son la temperatura, tiempo, la presión, la distancia y el sonido.

Señal Analógica: Una señal analógica es un voltaje ó corriente que varía suave y continuamente. Una onda senoidal es una señal analógica de una sola frecuencia. Los voltajes de la voz y del video son señales analógicas que varían de acuerdo con el sonido ó variaciones de la luz que corresponden a la información que se está transmitiendo.

2.2.2. Osciloscopio analógico

Uno de los primeros osciloscopios generados fue usado para poder visualizar un videojuego, dicho dispositivo puede observarse en la figura 4, en el cual, se realizaba una partida de tenis controlado por dos jugadores, creado por *William Higinbotham* cuando trabajaba en Brookhaven National Laboratory como Jefe de División de Instrumentación y requería entretener a los visitantes del museo.

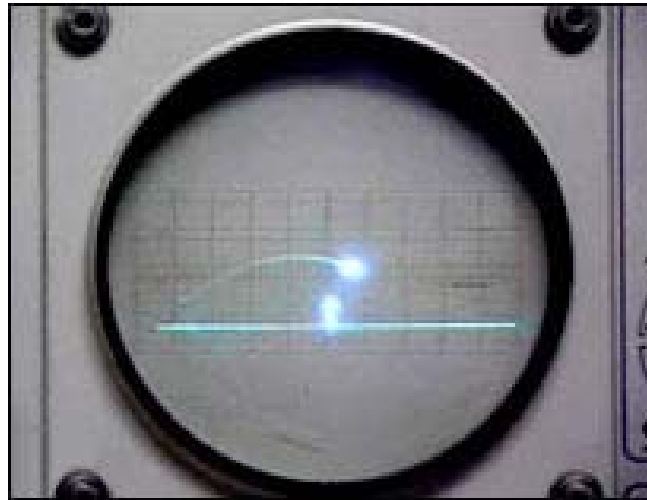


Figura 4. Imagen del osciloscopio usado para desplegar un juego llamado "Tennis for two"

Entrando más a detalle de lo que es el osciloscopio analógico [16] en la figura 5 se muestra el diagrama a bloques interno de un osciloscopio analógico y posteriormente la explicación del proceso que ocurre internamente.

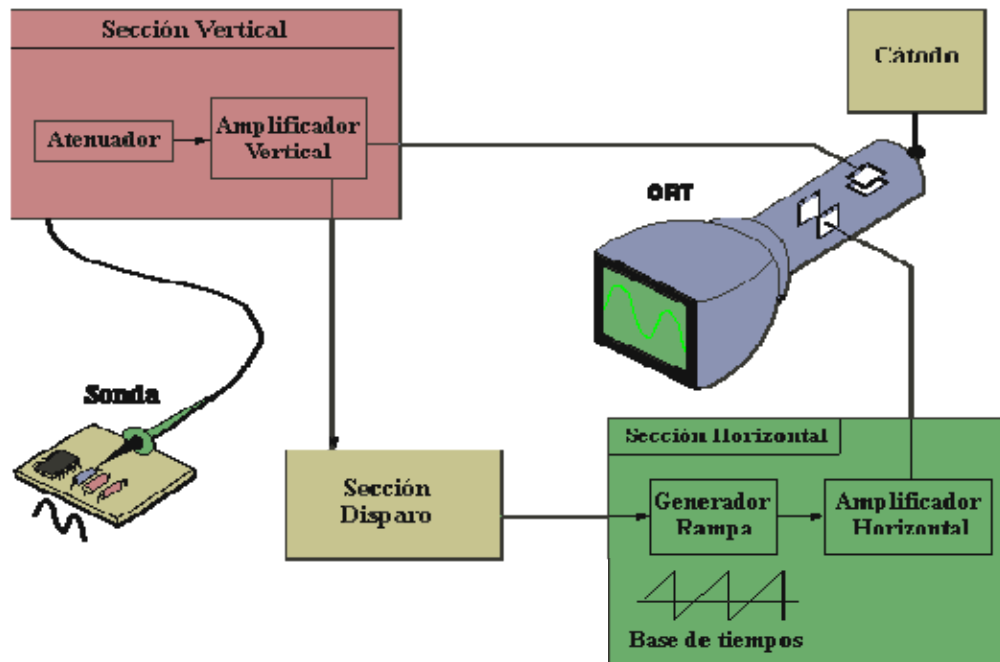


Figura 5. Diagrama de un osciloscopio analógico.

Cuando se conecta la sonda a un circuito, la señal atraviesa esta última y se dirige a la sección vertical. La salida de este bloque ataca las placas de deflexión verticales (que naturalmente están en posición horizontal) y que son las encargadas de desviar verticalmente el haz de electrones, que surge del cátodo e impacta en la capa fluorescente del interior de la pantalla. Hacia arriba si la tensión es positiva con respecto al punto de referencia (GND) ó hacia abajo si es negativa.

La señal también atraviesa la sección de disparo para de esta forma iniciar el barrido horizontal (este es el encargado de mover el haz de electrones desde la parte izquierda de la pantalla a la parte derecha en un determinado tiempo). El trazado (recorrido de izquierda a derecha) se consigue aplicando la parte ascendente de un diente de sierra a las placas de deflexión horizontal (las que están en posición vertical. El re-trazado (recorrido de derecha a izquierda) se realiza de forma mucho más rápida con la parte descendente del mismo diente de sierra.

De esta forma la acción combinada del trazado horizontal y de la deflexión vertical representa la gráfica de la señal en la pantalla. La sección de disparo es necesaria para estabilizar las señales repetitivas (se asegura que el trazado comience en el mismo punto de la señal repetitiva). Si una señal repetitiva en el tiempo no está estabilizada, ésta parpadea en la pantalla del osciloscopio.

Como conclusión de esta explicación para utilizar de forma correcta un osciloscopio analógico necesitamos realizar tres ajustes básicos:

- La atenuación o amplificación que necesita la señal. Utilizar el mando VOLTS/DIV. Para ajustar la amplitud vertical de la señal en la pantalla. Conviene que la señal ocupe una parte importante de la pantalla sin llegar a sobrepasar los límites verticales.
- La base de tiempos. Utilizar el mando TIME/DIV para ajustar lo que representa en tiempo una división horizontal de la pantalla. Para señales repetitivas es conveniente que en la pantalla se puedan observar aproximadamente un par de ciclos.
- Deben ajustarse los controles que afectan a la visualización: FOCUS (enfoque), INTENS (intensidad) nunca excesiva, Y-POS (posición vertical del haz) y X-POS (posición horizontal del haz).

2.2.3. Sistema digital

La revolución electrónica ha estado vigente bastante tiempo; la revolución del "estado sólido" comenzó con dispositivos analógicos y aplicaciones como los transistores y los radios transistorizados. Ahora cabe preguntarse cuál es la razón principal del cambio de un sistema analógico a un sistema digital.

Como es mencionado en [1] los circuitos digitales están proliferando muy rápidamente debido a sus ventajas con respecto a los analógicos, dentro de las que incluye:

- 1.-** Los circuitos digitales son más fáciles de diseñar utilizando circuitos integrados (CI) modernos.
- 2.-** El almacenamiento de información es fácil de implantar con tecnología digital.
- 3.-** Los dispositivos pueden programarse en forma digital.
- 4.-** Es factible obtener más exactitud y precisión.
- 5.-** Los circuitos digitales son menos susceptibles de ser afectados por la interferencia de señales indeseadas, llamadas ruido.
- 6.-** Dado el mismo conjunto de entradas, cualquier circuito digital que hubiera sido diseñado en la forma adecuada, siempre producirá exactamente los mismos resultados. Las salidas de un circuito analógico varían con la temperatura, el voltaje de la fuente de alimentación, la antigüedad de los componentes y otros factores.
- 7.-** Los sistemas pueden programarse y mostrar algún grado de “inteligencia”.
- 8.-** La información puede almacenarse por cortos periodos o de manera indefinida.
- 9.-** Los dispositivos digitales en la actualidad son muy veloces. Los transistores individuales en los circuitos integrados más rápidos pueden conmutarse en menos de 10 picosegundos, un dispositivo completo y complejo construido a partir de estos transistores puede examinar sus entradas y producir una salida en menos de 2 nanosegundos. Esto significa que un dispositivo de esta naturaleza puede producir 500 millones o más resultados por segundo.
- 10.-** Cuando se diseña un sistema digital, casi siempre se sabe que habrá una tecnología más rápida, más económica o en todo caso, una tecnología superior para el mismo caso poco tiempo.

Los diseñadores inteligentes pueden adaptar estos avances futuros durante el diseño inicial de un sistema, para anticiparse a la obsolescencia del sistema y para ofrecer un valor agregado a los consumidores. Por ejemplo, las computadoras

portátiles a menudo tienen ranuras de expansión para adaptar procesadores más rápidos o memorias más grandes que las que se encuentran disponibles en el momento de su presentación en el mercado.

Ahora bien haciendo una analogía, los sistemas electrónicos analógicos han sido muy populares en el pasado. La información del ``mundo real`` que tiene que ver con mediciones del tiempo, velocidad, peso, presión intensidad luminosa y posición, son todas analógicas por naturaleza. Un ejemplo de ello puede mostrarse en la siguiente figura 6.

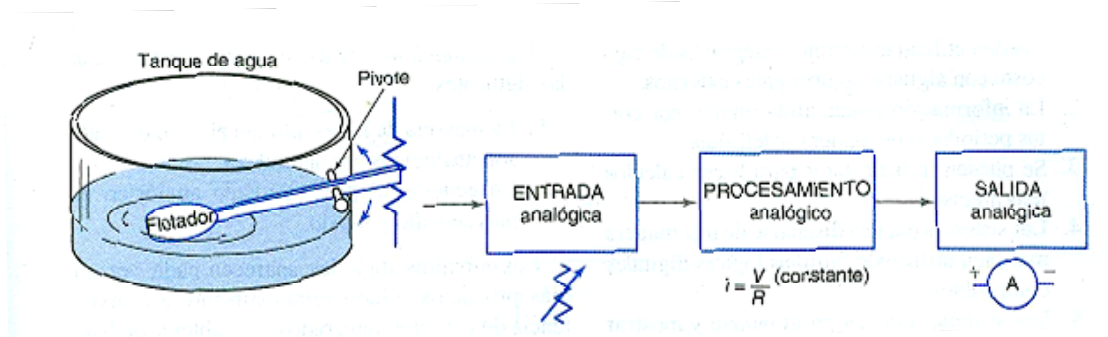


Figura 6. Sistema analógico utilizado para interpretar el nivel de flotación en un tanque de agua.

Donde se puede apreciar que para hacer una medición del nivel de agua que presenta un tanque se puede emplear una especie de potenciómetro utilizando el pivote como punto de movimiento y variación de la resistencia, es ahí que cuando se le aplica un voltaje constante, se mantiene una corriente por la posición en la que se encuentre el pivote, pero a la hora del que el pivote se empieza a desplazar ya sea hacia arriba indicando que el tanque se está llenando ó hacia abajo mostrando que el tanque se está vaciando, el potenciómetro varía la corriente que fluye por él en base a la ley de ohm ($V=R*I$) y posteriormente es mostrada en el *amperímetro*, donde se puede colocar indicadores que a determinada corriente el tanque presenta cierta cantidad de agua.

Los sistemas digital son necesarios cuando los datos pueden almacenarse, utilizarse para realizar cálculos o desplegarse con números y/o letras. Ahora

puede verse en la figura 7 el mismo sistema, pero ahora empleando un sistema digital.

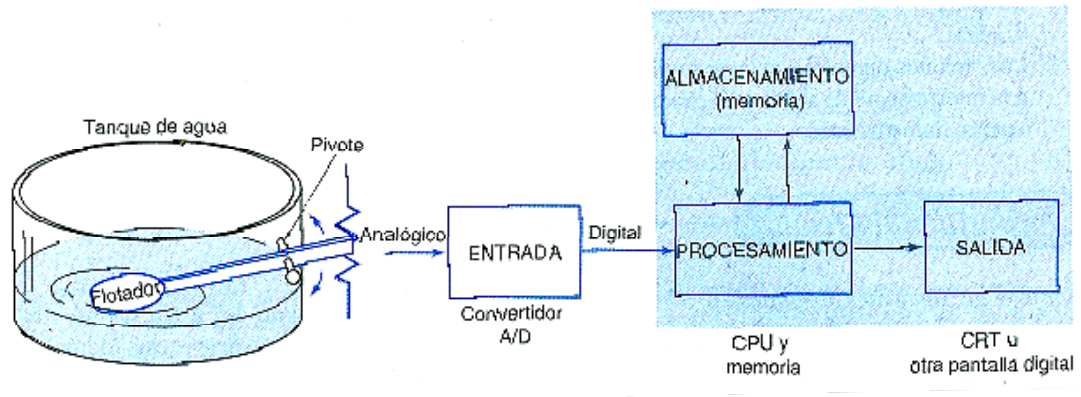


Figura 7. Sistema digital utilizado para interpretar el nivel de flotación en un tanque de agua.

Se puede apreciar que la entrada del sistema aun está regulada por el pivote, pero ahora lo que nos indicara la medición no será la corriente, si no el voltaje que presente la resistencia ya que a la salida del potenciómetro estará colocado con convertidor analógico-digital, el cual solo tiene la función de que al presentarse un voltaje lo convierta a valores lógicos de 8 bits, un ejemplo de ello seria "0.5V→00001000 y 0.6V→00001011", posteriormente se presenta la unidad central de procesamiento (CPU) de una computadora la cual puede manipular los datos de entrada, extraer la información, almacenarla, calcular variables como las velocidades de flujo de entrada y de salida, calcular el tiempo en el que se llena el tanque, etc.

Los sistemas digitales son muy valiosos cuando se requiere efectuar cálculos, manipular información, almacenar datos y emitir caracteres alfanuméricos.

2.2.4. Osciloscopio digital

Los osciloscopios digitales [16] poseen además de las secciones explicadas en el osciloscopio analógico, un sistema adicional de proceso de datos que permite almacenar y visualizar la señal que se muestra en la figura 8.

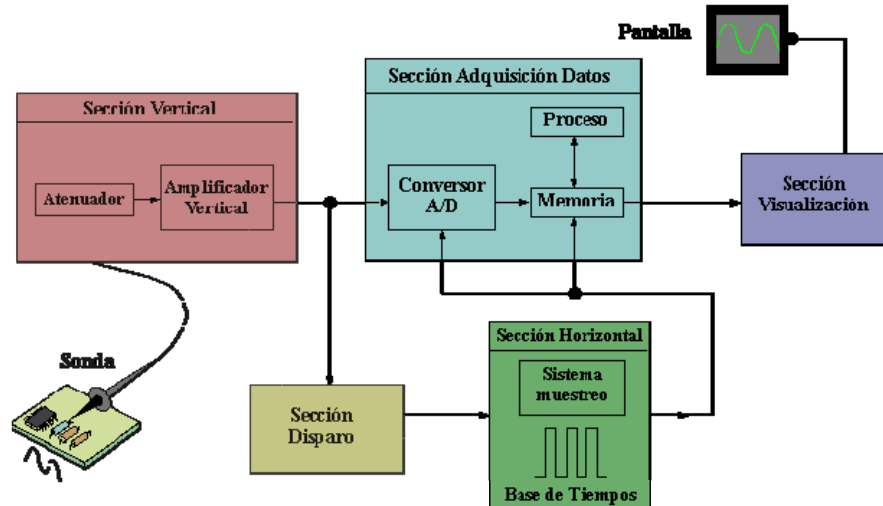


Figura 8. Diagrama de un osciloscopio digital.

Cuando se conecta la sonda de un osciloscopio digital a un circuito, la sección vertical ajusta la amplitud de la señal de la misma forma que lo hacía el osciloscopio analógico.

El convertor analógico-digital del sistema de adquisición de datos muestrea la señal a intervalos de tiempo determinados y convierte la señal de voltaje continua en una serie de valores digitales llamados muestras. En la sección horizontal una señal de reloj determina cuando el convertor A/D toma una muestra. La velocidad de este reloj se denomina velocidad de muestreo y se mide en muestras por segundo representado en la figura 9.

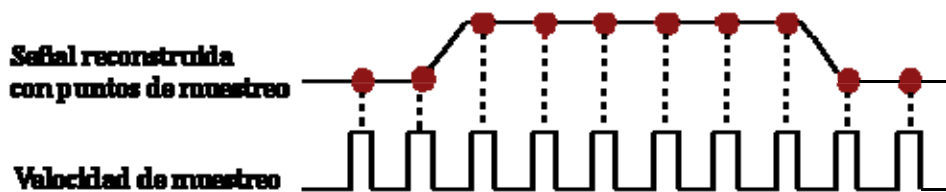


Figura 9. Gráfica de muestreo de una señal.

Los valores digitales muestreados se almacenan en una memoria como puntos de señal. El número de los puntos de señal utilizados para reconstruir la señal en pantalla se denomina registro. La sección de disparo determina el comienzo y el final de los puntos de señal en el registro. La sección de visualización recibe estos puntos del registro, una vez almacenados en la memoria, para presentar en pantalla la señal.

Dependiendo de las capacidades del osciloscopio se pueden tener procesos adicionales sobre los puntos muestreados, incluso se puede disponer de un pre-disparo, para observar procesos que tengan lugar antes del disparo.

Fundamentalmente, un osciloscopio digital se maneja de una forma similar a uno analógico, para poder tomar las medidas se necesita ajustar el mando AMPLITUD, el mando TIMEBASE así como los mandos que intervienen en el disparo.

2.2.5. Últimos avances tecnológicos

Dentro de las posibilidades de crear cada vez equipos más sofisticados, se han mejorado las empresas [15] que solo tienen como objetivo cumplir dicha necesidad en específico, por mencionar algunas de ellas:

- ValueTronics
- Fluke
- Spectrum-instrumentacion
- AEMC Instruments

La principal de ellas es la empresa ValueTronics, con su marca comercial BK Precision, comúnmente los equipos en la mayoría de las instalaciones educativas e instituciones empresariales son de esta empresa. Por ejemplificar un dispositivo de cada empresa se muestra a continuación en la tabla 1, con sus respectivas características, tanto para uso fijo y portátil:

Tabla 1. Lista de osciloscopios de reciente modelo con sus principales características.

Equipo	Dispositivo	Costo
	<p>AEMC Instruments Osciloscopios OX 7102-C</p> <p>El modelo del osciloscopio 7102-C es la herramienta perfecta para el laboratorio y probar en práctica. La facilidad de empleo del instrumento se facilita con 33 llaves especializadas para el acceso directo a las funciones de uso general. El ideal para el uso del campo, el OX7102-C del modelo del osciloscopio utiliza el nuevo sistema patentado de accesorios listos para el uso, aislamiento individual de cada uno de los canales de la medida, una gama de capacidades de la gerencia alejada basadas en un acoplamiento de Ethernet con web server, un número de instrumentos incorporados, incluyendo cuatro un multímetro del canal TRMS. La pantalla a todo color grande de 320 de x 240 LCD proporciona las representaciones gráficas y alfanuméricas detalladas de todas las medidas y también funciones como pantalla táctil.</p>	
	<p>Spectrum-Instrumentacion</p> <p>Osciloscopio para PC Spectrum Systementwicklung Microelectronic GmbH 400 MS/s, 14 Bit PCI/PCle</p> <ul style="list-style-type: none"> * registrador del transeúnte de 14 bits * Un canal con 400 MS/s * Convertidor monolítico del A/D (no entrelazados) * Dos canales con 250 MS/s * Alto rango dinámico * Memoria de hasta 2 Gsample * 6 gamas entradas entre ±100 milivoltio y ±5 V * 50 Ohm/1 Mohm, AC/DC, software del filtro de la anchura de banda seleccionable * Calibración a bordo automática * Sincronización al sistema del multi-board posible * 32 interfaz del megaciclo PCI/PCI-X del pedacito 66 disponible * Interfaz de PCI Express x1 disponible <p>Los 6 modelos de la serie de M3i.41xx se diseñan para el rápido y la alta calidad de adquisición de datos. Cada uno de los canales de entrada tiene su propio convertidor monolítico del A/D y su propio amplificador programable de la entrada. Esto permite registrar señales simultáneamente en ambos canales con la resolución de 14 bits sin ningún retardo de la fase entre ellos. La memoria a bordo extremadamente grande da un plazo del tiempo largo que registra incluso con las tarifas de muestreo más altas. Todos los tableros de la serie de M3i.41xx pueden utilizar la memoria a bordo instalada conjunto para el número actual activado de canales. Un modo del primero en entrar, primero en salir también se integra en el tablero. Esto permite la adquisición de datos continuamente para el proceso en línea o para el almacenaje de datos al disco duro.</p>	<p>5795 €</p>
	<p>Bk Precision Osciloscopio digital B K Precision 100 MHz, 1Gsa/s</p> <p>El Osciloscopio de Almacenamiento Digital de canales duales, modelo 2542 brinda una combinación y una funcionalidad y de valor inigualables. Sus controles de estilo análogo combinados con su función de medida automática lo transforman en un instrumento fácil de usar. Sus características avanzadas como la función de FFT, de filtro digital, de grabación de forma de ondas, de barrido demorado y enfoque, de prueba y medidas automáticas lo convierten en una herramienta poderosa para depuración de sus circuitos. El 2542 es el osciloscopio ideal para uso en la educación y entrenamiento, diseño, servicio y reparación.</p> <ul style="list-style-type: none"> * 100MHz ancho de banda, y 1Gsa/s de velocidad de muestreo. * Largo de grabación de hasta 4000 puntos en cada canal. * Pantalla LCD a color. * Incluye puerto para memoria USB estándar en su panel delantero. * Sus herramientas de análisis avanzado incluye un filtro digital con límites ajustables, prueba de mascarilla y modo de grabado/reproducción de forma de ondas. * Estándar FFT mas 3 funciones matemáticas adicionales. * Disparador de extensa capacidad incluyendo ancho de pulso y de video con línea seleccionable. * Captura, guarda y analiza datos de formas de ondas con las aplicaciones del software a control remoto. * Incluye dos puntas de prueba pasivas de alta funcionalidad de 150 MHz. 	
	<p>FLUKE</p> <p>ScopeMeter® serie 190: Velocidad, prestaciones y potencia de análisis</p> <p>Para las aplicaciones más exigentes, los osciloscopios ScopeMeter serie 190 ofrecen especificaciones que normalmente sólo se encuentran instrumentos de banco de gama alta. Con anchos de banda de hasta 200 MHz, velocidad de muestreo en tiempo real de 2,5 GS/s y una profundidad de memoria de 27.500 puntos por canal, resultan instrumentos ideales para cualquier técnico que necesite todas las posibilidades de un osciloscopio de altas prestaciones en una herramienta de mano alimentada por baterías.</p>	

2.3. Solución alternativa del uso del osciloscopio

Dado la gran capacidad de procesamiento que tiene una computadora, es posible emplearla para una infinidad de aplicaciones mediante el uso de alguno de sus puertos como son:

- Puerto paralelo
- Puerto serie
- Puerto USB
- Tarjeta de sonido

Que permiten la comunicación de la PC con otros equipos normalmente, por ejemplo: impresora, escáner, bocinas, memoria USB, etc; y tomando las precauciones necesarias es posible utilizarlos para otros tipos de aplicaciones, como por ejemplo: ya sea la comunicación con los equipos que uno diseña ó la aplicación de adquisición de datos por medio de alguno de esos puertos, siempre como requisito que el usuario tenga conocimientos en electrónica y computación para lograr esto mismo y se permita el flujo de información correctamente.

Para la finalidad de la tesis se empleara el uso de la tarjeta de sonido, como medio por el cual la computadora adquiera los datos externos que se pretenden analizar. En la figura 10, se logra ilustrar la idea principal de la tesis, en la cual se ve los bloques por los cuales estará compuesto el análisis de la información para así ser mostrada en el monitor del ordenador.

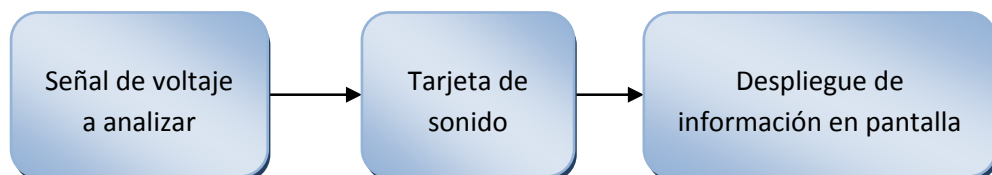


Figura 10. Diagrama a bloques general del sistema.

2.3.1. Historia de la tarjeta de sonido

Haciendo una breve pausa acerca de la historia de la tarjeta de sonido dicha historia se hace mención en [17 y 18], donde la información más relevante se menciona a continuación.

La PC no fue pensada en un principio para manejar sonido, excepto por esa reminiscencia que en algunos ordenadores ya no se instala llamada "altavoz interno" o "PC Speaker".

Ese pitido que oímos cuando arrancamos el ordenador ha sido durante muchos años el único sonido que ha emitido el PC. En un principio, el altavoz servía para comunicar errores al usuario, ya que la mayoría de veces, el ordenador debía quedarse solo trabajando (debido a la lentitud de los primeros equipos).

Pero debido a la popularidad que tenían los ordenadores, y todas las aplicaciones que tenía de forma gráfica, se introdujo un nuevo concepto, la reproducción de videojuegos e ahí cuando comenzó una nueva serie de avances ya que para lograr ser un juego atractivo y ampliamente rentable fue necesario integrar que el usuario pudiera escuchar algún sonido característico del videojuego y así fue cuando comenzaron los primeros software con sonidos compatibles.

Sin embargo, un poco más tarde, en plena revolución de la música digital (empezaban a popularizarse los instrumentos musicales digitales) apareció en el mercado de los compatibles una tarjeta que lo revolucionó, la tarjeta de sonido Sound Blaster.

Por fin era posible convertir sonido analógico a digital para guardarlo en nuestro PC, y también convertir el sonido digital que hay en nuestro PC a analógico y poder escucharlo por nuestros altavoces, ejemplo de ello se ilustra una tarjeta de sonido en la figura 11.

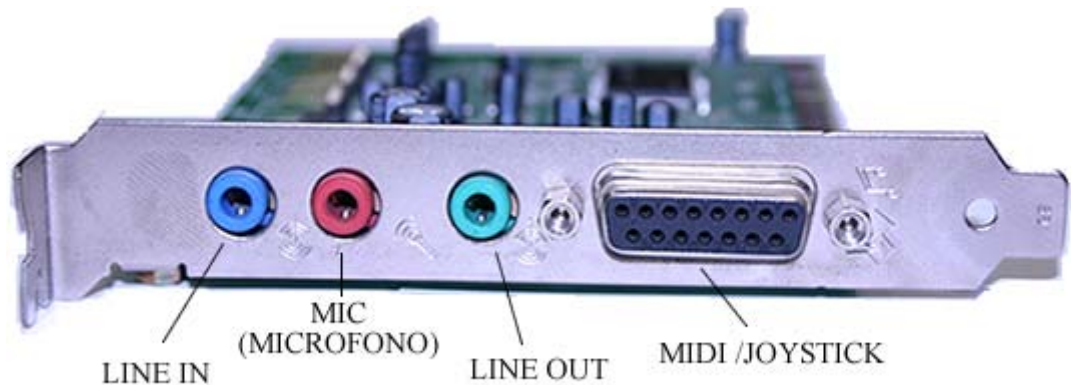


Figura 11. Imagen de una tarjeta de sonido común.

2.3.1.1. Características eléctricas

El rango de audición del humano va desde los 20Hz hasta 20KHz a pesar de su disminución conforme avanza la edad.

Todas las tarjetas de sonido domésticas pueden trabajar con una resolución de 44.1KHz [22], y muchas incluso lo hacen a 48KHz. Las semi-profesionales trabajan en su mayoría con esos 48KHz y algunas incluso con 50KHz. Las profesionales llegan cerca de los 100KHz.

La utilización de este muestreo ampliado se debe al mismo motivo por el que algunas tarjetas utilizan más de 16bits para cada muestra: si los datos de partida no son suficientemente fieles o después nos vamos a dedicar a modificar el sonido, perderemos calidad, así que cuanto más calidad tengamos en un principio, mejores resultados obtendremos al final, es mejor trabajar con un margen de confianza.

Por todo lo mencionado anteriormente es necesario tener el debido cuidado de no introducir frecuencias mayores a las establecidas por el fabricante ya que en algunos casos podrían no venir protegidas contra frecuencias más grandes y por consiguiente se afectaría gravemente la vida útil de la tarjeta de sonido. Además el

voltaje normal de entrada a la terminal Line in de la tarjeta no debe superar el 1Vp, por ejemplo el micrófono está diseñado para poder enviar pequeñas señales de voltaje a una frecuencia de máxima de 4Khz. El diagrama a bloques de cómo estará conformado el diseño se muestra en la figura 12.

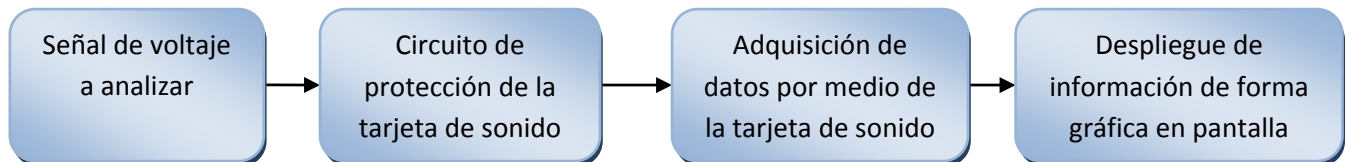


Figura 12. Diagrama a bloques real del sistema.

Es importan mencionar que la comunicación que halla entre la tarjeta de sonido y el procesador de la computadora afectara la calidad con que se visualice la información es por ello que es necesario buscar el “driver (conductor)” que optimice dicha comunicación.

Capítulo III

Diseño del dispositivo electrónico

En el presente capítulo se enfocará en las características que debe tener el dispositivo que permitirá el flujo de datos sin que afecte el medio de adquisición de datos del ordenador, así como su comportamiento ante diferentes condiciones tanto en voltaje como en frecuencia utilizando análisis de mallas y función de transferencia. Se describirá los pasos para la elaboración en el software necesario y su posible costo.

3.1. Descripción del funcionamiento del dispositivo

El dispositivo a desarrollar deberá de presentar dos características muy importantes, para la protección de la tarjeta de sonido del ordenador, que será la protección en el voltaje, así como en frecuencia, esto es, cuando un voltaje sea grande el dispositivo logre re-escalarlo a una amplitud menor a $1V_p$, además de que por su alta impedancia a la entrada no permite la entrada de una gran cantidad de corriente que dañen algún componente del ordenador y en dado caso de ser un voltaje muy grande pueda ser limitado por la protección final del dispositivo siempre como máximo voltaje de entrada el de $1V_p$ a la entrada Line in.

Por otra parte a su vez debe de presentar una protección ante frecuencias no deseadas ya que al incrementar las frecuencias de entrada esto se interpreta como potencia que se le está suministrando a la tarjeta lo que ocasionaría daños, cabe mencionar que algunas tarjetas de sonido actualmente ya cuentan con algún filtro el cual las protege contra esto mismo, pero para tener una garantía de que por esta razón no se vaya a ocasionar daños a la tarjeta de sonido que no cuente con ese filtro desde su fabricación, se implementara un filtro pasa-bandas, el cual a

frecuencias muy bajas cercanas de DC (Corriente directa) impidan la entrada de esta señal y a frecuencias muy altas atenúen la señal provocando así una disminución en su amplitud, que entre más grande sea la frecuencia de la señal, menor será su amplitud tendiendo a 0 cuando la frecuencia supere el máximo permitido, todo esto se estudiara a detalle más adelante. Es por ello que se diseñara el dispositivo buscando cumplir los requerimientos de la tabla 2.

Tabla 2. Características eléctricas deseadas del dispositivo protector.

	Condiciones	Respuesta del dispositivo
Voltaje	$>1V$	Re-escalamiento
Frecuencia	Mínimo $< f <$ Máxima	Flujo continuo
	Mínima $< f$	Filtro externo
	$f >$ Máxima	Filtro externo

3.2. Características en voltaje en función del tiempo

Para determinar las características de voltaje que presentara el dispositivo a diseñar a lo largo de un tiempo determinado y ante una entrada determinada, se debe de recurrir al modelado de sistemas dinámicos en [3], donde se hace referencia que un sistema de cualquier tipo se puede representar por medio de ecuaciones diferenciales de n orden, dicho sistema puede ser lineal ó no lineal, pero puede ser resuelto por medio de sus ecuaciones diferenciales, mediante el uso de la *Función de Traslación* y posterior solución, y así lograr apreciar su respuesta en función del tiempo ante una señal de entrada determinada.

3.2.1. Función de transferencia

Un sistema puede ser representado mediante una función de transferencia siempre y cuando el sistema sea lineal e invariante en el tiempo, por lo cual se debe de determinar las ecuaciones diferenciales de cada componente que conforma el dispositivo a estudiar.

En la teoría de control [3], a menudo se usan las funciones de transferencia para caracterizar las relaciones de entrada-salida de componentes ó de sistemas que se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales invariantes con el tiempo. A continuación se presenta la definición formal de *Función de transferencia*.

Función de transferencia. *La función de transferencia de un sistema descrito mediante una ecuación diferencial lineal e invariante con el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función de excitación) bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero.*

Considere el siguiente sistema lineal e invariante en el tiempo, descrito mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} a_0^{(n)}y + a_1^{(n-1)}y + \dots + a_{n-1}\dot{y} + a_n y \\ = b_0^{(m)}x + b_1^{(m-1)}\dot{x} + \dots + b_{m-1}\dot{x} + b_m x \quad (n \geq m) \quad (1) \end{aligned}$$

en donde “y” es la salida del sistema y “x” es la entrada. La función de transferencia de este sistema se obtiene tomando la transformada de Laplace de ambos miembros de la ecuación, bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero.

$$\begin{aligned}
 \text{Función de transferencia} = G(s) &= \frac{\mathcal{L}[\text{salida}]}{\mathcal{L}[\text{entrada}]} \Big|_{\text{condiciones iniciales cero}} \\
 &= \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n} \quad (2)
 \end{aligned}$$

A partir del concepto de función de transferencia, es posible representar la dinámica de un sistema mediante ecuaciones algebraicas en S . Si la potencia más alta de s en el denominador de la función de transferencia es igual a n el sistema se denomina sistema de n -ésimo orden.

Dado que el principal interés de la presente tesis es el desarrollo de un dispositivo el cual cumpla la función de proteger la tarjeta de sonido y la visualización gráfica, no se enfocara en los temas subsecuentes en la obtención de cada función de transferencia, si no en lo que representa analíticamente para la respuesta en tiempo de cada bloque a analizar. Por lo cual solo se hará mención cuando sea necesario.

3.3. Características en frecuencia

Cuando se habla de frecuencia se hace referencia al comportamiento que se producirá en el dispositivo ó componente ante una señal alterna (un ejemplo de dicha variación se muestra en la figura 13), ya que puede variar su número de ciclos por segundo continuamente ó esporádicamente, ya sea para disminuir dichos ciclos (figura 14) ó incrementarlos de una manera abrupta (figura 15) y posiblemente perjudicial para algunos dispositivos, ya que entre mayor sean los ciclos por segundo se reduce la vida útil del equipo en dado caso que no se encuentre protegido por algún filtro, un ejemplo de ello es cuando una persona anda en bicicleta y pedalea a un ritmo adecuado para esa misma persona, teniendo en ocasiones que disminuir ese ritmo ó en otras ocasiones incrementarlo hasta su límite físico, pero en dado caso de sobrepasar ese limite la persona no soportaría el

pedaleo tan acelerado ya que no fue diseñado para ello, por lo cual sufriría lesiones que de seguir continuamente podría ocasionar daños irreparables.

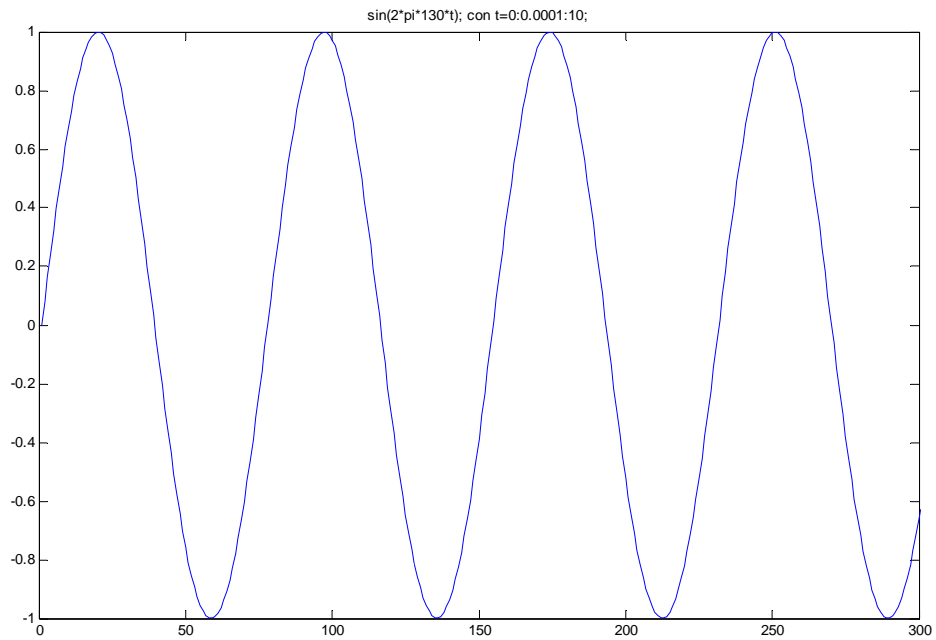


Figura 13. Gráfica de una onda senoidal a frecuencia normal.

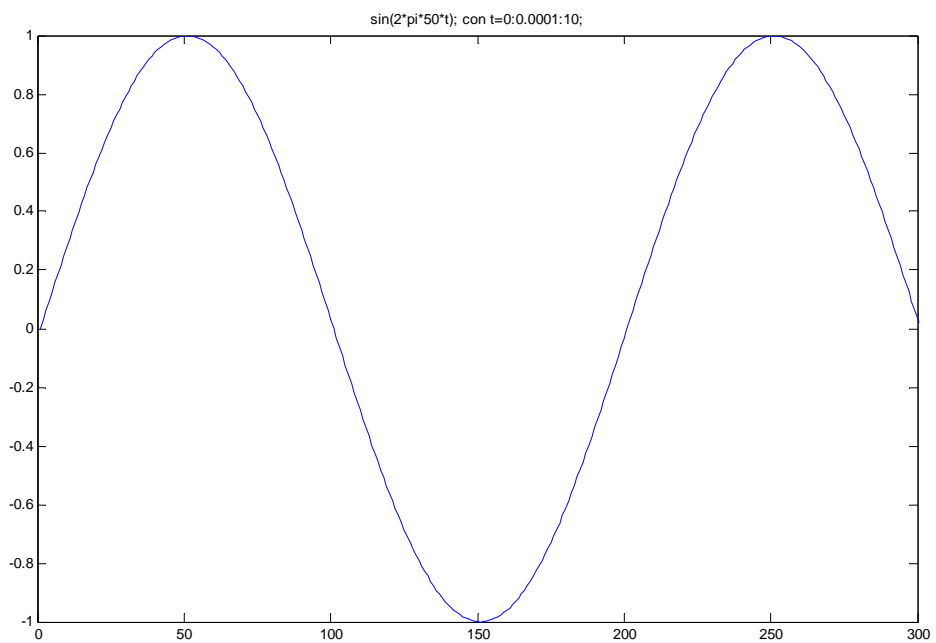


Figura 14. Gráfica de una onda senoidal a baja frecuencia.

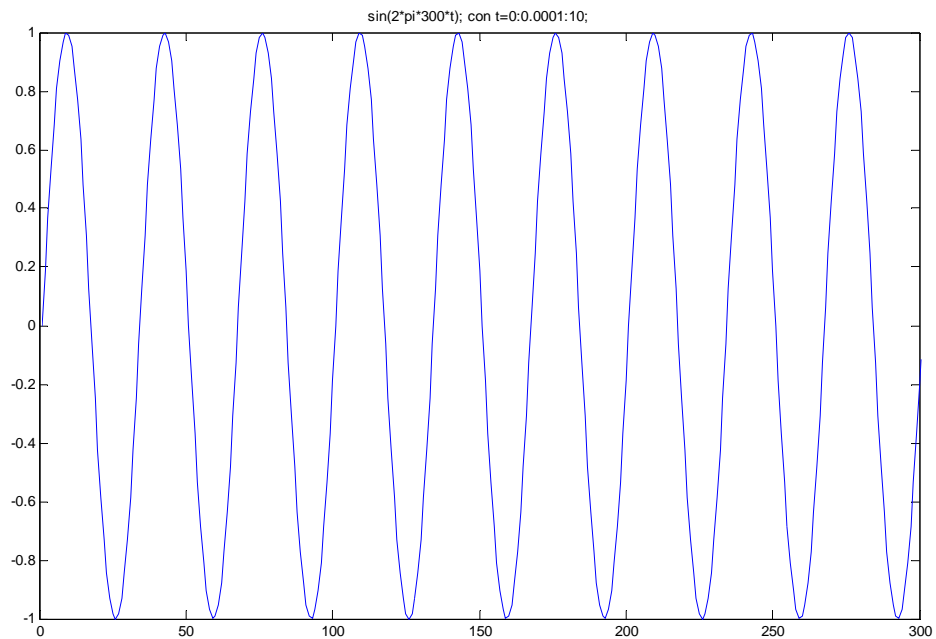


Figura 15. Gráfica de una onda senoidal a alta frecuencia.

3.3.1. Análisis de Bode

En el diseño y análisis de circuitos se emplea el diagrama de bode, que es una representación gráfica que sirve para caracterizar la respuesta en frecuencia de un sistema. Normalmente consta de dos gráficas separadas, una que corresponde con la magnitud de dicha función y otra que corresponde con la fase. Recibe su nombre del científico que lo desarrolló, Hendrik Wade Bode figura 16.



Figura 16. Hendrik Wade Bode (1905-1982)

Las trazas ó gráficas de Bode están formadas por dos gráficas presentadas en [3], una es el logaritmo de la magnitud de una función de transferencia senoidal y la otra es el ángulo de fase. Ambas se grafican contra la frecuencia en la escala logarítmica.

La representación común de la magnitud logarítmica de $G(j\omega)$ es $20 \log|G(j\omega)|$, en donde la base del logaritmo es 10. La unidad que se usa en esta representación de la magnitud es el decibel, por lo general abreviado dB. En la representación logarítmica, se trazan las curvas sobre papel semi-logarítmico, con la escala logarítmica para la frecuencia y la escala lineal para cualquier magnitud (en decibeles) o el ángulo de fase (en grados). (El rango de frecuencia de interés determina la cantidad de ciclos logarítmicos que se requieren en la abscisa.) La ventaja principal de usar la traza de Bode es que la multiplicación de magnitudes se convierte en adición. Además, cuenta con un método simple para trazar una curva aproximada de magnitud logarítmica. Se basa en aproximaciones asintóticas. Esta aproximación, mediante asíntotas (líneas rectas), es suficiente si sólo se necesita información general sobre la característica de la respuesta en frecuencia. Si se desea obtener curvas exactas, es fácil corregir las curvas asintóticas. Las curvas de ángulo de fase se dibujan con facilidad si se cuenta con una plantilla de la curva de ángulo de fase de $1 + j\omega$. Es muy provechoso ampliar el rango de frecuencia baja mediante el uso de una escala logarítmica, dado que las características de las frecuencias bajas son lo más importante en los sistemas prácticos. Aunque no es posible graficar las curvas hasta una frecuencia cero, debido a la frecuencia logarítmica ($\log 0 = -\infty$), esto no significa un problema serio.

Un ejemplo práctico de una gráfica de Bode se presenta a continuación donde dicha gráfica es el análisis de la *Función de Transferencia* abajo indicada, la cual representa a un sistema llamado: Masa-Resorte-Amortiguador (MRA) y su gráfica se presenta en la figura 17.

Transfer function:
1

$$1.77 s^2 + 6.53 s + 200$$

(3)

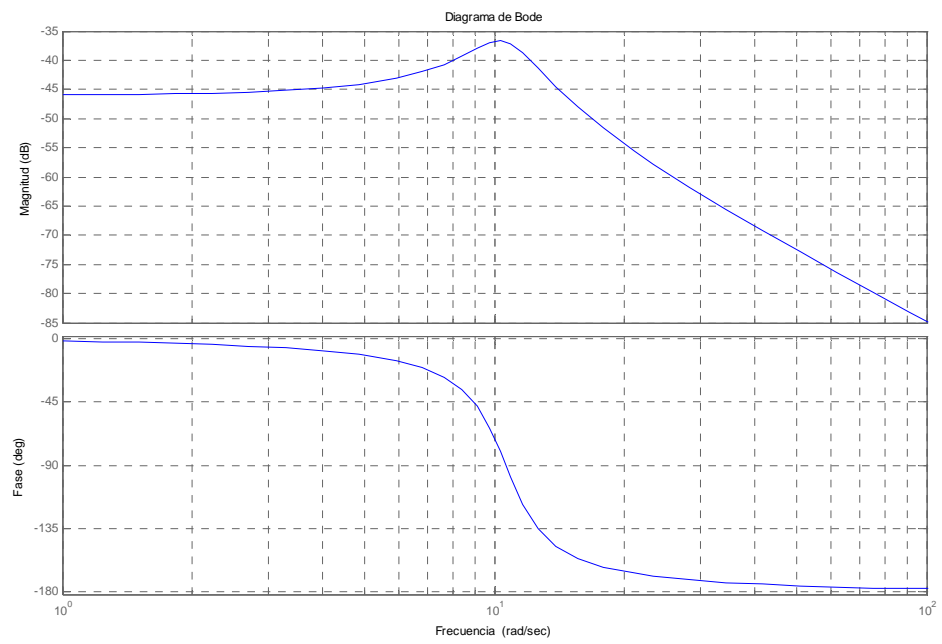


Figura 17. Gráficas de bode del sistema: Masa-Resorte-Amortiguador

3.4. Implementación física

Se procede al diseño del dispositivo protector de amplitud y frecuencia de la entrada de la tarjeta de sonido. Para el diseño del dispositivo se establece el siguiente diagrama a bloques mostrado en la figura 18.

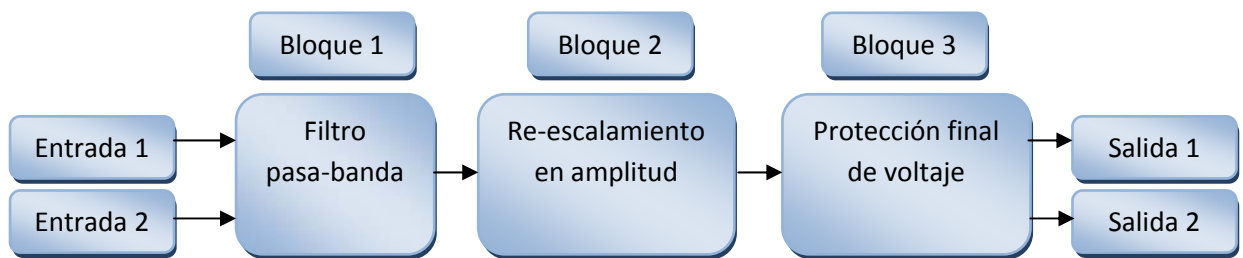


Figura 18. Bloques que conforman el dispositivo.

Comenzando el diseño del *bloque 1* y en base a las especificaciones que se establecieron en el punto 2.3.1.1 y 3.1 donde se hace referencia a las características que debe de presentar la protección de la tarjeta de sonido ante variaciones, a continuación se presentara el análisis llevado a cabo para limitar dichas variables y así garantizar el funcionamiento óptimo de la tarjeta de sonido.

Para el diseño de la protección en frecuencia, que debe de presentar el dispositivo, se requieren ciertas limitaciones, la cuales presentara ante entradas de frecuencias muy bajas y extremadamente altas. Para la protección en frecuencia se diseñara un filtro pasa-banda, para el cual, se deben de conocer dos tipos de frecuencias:

1. Frecuencia máxima de entrada que permite la tarjeta de sonido.
2. Frecuencia de muestreo de la tarjeta de sonido.

Donde la frecuencia de muestreo máxima es especificada por el fabricante, y en base a especificaciones generales se maneja que la frecuencia es de 44khz máxima, pero esto no implica que puedan ingresarse exactamente una señal de 44 khz, ya que para ello debe de conocerse la frecuencia máxima de ingreso por la cual la tarjeta de sonido adquiere datos, es aquí donde se emplea el *Teorema de muestreo de Nyquist-Shannon*, dicha frecuencia de muestreo permitirá delimitar las frecuencia de corte superior del filtro pasa-banda que se empleara para la protección en frecuencia de la tarjeta de sonido, en el teorema de muestreo que se menciona en [7], se define que *“Una señal de banda limitada sin componentes espectrales por encima de una frecuencia de B Hz, se determina unívocamente por sus valores equidistantes a intervalos no mayores de 1/(2B) segundos. Esta es una condición suficiente para que una señal analógica pueda ser totalmente reconstruida a partir de un conjunto de muestras discretas uniformemente espaciadas en el tiempo.”* Esto es que:

$$T < (1/2B)$$

Dicho de una manera mas sencilla, para poder replicar con exactitud la forma de una onda de una señal a analizar, es necesario que la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la máxima frecuencia a muestrear, con ello podrá volverse a graficar la señal que se analizo y no presentara un “alias”.

Es evidente que si la frecuencia de muestreo es muy baja, es decir mediciones demasiado espaciadas, se perderán “detalles” de la señal original. Mediante una simple demostración gráfica se puede ver. En las figuras A-B-C-D se ha representado cuatros señales distintas (en línea azul), muestreadas periódicamente a igual frecuencia (los círculos rojos denotan las “muestras”). En A y B las señales aparecen correctamente representadas por las muestras, en C la velocidad de muestreo parece insuficiente, y en D las muestras representan una señal como la de B, es decir la señal de D es un “alias” de la señal de B. Este efecto se denomina en inglés “aliasing” esto puede verse en la figura 19.

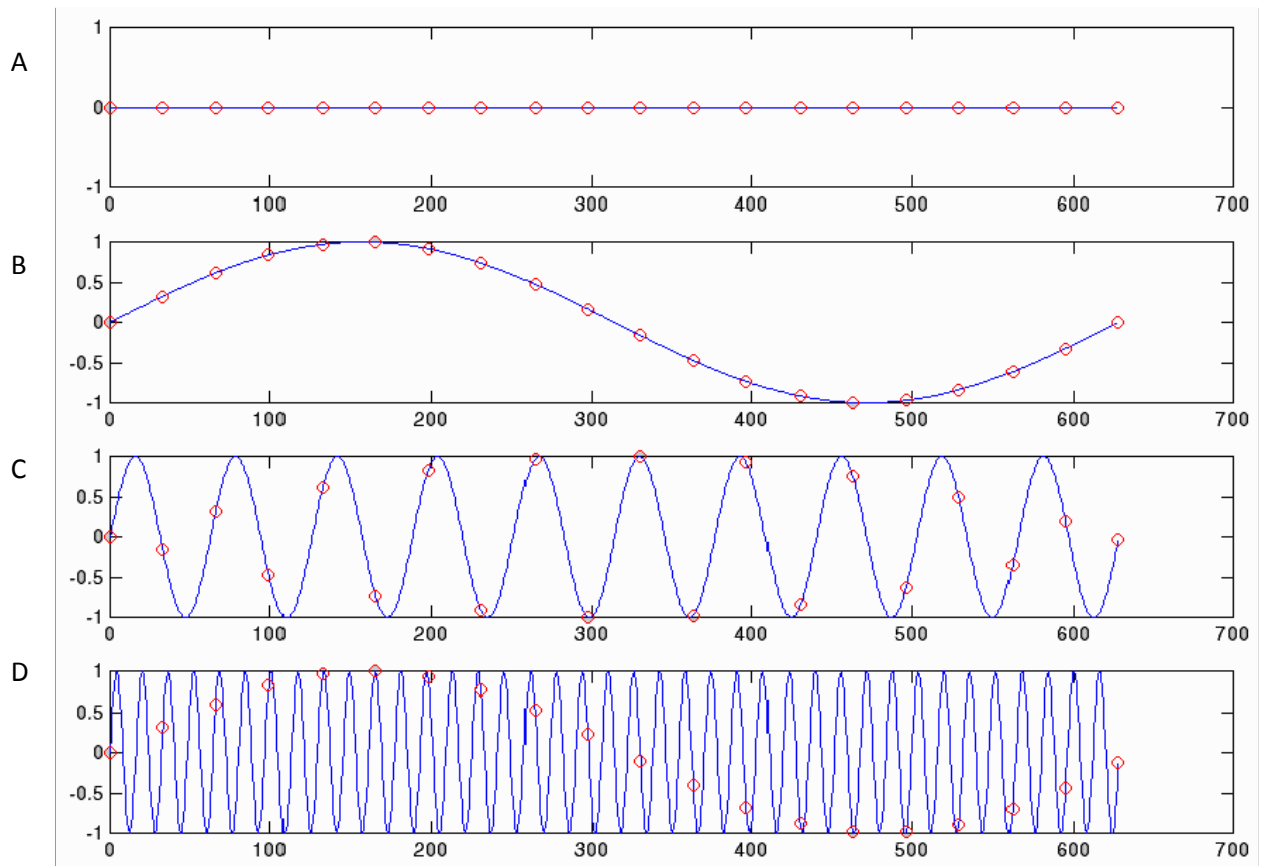


Figura 19. Gráfica representativa del *Teorema de muestreo de Nyquist-Shannon*

Una vez hecha la breve explicación acerca de la frecuencia de muestreo que debe tener cada dispositivo para así poder volver a representar la señal que se analiza, se vera la frecuencia limite que podrá ser leída por la tarjeta de sonido, para así poder desplegarla en el monitor de la computadora que se este empleando, ejemplificando esto de una forma gráfica se visualiza en la parte inferior la generación de una señal y que es muestreada a diferentes tipos de frecuencias figura 20.

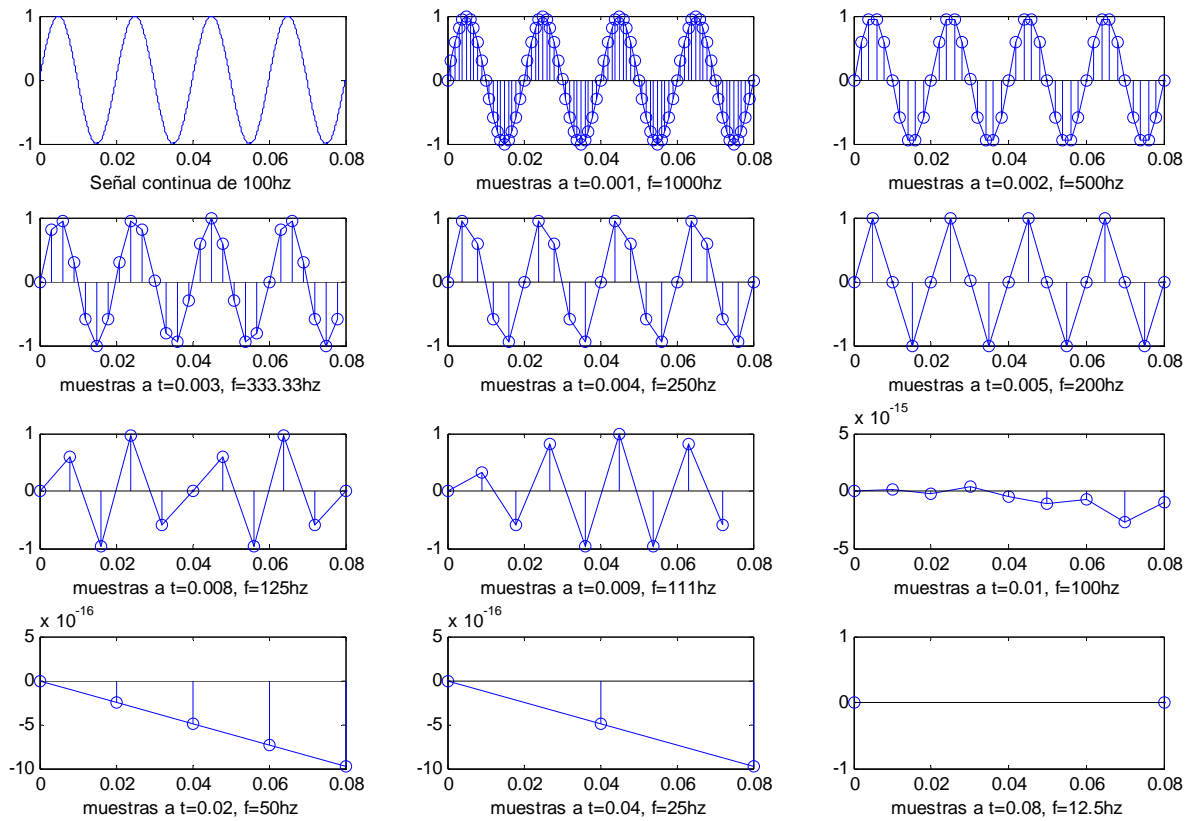


Figura 20. Gráfica representativa de diferentes frecuencias de muestreo.

En base a la anterior figura es notorio como para poder ser reconstruida una señal es necesario que sea muestreada mínimamente al doble de su frecuencia original para tener una pequeña semejanza de la señal original, pero al ser muestreada al doble de la frecuencia original aun no es suficiente, por lo cual debe de incrementarse a tres veces o más la frecuencia de muestreo.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente y en base a las especificaciones en frecuencia ofrecida por los fabricantes de tarjetas de sonido, que el estándar en frecuencia de muestreo es de 44kHz y en base al teorema de muestreo, se determina que:

$$F_{muestreo} = 2 * F_{max} \quad (4)$$

$$F_{max} = \frac{F_{muestreo}}{2}$$

$$F_{max} = \frac{44KHz}{2} = 22KHz$$

Con lo anterior se satisface el teorema de muestreo y se determina que la máxima frecuencia de entrada para analizar debe de ser de 22Khz, pero como se observo en la figura 20, ser muestreada una señal al doble de su frecuencia no garantiza poder reconstruir y observar la señal de igual forma como se genera, por lo cual las frecuencias de ingreso deberán de ser $f_{max} \ll 22Khz$.

En base al dato obtenido se diseñara un filtro activo butterworth 2^{do} orden pasa-bajas (-40 dB/dec), ya que presenta una mejor respuesta en magnitud y en fase a comparación del filtro Chebyshev o Bessel, en la figura 21 se muestra el diagrama general del filtro butterworth empleando una célula Shallen-Key, y posteriormente el análisis para determinar la función de transferencia, así como la forma de diseño para satisfacer la necesidades requeridas, se especifica en [14].

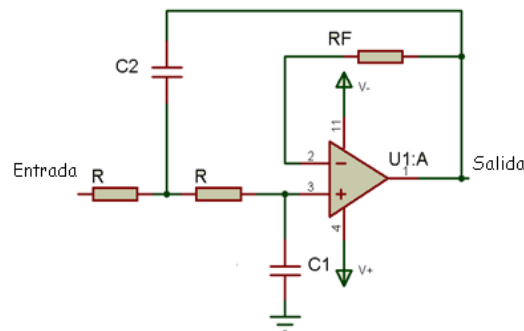


Figura 21. Filtro pasa-bajas activo butterworth 2do orden con atenuación de -40 dB/década.

Para el análisis del circuito arriba mostrado que corresponde a una célula Shallen-Key, dicho filtro es muy práctico por su simplicidad, realizando un análisis matemático puede describirse el circuito de la figura 21 por impedancias mostrado en la figura 22.

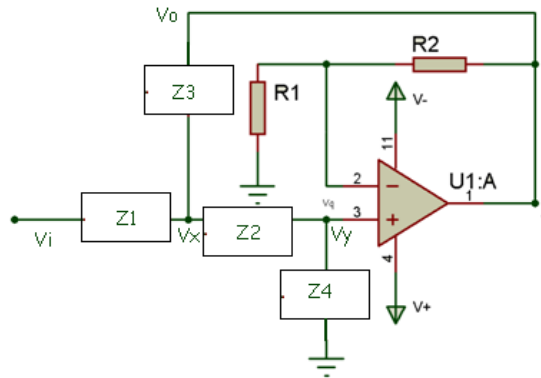


Figura 22. Célula Shallen-Key

$$\text{Si la ganancia } \frac{V_o}{V_y} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = A_{cl} \Rightarrow V_y = \frac{V_o}{A_{cl}} \quad (5)$$

Como la corriente que pasa por Z2 y Z4 es la misma ya que la corriente que ingresa al amplificador operacional es cero, debido a que a la entrada del amplificador presenta una alta impedancia desde su fabricación.

$$V_x = i * (Z_2 + Z_4) \quad (6)$$

Por lo cual haciendo el análisis del Nodo Vx y donde Acl es la ganancia del filtro se tiene que:

$$\frac{V_i - V_x}{Z_1} + \frac{V_o - V_x}{Z_3} + \frac{V_y - V_x}{Z_2} = 0 \quad (7)$$

Tenemos que

$$V_x = i * (Z_2 + Z_4) \quad (8)$$

Pero
$$i = \frac{V_y}{Z_4} = \frac{V_o}{A_{cl} * Z_4} \quad (9)$$

Entonces
$$V_x = \frac{V_o}{A_{cl} * Z_4} * (Z_2 + Z_4)$$

Sustituyendo V_x y V_y en la ecuación del nodo V_x :

$$\frac{1}{Z_1} * \left(V_i - \frac{V_o * (Z_2 + Z_4)}{A_{cl} * Z_4} \right) + \frac{V_o}{Z_3} * \left(1 - \frac{(Z_2 + Z_4)}{A_{cl} * Z_4} \right) + \frac{V_o}{Z_2} * \left(\frac{1}{A_{cl}} - \frac{(Z_2 + Z_4)}{A_{cl} * Z_4} \right) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{V_i}{Z_1} = \frac{V_o}{A_{cl} * Z_1} - \frac{V_o}{Z_3} + \frac{V_o}{A_{cl} * Z_3} + \frac{V_o}{A_{cl} * Z_4} + \frac{V_o * Z_2}{A_{cl} * Z_1 * Z_4} + \frac{V_o * Z_2}{A_{cl} * Z_3 * Z_4}$$

$$\frac{V_i}{Z_1} = \frac{V_o * (Z_1 * Z_2 + Z_1 * Z_3 + Z_2 * Z_3 + Z_1 * Z_4 - A_{cl} * Z_1 * Z_4 + Z_3 * Z_4)}{A_{cl} * Z_1 * Z_3 * Z_4}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A_{cl} * Z_3 * Z_4}{Z_1 * Z_2 + Z_1 * Z_3 + Z_2 * Z_3 + Z_1 * Z_4 - A_{cl} * Z_1 * Z_4 + Z_3 * Z_4}$$

Se propone que:

$$Z_1 = R; \quad Z_2 = R; \quad Z_3 = \frac{1}{C_1 S}; \quad Z_4 = \frac{1}{C_2 S}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A_{cl}}{1 + (C_1 * R - A_{cl} * C_1 * R + 2 * C_2 * R) * S + (C_1 * C_2 * R^2) * S^2} \quad (11)$$

Igualando el denominador de (11) con el polinomio correspondiente del orden del filtro deseado de la Tabla de polinomios de butterworth que es:

$$(S'^2 + 1.414 * S' + 1) \quad (12)$$

Polinomio de denominador del filtro Butterworth de 2do orden

Dicho denominador de (11) debe de satisfacer la igualdad para que corresponda a un filtro activo butterworth de 2do orden, y cumpliendo el requerimiento de que $A_{cl} = 1$

$$Bn(s) = (S'^2 + 1.414 * S' + 1)$$

$$\text{Con } S' = \frac{S}{W_o} \quad \text{y} \quad W_o = \frac{1}{\sqrt{C_1 * C_2 * R^2}}$$

Sustituyendo S' en (11)

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A_{cl}}{1 + \left[(C_1 * R - A_{cl} * C_1 * R + 2 * C_2 * R) * \left(\frac{1}{\sqrt{C_1 * C_2 * R^2}} \right) \right] * S' + S'^2}$$

Igualando términos se tiene que:

$$1 = 1$$

$$\left[(C1 * R - A_{cl} * C1 * R + 2 * C2 * R) * \left(\frac{1}{\sqrt{C1 * C2 * R^2}} \right) \right] * S' = 1.414 * S'$$

$$S'^2 = S'^2$$

Como $A_{cl} = 1$ y se propone $C1 = 2 * C2$

$$\left[(2 * C2 * R) * \left(\frac{1}{\sqrt{C1 * C2 * R^2}} \right) \right] * S' = 1.414 * S'$$

$$\left[\left(\frac{2 * \sqrt{2} * C2 * C2 * R^2}{2 * C2 * R} \right) \right] * S' = 1.414 * S'$$

$$\sqrt{2} * S' = 1.414 * S'$$

Habiendo comprobado que la función de transferencia:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A_{cl}}{1 + (C1 * R - A_{cl} * C1 * R + 2 * C2 * R) * S + (C1 * C2 * R^2) * S^2}$$

corresponde a un filtro activo butterworth de 2do orden pasa-bajas se procederá a su diseño, pero para el diseño del filtro no solo se tiene que tener en cuenta el valor con que decae (dB/dec ó dB/oct) a la frecuencia de corte establecida, debido a que por diseño una vez llegada a esa frecuencia de corte presenta un desfase de -90° para el caso del filtro butterworth de 2do orden que es mostrado en la figura 23.

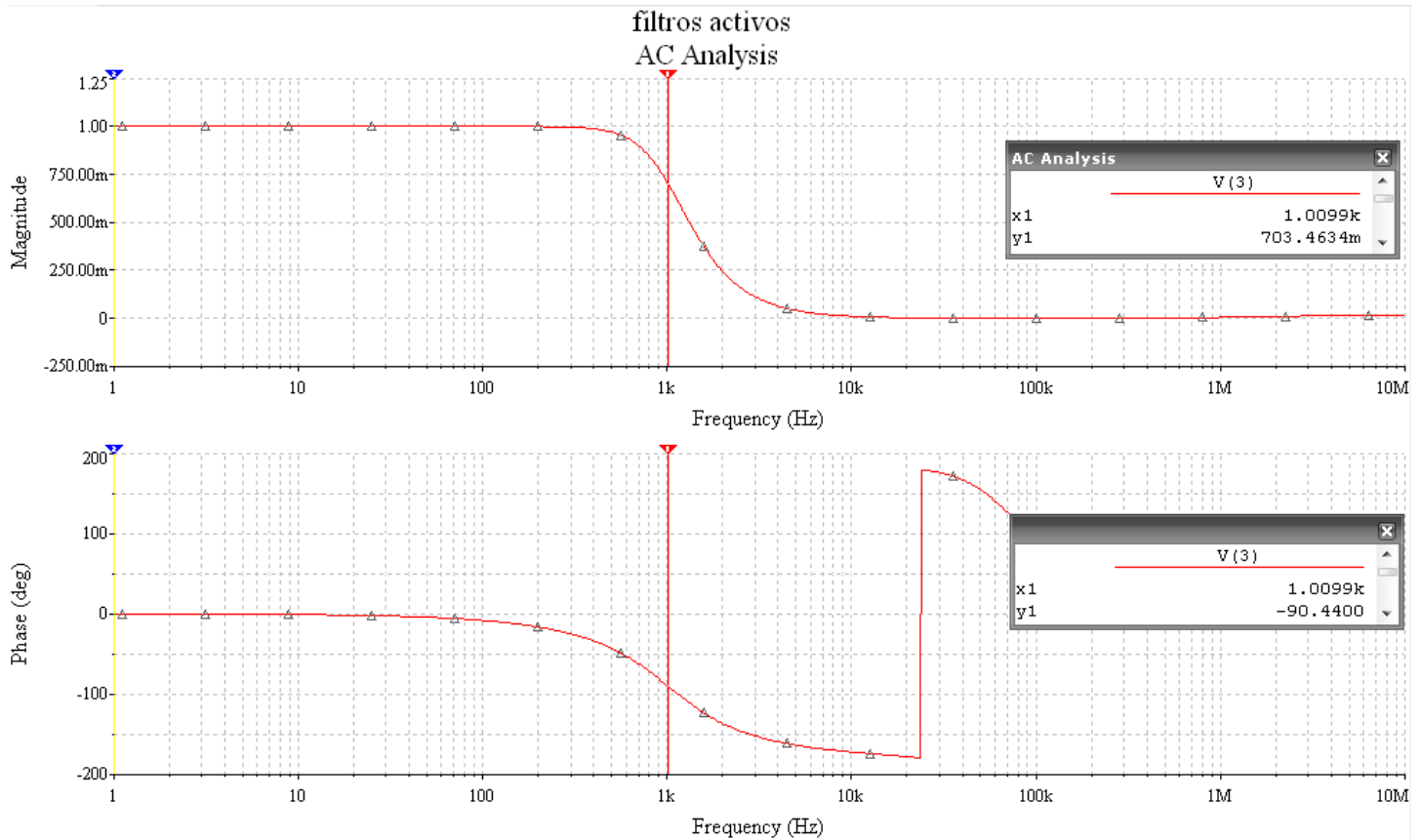


Figura 23. Gráfica de respuesta en frecuencia del filtro pasa-bajas de -40 dB/déc.

Lamentablemente como se menciona en [14] un filtro butterworth no se diseña para mantener una fase constante en la frecuencia de corte, sino que se diseña para que su magnitud sea constante antes de la frecuencia de corte y después de ella decaiga conforme el orden del filtro sea, como se muestra en la tabla 3, se aprecia la razón de cambio conforme la frecuencia varía tanto en magnitud como en fase, donde w_c es la frecuencia de corte y $|A_{cl}|$ la ganancia del filtro.

Tabla 3. Razón de cambio en magnitud y ángulo de fase de un filtro Butterworth.

w	A _{cl}		Ángulo de fase	
	-20 dB/década	-40 dB/década	Filtro 1er orden	Filtro 2do orden
	Filtro 1er orden	Filtro 2do orden		
0.1 w _c	1	1	-6°	-8°
0.25 w _c	0.97	0.998	-14°	-21°
0.5 w _c	0.89	0.97	-27°	-43°
w _c	0.707	0.707	-45°	-90°
2 w _c	0.445	0.24	-63°	-137°
4 w _c	0.25	0.053	-76°	-143°
10 w _c	1	0.01	-84°	-172°

En base a la tabla 3 se hace notorio que para poder obtener una fase constante dentro del rango deseado, es necesario tener la frecuencia de corte se encuentre muy lejos de la frecuencia deseada, idealmente se muestra abajo en la figura 24 el comportamiento deseado de un filtro para esta aplicación.

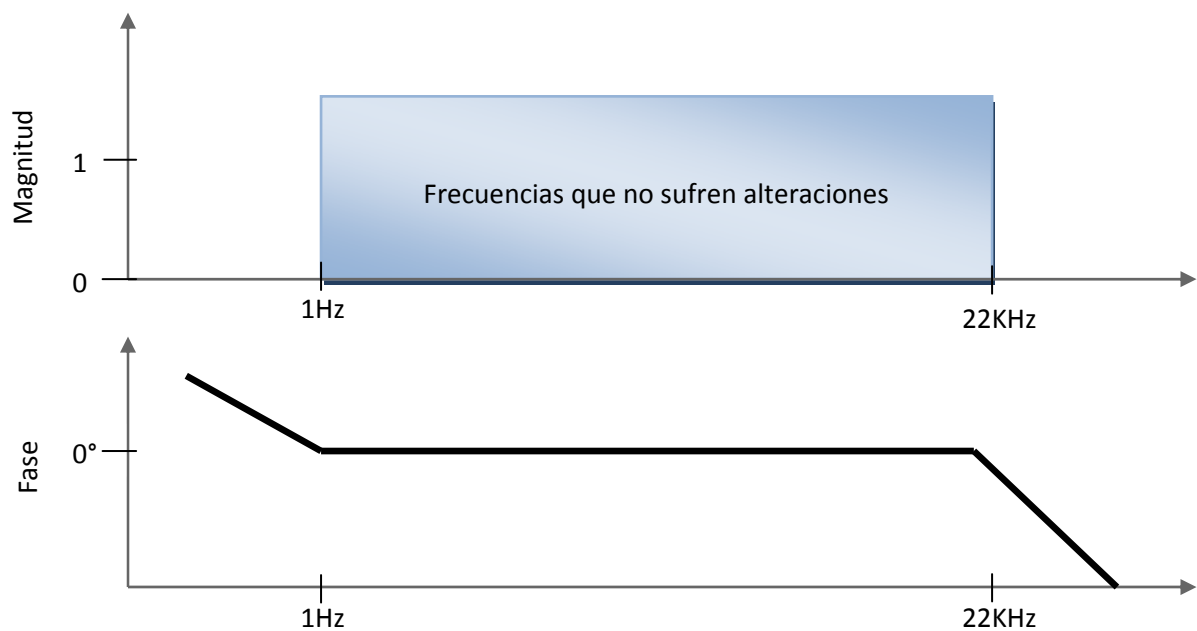


Figura 24. Gráfica ideal de filtro pasa-banda de magnitud y fase requeridas.

Por lo cual es necesario que a la frecuencia de corte deseada sea multiplicada por un factor de $F=10$, para así cuando sea $0.1 \cdot w_c$ el desfase en fase solo sea de -8° con lo cual se aproxima su fase a 0° , y de ser necesario que la fase corresponda a 0° , el factor por el cual se esta multiplicando debe de aumentar, todo esto con la finalidad de lograr obtener una salida de la señal que no presente alguna alteración a comparación de la entrada, dado que los sistemas caóticos presentan una infinidad de frecuencias dentro de una señal dichas frecuencias al pasar por el filtro si son muy cercanas a la frecuencia de corte el filtro ocasionara un desfase de n° , lo que ocasionaría una alteración a la señal original, supongamos un caso hipotético: *se diseña un filtro activo butterworth de 2do orden con frecuencia de corte a 5khz, y se introduce una señal de $I_1=1khz$, y posteriormente otra señal $I_2=4.5khz$, la primera señal I_1 pasara sin ningún problema por el filtro ya que esta lejos de la frecuencia de corte, pero la señal I_2 se encuentra muy cercana a la frecuencia de corte por lo cual presentara un desfase cercano a los -90° , lo que ocasionara un mal análisis de la señal ya que en la mayoría de los casos el usuario no tiene control sobre las frecuencias que ingresan al osciloscopio común.*

Una vez hecho este estudio de frecuencia de muestreo, filtros y habiendo obtenido las frecuencias requeridas para el diseño se procede al diseño del filtro activo butterworth de 2do pasa bajas, con frecuencia de corte de 22KHz, pero satisfaciendo lo anteriormente mencionado, la nueva frecuencia de corte (w_c) será:

$$w_{cn} = (w_{ca})(F) \quad (13)$$

$$w_c = (22KHz) \left(\frac{1}{0.092} \right) = 239Khz$$

Donde se a seleccionado un factor $F=10.8$ para así lograr tener una mejor fase a 22 KHz, pero sin olvidar que a 22KHz se esta muestreando a 2 veces la frecuencia máxima, lo cual se mostro en la figura 20, por lo cual es recomendable trabajar a frecuencias menores a 22KHz con la finalidad de un muestreo optimo de la señal.

Como se hace referencia en [14], para el diseño de un filtro activo butterworth de 2do orden pasa bajas se debe establecer lo siguientes datos que serán asignados a la figura 28, este diseño es usado en base a la comprobación hecha de la Célula Shallen-Key de la figura 22:

1. Defina una frecuencia de corte w_c o f_c
2. Defina C_1 ; elija un valor adecuado, comprendido entre 100pF y 0.1 uF
3. Defina $C_2=2C_1$
4. Calcule:

$$R = \frac{0.707}{w_c C_1}$$

5. Defina $R_f=2R$

Diseñando conforme se estableció anteriormente se asignan los siguientes valores

1. $w_c = 239\text{kHz}$
2. $C_1 = 100\text{pF}$
3. $C_2 = 200\text{pF}$
4. $R = 4.7\text{kohm}$
5. $R_f = 9.4\text{kohm} \approx 10\text{kohm}$

Una vez hecho los cálculos necesarios y habiéndole asignado los valores comerciales de resistencias y capacitores se muestra el diagrama final del filtro activo butterworth de 2do pasa bajas en la figura 25.

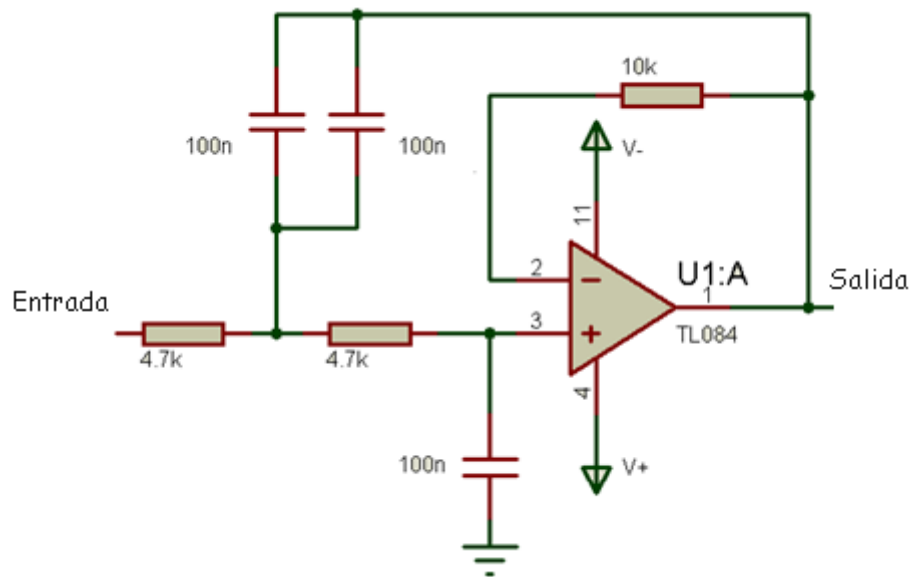


Figura 25. Filtro activo butterworth 2do orden pasa-bajo (-40 dB/dec) con frecuencia de corte a 239khz.

Conforme a los requerimientos establecidos previamente una vez diseñado el filtro pasa-bajas, corresponde ahora al diseño del filtro pasa-altas, dicho filtro no requiere de una gran atenuación ya que primordialmente es requerido que las señales de DC no sean ingresadas a la tarjeta de sonido por lo cual puede realizarse mediante un filtro pasivo tomando en cuenta que a la frecuencia de corte presentara un desfase de -45° , el filtro es ilustrado en la figura 26 así como su función de transferencia, para mas información puede verse en [14].

1. Seleccione la frecuencia de corte w_c .
2. Establezca un capacitor comercial no polarizado C.
3. Calcule

$$R = \frac{1}{(2)(\pi)(w_c)(C)}$$

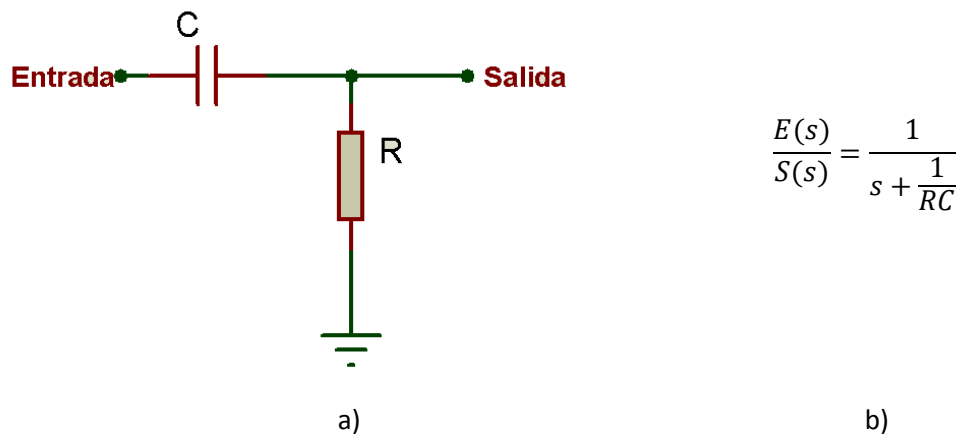


Figura 26. a) Filtro pasivo de 1er orden pasa-altas. b) Función de transferencia del filtro pasivo de 1er orden.

Como se muestra en la figura 26 dicho arreglo permite que el comportamiento eléctrico del capacitor impida la entrada de señales de DC y a medida que se ingresan señales de AC el capacitor presenta un comportamiento de corto circuito, diseñando el filtro pasa-altas de la forma arriba descrita se muestra a continuación con su respectiva figura 27 donde se asignan los valores.

1. $\omega_c = 100\text{mHz}$
2. $C = 1\mu\text{F}$
3. Calcule

$$R = \frac{1}{(2)(\pi)(0.1)(1\mu\text{F})} = 1.5\text{Mohm}$$

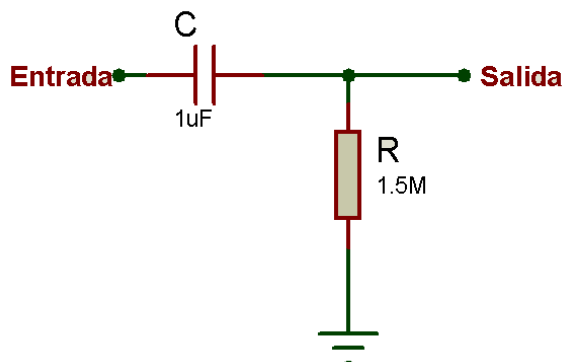


Figura 27. Filtro pasivo pasa-altas con frecuencia de corte a 100mHz.

Utilizando la configuración en cascada mencionada en [14], es posible acoplar dichos filtros para formar un filtro pasa-banda, el agrupamiento del filtro se muestra en la figura 28 y su respuesta en frecuencia en la figura 29.

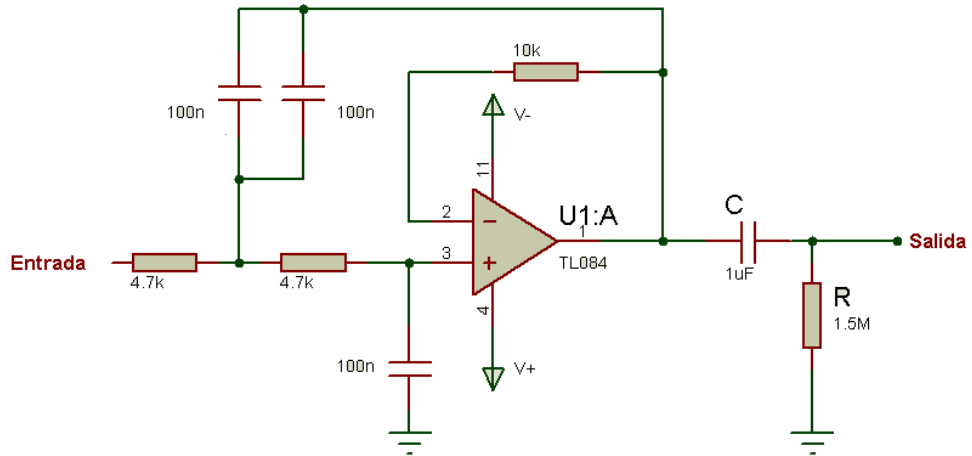


Figura 28. Filtro pasa-banda con acoplamiento cascada.

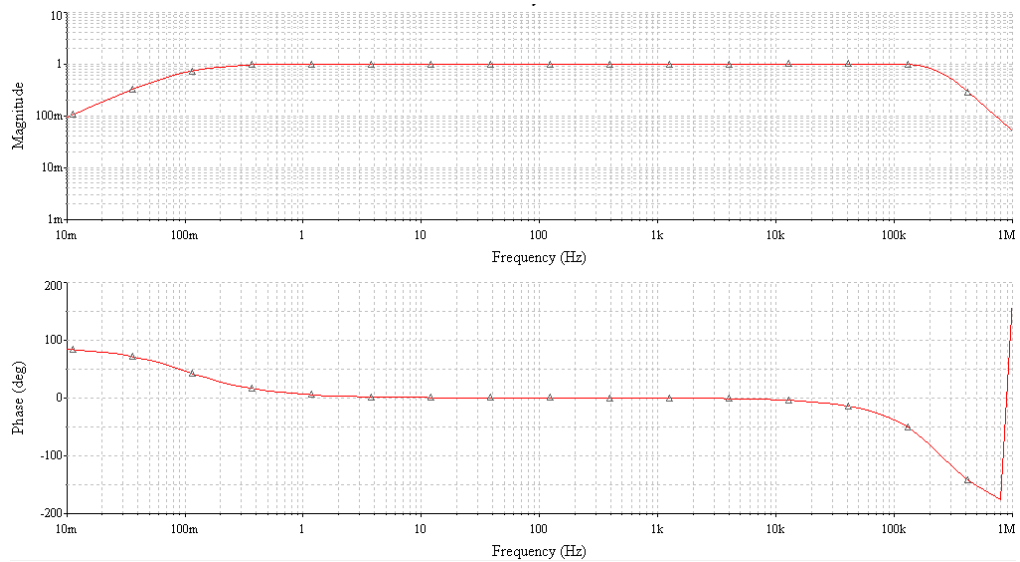


Figura 29. Respuesta en frecuencia del filtro pasa-banda.

Como es apreciable en la figura 29, se mantiene primordialmente la fase aproximada a 0 entre la frecuencia de 1hz a 22khz, con lo cual cumple el requerimiento principal del filtro, lamentablemente en magnitud no es posible atenuar las señales entre el rango de 22khz y 239khz, ya que al reducir la frecuencia de corte se incrementaría el desfase conforme se ha descrito previamente.

Prosiguiendo con la elaboración del dispositivo protector, y habiendo culminado el diseño del *bloque 1*, se dará inicio al diseño del *bloque 2*, conforme establecido en el diagrama a bloques figura 30.



Figura 30. Actual bloque en diseño.

En esta etapa del diseño se busca hacer modificaciones a la amplitud de la señal que este fluyendo, con la finalidad de poder re-escalarlo, dicha modificación se lograra mediante la multiplicación de la señal a analizar por una ganancia esto es:

$$(14)$$

Donde S_R es la señal resultante y G es la ganancia asignada.

Una configuración que permite la asignación de varias ganancias es el amplificador operación en modo inversor, el cual es descrito en [14] y su configuración es mostrado en la figura 31.

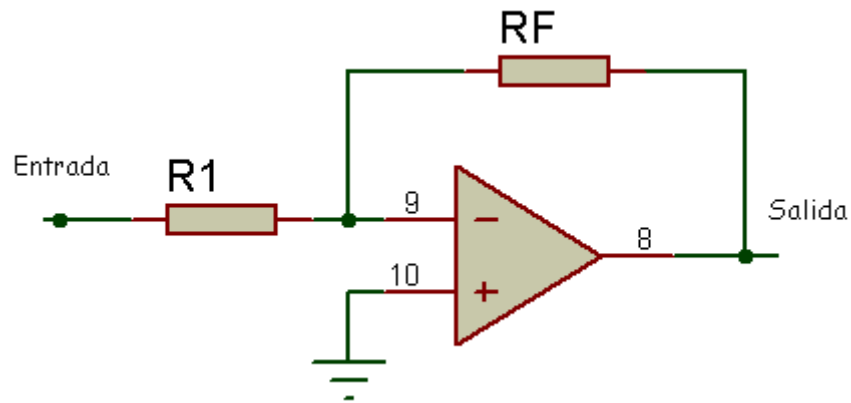


Figura 31. Amplificador operacional modo inversor.

En esta configuración, la función de transferencia esta descrita por (15).

$$\frac{V_{salida}}{V_{entrada}} = -\left(\frac{RF}{R1}\right) \quad (15)$$

Dado que la salida del voltaje es invertida, es necesario agregar otro amplificador operacional inversor de ganancia unitaria, acoplado en cascada, para así volver a invertir la polaridad y obtener la misma señal en fase pero con diferente amplitud. Esto es visualizado en la figura 32

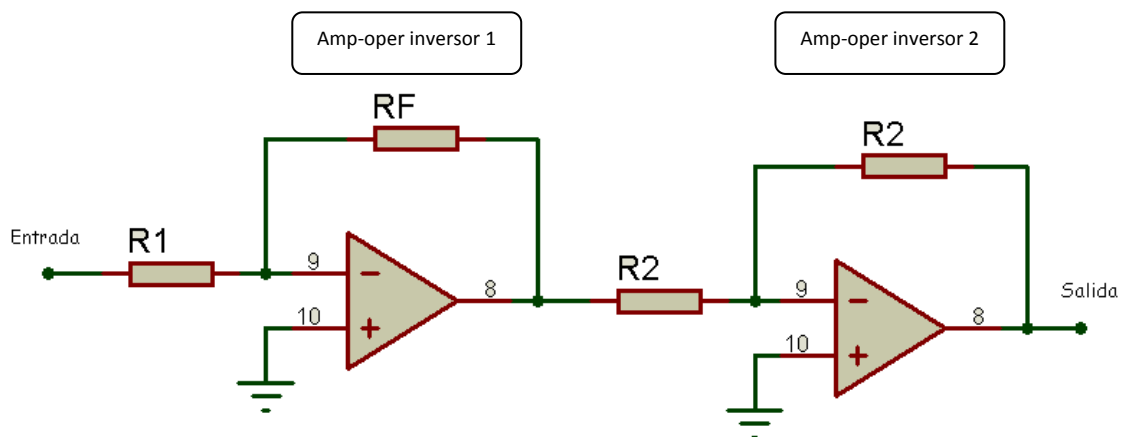
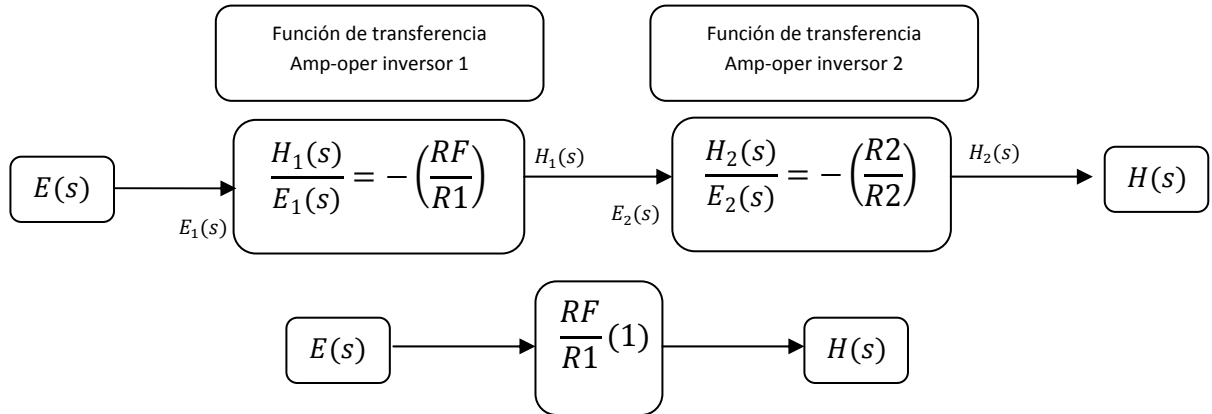


Figura 32. Acoplamiento en cascada de dos amplificadores operaciones inversores.

Utilizando la función de transferencia de (15), y representándolo en diagrama a bloques es posible visualizarlo y reducirlo de la siguiente manera:



Dicha reducción permite observar que la función de transferencia de estos dos amplificadores operacionales inversores acoplados en cascada es representada en (16), así como dicho cociente establecerá el factor de ganancia por el cual la entrada será afectada.

$$\frac{H(s)}{E(s)} = \frac{RF}{R1} \quad (16)$$

Es posible implementar el circuito mostrado en la figura 33 abajo ilustrada, para así lograr la serie de re-escalamientos en amplitud y mediante el uso de una perilla seleccionar una sola R_F en cada canal, la cual proporcionara una la ganancia, ya sea para amplificar o atenuar. En la tabla 4 se hace mención a una serie de ganancias las cuales satisfacen las necesidades requeridas para una computadora de escritorio, en cambio, de ser requerido el uso en una computadora portátil, la cual cuente con la entrada "Line in" en la tarjeta de sonido, será necesario modificar dichas ganancias, ya que debe presentar una atenuación aun mayor a la indicada en la tabla 4, debido a que las características eléctricas de la tarjeta de sonido de ambos equipos son diferentes, en la tabla 5 se proponen una serie de ganancias que satisfacen los requerimientos para así lograr ingresar señales alternas a una computadora portátil.

Tabla 4. Ganancias propuestas con sus respectivos valores de resistencias que satisfacen los requerimientos de una computadora de escritorio.

Número	Voltaje entrada (V)	R_1 propuesta	R_F propuesta	Ganancia $G = \frac{R_F}{R_1}$	Voltaje de salida (V_S) $V_S = V * G$
1	15V	100k Ω	1.5k Ω	$G_{R1}=0.015$	0.225V
2	12V	100k Ω	2.2k Ω	$G_{R2}=0.022$	0.264V
3	10V	100k Ω	2.7k Ω	$G_{R3}=0.027$	0.27V
4	8V	100k Ω	3.3k Ω	$G_{R4}=0.033$	0.264V
5	6V	100k Ω	4.1k Ω	$G_{R5}=0.041$	0.246V
6	4V	100k Ω	6.8k Ω	$G_{R6}=0.068$	0.272V
7	2V	100k Ω	12.2k Ω	$G_{R7}=0.122$	0.244V

Tabla 5. Ganancias propuestas con los respectivos valores de resistencias que satisfacen los requerimientos de una computadora portátil.

Número	Voltaje entrada (V)	R_1 propuesta	R_F propuesta	Ganancia $G = \frac{R_F}{R_1}$	Voltaje de salida (V_S) $V_S = V * G$
1	15V	1M Ω	500 Ω	$G_{R1}=0.00050$	$\approx 0.0075V$
2	12V	1M Ω	625 Ω	$G_{R2}=0.00062$	$\approx 0.0075V$
3	10V	1M Ω	750 Ω	$G_{R3}=0.00075$	$\approx 0.0075V$
4	8V	1M Ω	937 Ω	$G_{R4}=0.00093$	$\approx 0.0075V$
5	6V	1M Ω	1.25k Ω	$G_{R5}=0.00125$	$\approx 0.0075V$
6	4V	1M Ω	1.8k Ω	$G_{R6}=0.00187$	$\approx 0.0075V$
7	2V	1M Ω	3.7k Ω	$G_{R7}=0.00370$	$\approx 0.0075V$

Dichas ganancias satisfacen el requerimiento en amplitud para ser ingresada una señal analógica a la tarjeta de sonido y pueden ser modificadas mientras sea garantizando esto mismo. Una vez que se realizan las conexiones físicas del dispositivo, para hacer la conexión entre la perilla selectora y las demás resistencias se recomienda el uso de cable par trenzado tipo FTP (Foiled Twisted Pair) por sus siglas en ingles.

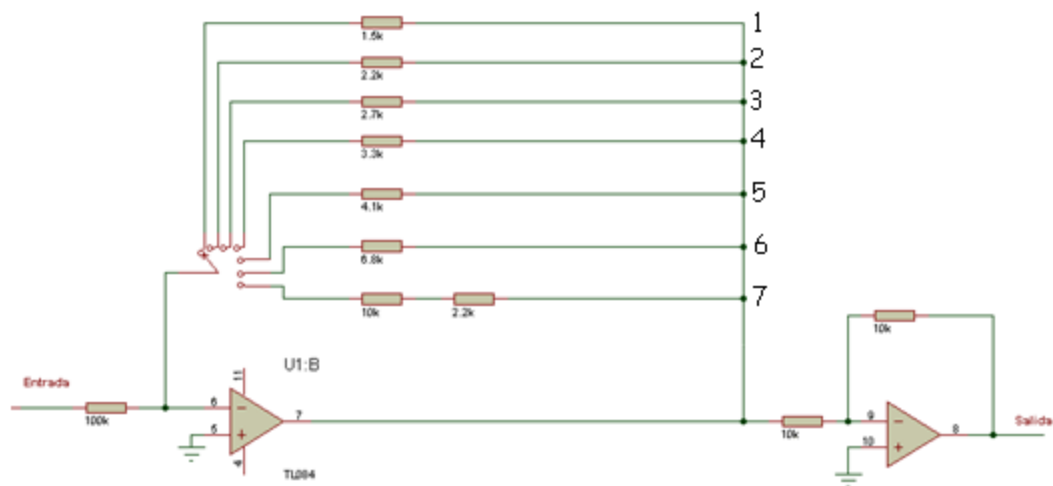


Figura 33. Etapa de re-escalamiento en amplitud, por medio de dos amplificadores operacionales inversores en cascada.

Una vez completado el bloque 2 del diseño del dispositivo, se procederá al diseño del bloque 3 y final como se ilustra en la figura 34, la cual es la más importante ya que a pesar de poder tener una amplificación de amplitud la cual supere el 1Vp, en este bloque lo limitara a menos de 1Vp.

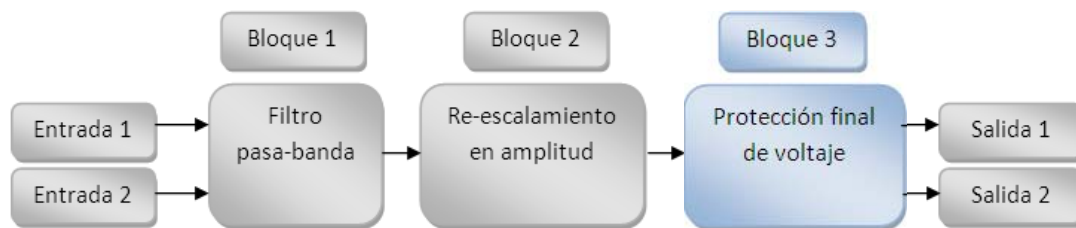


Figura 34. Actual bloque de diseño.

En base al requerimiento establecido en amplitud se hará uso del diodo semiconductor de silicio ilustrado en la figura 35, el cual, acoplado de cierta manera que más adelante se explicara a detalle, permitirá garantizar que el voltaje de ingreso a la tarjeta de sonido no sea excesivo como para causar daños.



Figura 35. Símbolo del diodo.

El diodo (de ser necesaria más información se recomienda hacer lectura de [9]) es un elemento *no lineal*, esto se muestra en la gráfica de la figura 36, en la cual se observa la curva característica del diodo, en donde se representa la relación corriente-voltaje del diodo y es notorio su diferente comportamiento a variaciones de voltaje, característica de un elemento no lineal.

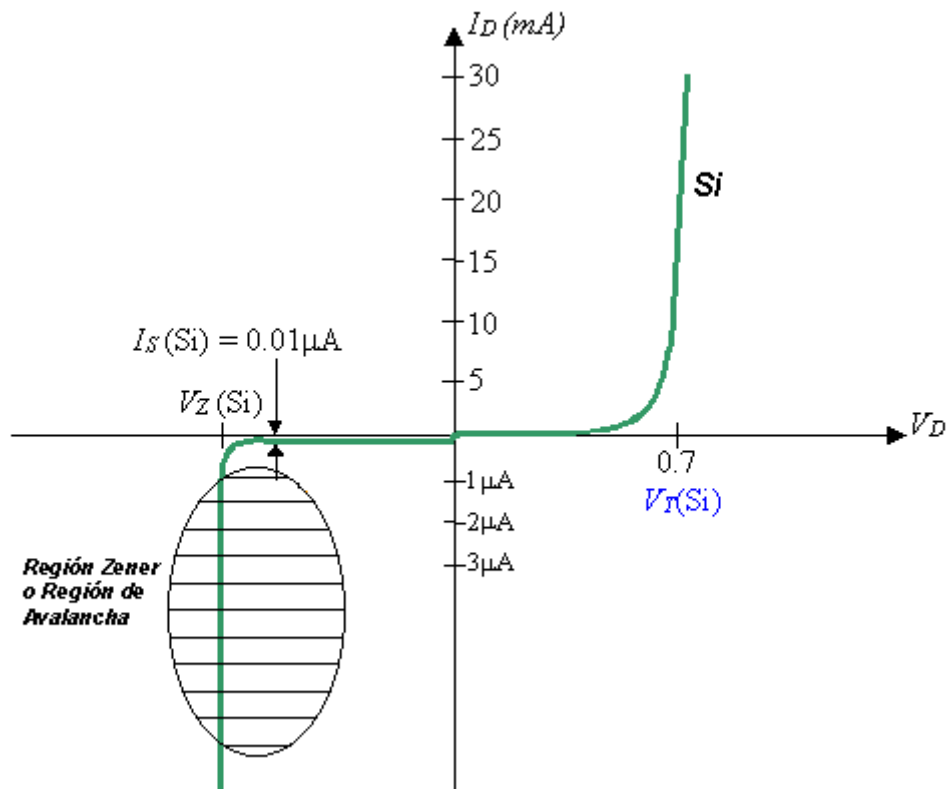


Figura 36. Curva característica del diodo.

Como se logra apreciar en la figura 36 para que en el diodo de silicio fluya la corriente libremente es necesario que este presente un voltaje mínimo de 0.7V, con lo cual garantiza la polarización directa conforme se establece en [9], es en base a esta característica del diodo por la cual se decidió utilizar en la etapa 3, para garantizar que el voltaje no sea demasiado excesivo como para causar daños a la tarjeta de sonido.

Donde la configuración de los diodos que satisface dicha protección es ilustrada en la figura 37.

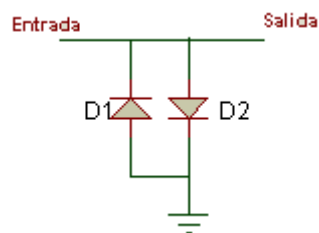


Figura 37. Configuración de protección de voltaje, máxima salida de 0.7V.

Dicha configuración garantizara como bien se ha dicho, que el voltaje de ingreso no sea demasiado excesivo como para causar daños a la tarjeta de sonido ya que se emplea la característica del diodo de mantener un voltaje de 0.7V en paralelo cuando presente una polarización directa y no se incrementara. Tanto para señales con amplitud positiva como amplitud negativa, ambos diodos mantiene un rango entre $-0.7V$ a $0.7V$ donde la señal fluirá correctamente sin presentar alguna saturación.

De forma matemática puede describirse al diodo con la función saturación mostrada en la figura 38.

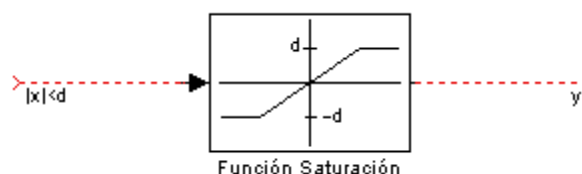


Figura 38. Representación matemática de un par de diodos, donde “x” es la señal de entrada, “y” es la señal de salida y $d=0.7V$.

En dicha función saturación $y(x)$ es descrita por:

$$y(x) = \begin{cases} x & , \text{ si } |x| < d & \text{ caso 1} \\ d \cdot \text{sign}(x) & , \text{ si } |x| > d & \text{ caso 2} \end{cases}$$

Y la función $\text{sign}(w)$ (función signo) esta descrita por:

$$\text{Sign}(w) = \begin{cases} 1 & , \text{ si } w > 0 \\ 0 & , \text{ si } w = 0 \\ -1 & , \text{ si } w < 0 \end{cases}$$

De donde se entiende que la salida “y” va a ser igual a su entrada “x” cuando la magnitud de “x” ($|x|$) sea menor a d ($d=0.7V$), es decir, la señal no sufrirá ninguna alteración mientras sea menor a $0.7V$, pero, si la magnitud de la señal de entrada “x” es mayor a “d”, la salida “y” corresponderá a $d \cdot \text{sign}(x)$, es decir, la salida se mantendrá en $0.7V$ mientras la amplitud de la señal de entrada sea superior a $0.7V$.

Una forma representativa de ver los dos casos posibles es la mostrada en la figura 39.

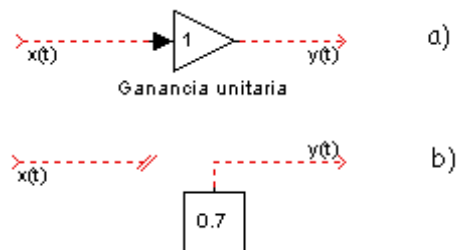


Figura 39. a) Caso 1: La señal de salida es la señal de entrada, b) Caso 2: La señal de salida es $0.7V$ constante.

Una forma de lograr obtener la respuesta final de todo el sistema es determinando la respuesta en tiempo del bloque 1, dicha respuesta corresponderá a la entrada del bloque 2 y por ultimo aplicando la función saturación descrita arriba a la respuesta del bloque 2.

Una vez culminada el análisis matemático por bloques se hará un análisis de todo el dispositivo con la finalidad de corroborar que la respuesta en tiempo solo sufra la alteración en amplitud.

Volviendo a visualizar los bloques que estructuran el diseño del dispositivo figura 40 y en la forma en que se encuentran acoplados, es posible representar cada bloque por su función de transferencia respectivamente esto es mostrado en la figura 41:

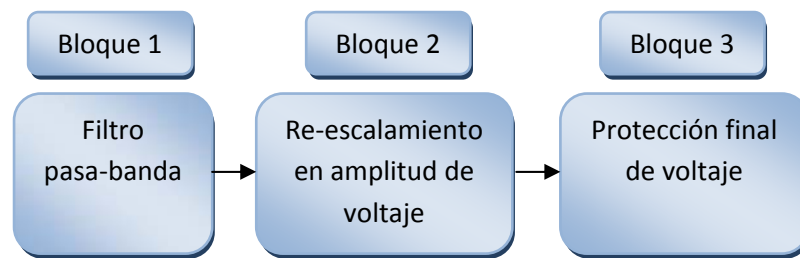


Figura 40. Bloques que conforman el dispositivo protector.

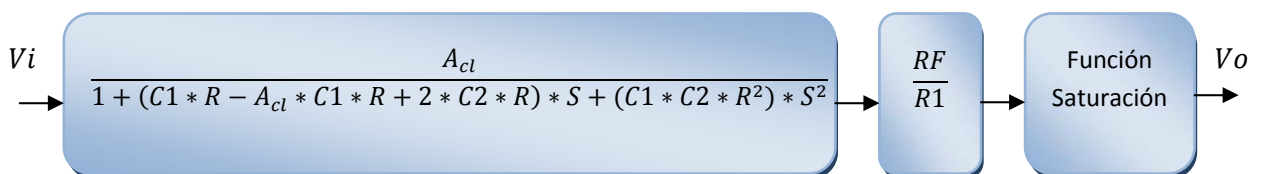


Figura 41. Función de transferencia de cada bloque que conforma el dispositivo protector, excepto el bloque 3.

Por lo tanto la función de transferencia que describe ala mayor parte del sistema es mostrado en la figura 42:

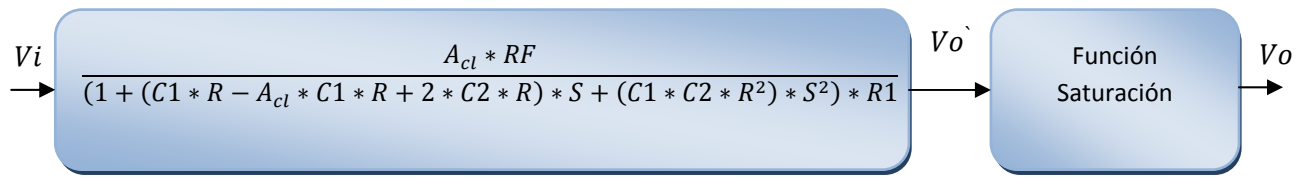


Figura 42. Función de transferencia del sistema, excepto el bloque 3.

Una vez culminado el análisis matemático y corroborando el funcionamiento del dispositivo que se ha diseñado es posible visualizar su diagrama en la figura 43, donde es apreciable el acoplamiento en cascada de las 3 etapas de las que es compuesto el dispositivo.

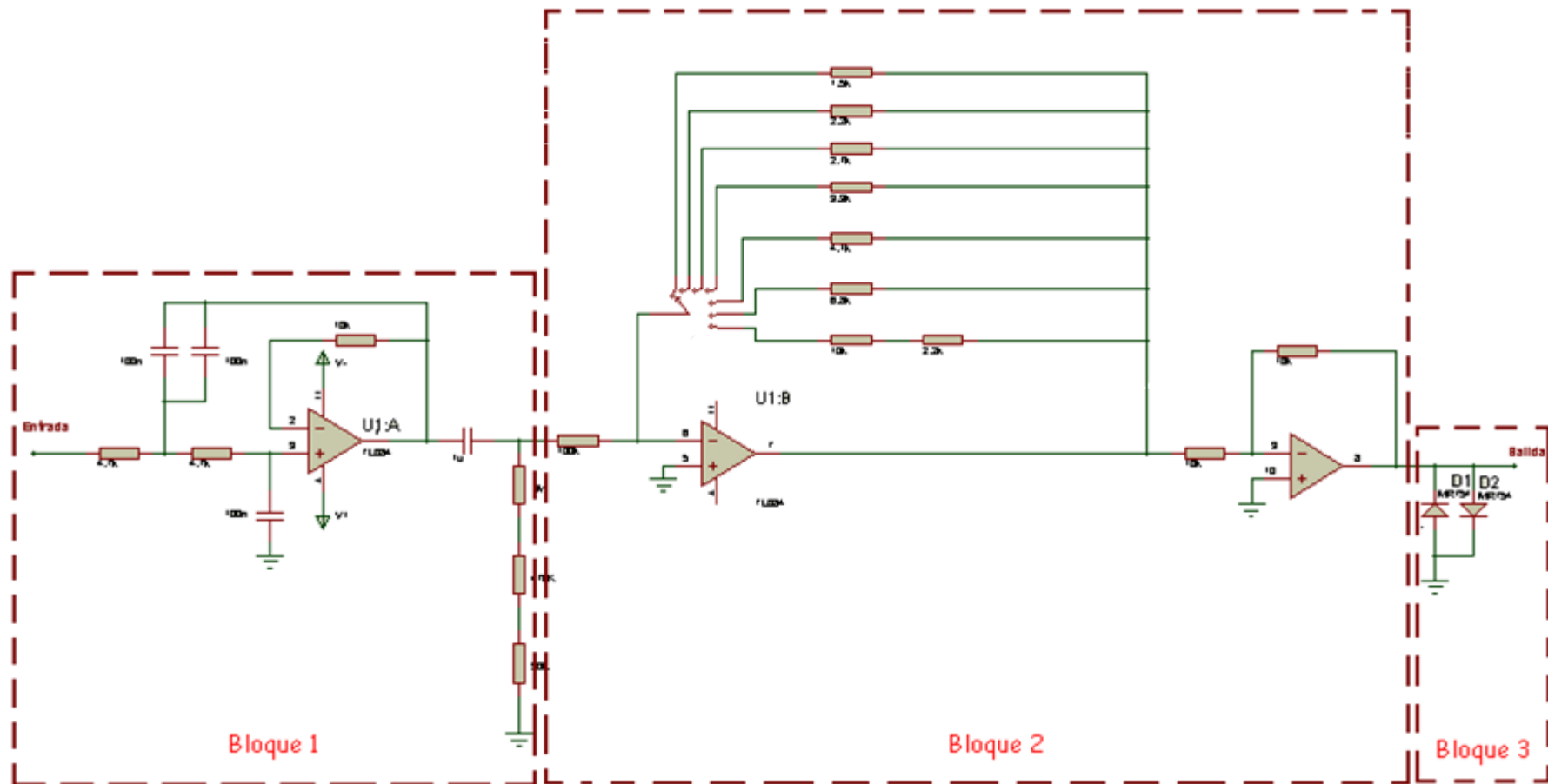


Figura 43. Acoplamiento en cascada de las 3 etapas que conforman el dispositivo protector.

Es importante recalcar que el circuito mostrado en la figura 43 es solo para lograr adecuar una sola señal a los requerimientos establecidos, por lo cual es necesario hacer una replica de el, para así lograr usar dos canales, los cuales son necesarios para la visualización de un atractor caótico.

3.5. Características eléctricas generales

	<i>Condiciones</i>	<i>Respuesta del dispositivo</i>
<i>Voltaje de alimentación</i>	$\pm 12V$ ó $\pm 15V$	Funcionamiento optimo
<i>Voltaje</i>	$15V <$	Re-escalamiento
<i>Frecuencia</i>	$1Hz < f < 239KHz$	Flujo continuo
	$1 < f$	Filtro externo
	$f > 239KHz$	Filtro externo

3.6. Simulación del circuito

Una vez culminado el diseño del circuito protector se procederá a su simulación con la finalidad de corroborar la funcionalidad de este mismo, es aquí donde se hará uso de programas especializados en la simulación de circuitos electrónicos, en donde, armando una fracción del circuito de la figura 43, podrá visualizarse como en la figura 44, en la cual no se establecen las 7 ganancias posibles de todo el circuito, tan solo se establece una sola ganancia, con la cual se logra visualizar los resultados mostrándolos en la figura 45.

3.7. Costos estimados

Realizando una cotización la cual indica un aproximado del costo total del material necesario para desarrollar esta aplicación, se estimaron los valores conforme aparece en la tabla 6.

Tabla 6. Costo promedio de los materiales.

Cantidad	Serie	Material	Precio
4	MR752	Diodo detector 6A	21,64
6	C100-500	Capacitor cerámico de disco, de 100 pF (pico Faradios) a 500 Volts	18
1	IC14F	Base para CI 14 patas	2,71
1	IC8P	Base para CI 8 patas	1,81
2	200-148	Conector hembra tipo BNC	18
1	TL082CP	Circuito integrado lineal	8
1	TL084CN	Circuito integrado lineal	14
1	250-535	Jack 3,5mm Encapsulado	6,01
2	250-150	Plug 3,5mm metálico	14,01
1	PC-10X20	Placa fenólica una cara, de 10 x 20 cm	21
1	MC025	Cloruro férrico para grabado de circuito impreso, de 220 ml	25
2		Acetato	12
1		Cable	7
2		Resistencia 1,5k	1,8
4		Resistencia 2,2k	3,6
2		Resistencia 2,7k	1,8
2		Resistencia 3,3k	1,8
2		Resistencia 4,1k	1,8
4		Resistencia 4,7k	3,6
2		Resistencia 6,8k	1,8
8		Resistencia 10k	7,2
2		Resistencia 30k	1,8
2		Resistencia 100k	1,8
2		Resistencia 470k	1,8
2		Resistencia 1M	1,8
3		Caimanes	10
1		Estaño	15
3	250-572	Borne 10Amp	24
2	1P-11T	Switch rotatorio de 1 polo, 11 tiros	32
2	P-07	Perilla estriada chica, de plástico (chapelón)	24
2	P,1-250	Capacitor de poliester metalizado, de 0.1 uF (micro Faradios) a 250 Volts	10
1		Cable par trenzado tipo FTP	24
1	GP-12	Gabinete de plástico color negro con tapa, de 15,5 x 9,3 x 6,2 cm	88
Total=			350

Capítulo IV

Diseño de la interfaz gráfica

Una vez culminado el diseño del dispositivo protector y habiendo realizado las pruebas pertinentes es necesario desarrollar una interfaz gráfica amigable para que el usuario interactúe con la información que requiere analizar. Por ello se analizarán un par de programas que permitan el diseño de dicha interfaz gráfica, se evaluarán los recursos de sistema que requieren y se procederá a su diseño.

4.1. Evaluación de los programas disponible

A través de la historia de la computadora se han desarrollado diferentes programas en los cuales se hace uso de lenguajes de programación especiales en cada uno de ellos y es mediante el empleo de cada uno de esos lenguajes de programación que se ha permitido la creación desde programas muy sencillos, hasta sofisticados sistemas con requerimientos muy altos. En esta sección se describirán algunos de esos lenguajes de programación, sus principales características y finalmente se enunciará cual de ellos es el que mejor cumple, de la forma más sencilla, los objetivos de la presente tesis.

Uno de los principales lenguajes de programación que se han usado es el C [11], el cual, es considerado un lenguaje de alto nivel con el que pueden escribirse programas con fines muy diversos. El lenguaje C nació en los laboratorios Bell de AT&T que en 1972 *Dennis Ritchie* utilizó para reemplazar el existente lenguaje B y reescribir UNIX con dicho lenguaje. Y sus principales características son:

- Programación estructurada. Económica en las expresiones
- Abundancia en operadores y tipos de datos.

- No esta orientado a ningún área en especial.
- Facilidad de aprendizaje.

Así como la mayoría de los lenguajes, C presenta algunas desventajas, como por ejemplo que, C es independiente de la plataforma en su código fuente, es decir, que cada plataforma debe de proporcionarle un compilador adecuado para así lograr obtener el código maquina necesario para una correcta ejecución y carece de instrucciones de entrada y salida.

Así mismo otro software que permite el diseño requerido, es *Visual Basic de Microsoft* que como se indica en [12] *es un sistema de desarrollo diseñado especialmente para crear aplicaciones gráficas de una forma rápida y sencilla*. La primera versión que se dio a conocer fue en 1978 denominado *BASIC* estándar En donde se pueden crear ventanas y sobre de ellas se dibuja controles el cual esta ligado a un código de programación el cual permanece inactivo hasta que se de el suceso que lo activa. Así también presenta una serie de ventajas y desventajas que a continuación se enlistan.

Ventajas:

- El código en Visual Basic es fácilmente que migre a otros lenguajes.
- Es un lenguaje muy extendido por lo que resulta fácil encontrar información, documentación y fuentes para los proyectos.

Desventajas:

- No es multiplataforma (sin embargo se pueden usar emuladores e intérpretes para correrlos en otras plataformas).
- Es un lenguaje basado en objetos pero no implementa por completo la filosofía de Orientación a Objetos. La gran gama de controles incorporados son, sin embargo en algunos casos, muy generales, lo que lleva a tener que

reprogramar nuevos controles para una necesidad concreta de la aplicación.

- Su fuerte dependencia de librerías y componentes ActiveX que requieren de privilegios de administrador para poder instalar las aplicaciones.

Y por ultimo LabVIEW [21], *LabVIEW es un entorno de programación gráfica usado por miles de ingenieros e investigadores para desarrollar sistemas sofisticados de medida, pruebas y control usando íconos gráficos e intuitivos y cables que parecen un diagrama de flujo. LabVIEW ofrece una integración incomparable con miles de dispositivos de hardware y brinda cientos de bibliotecas integradas para análisis avanzado y visualización de datos. La plataforma Labview es escalable a través de múltiples objetivos y sistemas operativos, desde su introducción en 1986 se ha vuelto un líder en la industria.*

En base a las características descritas de cada uno de los lenguajes de programación y su auto-sustentabilidad es decir que es posible crear un instalador o ejecutable el cual no requiera del software de diseño principal, para así lograr las mediciones necesarias de la presente tesis se ha seleccionado el software de LabVIEW por su sencillez en la manipulación de datos y análisis de estos mismos.

4.2. Requerimientos mínimos del sistema

El diseño de la presente interfaz gráfica presenta unos requerimientos actualmente ya bajos de la tecnología actual, dichos requerimientos primordialmente son para que el sistema soporte la interfaz que se estará ejecutando ya que se encontrará procesando la información que recibe de la tarjeta de sonido, utilizando la memoria RAM para envío de datos, y el espacio en el disco duro para almacenar la información temporal y guardarla definitivamente, de no poderse satisfacer dichos requerimientos es posible que en algunos sistemas los procesos de ejecución se vean retrasados un poco, debido a la cantidad de datos que se encuentran

procesando, esto es común en los programas que se encuentra ejecutando continuamente. Estos requerimientos mínimos se establecen en la tabla 7.

Tabla 7. Requerimientos mínimos de la computadora de escritorio o portátil.

➤ Intel(R) Pentium (R) 4 CPU 2.66GHz
➤ Memoria RAM de 512MB
➤ Tarjeta de sonido con entrada "Line in"
➤ Espacio en disco duro de 50MB
➤ Sistema operativo Windows XP ó superior

4.3. Antecedentes del programa seleccionado

Como es explicado en [19] y [20] LabVIEW es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

En 1986, National Instruments presentó LabVIEW en la plataforma Macintosh e introdujo la instrumentación virtual como principio fundamental del software. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y Linux. La versión actual LabVIEW 2009 ya tiene muchas mejoras para interactuar con Windows vista. La compañía combinó la interfaz de usuario gráfica e interactiva con la programación gráfica intuitiva para crear este programa. Tal como ha dicho el presidente y CEO de National Instruments, el Dr. James Truchard, "*LabVIEW fue desarrollado para hacer por los ingenieros lo que la hoja de cálculo hizo por el análisis financiero,*" la Versión 1.0 caracterizó tecnologías clave que aun son fundamentales hoy: flujo de datos en paralelo, jerarquía, E/S integradas y librerías de análisis. Después de millones de horas de desarrollo, un cambio tremendo en la tecnología de la PC, y difusión en miles de áreas de aplicación por usuarios, LabVIEW se ha convertido en una plataforma de diseño de sistemas completa.

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen proviene del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida. LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de programa y dispositivos, tanto del propio fabricante de tarjetas de adquisición de datos, PAC, instrumentos y otros Hardwares de otros fabricantes.

Su principal característica es la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación se pueden hacer (programas) relativamente complejos.

4.4. Desarrollo de la interfaz

Una vez seleccionado el programa que se empleara para el desarrollo de la interfaz gráfica, se debe de establecer la serie de bloques que conformaran todo el sistema operativo. Dichos bloques deberán estar acoplados en cascada ya que cada uno dependerá de la información arrojada por el anterior y permitirán un control de la información que fluye a través de ellos. Estos bloques se especifican en la figura 46.



Figura 46. Bloques que conforman la interfaz gráfica.

Como ya se menciono LabVIEW ofrece una serie de facilidades para el diseño de una interfaz gráfica, ya que se estructura a partir de iconos que se acoplan entre si

para la manipulación de la información, como ya se menciono hay una gran variedad de versiones de LabVIEW ya que continuamente ha habido mejoras por parte de National Instruments pero la versión que se empleara en esta tesis será la 7.0.

En un comienzo cuando se genera un nuevo proyecto, se hacen presentes dos pantallas con los nombres de “*Block Diagram*” y “*Frontal Panel*”, la pantalla de “*Block Diagram*” es donde se realiza los procesos que manipulara la información así como el cableado entre iconos, mientras que en la pantalla de “*Frontal Panel*” se podrá empezar a visualizar como se va conformando la interfaz gráfica como son los controles e indicadores, ambas pantallas están relacionadas entre si ya que en la mayoría de los casos cuando se genera un elemento en una pantalla aparece en la otra, un ejemplo de ello es una perilla, en la pantalla de “*Block Diagram*” se indicara solo como un icono, mientras que en “*Frontal Panel*” se podrá variar los valores, es decir, será dinámico, este ejemplo es ilustrado en la figura 47.

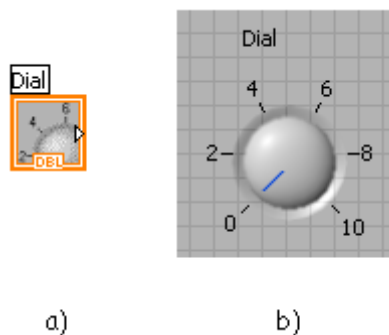


Figura 47. Ejemplo de bloque entre “*Block Diagram*” y “*Frontal Panel*”, donde:
a) Símbolo de la perilla y b) Representación dinámica.

Cuando se desea diseñar en LabVIEW, en un inicio se debe de trabajar en el “*Block Diagram*”, ya que es necesario fijar la configuración con la cual estarán adquiriendo los datos así de cómo se encontrara fluyendo la información a través de los distintos bloques que conformaran toda la interfaz, es por ello que para esta

aplicación desde un inicio se deberán emplear los siguientes iconos, los cuales se encargaran de la adquisición de las señales analógicas que entran al ordenador por la entrada *Line in* de la tarjeta de sonido dichos iconos se muestran en la figura 48, la ayuda proporcionada por el mismo programa facilitara la comprensión de conexión entre iconos en el “*Block Diagram*”.

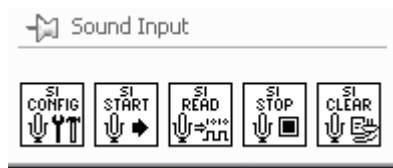


Figura 48. Iconos encargados de la lectura de información de la tarjeta de sonido.

Donde es apreciable que los iconos ilustrados se encargan de: la configuración, el inicio de la adquisición, lectura de la información adquirida, el detener la adquisición de datos así como el borrado de dicha información. Generalmente se emplean dos diferentes formas de transmitir señales de audio (señales analógicas) a través de diferentes medios y que puedan ingresar a la entrada *Line in*, esas son conocidas por *monofónico* y *estereofónico* donde:

Monofónico: Utiliza un cable con un conductor positivo y uno negativo.

Estereofónico: En una señal estéreo se transmite 2 señales independientes por un cable con dos conductores positivos más un conductor que cierre el circuito eléctrico. Les llamaremos canal izquierdo (LEFT) y canal derecho (RIGHT).

Como es explicado anteriormente en las formas de transmitir señales de audio y para cumplir los fines de esta tesis se empleara la transmisión estereofónica, pero, no se ingresaran señales de audio tal cual, sino que como esas señales de audio no son mas que señales analógicas estas mismas pueden remplazarse por un sistema que genere una o dos señales analógicas de amplitud baja y dentro del rango de frecuencia de trabajo. Dichos parámetros son regulados por el dispositivo protector explicado previamente a este capítulo. Dentro de los iconos más

importantes ilustrados en la figura 48 son el de configuración y el de lectura, por lo cual el icono de configuración debe de especificarse el tipo de entrada, la frecuencia de muestreo explicada en el capítulo III, y el número de bits que representara el valor de la muestra, dichos parámetros se ilustran en la figura 49 donde se han colocado ya los iconos y se encuentran comunicados entre si.

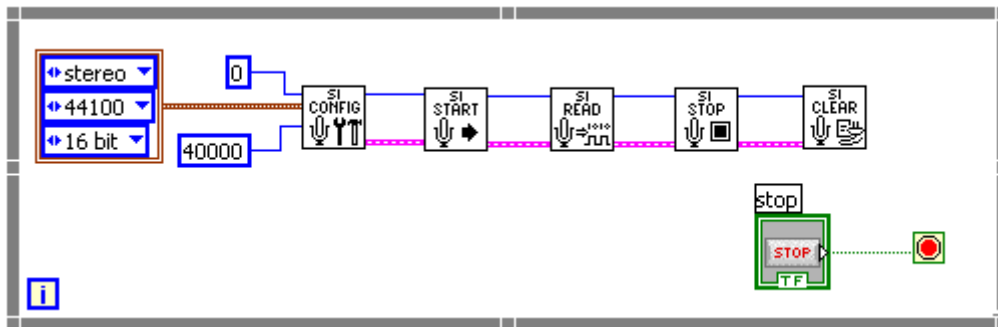


Figura 49. Arreglo de los iconos que configura, adquiere y arroja la señal analógica que ingresa a la tarjeta de sonido.

Como es apreciable ya se han configurado acorde a los fines que se requieren, otros datos que deben de ser asignados es el número del dispositivo del cual se adquirirán los datos el cual por defecto es el "0" y el tamaño del *buffer* que es donde se almacena temporalmente la información antes de ser leída.

Una vez configurado, la adquisición de datos comenzara automáticamente al ejecutar el programa, por lo cual, continuado con el siguiente icono de importancia, que corresponde al de lectura, el cual presenta las salidas ilustradas en la figura 50

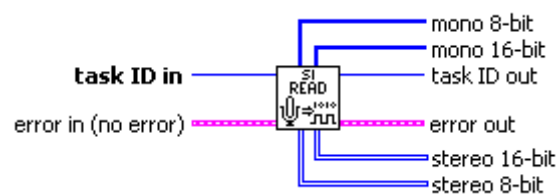


Figura 50. Terminales de entrada y salida del icono de lectura.

A través de este icono será donde se estén arrojando los datos que están siendo adquiridos por la tarjeta de sonido, es evidente que dependiendo del tipo de entrada seleccionada en la configuración antes vista, será la terminal que se seleccione en este icono.

A partir de ahora cada vez que se ejecuta el programa, los datos serán arrojados por la salida *stereo 16-bit*, y ya que cuenta con dos canales diferentes de datos, que son necesarios para el osciloscopio, la información es arrojada en forma de matriz de $2 \times n$ donde “n” es el tamaño del *buffer* que *Labview* utiliza para transferir datos desde un dispositivo, dicho *buffer* presenta la siguiente relación:

$$n = \frac{\text{valor establecido en SI CONFIGURE}}{4} \quad (16)$$

Dicho valor de “n” es configurable según sea la necesidad que se requiera satisfacer, para esta aplicación se selecciono el valor de $n=5000$. Con la finalidad de lograr separar cada canal de la matriz de $2 \times n$ generada del bloque “SI READ” se emplea otro icono ilustrado en la figura 51.

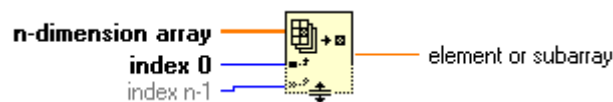


Figura 51. Icono de separación de una matriz de $2 \times n$, en dos matrices de $1 \times n$.

Con lo cual se puede lograr controlar la información que fluye por cada canal.

Una vez hecha la separación de cada canal, prosigue el desarrollo del *bloque 2* que corresponde al de calibración. Ya que son desconocidas las magnitudes con que *LabVIEW* interpreta y arroja los datos, para lograr dicha calibración es requerido que se ingrese de una señal analógica constante, con magnitud y frecuencia controladas, por tal motivo se propone el circuito mostrado en la figura 52, dicho circuito permite generar una señal triangular periódica y autónoma, con el único

requerimiento de estarle suministrado constantemente con un voltaje de $\pm 12V$, al ser alimentado con esa tensión de voltaje, el circuito generara una señal triangular de $1Vp-p$ de amplitud y con una frecuencia de $51Hz$ visualizado en la gráfica 53.

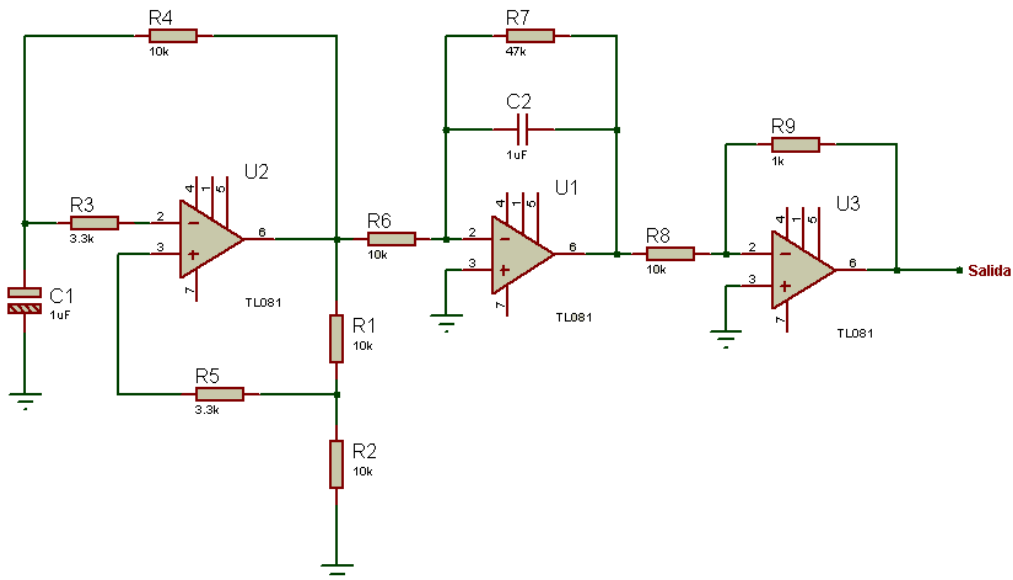
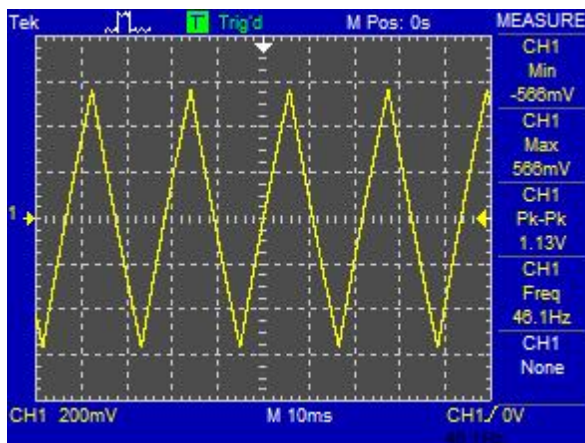
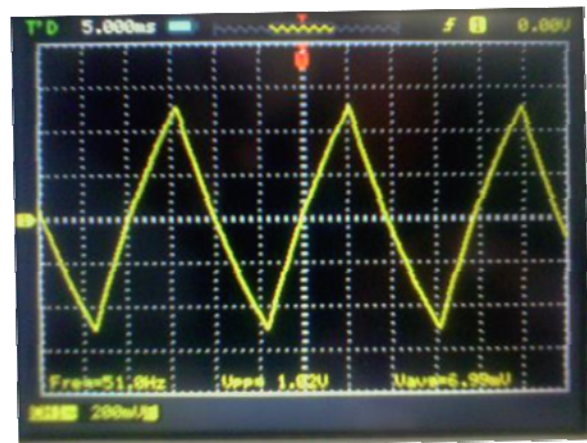


Figura 52. Circuito generador de señal triangular con amplitud de $1Vp-p$ y frecuencia de $51Hz$.



a



b

Figura 53. a) Respuesta simulada del circuito calibrador y
b) Respuesta experimental del circuito calibrador visualizado en un osciloscopio.

La salida del circuito de la figura 52 debe de ser conectada a los dos canales del emulador de osciloscopio desarrollado en el capítulo III, para así realizar la calibración por medio de la interfaz gráfica.

Es importan realizar un ajuste del ordenador, para así lograr adquirir los datos de la entrada correcta, por lo cual es necesario que en el *control sonido*, se seleccione en *propiedades* la opción de *control de grabación*, en donde debe de ser seleccionada la opción de “*Línea de entrada*” o “*Line in*”, a su vez debe de incrementarse al máximo el volumen de dicha opción, estos ajustes pueden verse en la figura 54.



Figura 54. Ajustes requeridos en el ordenador.

Una vez incorporados los iconos del bloque 1 e implementando los controles que cumplirán la función del bloque 2, así como las conexiones necesarios para un flujo correcto de la información, dicho arreglo se presenta en la figura 55.

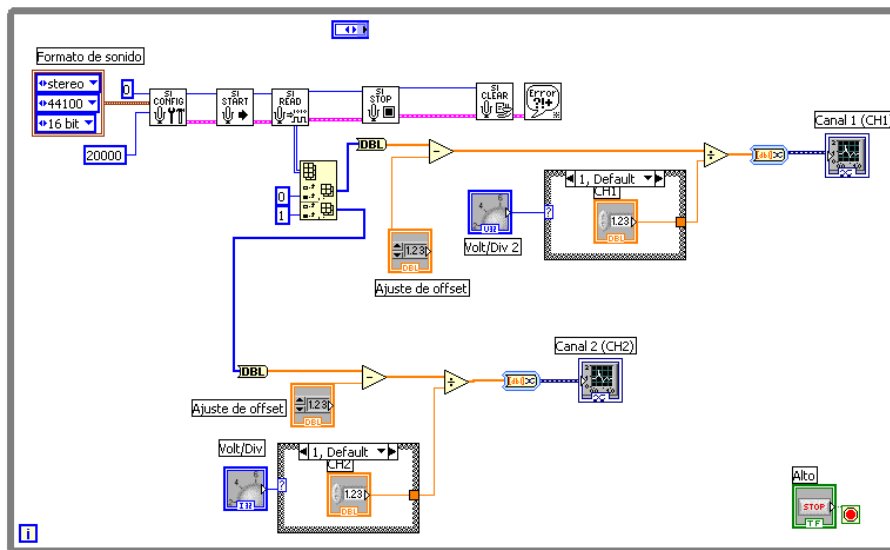


Figura 55. Configuración en “Block Diagram” para calibrar.

Es apreciable en la figura 55 la conexión en cascada de los iconos que conforman el bloque 1, una vez ejecutada la interfaz gráfica sus funciones comenzaran automáticamente por lo cual serán asignados botones de interrupción que el usuario presionara cuando sea requerido, por otra parte conforme se logra apreciar es necesario restar una cifra diferente a cada canal, eso es requerido para así lograr apreciar la señal con su centro en 0V, ya que visualmente aparenta estar montado sobre una señal de DC(Corriente directa), dicho efecto visual varia dependiendo el tipo de tarjeta de sonido y será conocido como “ajuste de offset”, por lo cual puede o no ser necesario asignar un valor numérico en dicha sección, posteriormente es necesario dividir cada canal entre un factor el cual compensara la atenuación sufrida por el dispositivo protector, con esto se lograra apreciar la señal en su amplitud original, para lograr esto se empleara la perilla selectora de Volt/Div que permitirá seleccionar uno de los siete casos posibles, debido a la gran diversidad de tarjetas de sonido existentes en el mercado, es necesario que el usuario asigne a cada caso un valor numérico diferente, dicho caso debe de corresponder con el valor seleccionado en la perilla del dispositivo emulador, esto es, caso 1-opción 1 de la perilla del dispositivo emulador, caso 2-opción 2 del dispositivo emulador, así como el valor numérico asignado a cada caso será

aproximado al valor indicado en la pestaña de *calibración* visualizada, una vez ejecutada la interfaz gráfica, dicha variación del valor numérico, será, hasta que el usuario logre visualizar la señal periódica generada por el circuito de la figura 52 con las características anteriormente indicadas. Los valores que son modificables en la pestaña de *calibración* no se almacenaran para futuros usos, es por ello, que es necesario que el usuario una vez hecha la calibración resguarde esos valores en un archivo de texto para así cada vez que se requiera hacer uso de la aplicación vuelvan a ser modificados dichos valores en base a la calibración obtenida para el ordenador usado y es posible visualizarlo en la interfaz gráfica como se logra ver en la figura 56.

Ajuste de offset

CH1 CH2

0 0

CH1

Valores propuestos CH1

Caso	Valor
1	1400
2	2050
3	2550
4	3120
5	3950
6	6540
7	11420

CH2

Valores propuestos CH2

Caso	Valor
1	1700
2	2500
3	3020
4	3760
5	4650
6	7740
7	13720

CH1

Caso	Valor
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1

CH2

Caso	Valor
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1

Figura 56. Bloque de calibración de la interfaz gráfica visualizada en "Front Panel".

Así mismo debido a la sencillez de visualizar gráficas y manipulación de la información en LabVIEW es posible conectar varios iconos como los mostrados en la figura 57.

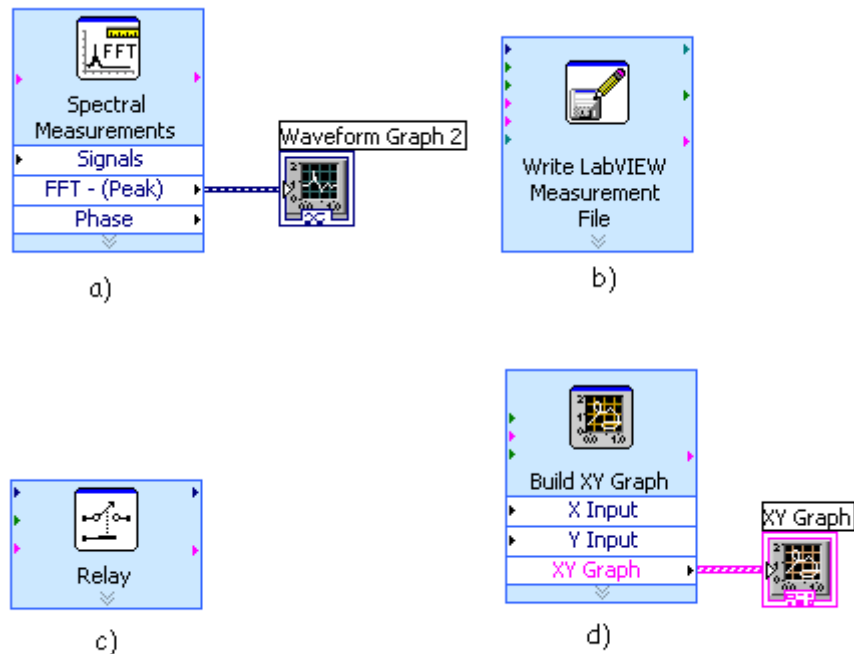


Figura 57. Bloques empleados para el análisis de información, a) Análisis espectral de una señal, b) Envío de datos a un archivo *.txt con fines de análisis en otro programa, c) Relay para interrumpir la visualización de una señal y d) Gráfica en el plano XY.

Realizando las conexiones de los iconos mostrados en la figura 57 es posible completar la etapa 3 del diseño de la interfaz, el arreglo completo es posible visualizarlo en la figura 58 donde se han introducido algunos interruptores e indicadores que el usuario deberá seleccionar para así lograr apreciar las señales o no, así como configuraciones externas que tienen la función de variar los ejes de algunas gráficas.

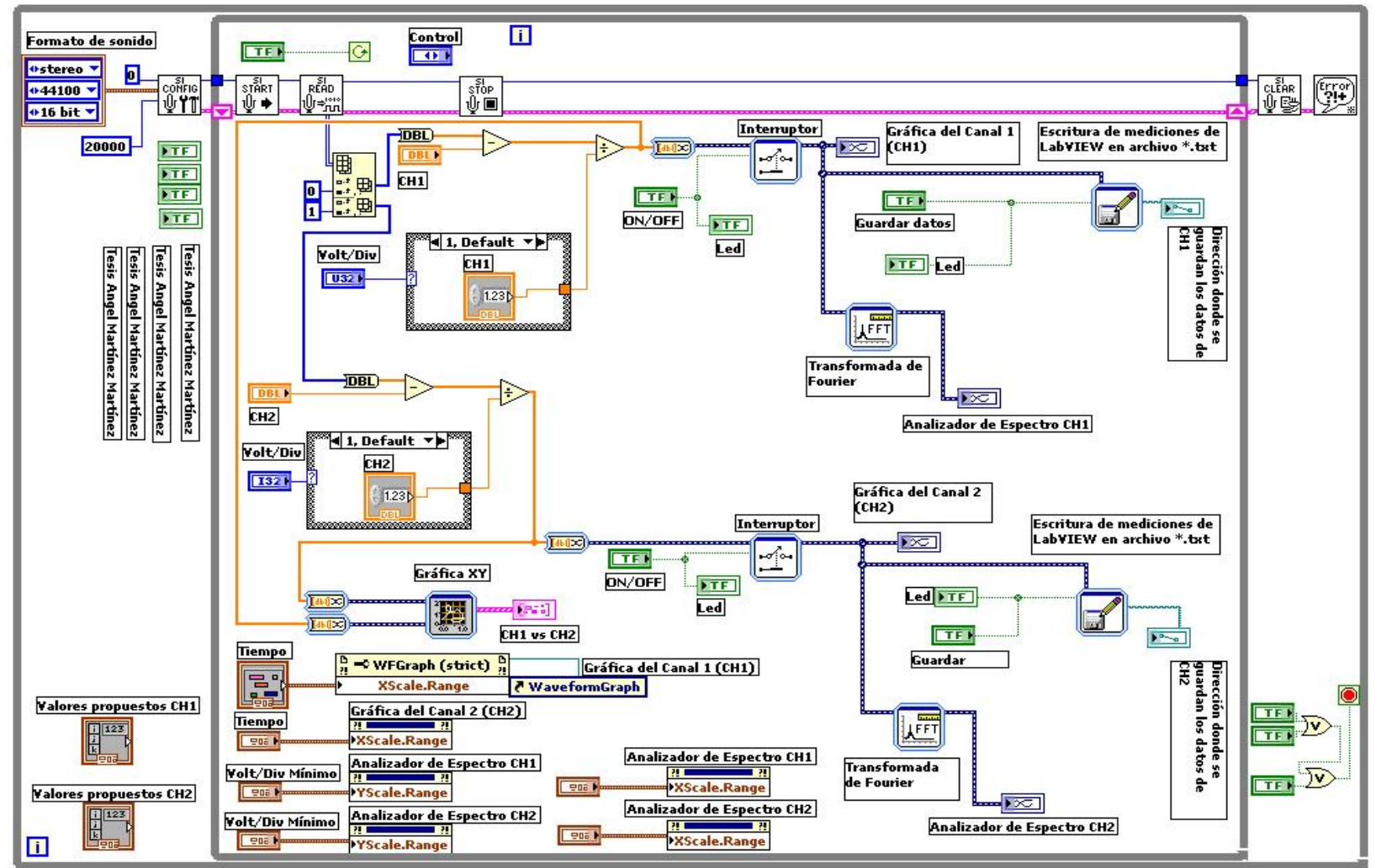


Figura 58. Conexión final en “Block Diagram” de todos los iconos que conforman la interfaz gráfica.

En los iconos que conforman toda la interfaz gráfica de la figura 58 se han reducido su tamaño, para así disminuir el tamaño de todo el conjunto, por otra parte, en "Front Panel" realizando un acomodo de los iconos ahí colocados, es posible que se visualice como en la figura 59, figura 60, figura 61, figura 62, figura 63, figura 64 y figura 65, donde a su vez se encuentra una breve explicación del uso de las funciones que presenta la interfaz gráfica en la pestaña de "Introducción", así como una pestaña donde se explica acerca de la forma para calibrar, así como es apreciables las gráficas que se utilizaran.

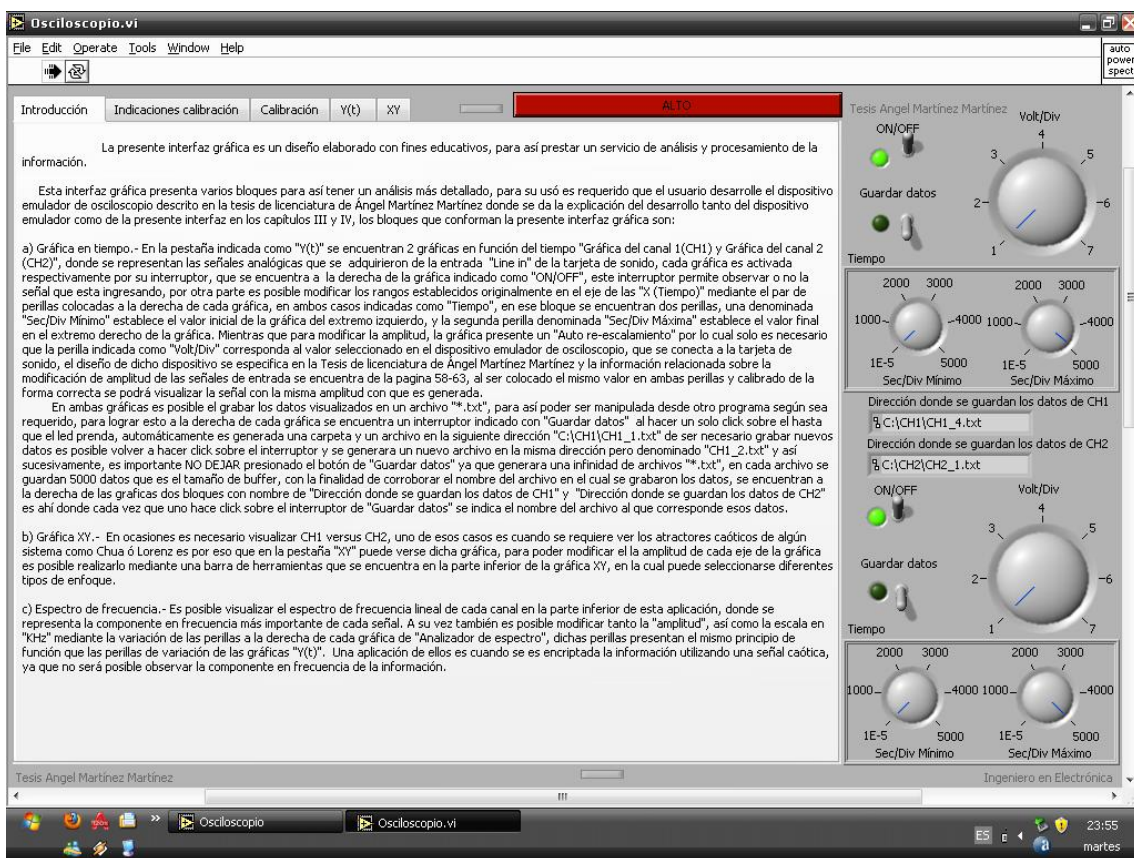


Figura 59. Imagen del "Front Panel", donde se muestra una introducción a la interfaz gráfica.

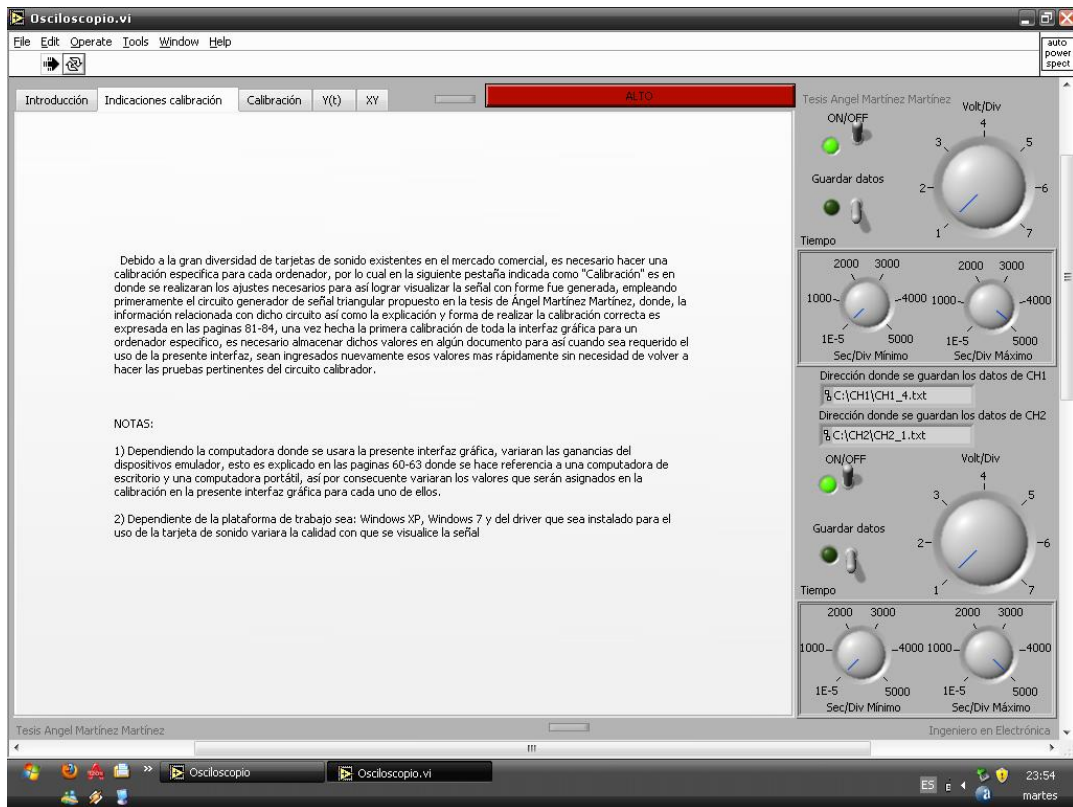


Figura 60. Imagen del "Front Panel", donde se muestra una introducción a la calibración de la interfaz gráfica.

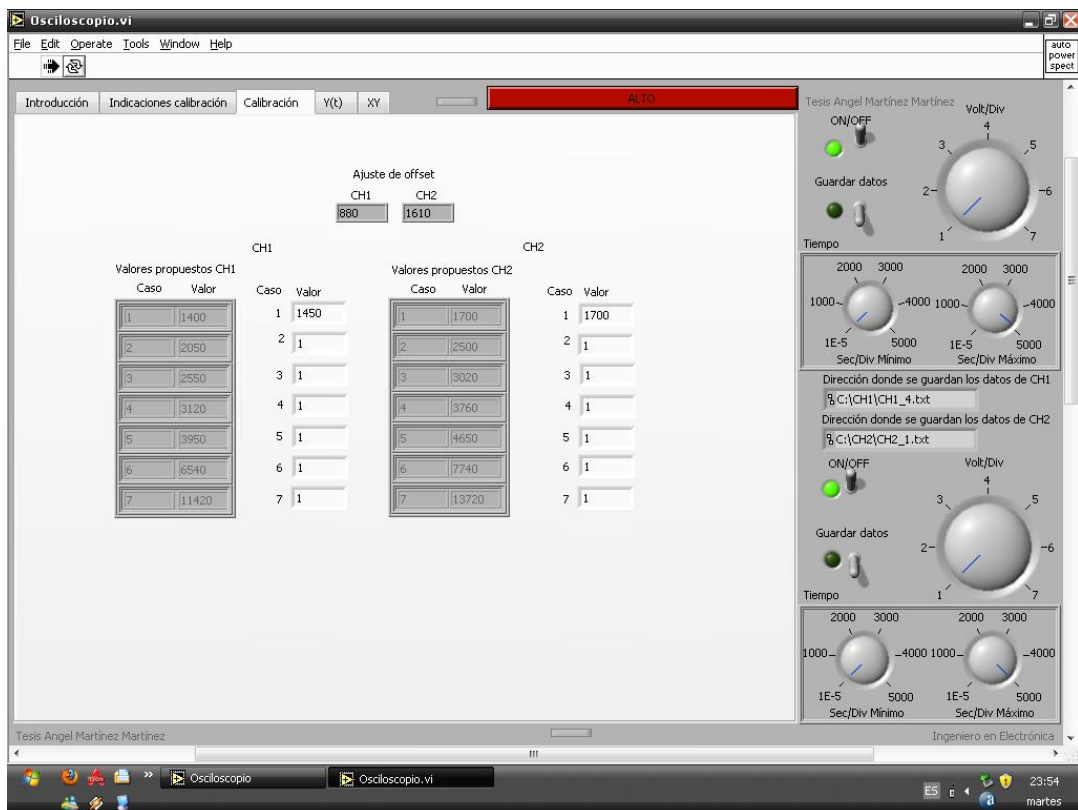


Figura 61. Imagen del "Front Panel", donde se muestra el bloque de calibración de la interfaz gráfica.

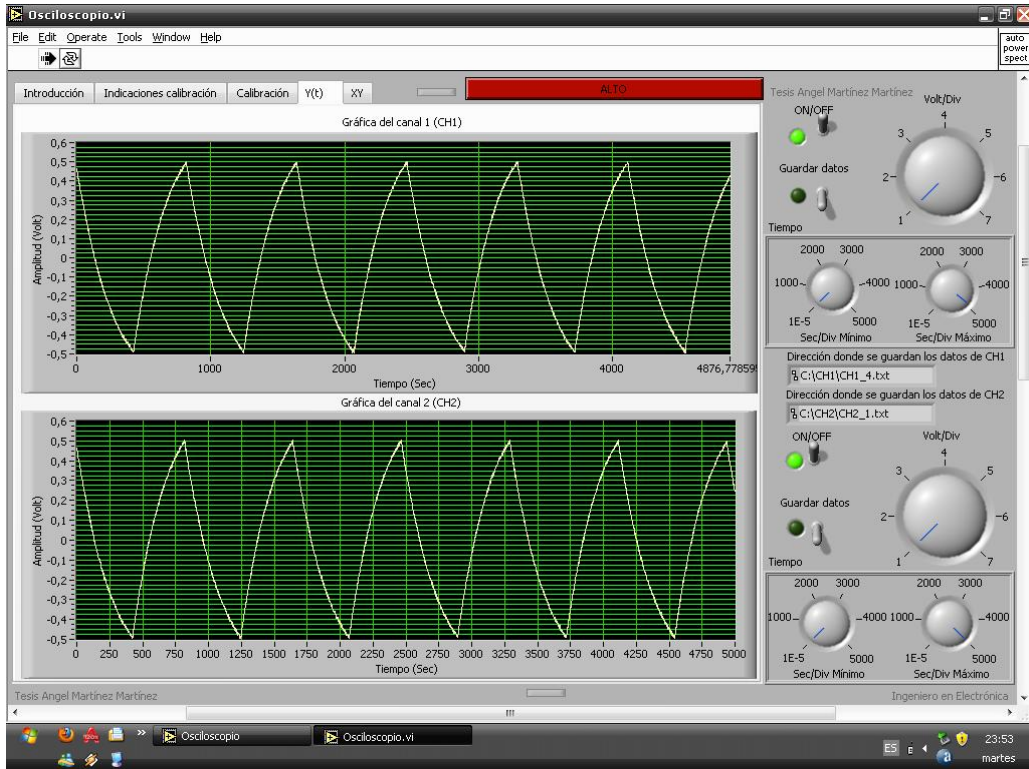


Figura 62. Imagen del “Front Panel”, donde se muestran las gráficas en función del tiempo de cada canal y se observa la señal del circuito calibrador explicado en el capítulo IV, además se aprecian las perillas de control de amplitud y tiempo de cada canal, empleando el sistema operativo Windows XP.

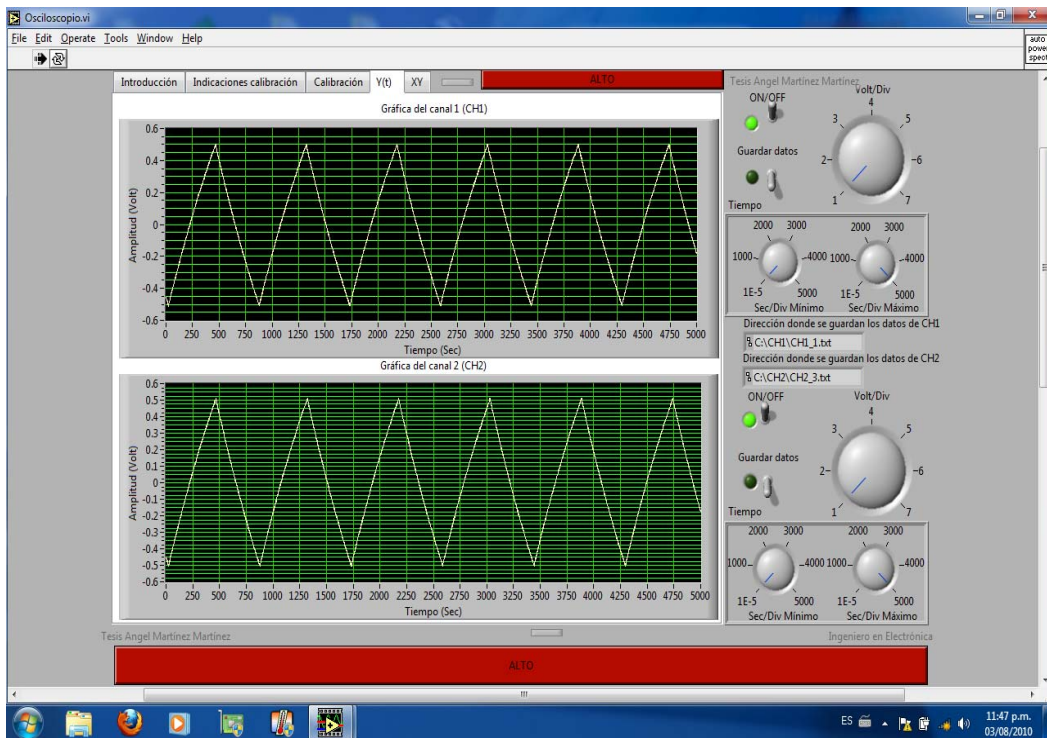


Figura 63. Imagen del “Front Panel”, donde se muestra las gráficas en función del tiempo de cada canal y se observa la señal del circuito calibrador explicado en el capítulo IV, además se aprecian las perillas de control de amplitud y tiempo de cada canal, empleando el sistema operativo Windows 7.

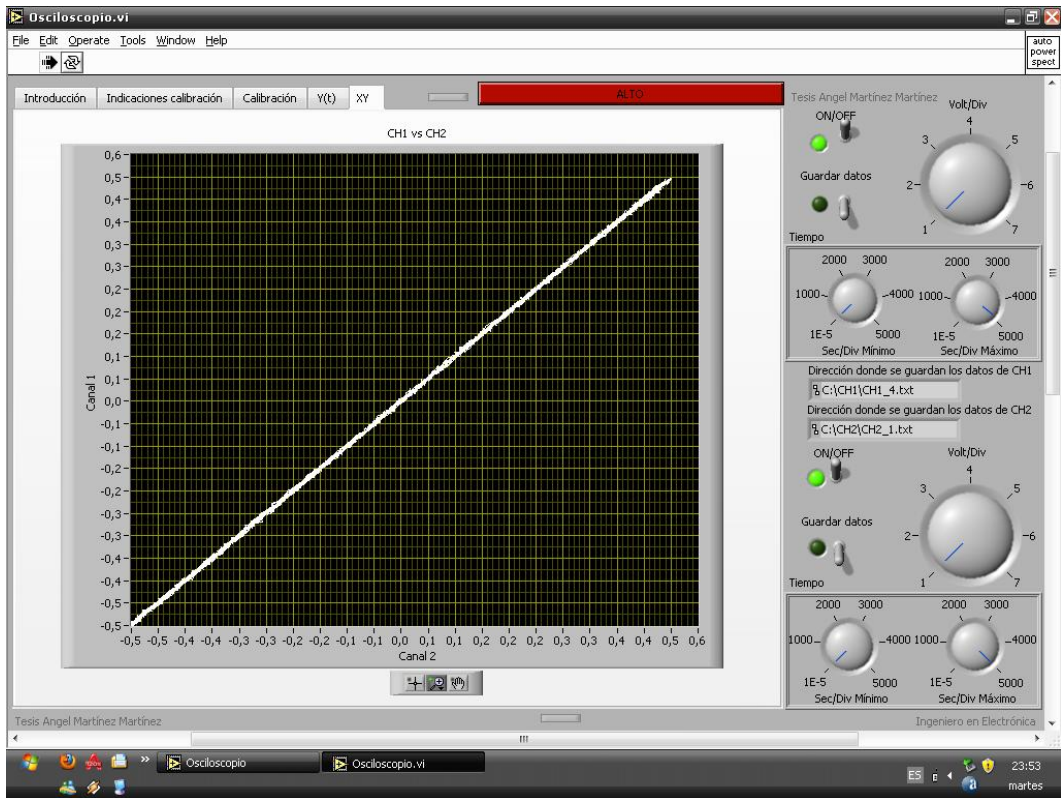


Figura 64. Imagen del "Front Panel", donde se muestra la gráfica en el plano XY con sus respectivas perillas de control.

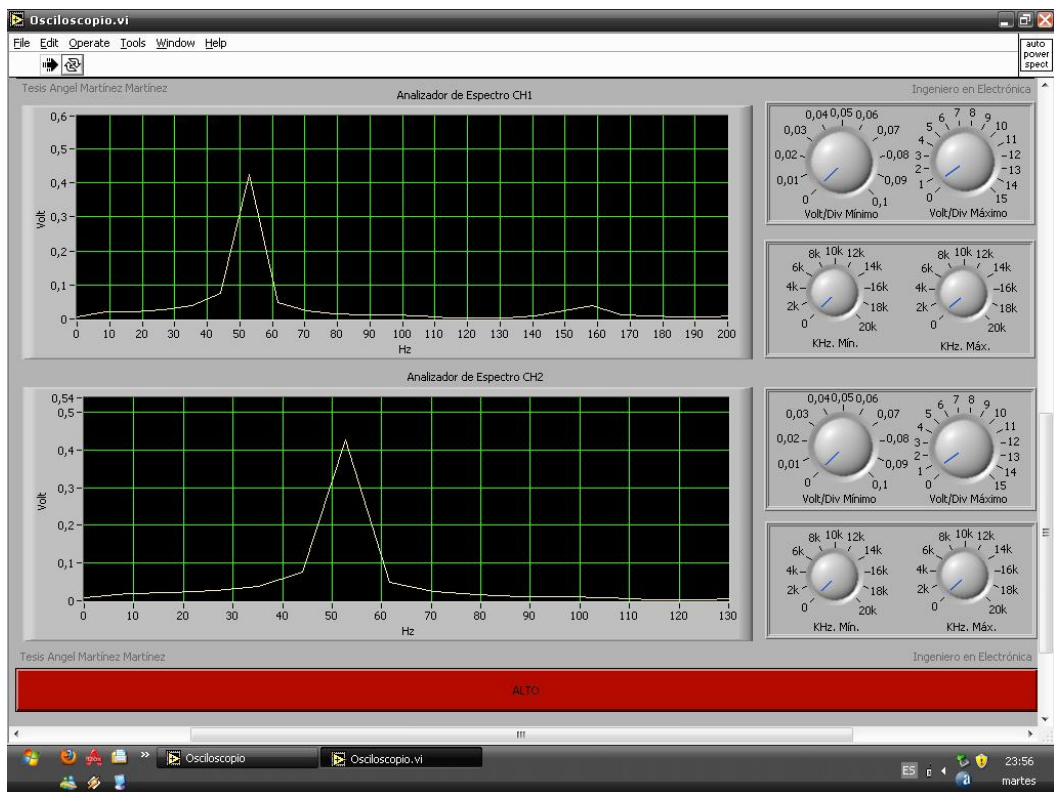


Figura 65. Imágenes del "Front Panel", donde se muestra el analizador de espectro de cada canal con sus respectivas perillas de control de frecuencia y amplitud.

Capítulo V

Caos

Como se hace referencia en [4], para la mayoría de la gente solo ven el *caos* como una forma de desorden en el cual no hay control sobre las acciones u objetos, pero para fines científicos *caos* tiene una gran y amplia área de estudio, ya que forma parte de los sistemas no lineales los cuales pueden ser usados para una infinidad de acciones, su principal característica es que forman trayectorias aparentemente aleatorias y que son sumamente sensibles a las condiciones iniciales, esto es, que cuando dos sistemas parten de condiciones muy cercanas después de un cierto tiempo sus estados serán muy diferentes a pesar de su cercanía en el origen.

En este capítulo se verá brevemente lo referente al caos ya que es un tema que puede llegar a ser muy extenso, pero se usará el circuito de Chua para fines ilustrativos de la presente tesis.

5.1. Antecedentes del caos

Como se comenta en [2], a lo largo de la historia de la humanidad el ser humano sintió una enorme necesidad por comprender y predecir los acontecimientos que sucederán a un sistema con ciertas características y en tiempos recientes se asumía que era posible hacer una predicción precisa de cualquier sistema físico si se conocían bien las condiciones iniciales y el modelo matemático. El descubrimiento de los sistemas caóticos en la naturaleza, algunas décadas atrás, ha modificado completamente esa idea.

Fue en el año de 1900 cuando Henri Poincaré quien se interesaba en las ecuaciones que describían el movimiento de los planetas alrededor del sol, se logró percatar

que no todos los sistemas físicos obedecían la idea que si se aumentaba la precisión en las condiciones iniciales, se disminuiría la incertidumbre de las predicciones. Poincaré mostro que una mínima imprecisión en las condiciones iniciales cambiaria enormemente el resultado al transcurrir el tiempo. La extrema sensibilidad a las condiciones iniciales presente en los sistemas estudiados por Poincaré se ha denominado *inestabilidad dinámica* ó simplemente *caos*.

En la figura 66 se muestra un ejemplo de la sensibilidad de un sistema caótico a sus condiciones iniciales.

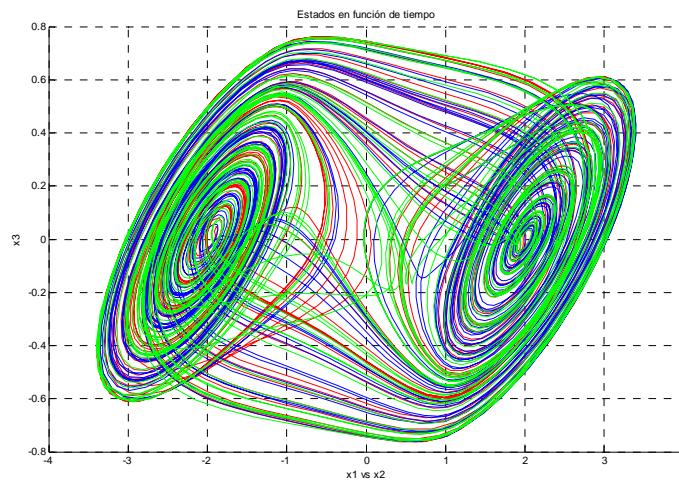


Figura 66. Combinación de 3 gráficas, donde se aprecian los cambios que hay a diferentes condiciones iniciales del sistema caótico de Chua.

5.2. Circuito de Lorenz

Fue en el año de 1963, en el cual un investigador llamado Edward Lorenz desarrollaba un software matemático para estudiar un modelo simplificado para pronosticar el clima, en dicho modelo presentaba las ecuaciones diferenciales que modelaban el flujo de las corrientes de aire. Como el programa era determinístico Lorenz pensaba que al colocar las mismas condiciones iniciales el resultado sería idéntico, sin embargo, Lorenz se sorprendió al encontrar que, cuando él creía

colocar las mismas condiciones iniciales, el resultado cambiaba drásticamente cada vez que ejecutaba el programa. Entonces al examinar más de cerca los acontecimientos realizados se percato que las condiciones iniciales que había vuelto a colocar variaban ligeramente unas con otras, en ese entonces fue que se observó por primera vez el comportamiento caótico que ahora es motivo de estudio en diversas ramas del conocimiento y que esta presentando interesantes aplicaciones por las propiedades que este presenta (de requerirse más información acerca de este tema se recomienda la lectura de[10]), entre las cuales se encuentran:

1. No es periódica.
2. Es una serie infinita.
3. Se encuentra acotada.
4. Es determinística.
5. Y es sensible a condiciones iniciales.

Las ecuaciones de los estados de Lorenz están descritas a continuación:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= \sigma(x_2(t) - x_1(t)) \\ \dot{x}_2(t) &= rx_1(t) - x_2(t) - x_1(t)x_3(t) \\ \dot{x}_3(t) &= x_1(t)x_2(t) - bx_3(t)\end{aligned}$$

Ecuaciones de estado del circuito de Lorenz, donde $\sigma = 10$, $r = 16, 23, 30$ y $b = 8/3$ para así lograr generar caos.

5.3. Circuito de Chua

El circuito de Chua's fue inventado en 1983 por Prof. L. O. Chua [5]. Para que un circuito eléctrico (sin entradas) pueda generar caos, este debe de cumplir con el criterio mencionado en [6], dichas características se mencionan a continuación:

- Al menos un elemento no lineal.

- Mínimo un resistor localmente activo.
- Al menos tres elementos almacenadores de energía.

Es por ello que cumpliendo con el criterio mencionado anteriormente el circuito de Chua cumple satisfactoriamente para los fines de generar *caos* en la figura 67, se muestra el circuito de Chua.

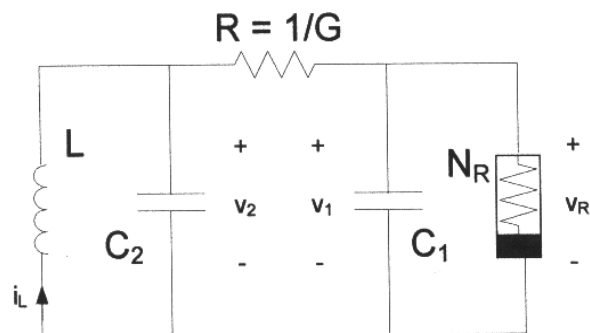


Figura 67. El circuito de Chua contiene un inductor L , dos capacitores C_1 y C_2 , una resistencia R y un resistor no lineal N_R (diodo de Chua).

La resistencia no lineal N_R , también llamada diodo de Chua, tiene una característica $v-i$ que es lineal por secciones, como se observa en la figura 68. Las tres zonas lineales conforman una función no lineal suave.

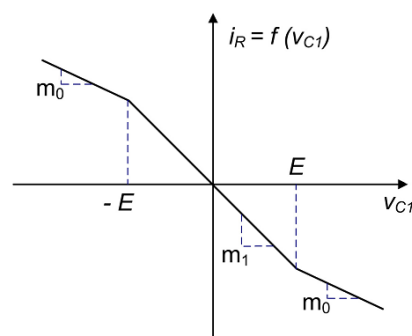


Figura 68. Característica $v-i$ de tres segmentos lineales de la resistencia no lineal N_R del circuito de Chua. Las regiones externas tienen pendiente m_0 ; la región interna tiene pendiente m_1 . Los puntos de quiebre se encuentran dados por $\pm E$.

En donde las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento del circuito de Chua son las descritas a continuación:

$$\dot{x} = \alpha(y - x - f(x))$$

$$\dot{y} = x - y + z$$

$$\dot{z} = -\beta(y + \gamma z),$$

Dado que es muy complejo encontrar una resistencia no lineal que satisfaga con lo requerido para el circuito de Chua, es posible modelar dicha resistencia y en base a su ecuación diferencial generar otro circuito en base a *amplificadores operaciones* para que cumpla con la misma respuesta que el diodo de Chua, esta nueva representación es mostrada en la figura 69.

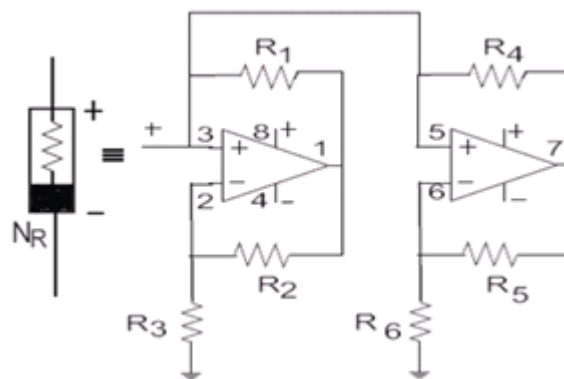


Figura 69. Representación a base de amplificadores operaciones del diodo de Chua.

Una vez explicado el circuito caótico que se empleara, se procederá finalmente al armado del circuito mostrado en la figura 70 y en el siguiente tema se simulara mediante un programa el circuito de Chua, para así lograr ver de forma simulada los atractores caóticos que se esperan ser visualizados cuando se halla conectado el sistema físico al ordenador.

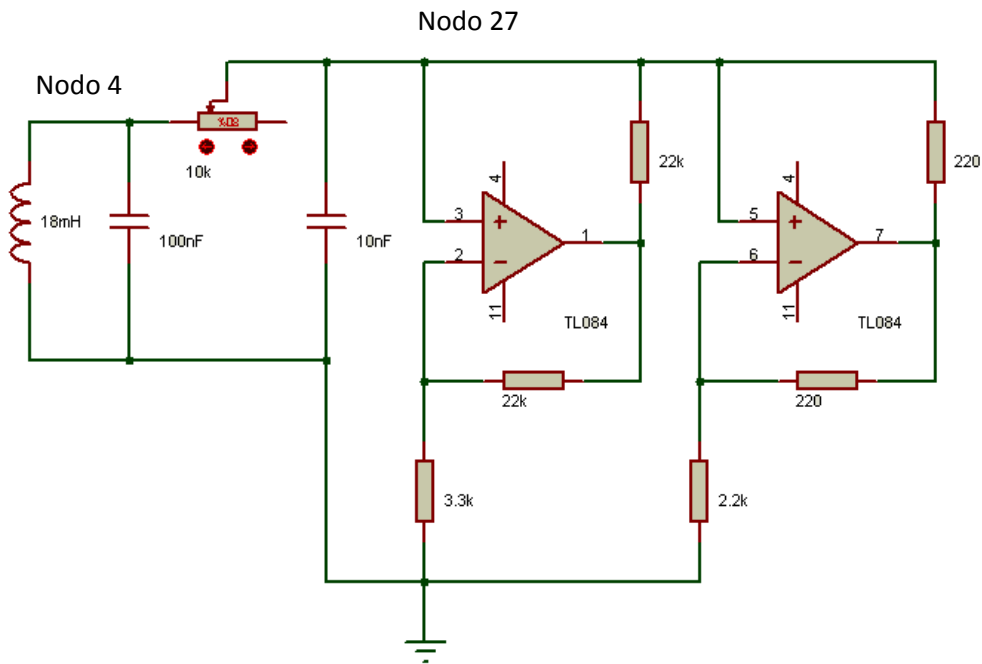


Figura 70. Circuito de Chua.

5.4. Simulación del estado caótico de Lorenz

Empleando las ecuaciones de Lorenz descritas a continuación, es posible visualizarlas de forma gráfica mediante el uso del programa Matlab y así lograr ver sus estados caóticos ilustrado en la figura 71.

$$\dot{x}_1(t) = \sigma(x_2(t) - x_1(t))$$

$$\dot{x}_2(t) = rx_1(t) - x_2(t) - x_1(t)x_3(t)$$

$$\dot{x}_3(t) = x_1(t)x_2(t) - bx_3(t)$$

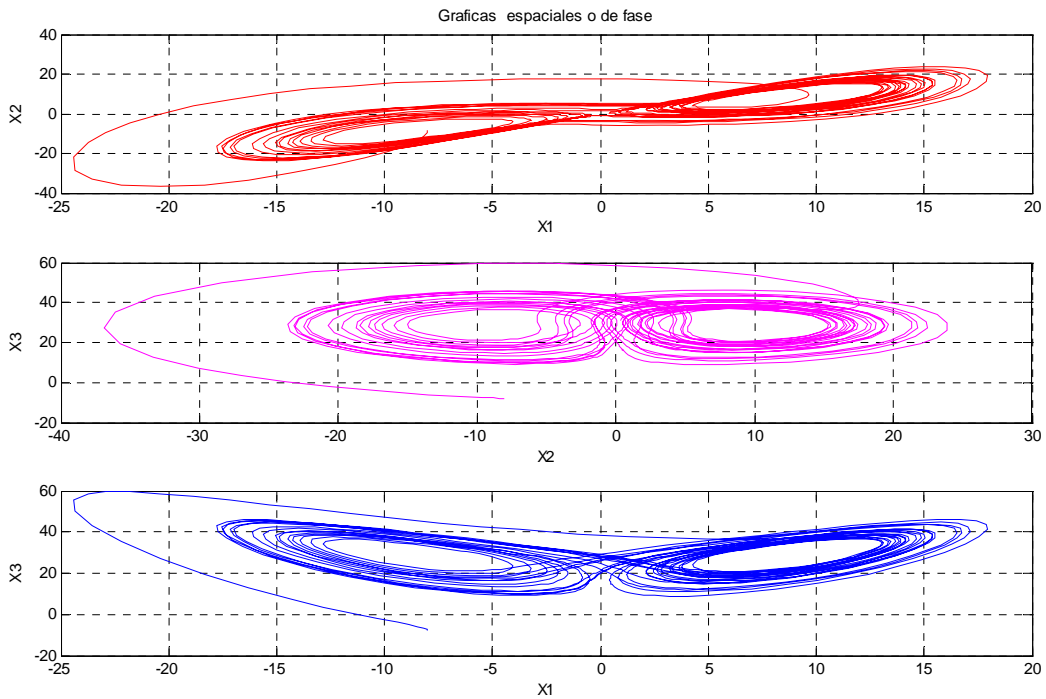


Figura 71. Atractor caótico de Lorenz, con $(r=30)$, y C.I. $x(1)=0$; $x(2)=0$; $x(3)=0$.

5.5. Simulación de los estados del circuito de Chua

De la figura 70 que se ilustró anteriormente es posible visualizar los atractores caóticos generados al conectar el osciloscopio digital en el nodo 4 así como en el nodo 27 respectivamente, dichos atractores se pueden visualizar en la figura 72.

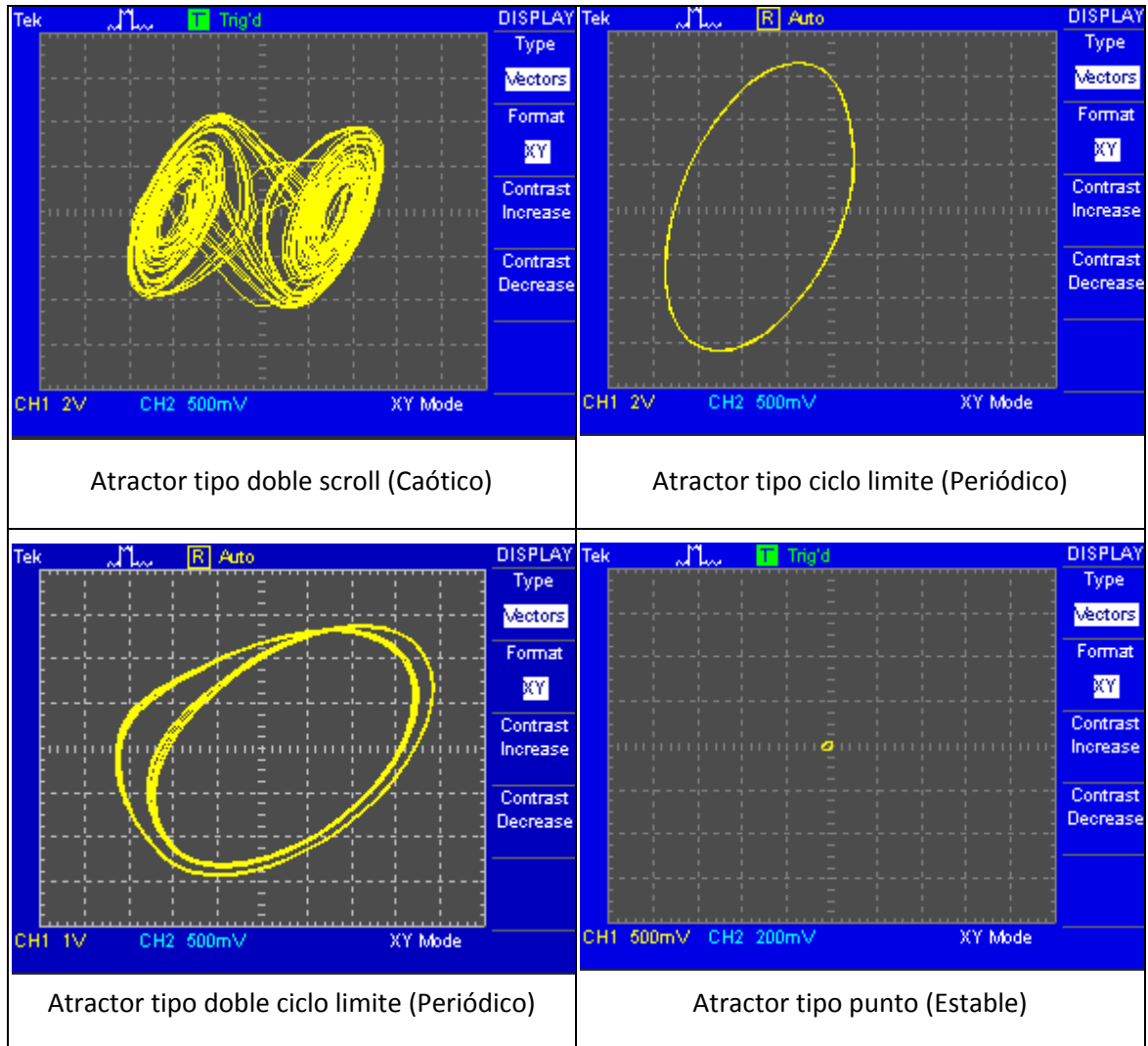


Figura 72. Atractores del sistema de Chua.

5.6. Resultados experimentales

Con forme se han realizan las pruebas pertinentes para así corroborar que las señales ingresadas sean procesadas correctamente y puedan visualizarse de forma clara y cumpliendo las funciones adicionales antes descritas de resguardo de datos así como el análisis espectral, se presenta a continuación una serie de ilustraciones donde se aprecian algunos atractores, esto es apreciable en la figura 73, figura 74, figura 75 y figura 76, cumpliendo los requerimientos establecidos en un inicio.

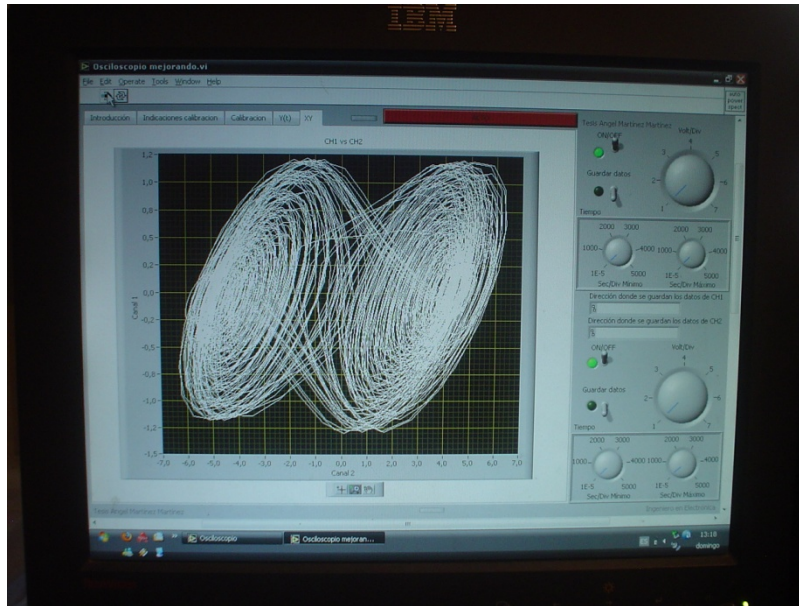


Figura 73. Implementación física del dispositivo emulador de osciloscopio y visualización gráfica en el ordenador de un atractor tipo doble scroll (Caótico).

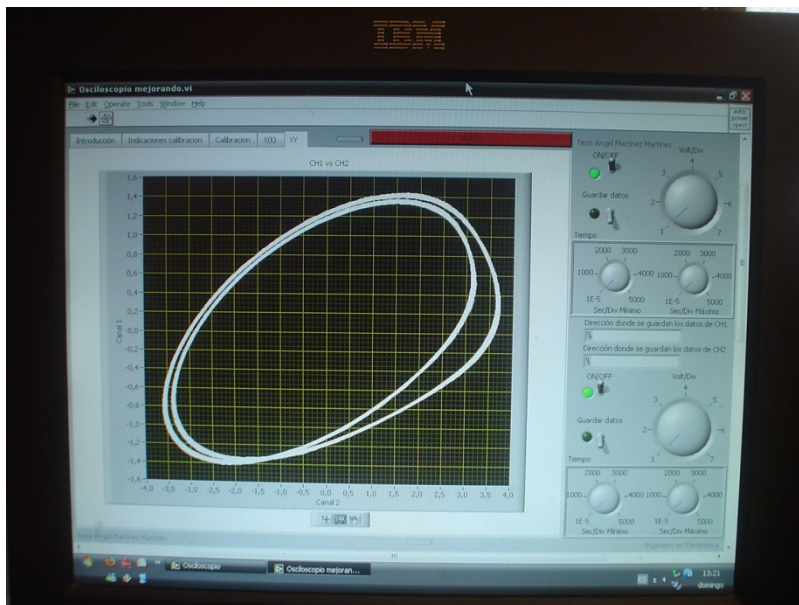


Figura 74. Implementación física del dispositivo emulador de osciloscopio y visualización gráfica en el ordenador de un atractor tipo doble ciclo límite (periódico).

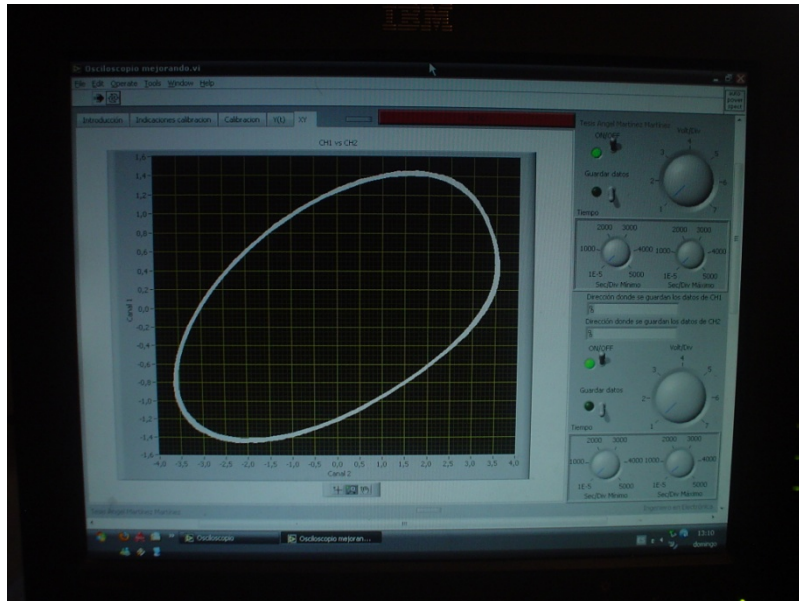


Figura 75. Implementación física del dispositivo emulador de osciloscopio y visualización gráfica en el ordenador de un atractor tipo ciclo límite (periódico).

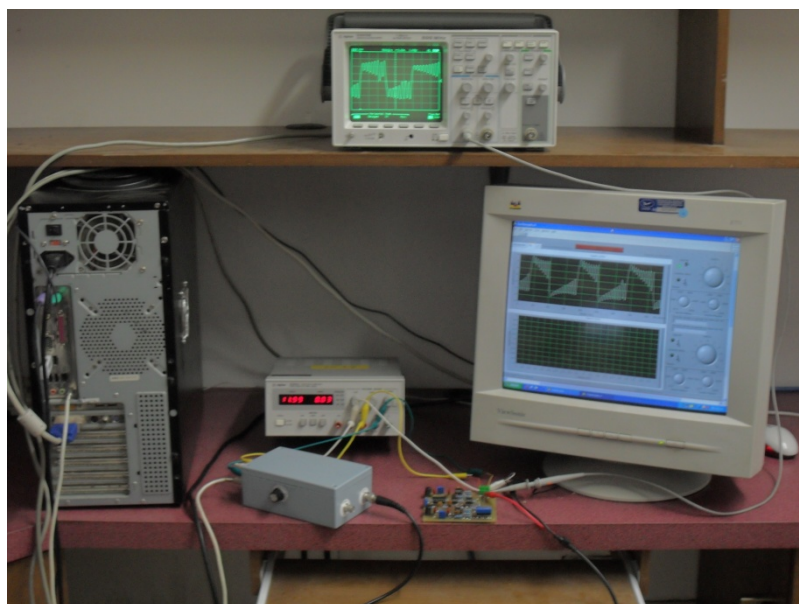


Figura 76. Implementación física del dispositivo emulador de osciloscopio, así como la visualización de una señal caótica en función del tiempo, tanto en el osciloscopio como en el ordenador.

Capítulo VI

Conclusiones

En el presente trabajo de tesis se presento el problema que es existente sobre la adquisición de equipo para el análisis de señales variantes en el tiempo. En particular se busco remediar este problema diseñando un dispositivo que en conjunto con la computadora personal (PC), satisficiera las necesidades de análisis de dichas señales.

Como resultado de esta investigación de diseño de un dispositivo emulador de osciloscopio así como interfaz gráfica para lograr su visualización. Se demostró experimentalmente la viabilidad de esta investigación para estudiantes que requieran constantemente el uso de un equipo como lo es el osciloscopio.

Se analizo las condiciones óptimas para que la comunicación entre el dispositivo emulador y la computadora fueran las mejores, ya que existen limitantes en frecuencia así como en amplitud de las señales que pueden ser ingresadas cuando se está utilizando la entrada *Line in* de la tarjeta de sonido.

Así como se diseñó una interfaz gráfica la cual presenta las funciones básicas de trabajo de un osciloscopio moderno, con la finalidad de que el estudiante que lo utilice se familiarice rápidamente con el. En donde visualmente es apreciable la variación en calidad ante diferente sistema operativo, esto es debido a la diversidad de "*driver (conductor)*" con que se cuenta trabajando y que afecta el procesamiento de la información.

Y se logro visualizar de forma gráfica utilizando como ejemplo, los atractores del sistema de Chua, ya que, las frecuencias de trabajo del sistema de Chua se encuentran dentro del rango que es utilizada por la tarjeta de sonido y en base a

esto se tiene presente para un trabajo a futuro el incremento del rango de frecuencias que puedan ser visualizadas por la computadora.

Bibliografía

- [I]. Cornelio Posadas Castillo (2008). Sincronización de sistemas complejos. Tesis de doctorado.
- [II]. Néstor Rubén Romero Haros (2005). Sincronización del circuito de Chua con retardo: aplicación a la transmisión secreta de información. Tesis de maestría, centro de investigación científica y de educación superior de ensenada (DET-CICESE)
- [1]. Roger L. Tokheim. Electrónica digital principios y aplicaciones, 7ma ed. Mc Graw Hill.
- [2]. Amanda Elizabeth Murillo Camacho (2006). Transmisión de información codificada por caos. Tesis de licenciatura, centro de investigación científica y de educación superior de ensenada (DET-CICESE).
- [3]. Katsuhiko Ogata. Ingeniería de control moderna (1998), 3ra Ed.
- [4]. Serrano Guerrero Hazael (2002). Implementación de un sistema encriptador con base en la sincronía de circuitos de Chua. Tesis de maestría, centro de investigación científica y de educación superior de ensenada (DET-CICESE)
- [5]. Chua, L.O. (1992) "The genesis of Chua's circuit," J. Electron.Commun. 46(4), 250-257.
- [6]. Kennedy, M. P., (1993), "Three steps to chaos part II: A Chua's circuit", IEEE Trans. Circuits Syst. I, 40(10): 657-674 p.
- [7]. Ferrer G. Sremler (1989) "Sistemas de comunicación". Alfaomega.
- [8]. M. Parada, J. I. Escudero y P. Simón: "Apuntes de Instrumentación, Técnicas de Medida y Mantenimiento". Facultad de Informática y Estadística, Sevilla.1998.
- [9]. C. J. Savant Jr., Martin S. Roden y Gordon L. Carpenter. Diseño electrónico: Circuitos y sistemas. Prentice Hall 2000
- [10]. C. Cruz-Hernandez, A. A. Martyn yuk. Advances in chaotic dynamics with applications, London: Cambridge Scientific Publishers, 2009.
- [11]. Fco. Javier Ceballos. C/C++ Curso de programación 2da ed. Alfaomega
- [12]. Fco. Javier Ceballos Sierra. Enciclopedia de Visual Basic Microsoft. ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA, S.A.
- [13]. H. M. Deitel y P. J. Deitel. Como programar en Java. Prentice Hall 1998.
- [14]. Robert F. Coughlin/Frederick F. Driscoll (1999). Amplificadores operaciones

y circuitos integrados lineales. Prentice Hall.

[15]. Osciloscopios de última generación:

<http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/osciloscopio-64971.html#seProd>.

[16]. Funcionamiento del osciloscopio:

http://usuarios.iponet.es/agusbo/osc/osc_1.htm.

[17]. Historia de la tarjeta de sonido:

<http://observatorio.cnice.mec.es/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=253>

[18]. <http://usuarios.multimania.es/cursosimm/capitulo11.htm>

[19]. <http://zone.ni.com/devzone/cda/pub/p/id/717?submitted=yes>

[20]. <http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

[21]. <http://www.ni.com/labview/whatis/esa/>

[22]. <http://www.sym.cl/ficha/655/>