



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTOR: OÑA JACHOLUIS IGNACIO

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE SEÑAL AUDITIVA
PARA PERSONAS EXPUESTAS A SISTEMAS RUIDOSOS
UTILIZANDO UNA TARJETA FPGA**

**DIRECTOR: ING. FABIAN SÁENZ
CODIRECTOR: ING. PAUL BERNAL**

SANGOLQUÍ, MAYO 2014

CERTIFICACIÓN

En nuestra calidad de Director y Codirector, certificamos que este trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. Luis Ignacio Oña Jacho, como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.

Sangolquí, 13de Mayo del 2014

Ing. Fabián Sáenz
DIRECTOR

Ing. Paul Bernal
CODIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Luis Ignacio Oña Jacho, declaro que soy el único autor del proyecto de grado titulado: "Implementación de un sistema de mejoramiento de la calidad de señal auditiva para personas expuestas a sistemas ruidosos utilizando una tarjeta FPGA", y autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE para que hagan el uso que estimen pertinente con el proyecto de grado.

Para que así conste firmo la presente a los 13 días del mes de Mayo del 2014.

Sr. Luis Ignacio Oña Jacho

AUTORIZACIÓN

Yo Luis Ignacio Oña Jacho autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE para la publicación de este proyecto de tesis en el repositorio digital.

Sangolquí, 13 de Mayo del 2014

Sr. Luis Ignacio Oña Jacho

DEDICATORIA

A Dios y a mis padres por haber hecho posible que pueda llegar a este momento tan importante de mi vida. Por los triunfos y los momentos que me han enseñado a valorar.

A mi madre por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, a mis tías quienes han velado por mí durante este largo camino estudiantil.

A mi padre por su paciencia y aguante en momentos difíciles.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Luis Ignacio

AGRADECIMIENTO

Les agradezco a mis padres Luis y Laura por apoyarme en todo momento, por sus consejos, valores inculcados, y por haberme enseñado a ser una persona de bien con su ejemplo de lucha y honradez en cada uno de sus actos de su vida diaria.

Agradezco a Dios por ser la fortaleza que he encontrado en momentos de debilidad y haberme regalado una vida llena de felicidad y experiencias que me han enriquecido como profesional y persona junto a mi familia.

A mis hermanas Andrea y Valeria por ser parte importante de mi vida, por haberme apoyado sobre todo en las malas, gracias por su paciencia y comprensión.

A los amigos que estuvieron presentes en esos momentos de la etapa universitaria que nunca se olvidan y que te definen como persona, también por esos momentos en los que se necesitaba me brinden su confianza y amistad.

A mis tías Elena e Hilda que siempre estuvieron presentes en todo mi proceso de formación, que siempre estuvieron dispuestas a brindarme su apoyo incondicional.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis profesores: Fabián Sáenz y Paúl Bernal. Por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

Luis Ignacio

TABLA GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	I
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	II
AUTORIZACIÓN.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
1. CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.3. ALCANCE	6
1.4. OBJETIVOS	8
1.4.1. General	8
1.4.2. Específicos	8
2. CAPÍTULO II	10
IMPORTANCIA DEL DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CALIDAD AUDITIVA	10
2.1. INTRODUCCIÓN.	10
2.2. GENERACIÓN DE SENSACIONES AUDITIVAS.....	12
2.2.1. Partes y Funciones del Oído	12
2.3. PROBLEMAS AUDITIVOS.....	17
2.3.1. Audición en Ambientes Ruidosos.	20
2.3.2. Discapacidades Auditivas	22
2.4. APLICACIONES DEL SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CALIDAD AUDITIVA	24
2.4.1. Tipos de Audífonos para pérdidas auditivas de frecuencias	25
2.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	28
2.5.1. Ventajas	28
2.5.2. Desventajas.....	29
3. CAPÍTULO III:	30
ESTUDIOS DE PRUEBA Y MEJORAMIENTO DEL FILTRO PREDISEÑADO	30
3.1. FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO PREDISEÑADO.....	30
3.1.1. Inicialización del Filtro Prediseñado	30

3.1.2.	Etapas Para el Funcionamiento del Filtro Prediseñado	33
3.2.	PRUEBAS CON EL FILTRO PREDISEÑADO.....	39
3.2.1.	Normativa para Exposición ocupacional permisible en Ecuador	39
3.2.2.	Pruebas variando los parámetros de exposición permisible para ruidos.....	42
3.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	48
3.4.	MEJORAMIENTO DEL FILTRO PREDISEÑADO.....	49
3.4.1.	Procesamiento Digital de Señales de Audio	49
3.4.2.	Sistemas Banda Base	50
3.4.3.	Formateo de Información Analógica.....	51
3.4.3.1.	Muestreo	51
3.4.3.2.	Efectos de Muestreo y Cuantización	52
3.4.3.3.	Cuantización.....	53
3.4.3.4.	Compresión.....	56
3.4.3.5.	Codificación	57
3.4.3.6.	Decodificación.....	59
3.4.3.7.	Expansión.....	59
3.4.4.	Filtro Digital.....	60
3.5.	PRUEBAS CON EL FILTRO MEJORADO	61
3.5.1.	Funcionamiento del Filtro Mejorado	61
3.5.2.	Análisis de Resultados del Filtro Mejorado	66
4.	CAPITULO IV:.....	68
	ADAPTACION DE LA SENAL A LA TARJETA FPGA, DESARROLLANDO LA PROGRAMACION EN LENGUAJE VHDL.....	68
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	68
4.1.1.	Estudio del funcionamiento de las tarjetas FPGA	70
4.1.1.1.	Visión General de los Dispositivos FPGA.....	70
4.1.1.2.	Arquitectura de una FPGA.....	72
4.1.1.3.	VHDL, Lenguaje de Descripción de Hardware	72
4.1.2.	Compañías de Soporte en Hardware y Software	74
4.1.3.	Futuro de la Lógica Programable.....	76
4.2.	DEFINICIÓN DE LA TARJETA FPGA A SER UTILIZADA	76
4.2.1.	Spartan- 3A/3AN FPGA Starter Kit.....	76
4.2.2.	Software de Desarrollo para la Tarjeta Spartan 3A/3AN Starter Kit.....	78
4.2.2.1.	ISE Design Suite 14.3	79
4.2.2.2.	Elementos de la Interfaz de Programación ISE Design Suite.....	79
4.2.2.3.	ISim Simulator.....	81
4.2.2.4.	Plan Ahead.....	82
4.2.2.5.	IMPACT.....	83
4.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CALIDAD AUDITIVA.....	84
4.3.1.	Criterios de diseño	84
4.3.2.	Diseño	92
4.4.	PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE VHDL.....	93
4.4.1.	Comunicación con la plataforma de Matlab Simulink	93
4.4.2.	Adaptación del filtro a la tarjeta FPGA	95
4.4.3.	Configuración del Filtro FIR	96
4.4.4.	Procesamiento de la señal recibida.....	98
4.4.5.	Señal de salida analógica	100

4.4.5.	Diagrama Esquemático y (Diagrama de flujos)	100
5.	CAPITULO V.....	102
	PRUEBAS DEL SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CALIDAD AUDITIVA	102
5.1.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CALIDAD AUDITIVA.....	104
5.1.1.	Elementos que intervienen en el Sistema	106
5.1.2.	Conexión Tarjeta FPGA y PC.....	111
5.2.	PRUEBAS DEL SISTEMA.....	116
5.2.1.	Obtención de Resultados	117
5.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	122
5.3.1.	Obtención de Potencias del sistema de Mejoramiento de Calidad auditiva.....	122
5.3.2.	Modified Bark Spectral Distortion.....	130
6.	CAPITULO VI.....	141
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141
6.1.	CONCLUSIONES	141
6.2.	RECOMENDACIONES	142
	BIBLIOGRAFIA.....	144
	FIRMAS.....	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Protección al ruido laboral más común	4
Figura 2: Tapones y orejeras para los oídos.....	6
Figura 3: Contaminación acústica en el mundo.....	11
Figura 4: Dispositivo Auricular de última generación	11
Figura 5: Partes del oído externo.....	13
Figura 6: Partes del oído medio	14
Figura 7: Partes del oído interno.....	15
Figura 8: Proceso de captación y procesamiento de las ondas sonoras.....	16
Figura 9: Gráfica del campo audible.....	18
Figura 10: Porcentaje de discapacidad en el Ecuador	20
Figura 11: Niveles de Ruido para el ser humano	21
Figura 12: Diagrama de rendimiento para los procesadores de Sonido.....	22
Figura 13: Audífono Digital con regulación de volumen Escala 1:3	26
Figura 14: Audífonos con Tecnología Digital Adaptables a Cualquier Ambiente	27
Figura 15: Audífono con Programa de Situación Acústica Especial	27
Figura 16: Audífonos y Dispositivos tecnológicos para garantizar la Inteligibilidad	28
Figura 17: Acceso directo a GUIDE desde Matlab.....	31
Figura 18: Direccionamiento del proyecto	32
Figura 19: Ejecución del proyecto.....	32
Figura 20: Interfaz gráfica de grabación de voz	34
Figura 21: Señal de audio ingresado.....	35
Figura 22: Espectro del audio ingresa.....	35
Figura 23: Señal de audio filtrado	37
Figura 24: Comparación del Espectro señal original vs señal filtrada.....	38
Figura 25: Señal Acondicionada (10 dB) vs Señal Filtrada	43
Figura 26: Espectro de la Señal Acondicionada (10 dB) vs Señal Filtrada	43
Figura 27: Señal Acondicionada (85 dB) vs Señal Filtrada	44
Figura 28: Espectro de la Señal Acondicionada (85 dB) vs Señal Filtrada	44
Figura 29: Señal Acondicionada (91 dB) vs Señal Filtrada	45
Figura 30: Espectro de la Señal Acondicionada (91 dB) vs Señal Filtrada	45
Figura 31: Señal Acondicionada (97 dB) vs Señal Filtrada	46
Figura 32: Espectro de la Señal Acondicionada (97 dB) vs Señal Filtrada	46
Figura 33: Señal Acondicionada (103 dB) vs Señal Filtrada	47
Figura 34: Espectro de la Señal Acondicionada (103 dB) vs Señal Filtrada.....	48
Figura 35: Sistema Digital de Comunicación en Banda Base	50
Figura 36: Tren de impulso	52
Figura 37: Cuantización.....	54
Figura 38: Cuantización uniforme	55
Figura 39: Cuantización no uniforme.....	56
Figura 40: Ley A	57
Figura 41: Codificación del Mensaje	58
Figura 42: Señalización dúo binaria	58

Figura 43: Sistema Digital para Mejorar el Filtro Prediseñado	61
Figura 44: Muestreo de la señal analógica de audio	62
Figura 45: Comparación de Señal Original y Comprimida	63
Figura 46: Audio Comprimido vs Audio Cuantizado	64
Figura 47: Filtrado Digital de la Señal de Audio	64
Figura 48: Eficiencia de Codificación y Decodificación	65
Figura 49: Eficiencia del Filtro Mejorado con el Procesamiento Digital de Señales	66
Figura 50: Primera Tendencia de ASIC	69
Figura 51: Segunda Tendencia de ASIC	69
Figura 52: Esquema básico de una FPGA	71
Figura 53: Arquitectura de una FPGA	72
Figura 54: Spartan 3A/3AN Starter Kit	78
Figura 55: Project Navigator	80
Figura 56: Interfaz ISim Simulator	81
Figura 57	83
Figura 58: Interfaz IMPACT	84
Figura 59: Circuito para Capturar Señales Analógicas.....	85
Figura 60: Vista Detallada del Circuito para Captura de Señales Analógicas	86
Figura 61: Configuración típica	87
Figura 62: Tiempos del Bus SPI Cuando se Comunica con el Amplificador.....	88
Figura 63: DSP del LTC1407A	89
Figura 64: Detalles del Bus SPI para el ADC.....	89
Figura 65: DAC	90
Figura 66: DAC conexión esquemática.....	90
Figura 67: Usando los cuatro canales del DAC para control de atenuación.....	91
Figura 68: Detalles del Bus SPI para el DAC.....	92
Figura 69: Diseño General del Proyecto de Investigación	92
Figura 70: Bloques Xilinx en Simulink de Matlab	94
Figura 71: Configuración para conectar Matlab y Xilinx ISE.....	95
Figura 72: Filtro de Impulso de Respuesta Finita.....	96
Figura 73: Configuración del Filtro FIR pasa-banda	97
Figura 74: Configuración Filtro FIR pasa-banda.....	98
Figura 75: Configuración de palabra de control para pre-amplificador	99
Figura 76: Adquisición del dato y conversión del mismo con el ADC	99
Figura 77: Señal Digitalizada.....	100
Figura 78: Configuración y Reconstrucción de la señal con el DAC	100
Figura 79: Diagrama Esquemático en Xilinx ISE.....	101
Figura 80: Implementación del sistema	105
Figura 81: Tarjeta Spartan 3A/AN XSC300.....	106
Figura 82: Periférico de Entrada del Sistema	107
Figura 83: Modulo de procesamiento digital de señales	109
Figura 84: Auricular del prototipo.....	110
Figura 85: Conexión Spartan 3A/AN	112
Figura 86: Acceso desde Windows 7 de iMPACT	112
Figura 87: Identificación del dispositivo en iMPACT	113
Figura 88: Cargar el archivo de configuración general del proyecto	114
Figura 89: Evento para grabar el proyecto	115
Figura 90: Finalización para un correcto grabado del proyecto	116

Figura 91: Micrófono para adquirir señal de muestra	116
Figura 92: Osciloscopio Tektronix TDS320	118
Figura 93: Medición del Sistema de mejoramiento de calidad auditiva para 70 dB.....	119
Figura 94: Medición del Sistema de mejoramiento de calidad auditiva para 80 dB.....	120
Figura 95: Medición del Sistema de mejoramiento de calidad auditiva para 90 dB.	121
Figura 96: Grafica de las señales originales	137
Figura 97: Grafica de las muestras de las señales con un tiempo de 1.1s	137
Figura 98: Grafica de las muestras de las señales con un tiempo de 2.1s	138
Figura 99: Grafica de las muestras de las señales con un tiempo de 2.1s	138
Figura 100: Grafica de las muestras de las señales con un tiempo de 4.1s.....	139
Figura 101: Grafica de las muestras de las señales con un tiempo de 5.1s.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Exposición ocupacional.....	3
Tabla 2 : Elementos para ejecutar el filtro prediseñado.....	31
Tabla 3: Parámetros en la etapa de filtrado	36
Tabla 4: Coeficientes del filtro prediseñado	39
Tabla 5: Exposición ocupacional permisible para ruidos continuos.....	40
Tabla 6: Exposición ocupacional permisible para ruidos intermitentes.....	41
Tabla 7: Rangos de Frecuencias Audibles Obtenidos por el Filtro Prediseñado	49
Tabla 8: Configuración de ganancia para el preamplificador programable.....	87
Tabla 9: Requisitos del sistema operativo Windows y Software.....	95
Tabla 10: Coeficientes del Filtro.....	97
Tabla 11: Comparación de niveles d potencia de la Entrada y Salida del Sistema.....	125
Tabla 12: Obtención del rango de frecuencias de operación del Sistema.....	126
Tabla 13: Comparación de resultados simulados y Prácticos	127
Tabla 14: Resultados de la ejecución del programa MBSD.	140

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Filtro Butterworth	38
Ecuación 2: Frecuencia nominal.....	52
Ecuación 3: Convolución.....	52
Ecuación 4: Ley A	56
Ecuación 5: Secuencia de pulsos.....	59
Ecuación 6: Expansión.....	60
Ecuación 7: Conversión VIN en Tarjeta FPGA.....	86
Ecuación 8: Calculo de la potencia	123
Ecuación 9: Calculo de la potencia absoluta	124
Ecuación 10: Calculo del margen de error	128
Ecuación 11: Calculo del rendimiento del sistema	129
Ecuación 12: Numero de muestras para $F_r(Nyquist)=8k$	136

RESUMEN

El presente proyecto describe una solución para el campo industrial permitiendo el diseño para la implementación de un sistema de mejoramiento de la calidad de señal auditiva que utilice tecnología fácil de implementar y adquirir. Este diseño está enfocado para mejorar la calidad de vida de personas expuestas a sistemas ruidosos. Para la adquisición, análisis y procesamiento de las señales auditivas de entrada se ha utilizado un procesador de uso específico (Tarjeta FPGA). Los módulos de la tarjeta, descritos en el desarrollo del proyecto han sido programados de acuerdo a los parámetros de diseño definidos por el filtro de señales auditivas que se determinó como el más óptimo de acuerdo a las pruebas de rendimiento realizadas en Matlab. Para determinar la calidad de la señal auditiva obtenida luego de que el sistema ha adquirido y procesado la señal de audio inicial, se ha utilizado la medida MBSD que se basa en la suposición de que la calidad de voz está directamente relacionada con la sonoridad del habla, que es un término psicoacústico que se define como la magnitud de la sensación auditiva.

PALABRAS CLAVE

- TARJETA FPGA
- FILTRO DE SEÑALES
- SOFTWARE MATLAB
- PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES
- MBSD

ABSTRACT

This project describes a solution for the industrial design field allowing us the implementation of a system to improve the quality of audio signal using technology easy to implement and acquire. This design is aimed to improve the quality of life of people exposed to noisy systems. For the acquisition, analysis and processing of audio input signals we used a special-purpose processor (FPGA card). Card modules described in the project are programmed according to the design parameters defined by the audio signals filter which was determined as the optimum according to performance tests executed in Matlab. To determine the quality of the audio signal obtained after the system has acquired and processed the original audio signal has been used as the MBSD is based on the assumption that the voice quality is directly related to the loudness of speech, a psychoacoustic term defined as the magnitude of the auditory sensation.

KEYWORDS

- FPGA CARD
- SIGNAL FILTER
- SOFTWARE MATLAB
- DIGITAL SIGNAL PROCESSING
- MBSD

1. CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La realización de este proyecto es de gran importancia ya que su principal interés es el de precautelar la salud y el correcto funcionamiento del sistema auditivo, el mismo que le permite al ser humano a involucrarse con el mundo a su alrededor ya que recibe emisiones de todas las fuentes posibles e impulsos provenientes de cualquier dirección. El ser humano ha aprendido a hablar escuchando e imitando las voces de los demás, ha aprendido la mayoría de lo que sabe escuchando a sus padres, profesores, la televisión y la radio. La música, los sonidos de la naturaleza y las voces de los seres queridos le pueden brindar placer y seguridad; las sirenas y alarmas le pueden alertar del peligro, incluso cuando está dormido. Por lo que podemos concluir que el sistema auditivo es fundamental para el correcto desarrollo de un individuo

A pesar de la importancia que el sistema auditivo significa para el ser humano, en el ambiente cotidiano en el que cada persona se desenvuelve diariamente, existe frecuentemente sonidos molestos, desagradables e indeseados conocidos como ruido. (Family Doctor, 2008)

El ruido de cierta intensidad produce múltiples efectos en las personas expuestas al mismo, tales como: disminución de la eficacia en el trabajo, cambios psicológicos, malestar, alteraciones del ritmo cardíaco y la presión sanguínea, alteraciones digestivas, etc.

Actualmente el problema se ha magnificado porque la industrialización ha traído consigo maquinaria mucho más ruidosa y además el número de trabajadores expuestos es mayor que en años anteriores. Por lo que es muy común en personas que trabajan en industrias con maquinarias con altos niveles de emisión de ruido y que además no han sido debidamente protegidas, la pérdida auditiva que se expresa como dificultad para entender conversaciones en ambientes ruidosos, escuchar la radio o TV y responder el teléfono. (Universidad de Córdoba Escuela Politécnica Superior, 2001)

Por todas las molestias y falencias mencionadas anteriormente, al que las personas se encuentran expuestas es que como estudiante de la universidad me siento en la obligación de involucrarme en esta problemática, y plantear una solución que permita a las personas expuestas a ruido intenso, tener una protección auditiva que prevenga futuras falencias en el oído.

Como estudiante de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones tengo los conocimientos necesarios como para desarrollar un sistema piloto para el mejoramiento de la calidad auditiva. Ya que en el tiempo en el cual estuve como estudiante de la universidad recibí basta información sobre procesamiento digital de señales, diseños de filtros digitales, manejo de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado, además de circuitos integrados de propósito general o específico como son las tarjetas FPGA y su respectiva programación.

Cabe recalcar que la universidad cuenta a su disposición de circuitos integrados de uso específico (tarjetas FPGA) así como del software necesario para llevar a cabo el desarrollo del proyecto. Por lo que la puesta en marcha y ejecución del proyecto es viable, y de exitosa culminación.

1.2. Justificación e Importancia

La pérdida del sentido del oído a causa de la exposición a ruidos en el lugar de trabajo es una de las enfermedades profesionales más comunes. Los trabajadores pueden verse expuestos a niveles elevados de ruido en lugares de trabajo tan distintos como la construcción, fundiciones, el textil etc. La exposición breve a un ruido excesivo puede ocasionar pérdida temporal de la audición, que dure de unos pocos segundos a unos cuantos días. La exposición al ruido durante un largo período de tiempo puede provocar una pérdida permanente de audición. En la Tabla 1(Exposición ocupacional) se detalla la exposición ocupacional permisible según la intensidad del ruido a los que una persona se encuentre expuesta.(GAES, 2012)

Tabla1: Exposición ocupacional(European Agency for Safety and Health at Work, 2012)

Nivel de Ruido	Exposición Permitida
(dB)	(horas)
85	8
88	4
91	2
94	1
97	1/2
100	1/4
103	1/8

La pérdida de audición que se va produciendo a lo largo del tiempo no es siempre fácil de reconocer y, desafortunadamente, la mayoría de los trabajadores no se dan cuenta de que se están volviendo sordos hasta que su sentido del oído ha quedado dañado permanentemente. Se puede combatir la exposición a ruidos en el lugar de trabajo, a menudo con un costo mínimo y sin graves dificultades técnicas. La finalidad del control del ruido laboral es eliminar o reducir el ruido.

En el Ecuador existe una normativa aplicable al ruido, es necesario destacar que los niveles de aplicación de la normativa de ruido industrial son propios para cada disposición legal del país en el cual rige. En nuestro país, son sumamente limitadas las normativas y disposiciones sobre la exposición ocupacional al ruido es sumamente permisible y no garantiza la seguridad y salud de los empleados. (Ministerio del Ambiente Colombia, 2006)

Sin embargo, en algunas empresas privadas, se toman algunas medidas al respecto, pero sin un criterio formal que se aplique a cabalidad. Todo esto debido a la poca preocupación y al mínimo interés que se le brinda por parte de todos los entes de un ambiente laboral. Prueba de esto es que la protección más comúnmente utilizada en la industria de nuestro país son los tapones para los oídos u orejeras como se muestra en la Figura 1 (Protección al ruido laboral más común), siendo esta no siempre la más apropiada.



Figura 1: Protección al ruido laboral más común

Para el control del ruido laboral se tiene a disposición 3 métodos que son:

- En su fuente: Al igual que con otros tipos de exposición, la mejor manera de evitarlo es eliminar el riesgo. Así pues, combatir el ruido en su fuente es la manera ideal de controlar el ruido. Para aplicar este

método, puede ser necesario sustituir alguna máquina ruidosa y el costo de inversión para la empresa puede ser muy elevado.

- Barreras: Si no se puede controlar el ruido en la fuente, puede ser necesario aislar la máquina, alzar barreras que disminuyan el sonido entre la fuente y el trabajador o aumentar la distancia entre el trabajador y la fuente. (Aunque esto puede ser difícil hacerlo en muchos casos).
- En el propio trabajador: El control del ruido en el propio trabajador, utilizando protección de los oídos es, desafortunadamente, la forma más habitual, pero la menos eficaz, de controlar y combatir el ruido. Obligar al trabajador a adaptarse al lugar de trabajo es siempre la forma menos conveniente de protección frente a cualquier riesgo. Por lo general, hay dos tipos de protección de los oídos: tapones de oídos y orejeras. Ambos tienen por objeto evitar que un ruido excesivo llegue al oído interno.

Los tapones para los oídos se meten en el oído y pueden ser de materiales muy distintos, entre ellas caucho, plástico o cualquier otra que se ajuste bien dentro del oído. Son el tipo menos conveniente de protección del oído, porque no protegen en realidad con gran eficacia del ruido.

La protección de los oídos es el método menos aceptable de combatir un problema de ruido en el lugar de trabajo, porque:

- El ruido sigue estando ahí: no se ha reducido.
- La empresa no siempre facilita el tipo adecuado de protección de los oídos, sino que a menudo sigue el principio de "cuanto más barato, mejor";
- Los trabajadores no pueden comunicarse entre sí ni pueden oír las señales de alarma.

Tomando en consideración que los tapones para los oídos y las orejeras (Figura 2: Tapones y orejeras para los oídos), son los métodos más utilizados para controlar el ruido debido a su bajo costo y facilidad de

implementación en una fábrica, pero que no eliminan el ruido por completo además de disminuir el nivel de señales auditivas necesarias para el trabajador para poder estar comunicado y prevenido en su trabajo.(Ecología y Vida, 2013)



Figura 2: Tapones y orejeras para los oídos(Vida y Salud en Línea de la Dra. Aliza, 2008)

Como se mencionó anteriormente, en el Ecuador no se vela por la protección del sistema auditivo de los trabajadores, y este sufre de deterioro por la exposición en horarios laborales a altas emisiones de ruido, además de un deficiente cuidado y protección. Es necesario como estudiante de la universidad, la cual ha formado un grupo de desarrollo de TIC's y discapacidades mismo que tiene un deber con la comunidad; el diseñar e implementar un dispositivo auditivo que filtre las señales no deseadas de ruido que interfieran con el desarrollo laboral de los trabajadores.

1.3. Alcance

Con el presente proyecto se pretende diseñar e implementar un sistema que disminuya el ruido de forma considerable, mejorando la calidad auditiva de las personas expuestas a ambientes con altos niveles de emisión de ruido.

Para el desarrollo de este proyecto se empezara por realizar las pruebas pertinentes para la adaptación del filtro prediseñado, obtenido del tema de tesis “MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE SEÑAL EN SISTEMAS RUIDOSOS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA”.

En el caso de ser necesario se realizara las correcciones del filtro prediseñado, para obtener una adaptación optima al sistema de mejoramiento auditivo.

Para la implementación del sistema que filtre las emisiones sonoras no deseables (ruido) y que amplifique las señales necesarias para la comunicación, entregando una señal auditiva más limpia de ruido y comprensible para que la persona que lo utilice pueda asimilar de mejor manera la señal auditiva, y conseguir así un mejor desempeño en su ambiente laboral. Se utilizara un dispositivo que nos permita procesar las señales así como implementar el filtro, para esto se utilizara un microprocesador de uso específico siendo este una Tarjetas FPGA. Esta Tarjeta FPGA se deberá programar en lenguaje VHDL, de tal modo que la señal obtenida del ambiente con altas emisiones de ruido pueda ser procesada, para obtener como resultado final una señal analógica misma que pueda ser asimilada por el oído humano, esta señal debe estar limpia de ruido y debe ser comprensible para mejorar la calidad auditiva de las personas que lo utilicen.

Una vez se tenga implementado el sistema de mejoramiento de calidad auditiva, se procederá a realizar pruebas en personas que trabajen en ambientes con altas emisiones de ruido, para lo que se realizara pruebas en alguna fabrica que trabaje con maquinarias que emitan altos niveles de ruido al que sus trabajadores estén expuestos durante varias horas laborales.

Se procederá a realizar una encuesta a cada una de las personas que formaron parte de dichas pruebas, y así se podrá comprobar si su calidad de

vida laboral mejoro en algo al utilizar el sistema de mejoramiento de calidad auditiva.

Se receptara recomendaciones de las personas que utilizaron el sistema de mejoramiento de calidad auditiva, y se las pondrá en consideración para el mejoramiento del diseño.

Uno vez se tenga las pruebas fehacientes de que el sistema de mejoramiento de calidad auditiva a ser diseñado es efectivo, y que su funcionamiento mejore la calidad de vida laboral de las personas que lo usen, se pondrá a disposición de la comunidad el diseño del sistema para poder ser implementado en un micro-chip y poder tener un dispositivo más funcional y de fácil adaptación a la anatomía auricular. Esto es factible ya que ese es el fin de las tarjetas FPGA ya que su programación de alto nivel y por capas nos permite tener un diseño electrónico del dispositivo que se desea crear, y para el fin que se lo desea crear.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Implementar un sistema que reciba señales provenientes de ambientes con altas emisiones de ruido, procesándolas y filtrándolas con el fin de obtener una señal de salida limpia de ruido y amplificada, utilizando un microprocesador de uso específico siendo este una Tarjetas FPGA, con el fin de mejorar la calidad auditiva de personas expuestas a ambientes con altas emisiones de ruido.

1.4.2. Específicos

- Realizar estudios investigativos acerca de los dispositivos para el mejoramiento de la calidad auditiva, que en la actualidad se utilizan, con el fin de definir sus deficiencias y tomarlas en consideración al

implementar el diseño del sistema de mejoramiento de calidad auditiva, en la tarjeta FPGA.

- Argumentar y sustentar la importancia del diseño e implementación del sistema de mejoramiento de calidad auditiva, enfocándose especialmente en personas expuestas a ambientes con altas emisiones de ruido, y como estas se verán beneficiadas, mejorando su calidad de vida laboral.
- Realizar estudios de prueba del filtro prediseñado en el proyecto de grado “MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE SEÑAL EN SISTEMAS RUIDOSOS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA”, y de ser necesario realizar las correcciones correspondientes utilizando el software de desarrollo integrado (Matlab) y su plataforma Simulink, la cual tienen a disposición herramientas para el procesamiento digital de señales.
- Adaptar el filtro más apropiado a la tarjeta FPGA, para su implementación en el sistema de mejoramiento de calidad auditiva, desarrollando la programación necesaria en lenguaje VHDL, de manera que la tarjeta FPGA pueda procesar de forma óptima la señal recibida y se pueda obtener una señal de salida libre de ruido y de alta calidad auditiva, para que el oído humano la pueda asimilar y aprovechar de mejor manera.
- Realizar pruebas del sistema de mejoramiento de calidad auditiva, en personas expuestas a ambientes con altas emisiones de ruido, y determinar los beneficios conseguidos.

2. CAPÍTULO II

IMPORTANCIA DEL DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CALIDAD AUDITIVA

2.1. Introducción.

La exposición al ruido en el trabajo puede ser perjudicial para la salud de los trabajadores. El efecto más conocido del ruido en el trabajo es la pérdida de audición, un problema que ya se observaba entre los trabajadores del cobre en 1731. Sin embargo, también puede aumentar el estrés y multiplicar el riesgo de sufrir un accidente.

La disminución de la capacidad auditiva puede deberse a un bloqueo mecánico de la transmisión del sonido al oído interno (pérdida de audición conductiva) o a lesiones de las células ciliadas de la cóclea, que forma parte del oído interno (pérdida de audición sensoneurálgica). En raras ocasiones, el deterioro auditivo también puede ser provocado por trastornos de procesamiento auditivo central (cuando los centros auditivos del cerebro se ven afectados). (European Agency for Safety and Health at Work, 2012)

La pérdida de audición se puede producir sin una exposición prolongada. Una exposición breve a ruidos de impulsos (incluso a un único impulso fuerte), como los producidos por armas de fuego, pistolas de clavos o de remaches (Figura 3: Contaminación acústica en el mundo), puede tener efectos permanentes, como la pérdida de audición y el tinitus continuo. Asimismo, los impulsos pueden perforar la membrana del tímpano. Esta perforación resulta dolorosa, pero puede curarse. (Medlab, 2005)



Figura 3: Contaminación acústica en el mundo (Ecología y Vida, 2013)

Hay distintas soluciones para prevenir este tipo de enfermedad auditiva para ello se encuentra en el mercado distintos productos con tecnología eficiente(Figura 4: Dispositivo Auricular de última generación)los cuales por su precio no son de fácil accesibilidad, mediante una previa investigación de campo y de laboratorio se pudo determinar el tipo de análisis ideal para poder integrar la tecnología apropiada para reducir los costos y tener una mayor eficiencia en su aplicación.



Figura 4: Dispositivo Auricular de última generación (Centro del audífono, 2011)

El diseño del filtro para mejorar la calidad auditiva ha generado las perspectivas de poder realizar en nuestro entorno un análisis general manejando todas las variables globales que intervienen en la mala calidad

auditiva, se obtuvo resultados satisfactorios permitiendo mediante la herramienta Matlab establecer que el mejor tipo de filtro para eliminar señales desagradables para el oído humano es el filtro pasa-banda.

Este análisis plantea la posibilidad de disminuir el ruido en ambientes laborales en donde se hace imposible la comunicación entre trabajadores, y donde es de suma importancia que el trabajador detecte ruidos sumamente fuertes como medidas de alarma, de este modo la persona obtendrá beneficios no solo a nivel de eficiencia laboral, si no que a largo plazo no se presentaran daños en la salud del individuo.

2.2. Generación de sensaciones auditivas

La generación de las sensaciones auditivas en el ser humano es un proceso extraordinariamente complejo, el cual se desarrolla en tres etapas básicas:

- Captación y procesamiento mecánico de las ondas sonoras.
- Conversión de la señal acústica en impulsos nerviosos, y transmisión de dichos impulsos hasta los centros sensoriales del cerebro.
- Procesamiento neural de la información codificada en forma de impulsos nerviosos.

2.2.1. Partes y Funciones del Oído

En esta etapa interviene físicamente el oído el cual no solo proporciona el sentido de la audición sino que también nos da el equilibrio de nuestro cuerpo, es un órgano complejo que está dividido en tres partes:

- Oído externo.
- Oído medio.
- Oído interno.

Oído Externo

La función del oído externo es la de recolectar las ondas sonoras y dirigir las hacia el oído medio, el oído externo está dividido en pabellón auricular u oreja y el conducto auditivo. (Figura 5: Partes del oído externo)

Asimismo, el conducto auditivo tiene dos propósitos adicionales:

- Proteger las dedicadas estructuras del oído medio contra daños.
- Minimizar la distancia del oído interno al cerebro, reduciendo el tiempo de propagación de los impulsos.

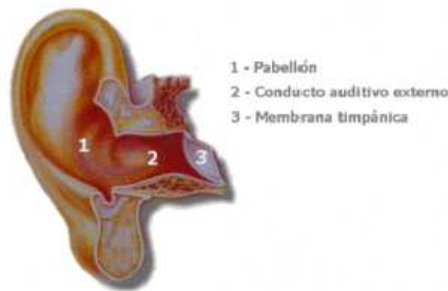


Figura 5: Partes del oído externo (Sense Internacional, 2010)

Oído Medio

Esta cavidad del oído medio se comunica con el oído exterior del cuerpo a través de la trompa de Eustaquio, el cual es un conducto que llega hasta las vías respiratorias, su función es la de permitir igualar la presión del aire a ambos lados del tímpano además se subdivide en las siguientes partes mostradas en la Figura 6.



Figura 6: Partes del oído medio (Sense Internacional, 2010)

Oído Interno

La función del oído interno es la de convertir las señales sonoras en impulsos nerviosos, en esta área esta subdividida en las siguientes partes mostradas en la Figura 7:

- **Cóclea o caracol:** Es un conducto rígido lleno con dos fluidos de distinta composición.
- **Membrana basilar:** Junto a la escala timpánica contienen un mismo fluido, las cuales se interconectan por una pequeña abertura llamada helicotrema, por el contrario con la escala media se encuentra aislada de las dos escalas, esta contiene un líquido de distinta composición que la peri linfa. Junto con la escala media se encuentra el órgano de Corti, el cual contienen las células ciliares que actúan como transductor de señales sonoras a impulsos nerviosos.

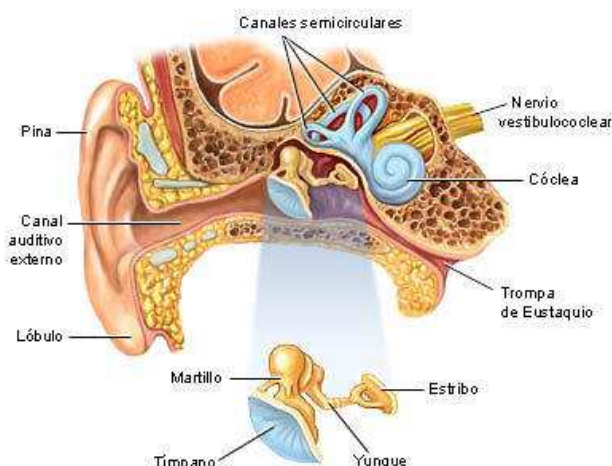


Figura 7: Partes del oído interno (Sense Internacional, 2010)

Captación y procesamiento mecánico de las ondas sonoras.

La captación de los estímulos sonoros se llevan a cabo en el oído por medio de las funciones particulares y necesarias de la estructura del oído propiamente dicho, posterior a la captación se procede a la etapa de procesamiento neural es donde se producen las diversas sensaciones auditivas visto desde otro punto es la comunicación del oído y el cerebro como se lo muestra en la Figura 8.

En la etapa de captación y procesamiento se distinguen dos regiones del sistema nervioso:

- **Región Periférica:** Es la encargada de mantener los estímulos sonoros en su forma de ondas mecánicas hasta el momento de su conversión en señales electroquímicas.
- **Región Central:** Es la encargada de realizar la transformación de las señales electroquímicas en sensaciones.



Figura 8: Proceso de captación y procesamiento de las ondas sonoras (Sense Internacional, 2010)

Conversión de la señal acústica en impulsos nerviosos y transmisión de dichos impulsos hasta los centros sensoriales del cerebro.

En este proceso de transducción o conversión de señales mecánicas a electroquímica se desarrolla en el órgano de Corti, situado sobre la membrana basilar. Las vibraciones de la membrana basilar hacen que esta se mueva en sentido vertical, a su vez la membrana tectórica ubicada sobre las células ciliares vibren igualmente. Dado que los ejes de movimiento de ambas membranas son distintos, el efecto que se produce es el de un desplazamiento lateral de la membrana tectorial con respecto a la membrana basilar.

En el caso de las células internas, aun cuando sus cilios no estén en contacto directo con la membrana tectorial, los desplazamientos del líquido y su alta viscosidad hacen que dichos cilios se doblen también en la misma dirección.

Procesamiento neural de la información codificada en forma de impulsos nerviosos.

Debido a las diferencias de potencial existentes, los cambios en la membrana modulan una corriente eléctrica que fluye a través de las células ciliares, el efecto de la disminución en el potencial interno de las células

internas provoca la activación de los terminales nerviosos, generándose un impulso nervioso que viaja hacia el cerebro.

Por el contrario cuando los cilios se doblan en la dirección opuesta, la conductividad eléctrica de la membrana disminuye y se inhibe la generación de dichos impulsos. Las fibras aferentes están conectadas mayormente con las células ciliares internas, por lo que es posible establecer con claridad que estas son los verdaderos sensores del oído y por el contrario con las células ciliares externas es objeto de especulación hasta hace pocos años, mediante publicaciones de investigación se ha llegado a establecer que estas no operan como receptores si no como músculos, es decir como elementos móviles que pueden modificar las oscilaciones en la membrana basilar.

Se puede determinar el procesamiento neural como un modelo que indica que el conjunto formado por la membrana basilar y sus estructuras anexas forman un sistema activo, no lineal y con realimentación, permitiendo dos fenómenos asociados al oído interno:

- El tono de combinación: Este es generado a partir de dos tonos de distinta frecuencia por un elemento no lineal que contienen un término cúbico.
- Emisiones Otacústicas: Son aquellas que se consideran en tonos generados en el oído interno en forma espontánea o estimulada y que pueden llegar a ser audibles. (Sense Internacional, 2010)

2.3. Problemas Auditivos

Un sonido es ultrasónico cuando su frecuencia es mayor de unos 15KHz, es decir, superior al límite de la capacidad auditiva normal. Hay, desde luego, ciertos ruidos que tienen un componente audible y un componente ultrasónico como se lo muestra en la Figura 9. En la actualidad los ultrasonidos constituyen en solo ocasiones un riesgo profesional. Sin embargo, Angeluscheff & Coleman (1953) observan que algunos “sonidos

que se consideran inocuos, pueden producir, pro sus componentes ultrasónicos, efectos nocivos en el sistema nervioso”. Estos ultrasonidos pueden originar diversas alteraciones en el tejido óseo y colágeno y que es una posible relación con la otosclerosis.

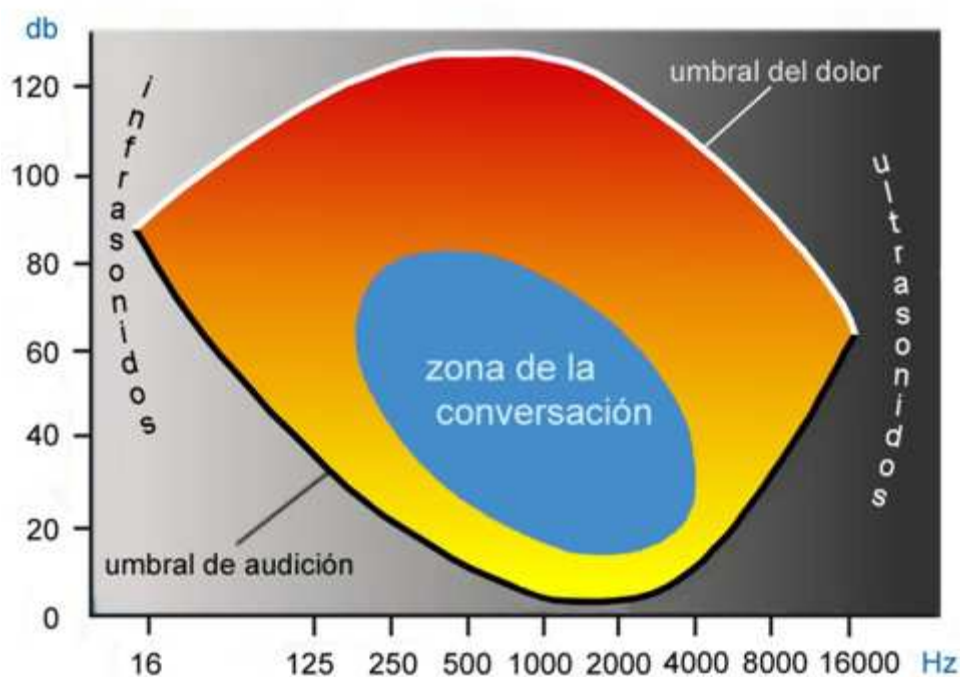


Figura 9: Gráfica del campo audible (Vida y Salud en Línea de la Dra. Aliza, 2008)

Sin la adecuada protección para los oídos, los sonidos fuertes pueden dañar células dentro del oído, esta es una forma de pérdida auditiva neurosensorial y es la causa de pérdida auditiva más frecuente en los adultos ecuatorianos.

La emisión de un sonido extremadamente fuerte, como un disparo de un arma o un petardo puede ser la causa de la pérdida auditiva inducida por el ruido.

A menudo la causa es la exposición prolongada a sonidos fuertes de intensidad baja, tales como el ruido en una fábrica o música rock. Entre los

trabajadores ecuatorianos, la causa más frecuente de lesiones laborales es la pérdida de sonido inducida por el ruido.

Este es un problema de salud significativo en los carpinteros, mineros, plomeros, trabajadores en fábricas, granjeros, trabajadores de la construcción y trabajadores expuestos a ruidos producidos por aviones, sirenas y explosivos.

Si tiene pérdida de audición grave y repentina, usted observará inmediatamente que pierde su capacidad para escuchar por el oído afectado. Por ejemplo, usted puede chasquear sus dedos cerca del oído afectado y no oírlos, o puede poner el receptor del teléfono sobre su oído y no escuchar nada.

Si su pérdida de audición es gradual, sus síntomas pueden ser más leves. Puede tener problemas para entender una conversación, ya sea en persona o por teléfono. Algunas enfermedades y condiciones que causan pérdida auditiva pueden producir otros síntomas:

- Zumbido en los oídos (acúfenos)
- Secreción o sangrado de los oídos
- Dolor de oído intenso
- Dolor en el canal auditivo
- Presión o una sensación de “congestión” en los oídos
- Mareos
- Problemas de equilibrio
- Náusea

Ningún programa nacional de lucha contra el ruido puede considerarse completo si no concede el debido lugar a la investigación, permitiendo integrar en los departamentos establecidos en las universidades y en otros centros para estudiar los múltiples aspectos de la audición normal y la afectada por el ruido.

Por medio de la encuesta realizada en Noviembre del 2010 se obtuvieron datos reveladores (Figura 10), los cuales establecieron mecanismos de contingencia estableciendo nuevas soluciones para prevenir los distintos tipos de enfermedades tales como la auditiva. (Vida y Salud en Línea de la Dra. Aliza, 2008)

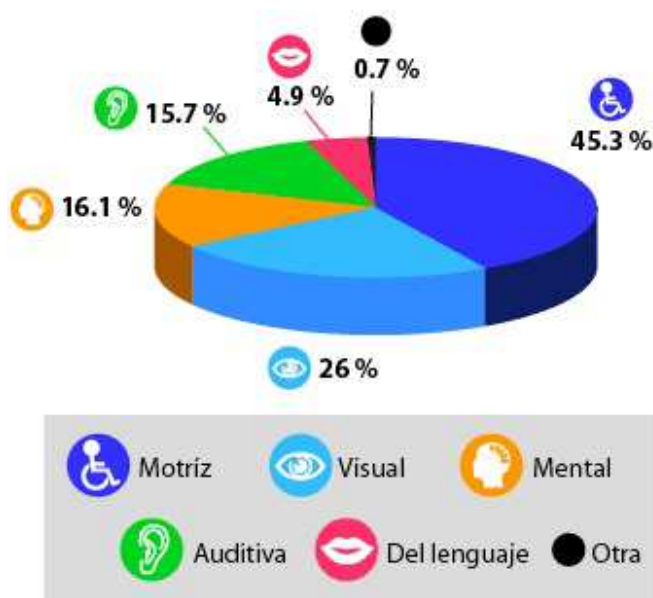


Figura 10: Porcentaje de discapacidad en el Ecuador (Vida y Salud en Línea de la Dra. Aliza, 2008)

2.3.1. Audición en Ambientes Ruidosos.

Por definición ruido es todo sonido no deseado, y es en la actualidad, una de las causas más frecuentes de pérdida auditiva. El trabajar en ambientes ruidosos, hora tras hora, va a ocasionar una gradual o permanente pérdida auditiva. Este daño auditivo va a depender de la intensidad y duración del ruido, al que un trabajador esté expuesto. En la Figura 11 se muestra los niveles de sonido y ruidos en decibeles.

Las lesiones auditivas por ruido son consecuencia de una exposición a ruidos de fuerte intensidad y de larga duración. Pero, debido a que es una

lesión indolora, ésta no se percibe de forma inmediata. Lo que sí se puede percibir en un primer momento, es un zumbido en uno o ambos oídos, como resultado del largo período de exposición a un ruido. Sin embargo, en algunas ocasiones, el primer síntoma puede ser una dificultad en la comprensión de la palabra, pero sin zumbidos en los oídos.

Así pues, el ruido produce pérdida auditiva, tanto en personas sin problemas auditivos, como en aquellas que ya presenta pérdida auditiva. Hay que recordar que la pérdida auditiva debida al ruido es siempre acumulativa; es decir, a más largas exposiciones a ruidos de fuerte intensidad, mayor será la pérdida auditiva. (Centro del audífono, 2011)

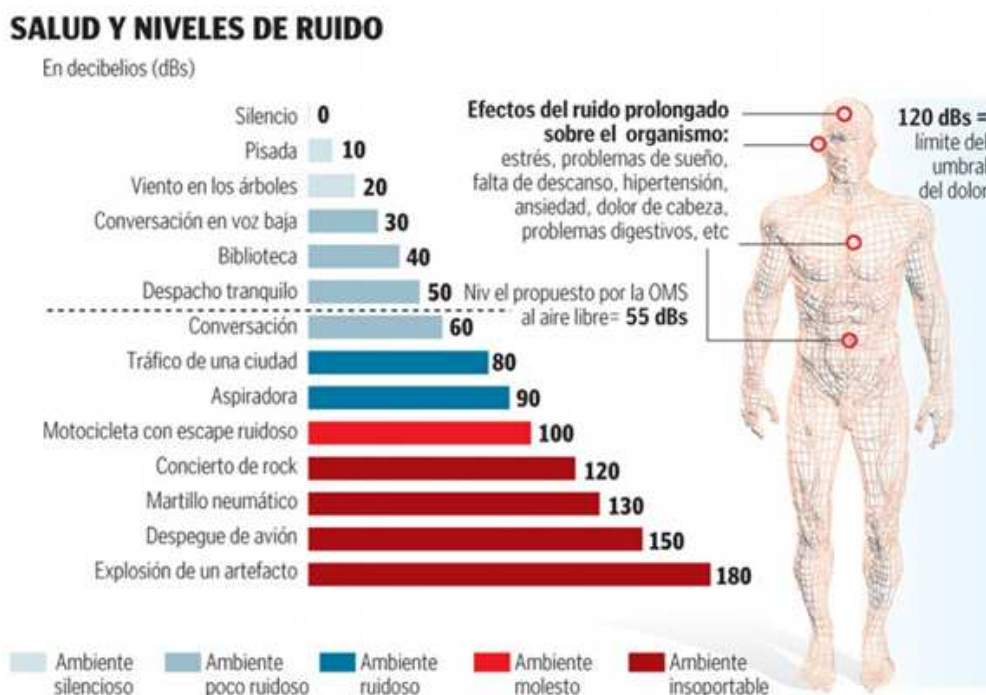


Figura 11: Niveles de Ruido para el ser humano (Centro del audífono, 2011)

En comparación con las prótesis auditivas, un implante coclear puede contribuir crucialmente a mejorar la percepción auditiva. En un estudio reciente de dispositivos Nucleus, los niños participantes en la prueba revelaron mejoras notables tan sólo tres meses después de recibir el implante coclear (Ver Figura 12) Las pruebas realizadas fueron cuestionarios estructurados de entrevistas a padres, llamadas IT-MAIS (*Infant Toddler*

Meaningful Auditory Integration Scale) [Escala de Integración Auditiva Significativa para Infantes-Niños Pequeños] y MAIS (*Meaningful Auditory Integration Scale*) [Escala de Integración Auditiva Significativa]. Estas pruebas permitieron a los padres responder preguntas acerca del desarrollo de la habilidad auditiva de sus niños.

Los niños pequeños, quienes generalmente tienen mejor audición, pueden a menudo distinguir sonidos desde 20 Hz, como el caso de la nota más baja de un órgano, y hasta los 20.000 Hz, tal como el agudo un silbato para perros, al que muchos adultos son incapaces de oír.

La intensidad de un sonido se mide en decibelios (dB). La escala corre entre el mínimo sonido que el oído humano puede detectar, que es denominado 0 dB, y más de 180 dB, el ruido de un cohete durante el lanzamiento.(Coclear, 2009)

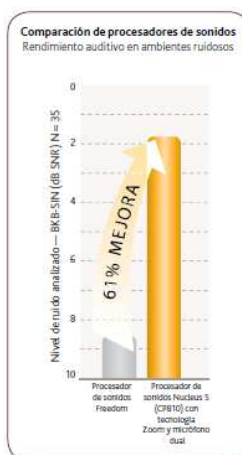


Figura 12: Diagrama de rendimiento para los procesadores de Sonido (Coclear, 2009)

2.3.2. Discapacidades Auditivas

¿Qué es la Discapacidad Auditiva?

La discapacidad auditiva se define como la pérdida o anomalía de la función anatómica y/o fisiológica del sistema auditivo, y tiene su

consecuencia inmediata en una discapacidad para oír, lo que implica un déficit en el acceso al lenguaje oral.

Partiendo de que la audición es la vía principal a través de la cual se desarrolla el lenguaje y el habla, se la puede detectar a través de una prueba de audiometría para percibir los problemas de intensidad y frecuencia con la que se detectan los sonidos.

Discapacidad auditiva en ambientes ruidosos

La exposición excesiva a los ruidos fuertes puede dar lugar a una afección denominada PAIR (Pérdida Auditiva Inducida por el ruido), la cual en su mayor parte es causada por el ruido de los videojuegos, reproductores musicales, el tráfico y ambientes de trabajo industrial que presentan maquinarias que crean un entorno excesivamente ruidoso para cualquier persona.

El ruido, analizado desde el punto de vista de la salud ambiental, se ubica como un problema grave o enfermedad a nivel mundial, ubicándose entre las preocupaciones de la OMS, que estima alrededor de los 320 millones de personas afectadas a nivel mundial.

La discapacidad auditiva en ambientes ruidosos se la puede definir como una enfermedad del individuo al ser expuesto por largo tiempo a ambientes ruidosos, los cuales afectan físicamente al oído y parte del sistema nervioso.

Clasificación de las pérdidas auditivas en ambientes ruidosos

La clasificación de la pérdida auditiva son distintas desde el punto de vista del autor por consiguiente se mencionaran algunas de estas clasificaciones relacionadas a los sistemas de comunicaciones.

Tomamos como referencia la pérdida auditiva o umbral de nivel de audición (HTL) medida en decibelios (dB). La más utilizada es la clasificación según el Bureau Internacional de audiología:

- Audición normal: Umbral de audición (0-20 dB). El sujeto no tiene dificultades en la percepción de la palabra.
- Hipoacusia leve o ligera (20-40 dB): La voz débil o lejana no es percibida.
- Hipoacusia media o moderada (40-70 dB): El umbral de audición se encuentra en el nivel conversacional medio. El retraso en el lenguaje y las alteraciones articulatorias son muy frecuentes.
- Hipoacusia severa (70-90 dB): Es necesario elevar la intensidad de la voz para que ésta pueda ser percibida.
- Hipoacusia profunda o sordera (más de 90 dB.): Sin la rehabilitación apropiada, no hablarán, sólo percibirán los ruidos muy intensos y será, casi siempre, más por la vía vibro táctil que por la auditiva.
- Cofosis: Pérdida total de la audición. Se puede decir que son pérdidas excepcionales.

Sicosomáticos

Pueden efectuarse las siguientes consideraciones:

- A igualdad de nivel: Suelen ser más molestos los ruidos de banda ancha.
- A igualdad de sonoridad: Las frecuencias altas son más molestas que las bajas.
- A igualdad de ruido: Los ruidos propios molestan menos que los lejanos.
- A igualdad de sonoridad: El nivel de percepción depende de la significación.(CEPAL, 2011)

2.4. Aplicaciones del sistema de mejoramiento de calidad auditiva

Los audífonos de hoy en día son muy discretos y quedan muy integrados en la cosmética de cada persona, se establecen soluciones muy estéticas que pueden ser integrados dentro del canal o que pueden ser de tipo retro auricular para evitar la resonancia dentro del oído.

Hoy en día la tecnología que se emplea en la elaboración de los audífonos es muy eficaz además de discreta, dependiendo del paciente se deberá escoger la prótesis que mejor se adapte a sus necesidades, hay personas con una deficiencia de audición severa y que es de orden natural ya que mediante el pasar de los años se deteriora la audición, este tipo de problema provee una solución el cual es establecer primero un evaluación minuciosa del problema, luego establecer una prótesis de gran potencia donde las ganancias pueden lograr los 70dB me medida.

Mecanismo de Evaluación: Audiometría

Es una prueba la cual permite ayudar a determinar el nivel de comprensión verbal y los mensajes, existen distintas tecnologías avanzadas que permiten hacer un diagrama polar que muestra cómo se capta el sonido desde diferentes zonas.

Cada paciente presenta un saco distinto el cual se debe revisar de forma personalizada y así establecer una óptima regulación en base a las frecuencias reflejadas en el audiograma dado por el examen de audiometría.

2.4.1. Tipos de Audífonos para pérdidas auditivas de frecuencias

Algunas de las personas con deficiencias auditivas centran su problemática en las frecuencias agudas, es decir no comprenden determinadas palabras ni las voces femeninas, aunque las voces graves las perciben en su gran mayoría.

Audífonos con Tecnología Digital

Antiguamente los audífonos eran amplificadores del sonido que no discriminaban el ruido de la voz humana, hoy en día estos dispositivos han mejorado utilizando sistemas de procesamiento en tiempo real, pudiendo

encontrarlos en el mercado denominados audífonos digitales de última generación (Figura 13).

Estos equipos modernos permiten amplificar los sonidos de la voz humana marginando los ruidos de fondo o sonidos ambientales, de manera que el paciente se sienta más cómodo al estar expuestos en ambientes cotidianos.

La función que realizan estos audífonos digitales e inteligentes permiten diferenciar los sonidos ambientales de la voz, amplificando acorde a las condiciones del momento y de la pérdida auditiva del paciente.



Figura 13: Audífono Digital con regulación de volumen Escala 1:3

Audífonos con Tecnología Digital Adaptables a Cualquier Ambiente

Este tipo de equipo ayuda a las personas que sufren deficiencia auditiva (Figura 14), el cual cuenta hoy en día con diversos tipos de prótesis que permiten mejorar sensiblemente su calidad de vida, mejorando la calidad de audio en diferentes circunstancias.



Figura 14: Audífonos con Tecnología Digital Adaptables a Cualquier Ambiente (Centro del audífono, 2011)

Audífonos con Programas de Situación Acústica Especial

Este tipo de equipo (Figura 15) permiten adecuar la amplificación del audífono a cada situación que se presenta en la vida diaria, como por ejemplo escuchar música, oír una conferencia, conversar en un parque, etc.

Se pueden establecer distintos parámetros y protocolos de amplificación para que se adecuen y respondan mejor a la situación acústica en dado momento.



Figura 15: Audífono con Programa de Situación Acústica Especial (Centro del audífono, 2011)

Audífonos y Dispositivos tecnológicos para garantizar la Inteligibilidad.

Muchas personas a pesar de oír bien, tienen dificultad para captar los sonidos con claridad y los mensajes de sus interlocutores, cuando esto ocurre los problemas de comprensión y de inteligibilidad se graban de manera que el paciente se sienta frustrado a la vez que acomplejado.

Para que esto no suceda será necesario acudir a la consulta del otorrinolaringólogo para que ponga freno y solución a los problemas de audición. Se ha diseñado los audífonos para garantizar la inteligibilidad (Figura 16)



Figura 16: Audífonos y Dispositivos tecnológicos para garantizar la Inteligibilidad (Medlab, 2005)

2.5. Ventajas y desventajas

2.5.1. Ventajas

- La constante competencia que emprenden las empresas del primer mundo permite integrar en el mercado distintos productos para las necesidades que el usuario este padeciendo.
- Por medio de nuevos mecanismos para identificar los problemas relacionados a la pérdida de audición o mejorar la calidad de vida en distintos ambientes de trabajo, se establecen nuevos modelos

matemáticos para implementar mediante tecnología de última generación nuevos dispositivos e integrar funciones adicionales.

- Muchos dispositivos presentan una durabilidad de vida del equipo más extendida para beneficiar del usuario.

2.5.2. Desventajas

- Los precios en el mercado son excesivamente altos y no todos tienen acceso a este tipo de ayuda para mejorar su calidad de vida.
- Muchos equipos son clonados por la competencia y para su mejor comercialización eliminan características de eficiencia del equipo que a largo plazo el usuario las puede notar.
- El alcance de percepción del equipo tiene rangos limitados ya que se rigen a estándares internacionales.
- Para poder realizar un uso óptimo del equipo se necesita de accesorio de un técnico integrando un costo adicional a la compra del equipo.(Sánchez & Ruiz, 2011)

3. CAPÍTULO III:

ESTUDIOS DE PRUEBA Y MEJORAMIENTO DEL FILTRO PREDISEÑADO

En una investigación realizada con anterioridad se estableció un modelo de filtro analógico utilizando la herramienta de programación Matlab® llegando a obtener resultados satisfactorios para su posterior implementación en hardware.

Este filtro prediseñado permite discriminar el ruido producido por maquinas industriales, permitiendo tener una óptima percepción de la voz humana en un sistema de comunicación full dúplex integrado en un ambiente laboral, ahora bien en esta nueva investigación se guía a la implementación mediante tecnología de última generación para esto se establecerán pruebas de funcionamiento del filtro prediseñado en distintos ambientes.

3.1. Funcionamiento del filtro prediseñado

3.1.1. Inicialización del Filtro Prediseñado

Para inicializar el software del filtro prediseñado se debe tener instalado previamente Matlab en cualquiera de sus versiones recientes, además de sus componentes necesarios como son Simulink y la interfaz gráfica de programación de Matlab llamada GUIDE.

Elementos necesarios para ejecutar el Filtro Prediseñado

Tabla 2: Elementos para ejecutar el filtro prediseñado

Elemento	Características	Sistema
PC o laptop	Intel Pentium 4	Windows XP SP2 (recomendado)
	Intel Core i(3-5 o 7) de 64bits	Windows 7.
Matlab	Versión 5.0 o 6.0	Para 32 bits en Windows XP.
	Versión 7.0 o 7.1	Para 64 bits en Windows 7.
Micrófono	De 1 canal	
Audífono	De 2 canales(L y R)	

Ejecutar el software de programación Matlab.

Por medio del acceso directo que se crea en el escritorio del computador se puede acceder de forma fácil para inicializar Matlab.

Ejecutar la herramienta de programación GUIDE en Matlab.

Ingresando al ambiente principal de la herramienta mostrado en la Figura 17 de programación Matlab se puede acceder a la interfaz de programación GUIDE de Matlab por medio del acceso rápido mostrada en la barra de herramientas.



Figura 17: Acceso directo a GUIDE desde Matlab.

Direccionamiento y Ejecución del proyecto Filtro Prediseñado en GUIDE de Matlab.

Dentro de la nueva interfaz creada por el acceso a GUIDE se selecciona el proyecto realizando una búsqueda para direccionar el proyecto como se muestra en la Figura 18 y realizar su posterior ejecución mediante la opción de RUN mostrado en la Figura 19.

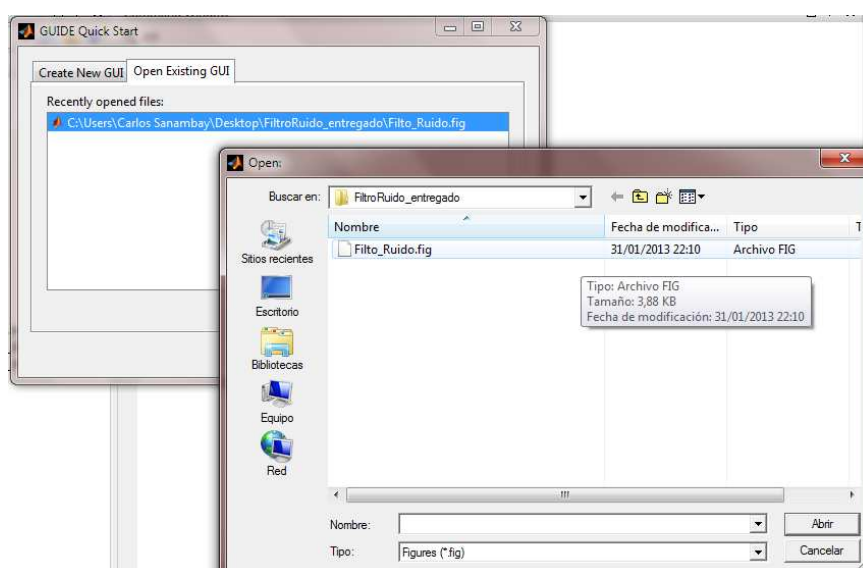


Figura 18: Direccionamiento del proyecto

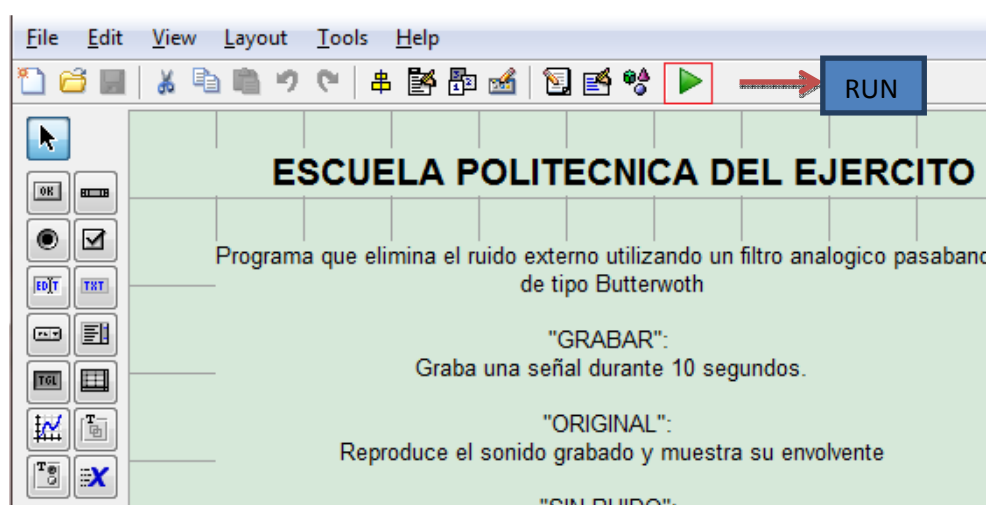


Figura 19: Ejecución del proyecto

Estableciendo de manera ordenada la inicialización del Filtro Prediseñado se procede a realizar el análisis del mismo mediante etapas de funcionamiento, estas incluyen visualización de grafica para determinar qué tipo de señales son analizadas y cuales son discriminadas se vera de forma más detallada en 3.1.2.

3.1.2. Etapas Para el Funcionamiento del Filtro Prediseñado

Etapa de Adquisición de la Señal de Audio

En el diseño se ha establecido una función específica la cual se ha etiquetado como función “GRABAR” y es la encargada de adquirir la señal de audio cada vez que se ejecute el programa además de poder realzar esta acción de adquisición de manera que se lo desee hacer.

Esta etapa luego de adquirirla señal la procede a almacenar en un archivo de audio .wav en la dirección del proyecto.

Para poder establecer la adquisición del audio se debe hablar mediante el periférico del micrófono por un tiempo estimado de 2 a 10 segundos, esto depende de cuánto tiempo se demora en realizar el proceso de muestreo de la información de la voz y de la configuración del rendimiento para el programa, se estableció la relación a mayor tiempo de muestreo mayor tiempo de procesamiento pero con análisis más eficiente y a menor tiempo de muestreo menor tiempo de procesamiento pero con un análisis no tan completo.

De esta forma se garantiza el funcionamiento del filtro en tiempo real y se lo debe realizar para el correcto funcionamiento de las siguientes opciones, en la Figura 20 se muestra la etapa de ingreso del sonido de audio en Matlab por medio de la interfaz gráfica que solicita el ingreso de la señal, esta señal es oída y visualizada mediante el periférico “Audífono” y grafica respectivamente en función del tiempo de muestreo.



Figura 20: Interfaz gráfica de grabación de voz

Etapas de Visualización de la Envolvente del Audio Ingresado

Para recopilar los datos ingresados por el periférico “micrófono” se utiliza la función ENVOLVENTE ORIGINAL, esta toma la señal que se almacena en la etapa adquisición de la señal de audio por medio de la lectura del archivo de audio .wav.

Es muy importante resaltar que en un ordenador no se puede analizar señales analógicas porque la tarjeta de adquisición de datos realiza un procesamiento de la señal de audio y la trata como señal discreta en el tiempo permitiendo ser tratada la señal como digital solo en hardware, pero cabe recalcar que la señal visualizada en Matlab mediante graficas es presentada en forma analógica en función del tiempo.

Una vez que se ha finalizado esta etapa, se llega a una señal muestreada digitalmente pero representada analógicamente en la herramienta de programación Matlab, teniendo como punto de referencia la manipulación de la señal de forma analógica mostrada en la Figura 21 para el posterior análisis del filtrado de la señal de audio.

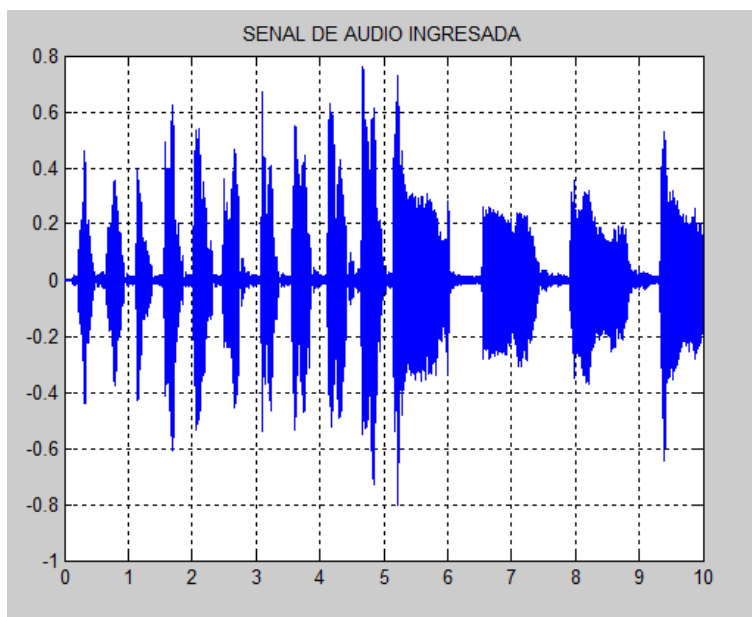


Figura 21: Señal de audio ingresado

Etapa de Visualización del Espectro de Audio Ingresado

Una vez que se haya logrado la obtención del sonido original, se debe inicializar los parámetros de entrada para no tener problemas en la próxima vez que se desee obtener datos desde el periférico "micrófono", a continuación de muestra el espectro de la señal de audio original mostrado en la Figura 22.

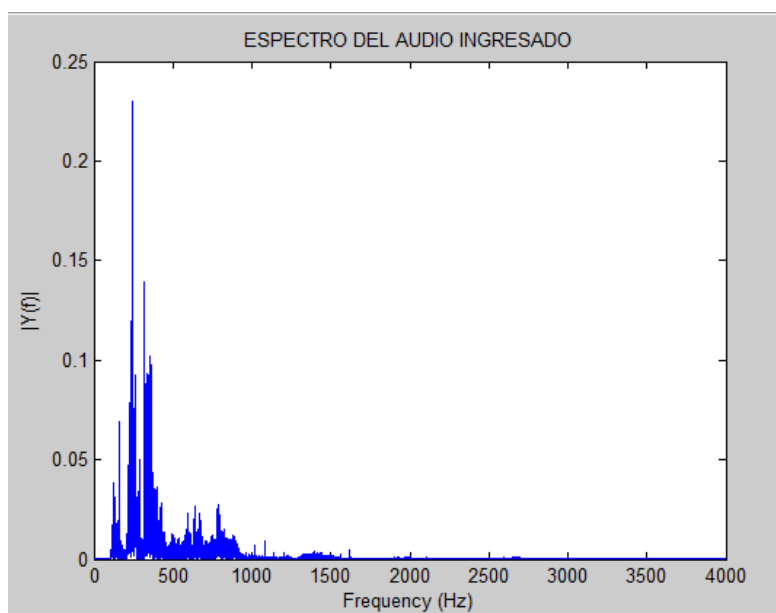


Figura 22: Espectro del audio ingresa

Adicional a esta etapa se debe acondicionar la señal para tener un incremento en su nivel espectral y por lo tanto tener un acondicionamiento que permita posteriormente discriminar con mayor claridad la señal que se desea obtener y el ruido que se desea eliminar para esto se debe adicionar a la señal de audio original una señal de ruido gaussiano o ruido blanco.

Etapa de Filtrado de la Señal Adquirida

Esta etapa es el análisis general del filtrado de la señal, en el cual al ingresar la señal previamente acondicionada hacia el filtro prediseñado realizara la función de discriminar las frecuencias distintas a las establecidas como audibles de las frecuencias que no se encuentren dentro de los rangos definidos como ruido.

Se determinó que el tipo de filtro a utilizar por las prestaciones que este presta en el análisis de señales analógicas y por su rendimiento es el filtro de Butterworth, en el cual se debe considerar en orden N del filtro, la banda de paso y la banda de atenuación de la banda suprimida. De igual manera en este punto se ubica la banda de paso y las frecuencias de banda de rechazo donde 1 corresponde a π rad/muestra, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Parámetros en la etapa de filtrado

Parámetro	Frecuencia(Hz)	Amplitud(dB)
Fs:	8000	
Fpass:	1600	
Fstop:	2000	
Apass:		3
Astop:		70

El funcionamiento de esta etapa se lo realiza mediante funciones establecidas por Matlab estableciendo un orden para poder realizar un filtrado eficiente de la señal adquirida por el periférico “micrófono”.

Se utiliza la función “butterd”, la cual devuelve la frecuencia natural y hace el cálculo para un filtro analógico, en el que W_p y W vienen dados en rad/seg, se selecciona R_p en 3dB y se hace el cálculo para el filtro previamente acondicionado de esta manera se obtiene la señal filtrada en el cual se observa que ha sido eliminado el ruido como se puede mostrar en la Figura 23 y escucharla.

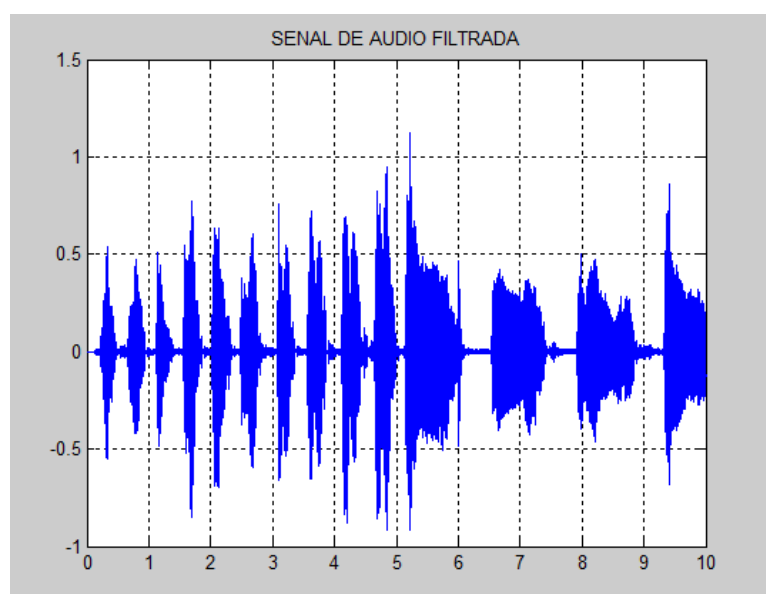


Figura 23: Señal de audio filtrado

Etapas de Visualización del Espectro de Audio Filtrado

Previamente realizado el filtrado, se procede a entregar una señal audible, la cual debe ser claramente perceptible con la eliminación del ruido ajeno al proceso de comunicación.

Ahora bien la función “butter” diseña un filtro de tipo pasa bajos de orden n analógico o digital devolviendo los coeficientes del filtro de tamaño $N+1$, los coeficientes se representan en potencias descendentes de la transformada z , también se debe establecer la frecuencia de corte W_n la cual debe estar comprendida entre $0.0 < W_n < 1.0$, identificando que 1,0 representa a la mitad de la frecuencia de muestreo.

En la siguiente figura se puede visualizar el espectro de la señal de audio original y la señal de audio filtrada pudiendo determinar en qué rango deja pasar la señal audible y en que rangos suprime las frecuencias de ruido o molestas por el oído humano mostrado en la Figura 24.

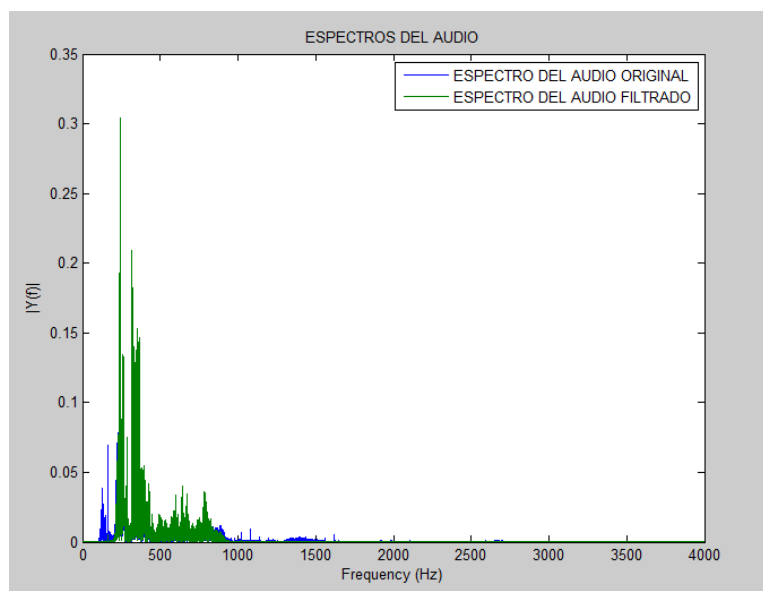


Figura 24: Comparación del Espectro señal original vs señal filtrada

Obtención de la Función de Transferencia del Filtro Prediseñado

Como se mencionó con anterioridad, la utilización del filtro de tipo Butterworth permite obtener el polinomio característico correspondiente al numerador y denominador de la función de transferencia, de esta manera se establecieron los coeficientes del filtro, los cuales permiten la posterior obtención de la función de transferencia como se muestra a continuación (Tabla 4):

$$H(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b(1)s^n + b(2)s^{n-1} + \dots + b(n+1)}{a(1)s^n + a(2)s^{n-1} + \dots + a(n+1)}$$

Ecuación 1: Filtro Butterworth

Tabla 4: Coeficientes del filtro prediseñado

S	Numerador	Denominador
S¹²	7.535e-005	1
S¹¹	0	-9.579
S¹⁰	-4.521e-004	42.6
S⁹	0	-116.3
S⁸	1.113e-003	217.2
S⁷	0	-292.1
S⁶	-1.507e- 003	290.4
S⁵	0	-214.9
S⁴	1.13e-003	117.5
S³	0	-46.28
S²	-4.521e-004	12.48
S¹	0	-2.066
S⁰	7.535e-005	0.1591

3.2. Pruebas con el filtro prediseñado

3.2.1. Normativa para Exposición ocupacional permisible en Ecuador

En varios países de Latinoamérica existen leyes vigentes que norman las condiciones y medio ambiente de trabajo, en el Ecuador no se posee leyes que rijan estos aspectos, sin embargo existen recomendaciones de tipo sugestivas en algunas compañías multinacionales que se rigen bajo estos parámetros internacionales.

Dentro de los parámetros que una empresa debe regirse para el bienestar laboral de los trabajadores es de garantizar un medio ambiente adecuado y propicio para el ejercicio de sus facultades físicas y mentales,

ahora bien para realizar las pruebas del filtro prediseñado se ha establecido la norma Venezolana COVENIN 1566 “Ruido Ocupacional”, el cual establece sus parámetros para la exposición ocupacional permisible a ruidos continuos o intermitentes, mostrado en las Tablas 5 y 6.

Tabla 5: Exposición ocupacional permisible para ruidos continuos(European Agency for Safety and Health at Work, 2012)

Nivel de Ruido (dB)	Exposición Permitida (Horas)
82	16
85	8
88	4
91	2
94	1
97	0.5
100	0.25
103	0.125

Tabla 6: Exposición ocupacional permisible para ruidos intermitentes(European Agency for Safety and Health at Work, 2012)

Nivel de Ruido Pico(dB)	Intermitencia de Impacto cada 8Horas
140	100
138	158
136	251
134	398
132	631
130	1000
128	1585
126	2512
124	3981
122	6310
120	10000
118	15849
116	25119
114	39811

Es indispensable destacar que los niveles de exposición ocupacional para los ruidos en ambientes de aplicación industrial son propios de cada región o país en el cual rige, en Ecuador son sumamente limitadas las normativas y disposiciones sobre la exposición ocupacional al ruido, sin embargo en algunas empresas privadas, se toman algunas medidas al respecto, pero sin un criterio formal que se aplique por la ley que esté vigente. Todo esto debido a la poca preocupación y al mismo tiempo interés que se brinde por parte de todos los entes de un ambiente laboral sin ruido.

3.2.2. Pruebas variando los parámetros de exposición permisible para ruidos

Antes de iniciar con la evaluación del Filtro Prediseñado se debe establecer como se debe analizar el rendimiento del filtro, para ello se recomienda establecer mediante la obtención de graficas el espectro de frecuencia de la señal original y filtrada.

En esta fase se obtendrán resultados, el cual garantice la utilización del Filtro Prediseñado utilizando el estándar establecido en el enunciado 3.1.2 (Tabla 4), además de establecer los mejores parámetros de análisis ya que no todos pueden regir en un mismo ambiente de trabajo, esto se debe a los distintos parámetros de maquinaria utilizados por las empresas privadas o públicas.

Consideración de la frecuencia Máxima y Mínima en la banda de paso

Se ha considerado las frecuencias audibles analizadas con anterioridad, en los que se ha evaluado los valores máximos y mínimos en los cuales los seres humanos poseen la capacidad de escuchar, sin embargo también se ha considerado que los niveles pueden variar tomando en cuenta que se ha diseñado el filtro para garantizar legibilidad en las personas que poseen discapacidad auditiva en ambientes laborales industriales.

Representación Gráfica del Rendimiento del Filtro Prediseñado

Las gráficas obtenidas realizan la comparación de la señal acondicionada mediante el nivel de ruido establecido para el análisis y la señal filtrada utilizando el filtro prediseñado.

Nivel de ruido de 10 dB como caso extremo

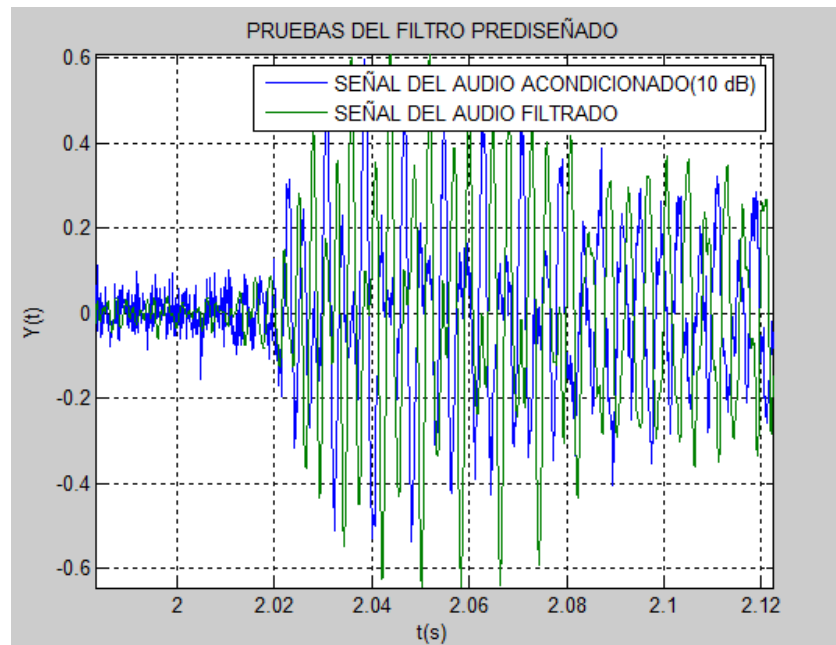


Figura 25: Señal Acondicionada (10 dB) vs Señal Filtrada

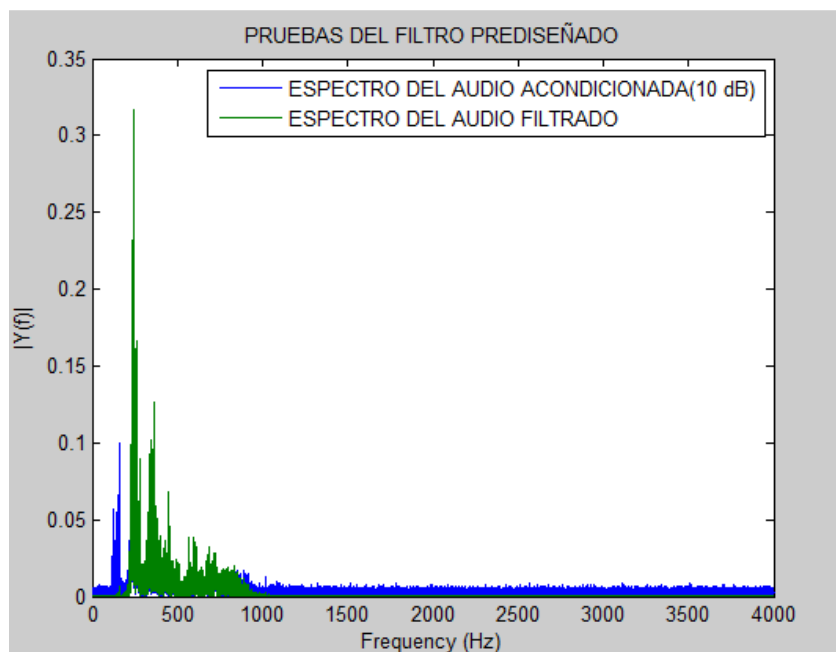


Figura 26: Espectro de la Señal Acondicionada (10 dB) vs Señal Filtrada

Nivel de ruido de 85 dB para exposiciones de 8 horas

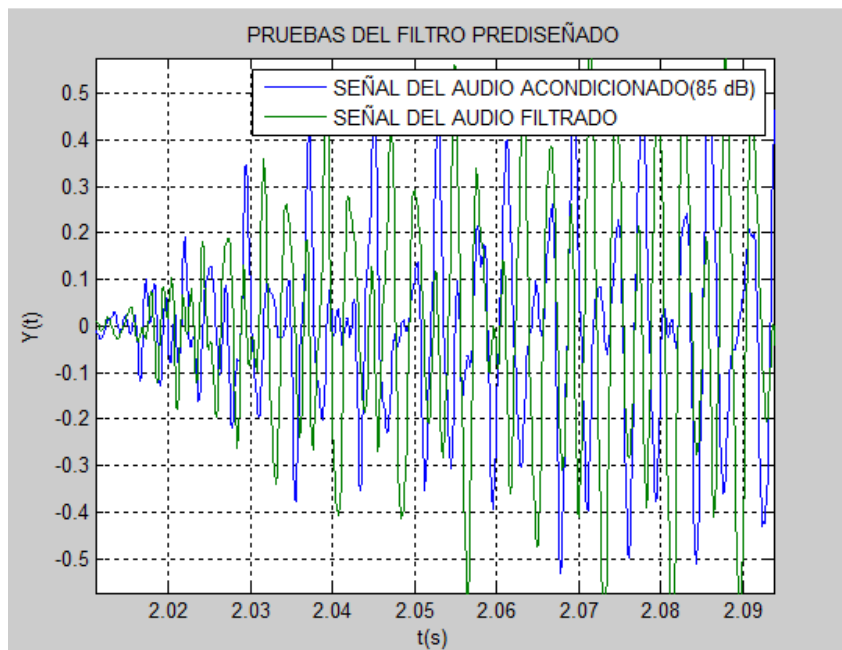


Figura 27: Señal Acondicionada (85 dB) vs Señal Filtrada

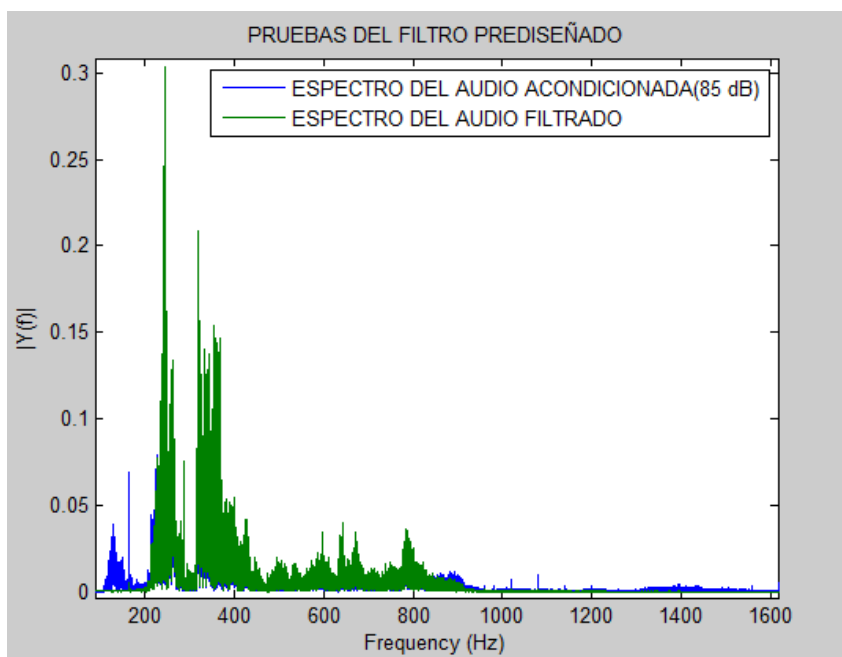


Figura 28: Espectro de la Señal Acondicionada (85 dB) vs Señal Filtrada

Nivel de ruido de 91 dB para exposiciones de 2 horas

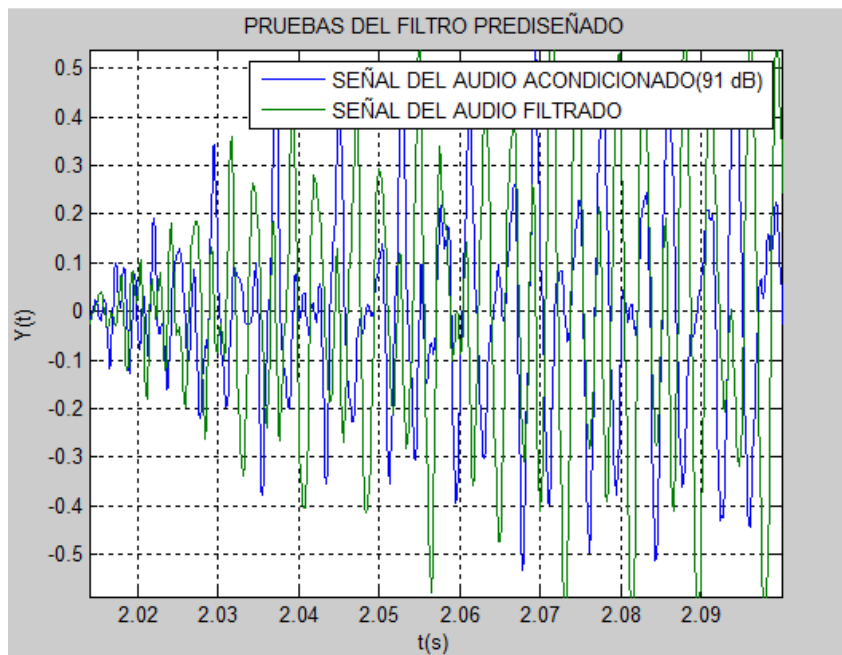


Figura 29: Señal Acondicionada (91 dB) vs Señal Filtrada

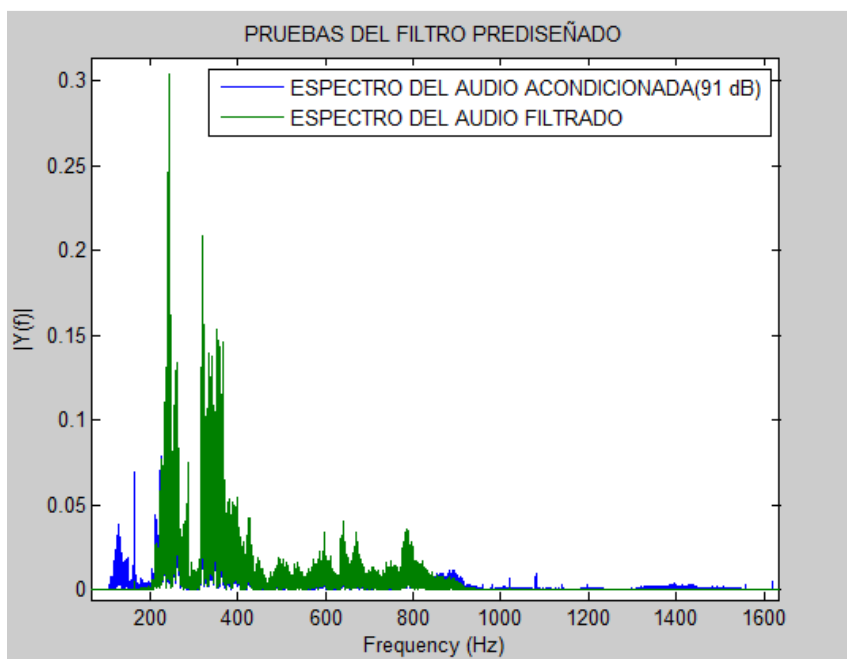


Figura 30: Espectro de la Señal Acondicionada (91 dB) vs Señal Filtrada

Nivel de ruido de 97 dB para exposiciones de media hora

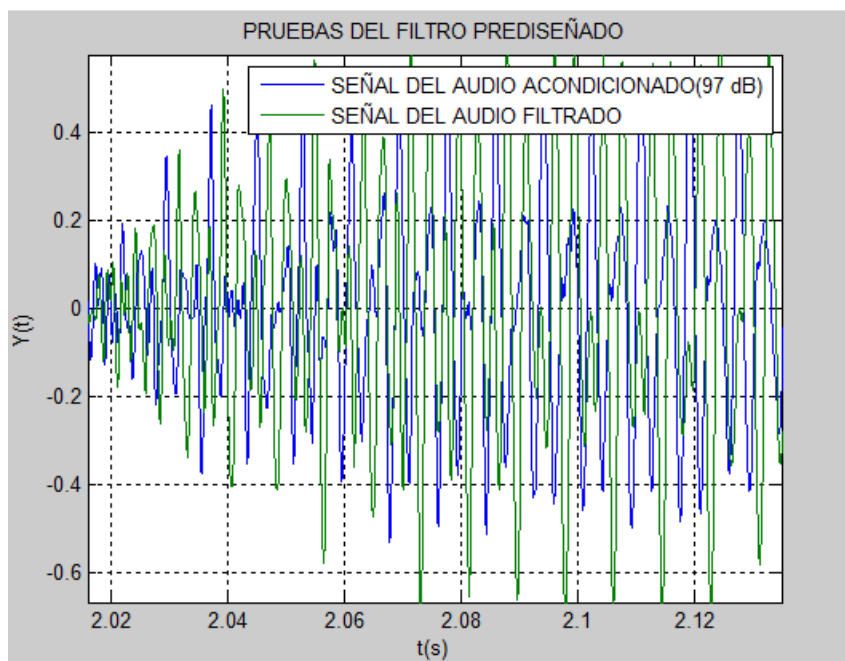


Figura 31: Señal Acondicionada (97 dB) vs Señal Filtrada

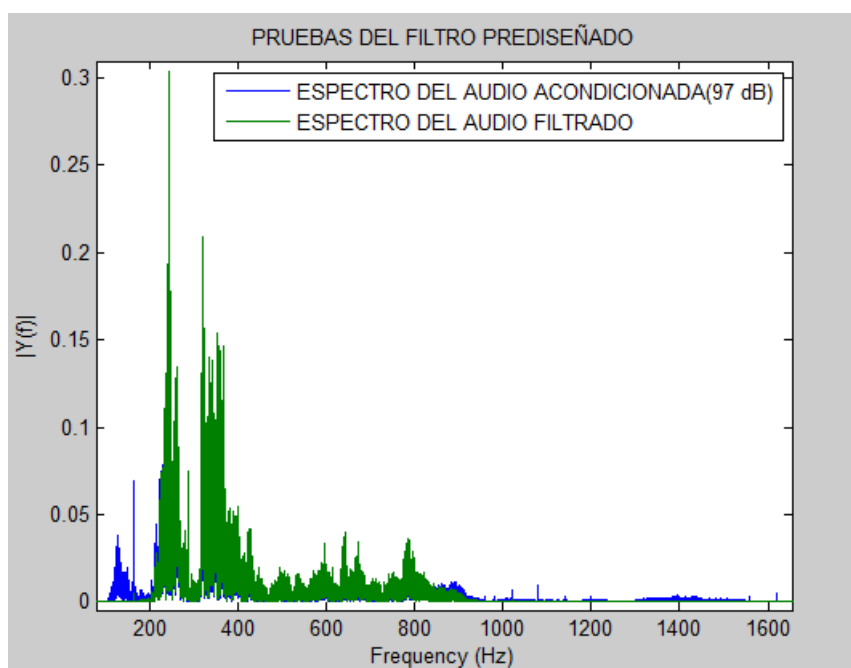


Figura 32: Espectro de la Señal Acondicionada (97 dB) vs Señal Filtrada

Nivel de ruido de 103 dB para exposiciones de 12 minutos

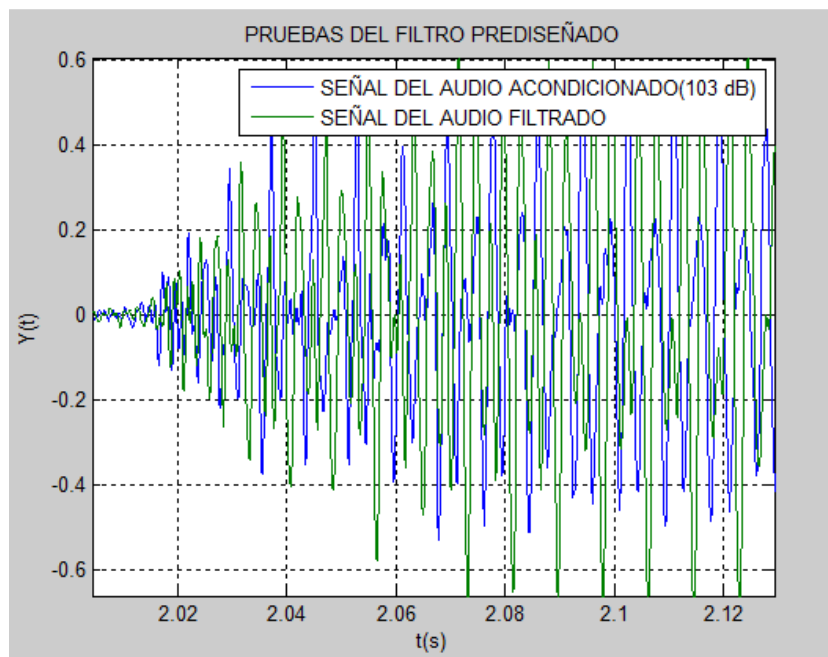


Figura 33: Señal Acondicionada (103 dB) vs Señal Filtrada

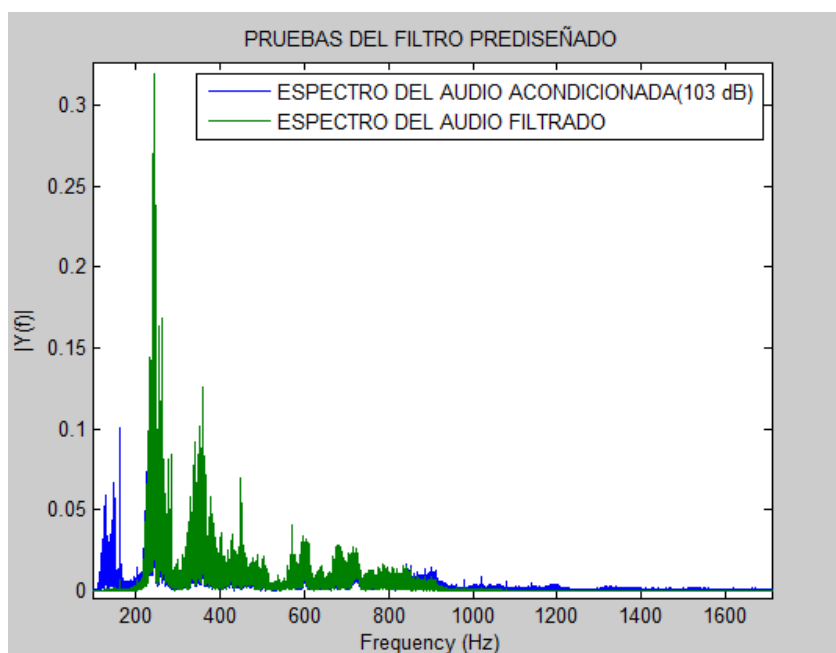


Figura 34: Espectro de la Señal Acondicionada (103 dB) vs Señal Filtrada

3.3. Análisis de resultados

El comportamiento del filtro al realizar su función de poder discriminar el ruido externo producido por distintos fenómenos del medio ambiente o por agentes de uso industrial, se puede describir que el diseño ha generado la perspectiva para poder realizar en nuestro medio un dispositivo que a diferencias de los distintos equipos expendidos en los mercados, se pueda integrar una nueva solución para poder mejorar su rendimiento y dar mayor prestación de servicio al usuario.

Las características que presenta este nuevo estudio para el desarrollo del dispositivo es de poder disminuir el ruido en ambientes laborales en donde se hace imposible la comunicación entre el personal de trabajo expuestos a maquinaria industrial, y el beneficio para el trabajador no solo en la eficiencia laboral, si no que a largo plazo no se presentarían perjuicios en la salud del trabajador.

Dentro de los parámetros analizados en el rendimiento del filtro se puede establecer que el rango de frecuencias audibles deja pasar el Filtro Prediseñado (Tabla 7), cosa que ocurre lo inverso en rangos de frecuencias no audibles y perjudiciales para el oído humano, la señal obtenida después de la etapa de filtrado no es tan eficiente, pero que cumple con las expectativas del diseño del Filtro Prediseñado.

Tabla 7: Rangos de Frecuencias Audibles Obtenidos por el Filtro Prediseñado

Nivel de Ruido(dB)	Rango de Frecuencia de Filtrado(Hz)
10	230 - 900
85	210 - 1100
91	200 - 920
97	200 - 950
103	210 - 1000

Como observación del análisis del filtro se puede destacar su buen funcionamiento en distintos ambientes de trabajo laboral, ahora bien solo está realizado el análisis en el campo analógico, siendo estos análisis un poco despreciables ya que las nuevas tecnologías que se están estandarizando cumplen con especificaciones estrictamente en el campo digital por sus mejores prestaciones que esta presta.

3.4. Mejoramiento del filtro prediseñado

3.4.1. Procesamiento Digital de Señales de Audio

El primer paso esencial en procesamiento digital de señales, es convertir a la señal origen o fuente compatible con el procesamiento digital. El formateo es una transformación uno a uno de información fuente a símbolos. La codificación fuente es un caso especial de formateo cuando existe reducción de redundancia en los datos.

Una señal cuyo espectro se extiende a partir de cero (o cercano a cero) hasta un valor finito, usualmente menor que algunos Mega Hertz, es llamada señal banda base o paso bajas. Tal denominación será tácita siempre que nos refiramos a la “información”, “mensaje” o “datos”, ya que las señales de la naturaleza son esencialmente banda base (voz, audio, video, datos, señales de transductores).

3.4.2. Sistemas Banda Base

La Figura 35 presenta un sistema de comunicaciones digitales en banda base, realizando el proceso de formateo. Los datos en forma analógica no omiten la etapa de formateo, los símbolos son transmitidos asignándoles previamente una forma de onda compatible con el canal de comunicaciones banda base.

El proceso se lleva a cabo mediante el codificador de forma de onda también conocido como modulador banda base, después de la transmisión a través del canal de comunicaciones, las formas de onda son detectadas para estimar los dígitos transmitidos, y el paso final es recuperar un estimado de la información fuente.

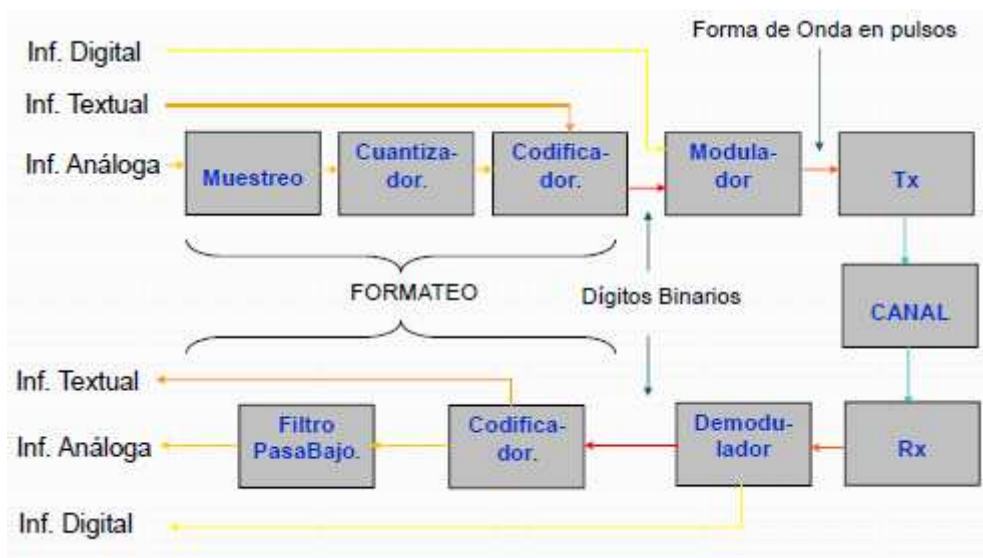


Figura 35: Sistema Digital de Comunicación en Banda Base

3.4.3. Formateo de Información Analógica

Si la información es analógica, ésta no puede codificarse directamente; la información debe transformarse primero a una forma digital, discreta en tiempo y amplitud. El proceso de transformar una forma de onda analógica a un formato digital se inicia con el muestreo de la señal analógica, para discretizarla en el tiempo, para producir una forma de onda modulada en amplitud (señal PAM).

Posteriormente, las muestras discretas en el tiempo pero continuas en amplitud se cuantizan para discretizarla en amplitud y producir una señal de pulsos codificados (señal PCM).

3.4.3.1. Muestreo

El enlace entre una forma de onda y su versión muestreada es lo que se conoce como el proceso de muestreo. Este proceso es implementado de diferentes formas pero la más popular es la operación muestreo y retención.

La salida del proceso de muestreo es conocida como pulso modulado en amplitud (PAM) ya que los intervalos sucesivos de salida pueden ser descritos como una secuencia de pulsos cuyas amplitudes están derivadas de la forma analógica de entrada. La señal analógica original puede recuperarse aproximadamente a partir de la señal PAM mediante un filtro paso bajas.

El criterio de Nyquist es una condición teórica suficiente para permitir que la señal analógica original sea completamente reconstruida a partir de un conjunto de muestras discretas en el tiempo uniformemente espaciadas.

$$f_s \leq 2f_m$$

Ecuación 2: Frecuencia nominal

Muestreo y Retención

Este es el método más simple y popular para muestrear una señal analógica en banda base. Este método puede ser descrito por la convolución del tren de impulsos $x(t)x\delta(t)$ mostrado en la Figura 36, con un pulso unitario rectangular, $p(t)$, con ancho de pulso T_s . Esta convolución en el tiempo resulta en una secuencia de tope plano, $x_s(t)$.

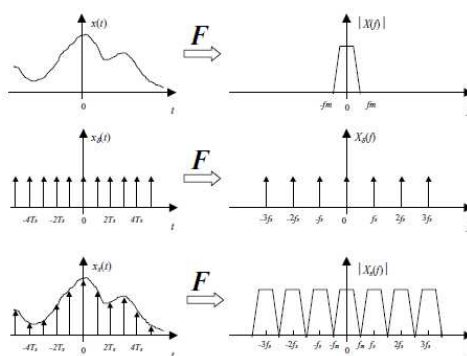


Figura 36: Tren de impulso

$$x_s(t) = P(t) * \left[x \left(t \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(1 - nT_s) \right) \right]$$

Ecuación 3: Convolución

3.4.3.2. Efectos de Muestreo y Cuantización

Ruido de cuantización

La distorsión inherente a la cuantización es el error de redondeo o truncamiento. El proceso de cuantizar una señal PAM involucra la pérdida de información original. Esta distorsión, introducida por la necesidad de aproximar la información analógica mediante muestras cuantizadas, es conocida como ruido de cuantización; la cantidad de tal ruido es inversamente proporcional al número de niveles de cuantización.

Saturación del cuantizador

El cuantizador (o convertidor analógico a digital) utiliza L niveles para la tarea de aproximar el rango continuo de entrada a un conjunto finito de salida. El rango de entrada para el cual la diferencia entre la entrada y la salida es pequeña se llama rango de operación del convertidor. Si la entrada excede tal rango, la diferencia entre la entrada y la salida se hace grande, y entonces se dice que el convertidor está operando en saturación. Entonces los errores de saturación pueden ser superiores al ruido de cuantización. Generalmente, la saturación es evitada al usar circuitos con Control Automático de Ganancia (AGC), que efectivamente evita que señales con amplitud alta saturen el convertidor.

Agitación del temporizador

Nuestro análisis del teorema del muestreo predice la reconstrucción precisa de señales basado en muestras uniformemente espaciadas. Si existe un ligero desplazamiento aleatorio (agitación) en la posición de la muestra, el muestreo no es del todo uniforme. No obstante, la reconstrucción exacta es aún posible si se conoce exactamente la posición de las muestras. El efecto de la agitación es equivalente a la modulación en frecuencia. En este caso, se induce una contribución espectral debida a la agitación, con propiedades similares al ruido de cuantización. La agitación del temporizador puede controlarse al introducir voltajes de alimentación aislados y referencias de tiempo altamente estables.

3.4.3.3. Cuantización

Para procesar señales digitalmente no sólo es necesario muestrear la señal analógica sino también cuantizar la amplitud de esas señales a un número finito de niveles.

El tipo más usual de cuantización es la cuantización uniforme, en el que los niveles son todos iguales. La mayoría usan un número de niveles

que es una potencia de 2. Si $L=2B$, cada uno de los niveles es codificado a un número binario de B bits.

Como consecuencia del muestreo tenemos un conjunto de impulsos modulados en amplitud espaciados por intervalos regulares de tiempo, caracterizados porque sus amplitudes varían de forma analógica, pudiendo adoptar cualquier valor.

En la etapa de cuantificación se hacen corresponder estos valores con un número finito previamente determinado, definiendo por tanto una escala de valores fijos y asignando a ellos las amplitudes comprendidas entre dos ciertos valores consecutivos. Por supuesto cuanto mayor número de valores se utilicen mayor será la precisión de la muestra y por tanto menor el error, aunque el número de bits que se necesitan es mayor para transmitir cada muestra y por tanto se tiene un mayor régimen binario.

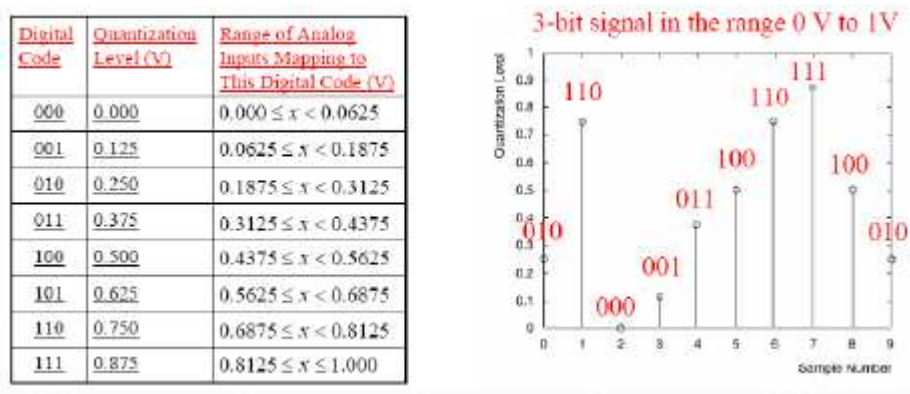


Figura 37: Cuantización

La recomendación G.711 del UIT-T describe la MODULACIÓN POR IMPULSOS CODIFICADOS (MIC) DE FRECUENCIAS VOCALES Existen dos formas de cuantización distintas:

Cuantización PCM uniforme

Cuando los pasos son uniformes en tamaño la cuantización es conocida como cuantización uniforme (Figura 38), y el ruido de cuantización es igual para todas las magnitudes de la señal.

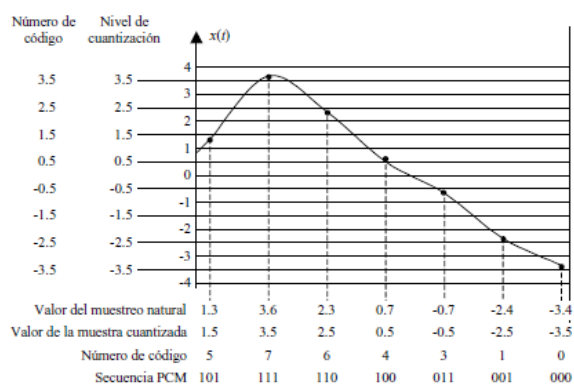


Figura 38: Cuantización uniforme

Cuantización no uniforme

En este tipo de cuantización el tamaño de los niveles no es el mismo, más comúnmente, la cuantización no uniforme se consigue al distorsionar la señal original con una característica de compresión logarítmica, y entonces usar un cuantizador uniforme. Para señales de magnitud pequeña la característica de compresión tiene una pendiente más grande que para aquellas de magnitud grande.

Existen dos tipos de cuantización no uniforme en PCM: La cuantización con ley A, utilizada en los países Europeos y la cuantización con ley μ utilizada en Japón y EEUU. La norma G.711 especifica que los trayectos digitales entre países que hayan adoptado leyes de codificación diferentes deberán efectuar la transmisión con señales codificadas según la ley A.

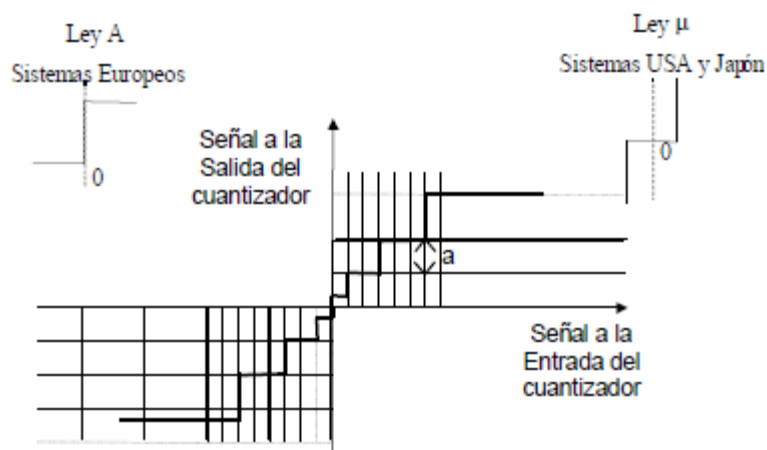


Figura 39: Cuantización no uniforme

En Ecuador está en vigencia el estándar Europeo por lo tanto se emplea el tipo de compresión especificada por la ley A.

3.4.3.4. Compresión

Ley A

La ley A se la define como:

$$y = \begin{cases} y_{max} \frac{A * \frac{|x|}{x_{max}}}{1 + \log_e A} \operatorname{sgn}(x) & 0 < \frac{|x|}{x_{max}} \leq \frac{1}{A} \\ y_{max} \frac{1 + \log_e \left(A * \left(\frac{|x|}{x_{max}} \right) \right)}{1 + \log_e A} \operatorname{sgn}(x) & \frac{1}{A} < \frac{|x|}{x_{max}} < 1 \end{cases}$$

Ecuación 4: Ley A

En donde A es una constante positiva, la característica de la ley A se muestra en la Figura 40 para diversos valores de A . El valor estándar para A es 87.6.

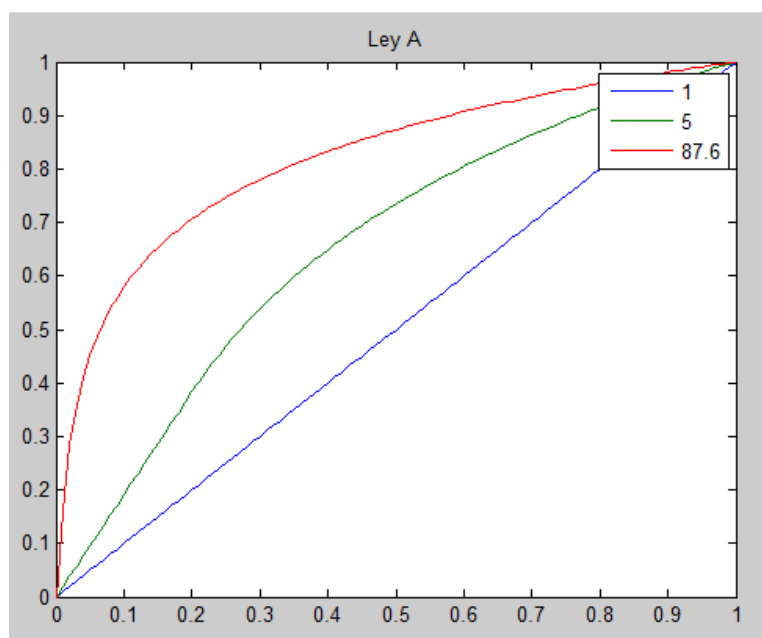


Figura 40: Ley A

3.4.3.5. Codificación

Es el proceso que consiste en convertir los pulsos cuantificados en un grupo equivalente de pulsos binarios de amplitud constante. En esta última etapa a cada valor anteriormente determinado se le hace corresponder un conjunto de bits es decir impulsos de amplitud fija (unos) o ausencia de impulsos (ceros). Según el número de niveles que se tenga se necesitarán más o menos bits para identificar cada nivel. En los sistemas MIC de telefonía europea se utilizan 8 bits para codificar cada muestra.

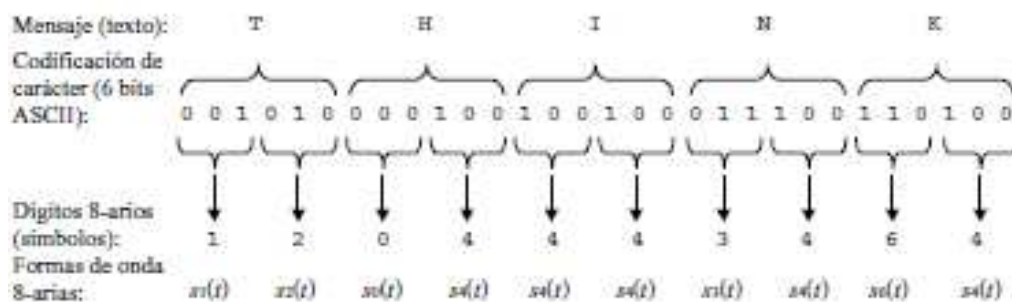


Figura 41: Codificación del Mensaje

Analizado la etapa de formado se llega a establecer un modelo el cual también permite integrar un filtro digital como se muestra en la Figura 42.

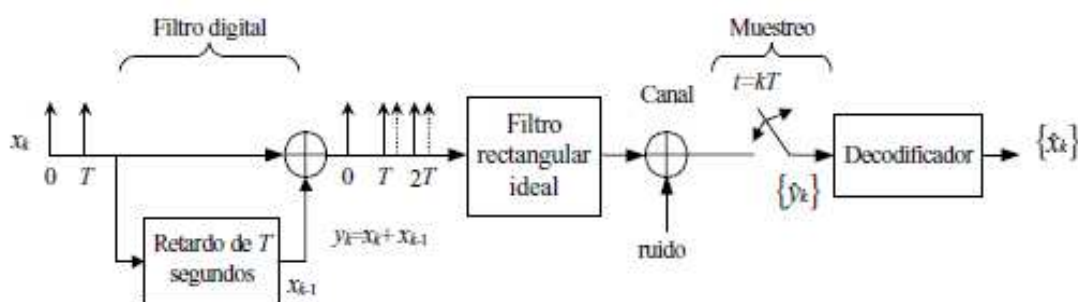


Figura 42: Señalización dúo binaria

Se asume que una secuencia de símbolos binarios $\{x_k\}$ será transmitida a una tasa de R símbolos/s sobre un sistema que tiene un espectro rectangular ideal con ancho de banda $W=R/2=1/2T$ Hz. El modelo equivalente que es usado para el desarrollo de un filtro que es más sencillo de aproximar.

Antes de ser formados por el filtro ideal, los pulsos pasan a través de un filtro digital simple, como se muestra en la figura xx. El filtro digital incorpora un retardo de un dígito; a cada pulso que llega, al filtro se le suma el valor del pulso previo. En otras palabras, para cada pulso en el filtro digital, se obtiene como salida la suma de dos pulsos. Cada pulso de la secuencia $\{y_k\}$ a la salida del filtro se puede expresar como:

$$y_k = x_k + x_{k-1}$$

Ecuación 5: Secuencia de pulsos

Ya que las amplitudes de $\{y_k\}$ no son independientes, cada dígito y_k porta con la memoria de un dígito anterior. La ISI introducida a cada dígito y_k viene sólo del dígito precedente x_{k-1} . Esta correlación entre las amplitudes de los pulsos $\{y_k\}$ puede ser pensada como una forma controlada de la ISI introducida por el codificador binario.

La interferencia controlada es la esencia de esta técnica, ya que en el detector tal interferencia controlada puede ser removida tan fácilmente como fue añadida.

3.4.3.6. Decodificación

Decodificación binaria

Si el dígito binario x_k es igual a ± 1 , entonces al usar la ecuación 3, y_k tiene uno de tres valores posibles: +1 y 0. El código binario resulta en una salida de dos niveles.

El proceso de decodificación involucra el procedimiento inverso a la codificación, es decir, substraer la decisión x_{k-1} del dígito y_k .

3.4.3.7. Expansión

Es el proceso inverso a la compresión el cual consiste en recuperar la señal original por medio de la ecuación 4, este proceso es indispensable ya que permite realizar la disminución del ruido producido por el error de cuantización.

$$x = \begin{cases} \frac{y(1 + \log A)}{A} & 0 \leq \frac{|y|}{y_{max}} \leq \frac{1}{1 + \log A} \\ \exp\left(\frac{|y|}{y_{max}}(1 + \log A)\right) * \frac{1}{A} * \text{sgn}(x) \frac{1}{1 + \log A} & \frac{1}{1 + \log A} < \frac{|y|}{y_{max}} \leq 1 \end{cases}$$

Ecuación 6: Expansión

3.4.4. Filtro Digital

Matlab provee de funciones para realizar el filtrado de señales analógicas y de señales digitales, como se pudo analizar con anterioridad. El Filtro Prediseñado puede realizar ambos procesos para lo cual se establecerá el mismo filtro, pero se procesara la señal de adquisición como digital, El tipo de filtro que se optó por su rendimiento es el filtro Butterworth pasa-banda con las mismas características de configuración para realizar el filtrado en señales Analógicas.

Integración de los Fundamentos Teóricos de Procesamiento Digital de Señales en el Filtro Prediseñado

Se inicia estableciendo como señal de adquisición una señal analógica, esta señal es obtenida mediante el periférico “micrófono”, para ello se modificó el tipo de adquisición en el Filtro Prediseñado.

Matlab incorpora funciones que permiten adquirir este tipo de señales en tiempo real, por medio de la función “wavrecord” se establece el tipo de muestreo de la información teniendo en cuenta el criterio de Nyquistse configura el tiempo para adquirir la información, la frecuencia de muestreo y el tipo de canal pudiendo ser mono o estéreo.

Además se integra la función “wavwrite”, la cual permite guardar el archivo de audio, esto es muy importante ya que se necesita un registro de

la información que se procesara, al igual que la función anterior necesita de la frecuencia de muestreo para que la información no sea alterada.

Teniendo la información analógica, se procese aplicar todos los fundamentos teóricos de procesamiento digital de señales, integrando en este procesamiento el filtro digital establecido en el Filtro Prediseñado como se ilustra en la Figura 43.

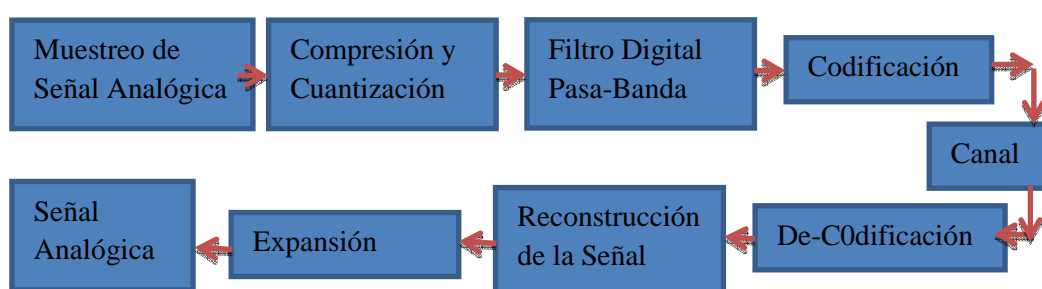


Figura 43: Sistema Digital para Mejorar el Filtro Prediseñado

3.5. Pruebas con el filtro mejorado

3.5.1. Funcionamiento del Filtro Mejorado

Muestreo de la Señal Analógica

La Figura 44 permite identificar el nivel de amplitud y el nivel de ruido presente en la señal analógica muestreada a 8KHz por el tiempo de 2s.

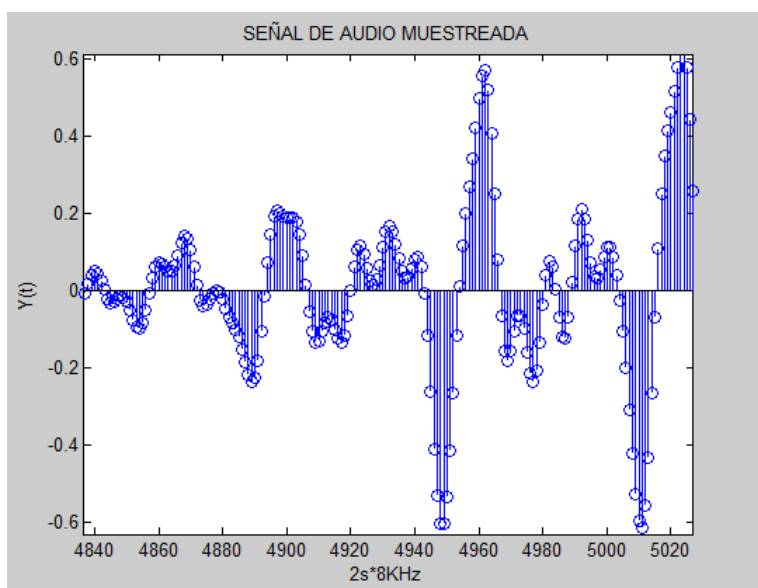


Figura 44: Muestreo de la señal analógica de audio

Compresión de la Señal de Audio Muestreada

Para poder realizar las pruebas de funcionamiento del Filtro Prediseñado mediante procesamiento digital de señales se estableció el estándar de compresión Ley A, porque el tipo de estándar vigente en nuestra región es similar y cumplen con los requerimientos de poder realizar la compresión para señales analógicas de audio.

En esta etapa se integró el algoritmo de compresión establecido por la ley A permitiendo incrementar la potencia de la señal de audio analógica, llegando a obtener en la Figura 45 una compresión ideal para la siguiente etapa.

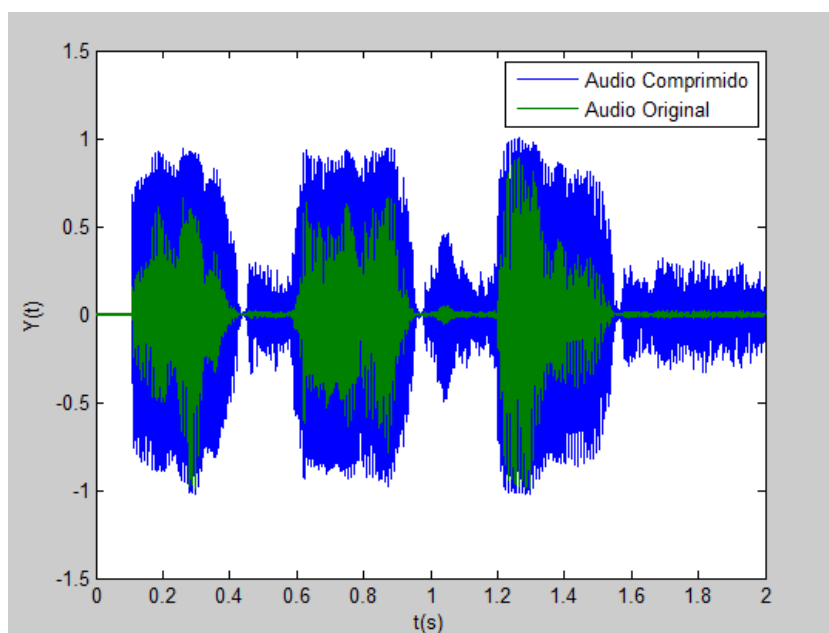


Figura 45: Comparación de Señal Original y Comprimida

Cuantización de la Señal de Audio Comprimida.

Por medio de este proceso se garantiza que la señal analógica en el proceso de digitalización no sea propensa a la pérdida de información, este proceso permite que la señal original se divida en niveles los cuales están comprendidos por el tipo de dato a ser digitalizado.

Para poder obtener un alto rendimiento del filtro se debe utilizar 256 niveles, es decir 8 bits para representar los datos comprendidos en los rangos de cuantización.

En la Figura 46 se puede determinar que la señal original vs la señal cuantizada son similares, permitiendo realizar sin ningún inconveniente la siguiente etapa.

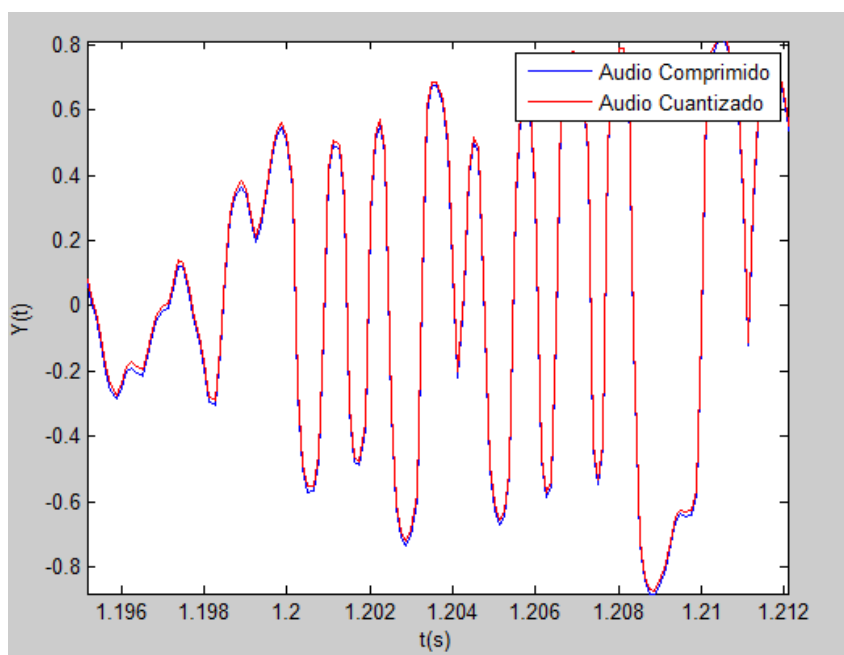


Figura 46: Audio Comprimido vs Audio Cuantizado

Filtro Digital Pasa-Banda

El rendimiento del filtro como se analizó en el apartado 3.2 es satisfactorio, por tanto se implementará el mismo filtro en esta etapa con la diferencia que la señal a ser tratada ya no es netamente analógica.

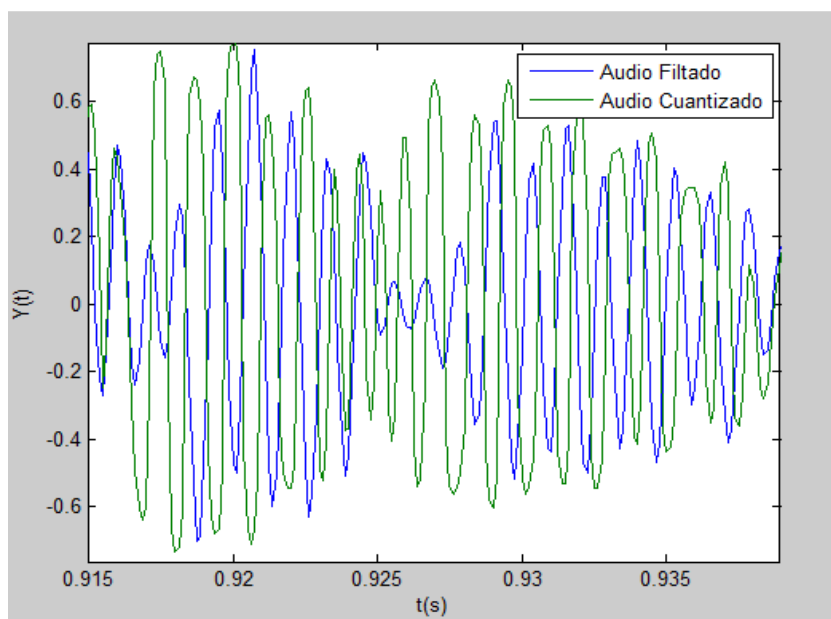


Figura 47: Filtrado Digital de la Señal de Audio

Codificación y Decodificación de la señal de Audio Filtrada

Utilizando los algoritmos de codificado a 8 bits por cada muestra de la señal de audio se obtuvo los datos binarios, de la misma manera se utilizó el algoritmo para reconstruir la señal.

La Figura 48 permite determinar la eficiencia de la codificación y de la decodificación utilizada en esta etapa.

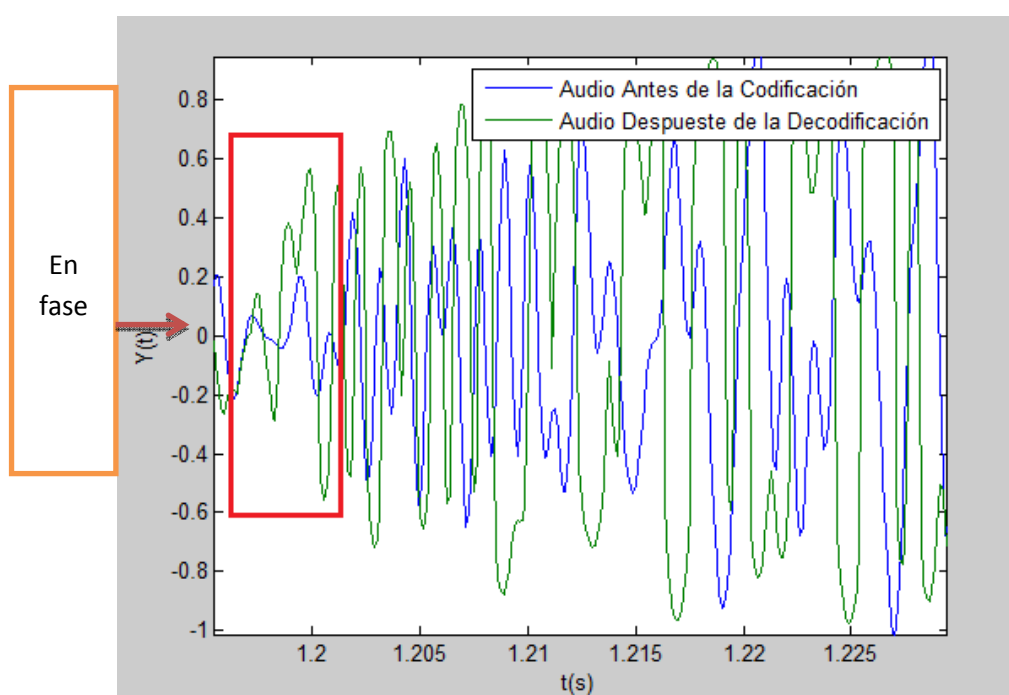


Figura 48: Eficiencia de Codificación y Decodificación

Expansión y Reconstrucción de la Señal de Audio Analógica

En esta etapa se trata de retronar la señal de audio original disminuyendo los niveles de potencia de la señal comprendida por la norma G.711.

La reconstrucción de la señal es sumamente difícil de poder realizar, por el nivel de procesamiento que se requiere, pero en esta etapa se integró el algoritmo que reduce el nivel de procesamiento mediante libros de datos, los

cuales registran el tipo de cuantización y codificación para poder realizar su respectiva reconstrucción de la señal original.

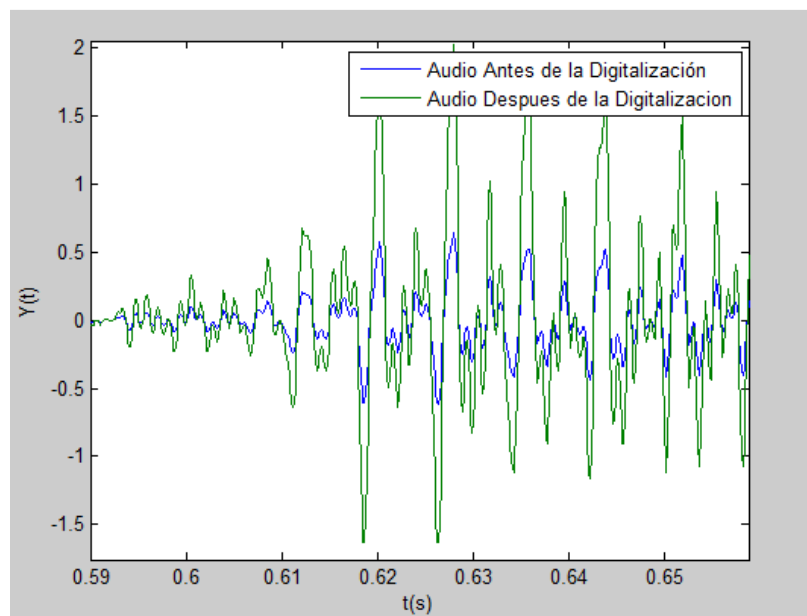


Figura 49: Eficiencia del Filtro Mejorado con el Procesamiento Digital de Señales

3.5.2. Análisis de Resultados del Filtro Mejorado

Se ha considerado el primer paso importante en el procesamiento digital de señales, es decir transformar la fuente de información (textual o analógica) en una forma compatible con los sistemas digitales. Integrando varios aspectos de como es el muestreo, compresión, cuantización y reconstrucción de la señal original.

Este nuevo análisis plantea la posibilidad de disminuir el ruido en ambientes laborales permitiendo tener un nivel de calidad audible mejorado en relación al Filtro Prediseñado para señales analógicas, donde es de suma importancia que el usuario que trabaja en ambientes con niveles de ruido perjudiciales puedan tener beneficios no solo en su calidad de trabajo, si no que permita a largo plazo mejorar su calidad de vida.

Los resultados obtenidos en esta nueva mejora que se integró al Filtro Prediseñado son satisfactorios, ahora bien la investigación que se realizó para mejorar este filtro se relaciona a la utilización de tecnología de última generación como son los Arreglos de Compuertas Programables en Campo (FPGA), los cuales serán explicados más detallados en el siguiente capítulo.

4. CAPITULO IV:

ADAPTACION DE LA SENAL A LA TARJETA FPGA, DESARROLLANDO LA PROGRAMACION EN LENGUAJE VHDL

4.1. Introducción

Hoy en día, en nuestro ambiente familiar o de trabajo nos encontramos rodeados de sistemas eléctricos muy sofisticados. Teléfonos celulares, computadoras personales, televisores portátiles, equipos de sonido, dispositivos de comunicación y estaciones de juego interactivo, todos estos sistemas tienen algo en común: su tamaño de dimensiones tan pequeñas que resulta increíble pensar que sean igual o más potentes que los sistemas mucho más grandes que existieron en algunos años.

Estos avances son posibles gracias al desarrollo de la microelectrónica, la cual ha permitido la miniaturización de los componentes para obtener así mayores beneficios de los chips (circuitos integrados) y para ampliar las posibilidades de aplicación.

La evolución en el desarrollo de los circuitos integrados se ha venido perfeccionando a través de los años. Primero se desarrollaron los circuitos de baja escala de integración (SSI o *Small Scale Integration*), después los de mediana escala de integración (MSI o *Medium Scale Integration*) y posteriormente los de muy alta escala de integración (VLSI o *VeryLarge Scale Integration*) hasta llegar a los circuitos integrados de propósito específico (ASIC).

La primera tendencia de la técnica de full customdesign (Diseño totalmente a la medida), la cual consiste en desarrollar un circuito para una aplicación específica mediante la integración de transistor pro transistor.

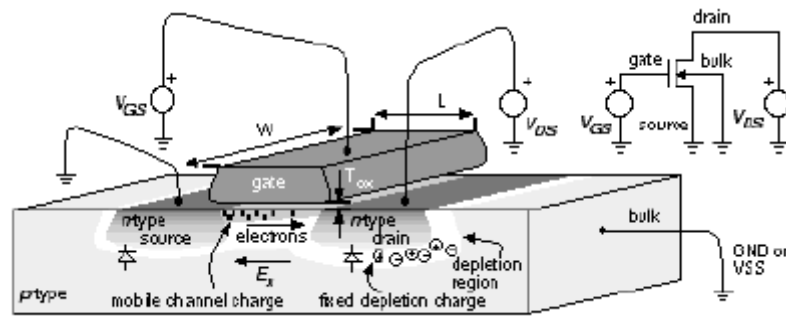


Figura 50: Primera Tendencia de ASIC (Maxinez & Alcalá, 2002)

La segunda tendencia en el diseño de los ASIC proviene de una innovadora propuesta, que sugiere la utilización de celdas programables preestablecidas e insertadas dentro de un circuito integrado.

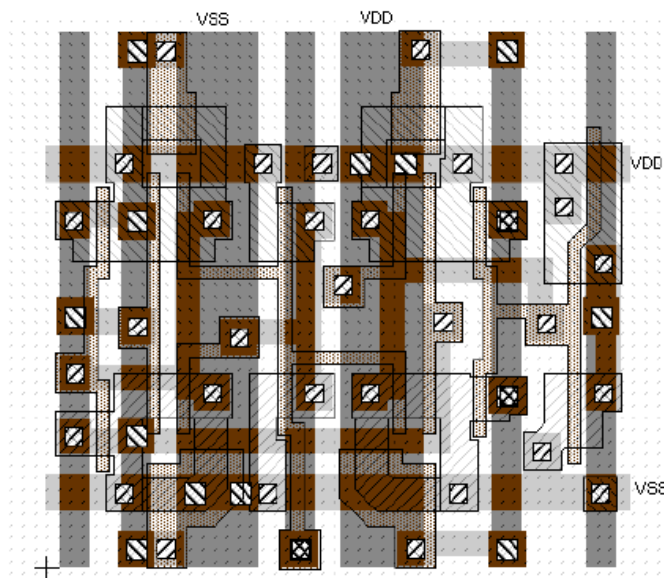


Figura 51: Segunda Tendencia de ASIC (Maxinez & Alcalá, 2002)

Con base a la segunda propuesta surgió la familia de dispositivos lógicos programables los PLD, cuyo nivel y densidad de integración ha venido evolucionando a través del tiempo. Iniciaron con los PAL (Arreglos Lógicos Programables) hasta llegar a los CPLD (Dispositivos Lógicos Programables Complejos) y los FPGA (Arreglos de Compuertas

Programables en Campo), estos últimos realizan su conectividad interna sobre cada una de sus celdas, por lo que han hecho posible el desarrollo de circuitos integrados de aplicación específica de una forma mucho más fácil y económica, para beneficio de los ingenieros encargados de integrar sistemas.

El lenguaje de descripción en hardware VHDL es conocido como la máxima herramienta de diseño por las industrias y universidades de todo el mundo, pues proporciona a los usuarios muchas ventajas en la aplicación y diseño de los sistemas electrónicos digitales.

Dada la importancia del VHDL, pero sobre todo de la metodología actual de diseño de circuitos digitales, se esta incorporando la enseñanza de este lenguaje en la mayoría d titulaciones de informática, electrónica y telecomunicaciones.

4.1.1. Estudio del funcionamiento de las tarjetas FPGA

Desarrollar en sistemas base de alto rendimiento FPGA es un proceso complejo de varias complejas transformaciones y optimización de algoritmos. Herramientas de software ayudan a resolver algunas de estos problemas. Usamos la versión de Web de empaquetado Xilinx ISE con la implementación sintetizada y la versión Mentor GraphicsModelSim el cual es un empaquetado para realizar las simulaciones de cada entidad.

4.1.1.1. Visión General de los Dispositivos FPGA

Los FPGAs son dispositivos semiconductores que contienen componentes lógicos programables e interconexiones programables entre ellos. Los componentes lógicos programables pueden ser programados para duplicar la funcionalidad de puertas lógicas básicas tales como AND, OR, XOR, NOT o funciones combi nacionales más complejas tales como decodificadores o simples funciones matemáticas.

En muchos FPGA, estos componentes lógicos programables también incluyen elementos de memoria, los cuales pueden ser simples flip-flops o bloques de memoria más complejos. La evolución de los FPGA se ha basado en tres ejes fundamentales. El tecnológico donde el objetivo principal es utilizar geometrías cada vez más pequeñas usando transistores más pequeños y rápidos, acompañadas de costes cada vez menores. El estructural orientado al diseño de sistemas: generadores de acarreo, memorias y multiplicadores embebidos e interconexiones jerárquicas además del control de impedancias E/S.

En la estructura interna de un FPGA, cada bloque combinacional (LUT) está seguido por un flip-flop, es conveniente realizar la implementación de funciones lógicas de muchas variables por medio del particionamiento de la lógica combinacional en distintas etapas separadas entre sí por registros (estructura de pipeline), lo cual permite mantener acotados los tiempos de propagación de las señales. Se sabe que en una estructura de pipeline la frecuencia máxima de operación está determinada por el tiempo de propagación de la etapa más lenta, por lo tanto, el dividir en etapas el cálculo de una función lógica incrementa la frecuencia de operación del circuito.

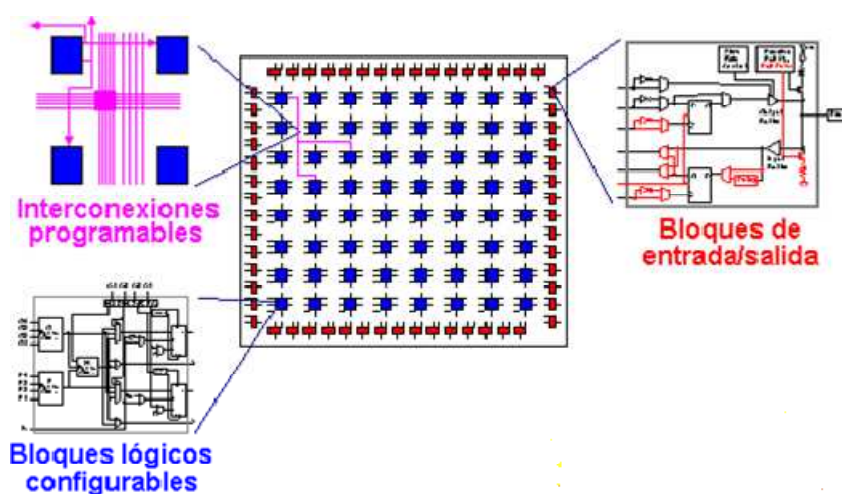


Figura 52: Esquema básico de una FPGA (Maxinez & Alcalá, 2002)

4.1.1.2. Arquitectura de una FPGA

La arquitectura de un FPGA consiste en arreglos de compuertas lógicas, los cuales consisten en la parte de la arquitectura que contienen tres elementos configurables: bloques lógicos configurables (CLB), bloques de entrada y salida (IOB) y canales de comunicación. A diferencia de los CPLD, la densidad de los FPGA se establece en cantidades equivalentes a cierto número de compuertas.

Cada FPGA contiene una matriz de bloques lógicos idénticos, por lo general de forma cuadrada, conectados por medio de líneas metálicas que corren vertical y horizontalmente entre cada bloque tal como se muestra en la Figura 53.

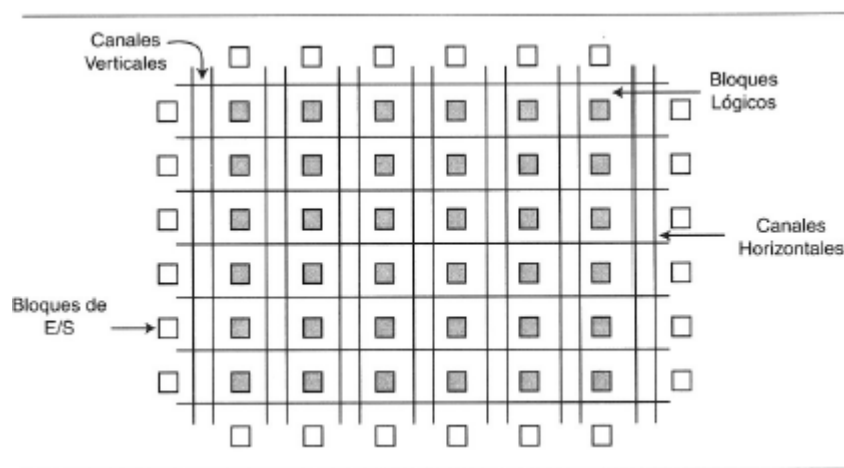


Figura 53: Arquitectura de una FPGA (Maxinez & Alcalá, 2002)

4.1.1.3. VHDL, Lenguaje de Descripción de Hardware

En la actualidad, el lenguaje de descripción en hardware más utilizado a nivel industrial es VHDL (*Hardware Description Language*), que apareció en la década de los 80' como un lenguaje estándar capaz de soportar el proceso de diseño de sistemas electrónicos complejos, con propiedad para reducir el tiempo de diseño y los recursos tecnológicos requeridos.

Este lenguaje de programación se creó con propósitos militares por la Defensa de Estados Unidos, después de varias versiones revisadas por el mismo gobierno, industrias y universidades, el IEEE publico el estándar IEEEstd 1076-1987.

Hoy en día VHDL se considera como un estándar para la descripción, modelado, síntesis de circuitos digitales y sistemas complejos. Este lenguaje presenta diversas características que lo hacen uno de los HDL más utilizados en la actualidad.

Ventajas para el Desarrollo de Circuitos Integrados con VHDL.

- Notación Formal: los circuitos integrados VHDL cuentan con una notación que permite su uso en cualquier diseño electrónico.
- Disponibilidad Pública: VHDL es un estándar no sometido a patente o marca registrada, por lo que cualquier empresa o institución puede utilizar sin restricción.
- Independencia Tecnológica de Diseño: VHDL se diseñó para soportar diversas tecnologías de diseño (PLD, FPGA, ASIC, etc.) con distinta funcionalidad (circuitos combinatoriales, secuenciales, síncronos y asíncronos).
- Independencia de la Tecnología y Proceso de Fabricación: VHDL se creó para que fuera independiente de la tecnología y del proceso de fabricación del circuito o del sistema electrónico, el lenguaje funciona de igual manera en circuitos diseñados con tecnología MOS, bipolares, BICMOS, etc., sin necesidad de incluir en el diseño información concreta.
- Capacidad Descriptiva en Distintos Niveles de Abstracción: El proceso de diseño consta de varios niveles de detalle, desde la especificación hasta la implementación final. VHDL ofrece la ventaja de poder

diseñar en cualquiera de estos niveles y combinarlos con lo cual se genera lo que se conoce como simulación multinivel.

- Reutilización del Código: El uso de VHDL como lenguaje estándar permite reutilizar los códigos en diversos diseños, sin importar que hayan sido generados para una tecnología (CMOS, bipolar, etc.) e implementación (FPGA, ASIC, etc.) en particular.

Desventajas para el Desarrollo de Circuitos Integrados con VHDL.

- En algunas ocasiones, el uso de una herramienta provista por alguna compañía en especial tiene características adicionales al lenguaje, con lo que se pierde un poco la libertad de diseño. Como método alternativo se pretende que entre diseñadores que utilizan distintas herramientas exista una compatibilidad en sus diseños.
- Debido a que VHDL es un lenguaje diseñado por un comité, presenta una alta complejidad, ya que se debe dar gusto a las diversas opiniones de los miembros de éste, por lo que resulta un lenguaje difícil de aprender para un novato.

4.1.2. Compañías de Soporte en Hardware y Software

Existen diversas compañías internacionales que fabrican o distribuyen dispositivos lógicos programables, algunos ofrecen productos con características generales y otras introducen innovaciones a sus dispositivos. A continuación se mencionan algunas de las más importantes.

Altera Corporation

Es una de las compañías más importantes de producción de dispositivos lógicos programables y también es la que más familias ofrecen, ya que tiene en el mercado ocho familias, la capacidad de integración en

cada familia varía desde 300 hasta 1000000 de compuertas utilizables por dispositivos.

Las características generales más significativas de los dispositivos Altera son las siguientes:

- Frecuencia de operación del circuito superior a los 175MHz y retardos pin a pin de menos 5ns.
- La implementación de bloques de arreglos integrados (EAB), que se usan para realizar circuitos que incluyan funciones aritméticas, también se aplican en microprocesadores, micro-controlador y funciones complejas con DSP (Procesadores Digitales de Señales).
- La programación en sistema (ISP), que permite programar los dispositivos montados en la tarjeta.

Xilinx

Es un de las compañías líder en soluciones de lógica programable, incluyendo circuitos integrados avanzados, herramientas en software para diseño, funciones predefinidas y soporte de ingeniería. Xilinx fue la compañía que invento los FPGA y en la actualidad sus dispositivos ocupan más de la mitad del mercado mundial de los dispositivos lógicos programables.

Las familias CPLD XC9500 y XC9500XL proveen una larga variedad de dispositivos programables con características que se detallan a continuación:

- Los voltajes van desde 5 a 3.3 de operación, 36 a 288 macroceldas, 34 a 192 terminales de entrada y salida y programación en sistema.
- Capacidad de integración superando las 40000 compuertas y programación en sistema.

4.1.3. Futuro de la Lógica Programable

No es difícil de suponer que se pretende mejorar a futuro las herramientas existentes con el fin de extender su campo de aplicación a más áreas, algunas compañías buscan mejorar la funcionalidad e integración de sus circuitos a fin de competir con el mercado de los ASIC. Esto mejorará así el costo por volumen, el ciclo de diseño y se disminuirá el voltaje de consumo.

Otra característica que se pretende mejorar es la programación de los circuitos, debido a que su implementación requiere muchos recursos físicos y tecnológicos, por esta razón se busca cambiar las metodologías de diseño para incluir sistemas programables por completo. (Maxinez & Alcalá, 2002)

4.2. Definición de la tarjeta FPGA a ser utilizada

4.2.1. Spartan- 3A/3AN FPGA Starter Kit

Dentro de las empresas mencionadas en el enunciado 4.1.2 se establecen distintos parámetros para poder realizar investigación e integrar nuevas soluciones a problemas que en la sociedad se presentan, llegando a determinar a la compañía Xilinx como idónea para adquirir la tarjeta ya que es la más fuerte en el mercado con tecnología FPGA, además de prestar un sinnúmero de familias las cuales cumplen con soluciones específicas.

Dentro de los parámetros para seleccionar la tarjeta es la prestación de la tarjeta y costo económico de la tarjeta en el mercado.

Las prestaciones que integra la tarjeta son que contienen 500K compuertas que son equivalentes a 10476 celdas lógicas. Su arquitectura incluye 20 bloques de 18 Kb de RAM, 20 multiplicadores de hardware de 18 x 18 bits, 4 Digital Clock managers y hasta 232 señales de E/S.

Los periféricos disponibles en la tarjeta son: Memoria Flash 16 MByte (128 Mbit) para aplicaciones, DDR (double data rate) SDRAM de 64 MByte (512 Mbit), CLPD XC2C64A, familia CoolRunner, Memoria Flash de 4 Mbit

para configuración, Memoria Flash 16 Mbits acceso serial, vía SPI(serial peripheral interface), una interface de capa física Lan Ethernet 10/100 y un oscilador de 50 Mhz.

Los puertos externos que tiene la tarjeta son dos puertos seriales RS-232 de nueve terminales, un puerto VGA, un puerto PS/2 para teclado o mouse un puerto Ethernet 10/100 Mb/seg, dos puertos para la programación. El principal puerto de programación es un controlador empujado USB. La tarjeta de desarrollo Spartan-3A/3AN.

Cuatro pulsadores, cuatro switches, un botón rotatorio, ocho leds y una pantalla LCD de 16 caracteres por 2-líneas. Además tiene dos leds que verifican la alimentación y la configuración de la tarjeta. Tiene una conexión para expansión de 100 pines y tres conectores de 6 pines que se utilizan para ampliar la capacidad de la tarjeta adicionando periféricos externos por estos conectores.

La tarjeta integra un convertidor Digital a Analógico SPI de cuatro salidas (DAC), con resolución de 12 bits y un convertidor Analógico a Digital SPI de dos entradas (ADC) con resolución de 14 bits y pre - amplificador con ganancia programable todos manufacturados por Linear Technology.

El costo económico de la tarjeta, la familia Spartan presenta un sinnúmero de iguales prestación pero la diferencia primordial es la de su rendimiento en el nivel de procesamiento, y del tipo de reloj interno que utiliza.

Analizando estos dos parámetros se llegó a determinar que la opción más óptima para implementar el Filtro Prediseñado es la tarjeta Spartan 3A/3AN.



Figura54: Spartan 3A/3AN Starter Kit(Xilinx, 2008)

4.2.2. Software de Desarrollo para la Tarjeta Spartan 3A/3AN Starter Kit

Existen varias herramientas EDA (Automatización de Diseño Electrónico) que facilitan y aceleran el proceso de implementación de diseños. Estas herramientas son provistas por los fabricantes de FPGA e incluyen funciones lógicas optimizadas para sus dispositivos, además de simuladores.

XILINX es una empresa que se ha dedicado a la creación de herramientas EDA para facilitar el diseño, implementación y programación de los FPGA con la limitante que estas herramientas están orientadas hacia dispositivos FPGA de esta marca por lo que no son útiles para otras plataformas, esto hace que el flujo de diseño sea poco flexible. Durante el proceso se crean y se utilizan archivos con formatos propietarios de Xilinx, lo cual impide se puedan utilizar en otro tipo de herramientas o aplicaciones.

4.2.2.1. ISE Design Suite 14.3

Especificaciones de ISE Design Suite

ISE definido por sus siglas Integrated Synthesis Environment es una herramienta EDA de la compañía Xilinx para la síntesis de las aplicaciones de sistemas embebidos en la FPGA. Xilinx proporciona herramientas EDA con licencia (ISE FOUNDATION) y sin licencia (ISE WebPACK), que tienen la misma funcionalidad pero obviamente la herramienta con licencia tiene mayores ventajas y facilidades.

El entorno de diseño Xilinx ISE incluye todas las herramientas como son:

- La entrada de diseño, a través de captura esquemática, lenguajes de descripción hardware como VHDL o Verylong-HDL o representación gráfica de diagramas de estado.
- Herramientas de Verificación para la obtención de una simulación del sistema, tanto a nivel funcional como estimación de retardos.
- Herramientas de implementación.
- Herramientas de Programación.

El entorno de ISE permite combinar las diferentes técnicas de diseño para facilitar la labor de descripción del diseño. Además, se permite la inclusión de restricciones para optimizar el proceso de implementación y adaptarlo a las necesidades del diseño.

4.2.2.2. Elementos de la Interfaz de Programación ISE Design Suite

La interfaz de programación presenta múltiples herramientas como se puede describir en la Figura 55.

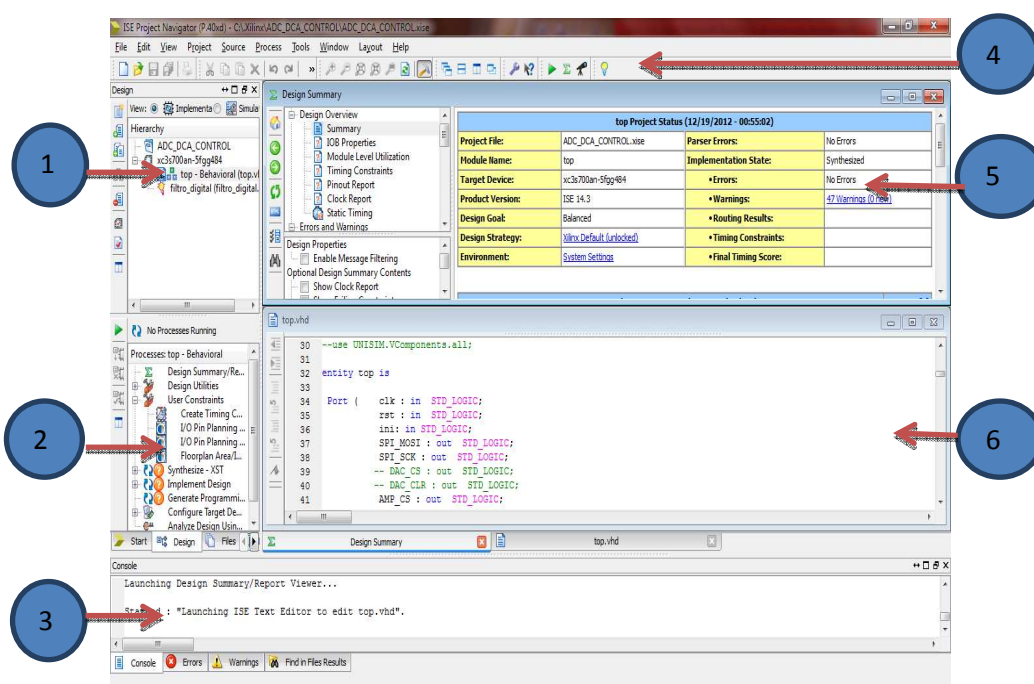


Figura 55: Project Navigator

- 1) Ventana de Elementos del Proyecto: Aquí se muestra en general el proyecto de forma global porque permite visualizar la configuración del proyecto, los archivos vhd, empaquetados de archivos vhd y opciones para las simulaciones.
- 2) Ventana de Procesos: Esta ventana muestra todos los procesos necesarios para la realización de cada etapa del proyecto además de poder realizar procesos por cada entidad del proyecto individualmente.
- 3) Ventana de Consola: Esta ventana permite realizar los procesos mediante comandos de programación y también muestra todos los eventos generados por la ventana de procesos.
- 4) Barra de Herramientas: Estas herramientas facilitan la manera de generar el proyecto y realizar de forma más fácil la programación en la ventana generación de código para los archivos vhd.
- 5) Ventana de Resumen del Proyecto: Esta ventana permite identificar el rendimiento del programa antes de ser implementado, los

- 1) Ventana de los Archivos Creados en el Proyecto: Esta ventana contiene todos los elemento vhd integrados al proyecto, se crea como un acceso directo para manipularlos si se lo requiere.
- 2) Ventana de Propiedades de Puertos de Entrada y Salida: presenta detalladamente la información del tipo de dato ingresado, configurado y de salida.
- 3) Ventana de Consola: Presenta en detalle todos los eventos de la simulación.
- 4) Ventana de Ejecución de la Simulación: Esta ventana es la más importante ya que se muestra todos los eventos gráficos de la simulación aquí se puede establecer en que instante de tiempo se quiere analizar el rendimiento de la simulación.

4.2.2.4. PlanAhead

Mediante esta interfaz se establece la configuración de los pines físicos establecidos por el manual de usuario de la tarjeta, integrando todas las características y recomendaciones que se deban integrar en los puertos de entrada y salida.

Esta interfaz es amigable para el desarrollador ya que permite de manera gráfica identificar la ubicación de los puertos mediante una gráfica esquemática permitiendo compararlo por medio del hardware o tarjeta.

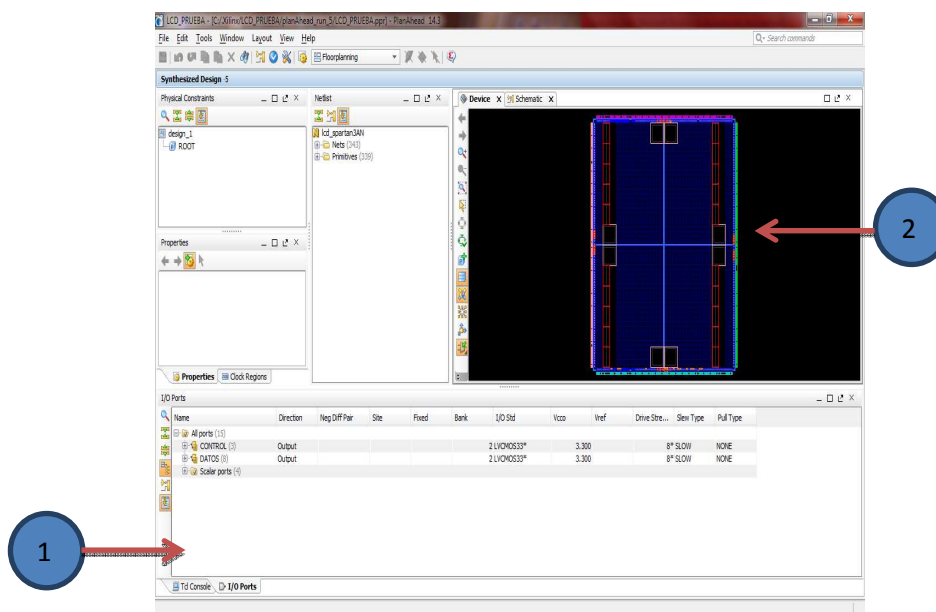


Figura 57: Interfaz PlanAhead

- 1) Ventana para la Configuración de Pines: Por medio de esta ventana se realiza la configuración general de los puertos de entrada y salida, además de poder realizar cambios si se lo requiera en el empaquetado ya que este es un proceso anterior para generar el proyecto.
- 2) Ventana para Diagrama Esquemático de la Tarjeta: Esta ventana permite identificar y realizar la comparación de los pines por medio de la tarjeta.

4.2.2.5. IMPACT

Para la transferencia de la configuración al hardware la herramienta IMPACT permite compilar los archivos .bit en una única imagen para una única cadena en los diferentes modos de configuración del FPGA. También sirve para compilar los distintos conjuntos de datos en una imagen de la Memoria Flash (archivo *.MPM), donde se guardan también los datos de configuración de cada conjunto de datos. Utilizando este software también se programa la memoria Flash.

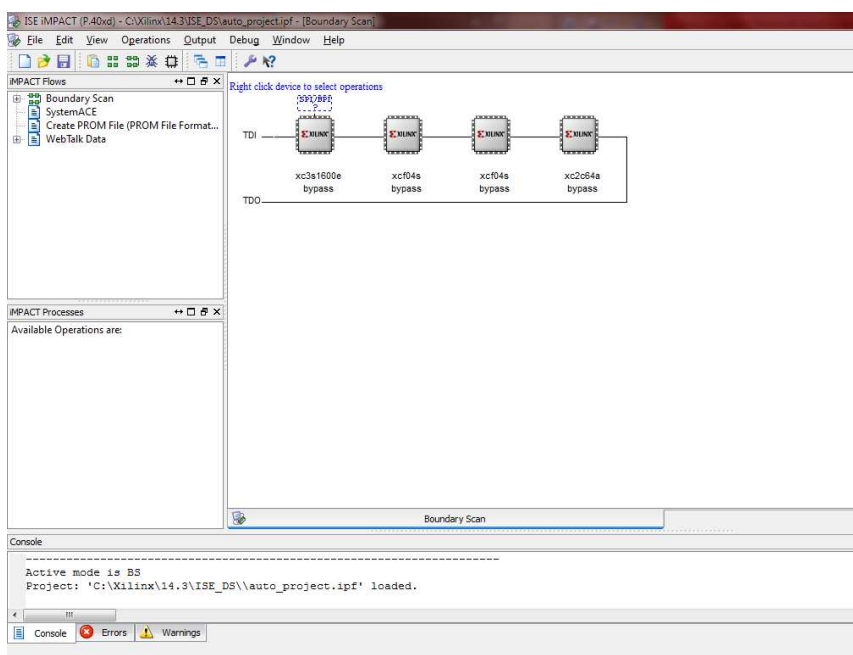


Figura 58: Interfaz IMPACT

4.3. Diseño del sistema de mejoramiento de calidad auditiva

4.3.1. Criterios de diseño

Distintos criterios intervienen en una investigación de campo ya que se consideran muchos factores para poder integrar un nuevo diseño de investigación al ámbito industrial, estableciendo las necesidades por donde se guía el proyecto se determina con fundamentos de ingeniería la mejor solución para llegar a establecer una solución viable.

Los criterios de diseño establecidos para la implementación del Filtro Prediseñado son los siguientes:

- El Tipo de Tecnología Establecida en la Investigación.
- Mejoramiento del Filtro Prediseñado mediante DSP.

Tipo de Tecnología Establecida en la Investigación

Este criterio se establece porque las nuevas innovaciones tecnológicas tienden a futuras renovaciones, y se debe proyectar la

investigación a las últimas tendencias ya que para las posteriores tecnologías que se establezcan será de mucha mejor ayuda para integrarlas por su nivel de programabilidad y de los sistemas embebidos que son el auge de la tecnología presente y futura.

Se llegó a establecer que el tipo de tecnología establecida para la implementación de esta investigación es la de utilizar FPGA de la familia Spartan 3A/3AN, además del tipo de programación que este ofrece mediante la empresa de desarrollo Xilinx ISE.

Mejoramiento del Filtro Prediseñado mediante DSP

Para efectuar de forma óptima este criterio se debe analizar el tipo de prestaciones que presta la selección de primer criterio, para ello se identificaron los siguientes componentes que efectúan sin problema el procesamiento digital de señales.

Circuito para Capturar señales Analógicas

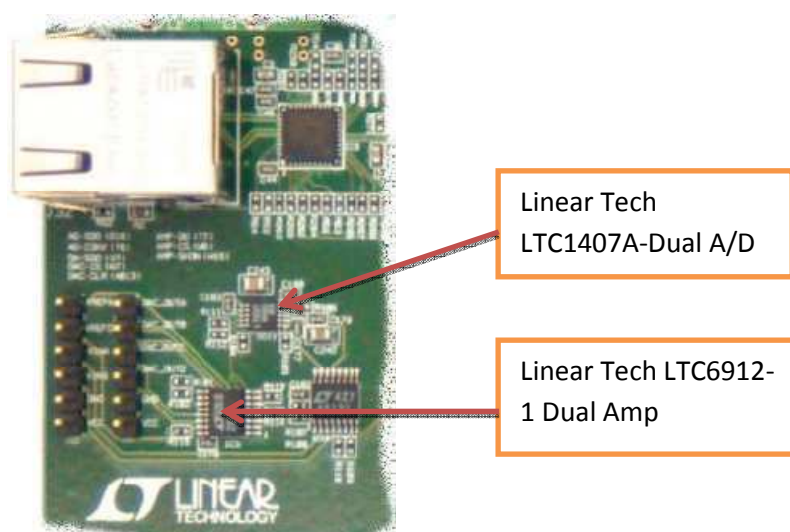


Figura 59: Circuito para Capturar Señales Analógicas (Xilinx, 2008)

El circuito para captura de señales analógicas consiste del LTC6912-1 el cual es un pre amplificador programable, a la salida de este pre amplificado se conecta el LTC1407A-1 ADC. Ambos son dependientes uno

del otro siendo configurados por medio de la programación SPI que integra la FPGA como se muestra en la Figura 60.

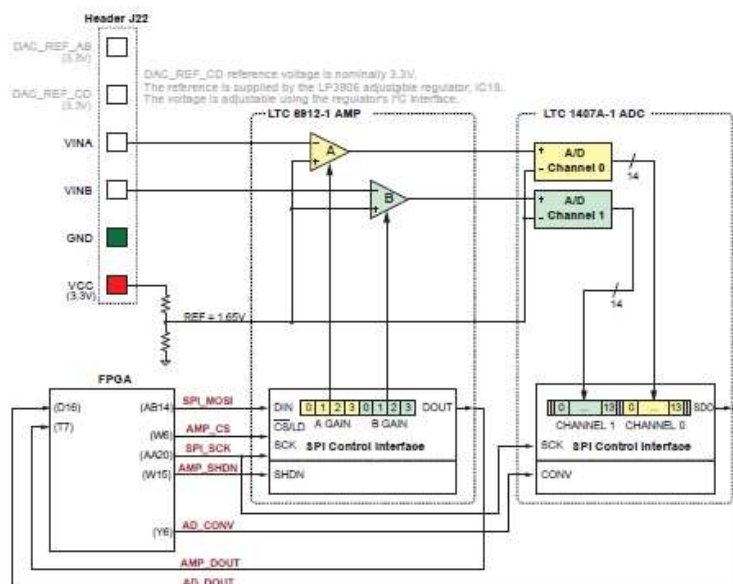


Figura 60: Vista Detallada del Circuito para Captura de Señales Analógicas (Xilinx, 2008)

Este esquema realiza la conversión de la señal analógica las cuales son adquiridas por los puertos VINA o VINB a ser representado el dato en 14-bits, este tipo de conversión se la realiza por medio de la Ecuación 7.

$$D[13:0] = GAIN * \frac{V_{IN} - 1.65V}{1.25V} * 8192$$

Ecuación 7: Conversión VIN en Tarjeta FPGA

Pre-Amplificador Programable LTC6912-1

LTC6912-1 provee de dos canales independientes, realizando amplificaciones con ganancia programable, el propósito del pre-amplificado es de determinar el rango de adquisición de la señal analógica de entrada para poder realizar la conversión A/D.

En la Figura 61 se muestra la configuración típica para la amplificación de señales analógicas las cuales se explica con mayor amplitud en los Anexos.

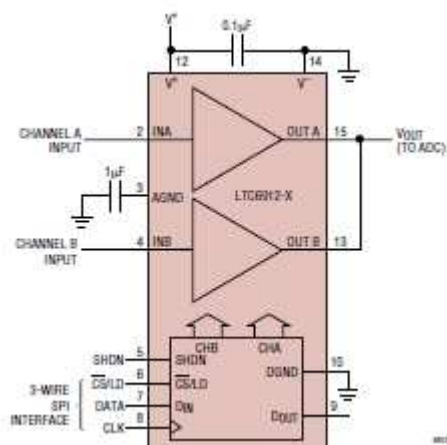


Figura 61: Configuración típica (Xilinx, 2008)

Cada canal analógico tienen asociado una amplificación de ganancia programable comprendidas en el rango de -1 hasta -100 por cada valor de ganancia se tiene un nivel de voltaje amplificado, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: Configuración de ganancia para el preamplificador programable

Ganancia	Rango de Voltaje de				Entrada	
	3	2	1	0		
					Mínimo	Máximo
-1	0	0	0	1	0.4	1.9
-2	0	0	1	0	1.025	2.275
-5	0	0	1	1	1.4	1.9
-10	0	1	0	0	1.525	1.775
-20	0	1	0	1	1.5875	1.7125
-50	0	1	1	0	1.625	1.675
-100	0	1	1	1	1.6375	1.6625

Control de Interface SPI para Pre-Amplificador

El SPI realiza la comunicación entre las interfaces del amplificador y la tarjeta Spartan, el control de la ganancia para realizar la amplificación se la realiza con una palabra de comando de 8-bit describiendo que 4-bits más significativos son para un canal A y los 4-bit menos significativos son para el canal B.

El bus SPI realiza un inicio de transición cuando la tarjeta FPGA cumple con los eventos de cada elemento por medio del protocolo de comunicación como se muestra en la Figura 62.

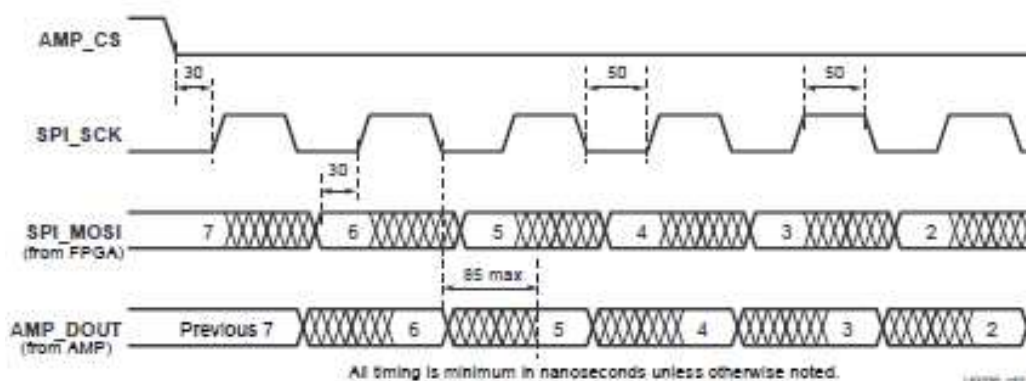


Figura 62: Tiempos del Bus SPI Cuando se Comunica con el Amplificador (Xilinx, 2008)

Convertor Analógico a Digital (ADC) LTC1407A-1

Este integrado está conformado por dos puertos, su configuración es programable y es la etapa indispensable para poder realizar la digitalización de las señales analógicas, en la Figura 63 se puede establecer la configuración típica para el procesamiento digital de señales mediante la interface serial, se explica con mayor amplitud en los Anexos.

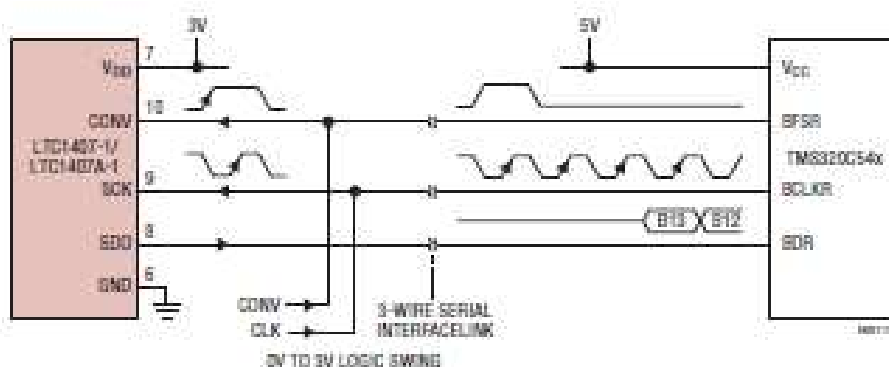


Figura 63: DSP del LTC1407A (Xilinx, 2008)

Control de Interface SPI para ADC

Cuando el AD_CONV está en alto, el ADC simultáneamente adquiere las señales analógicas de los canales. El resultado de esta conversión no son presentadas hasta el siguiente tiempo AD_CONV se ponga en bajo, por medio de una latencia de una muestra, la máxima tasa de muestra es aproximadamente 1.5MHz.

En la Figura 64 se explicada más detalladamente la adquisición de los datos en función del tiempo.

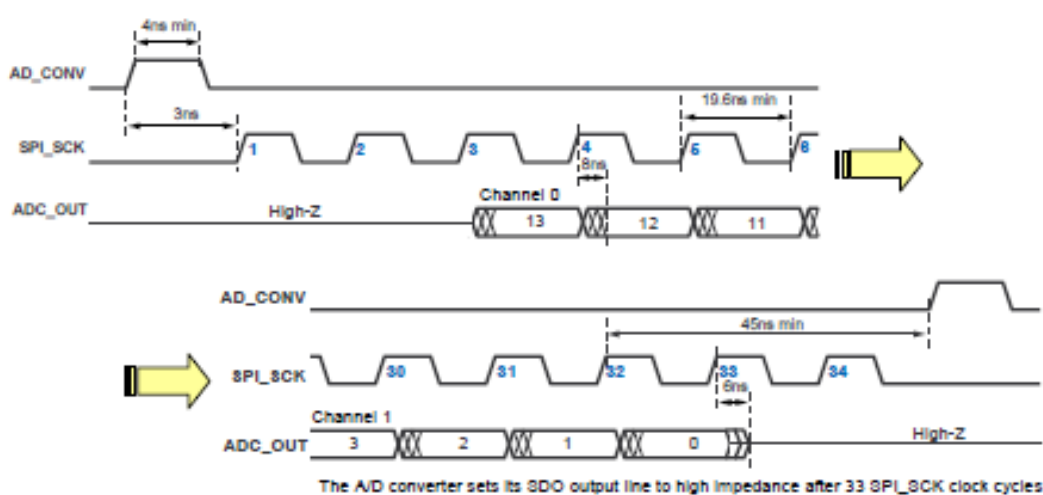


Figura 64: Detalles del Bus SPI para el ADC (Xilinx, 2008)

Conversor Digital a Análogo

El dispositivo DAC es un integrado de la familia Linear Technology LTC2624 quad DAC con 12-bit sin señal de resolución,, las cuatro salidas del DAC se los obtiene por su respectivo puerto.

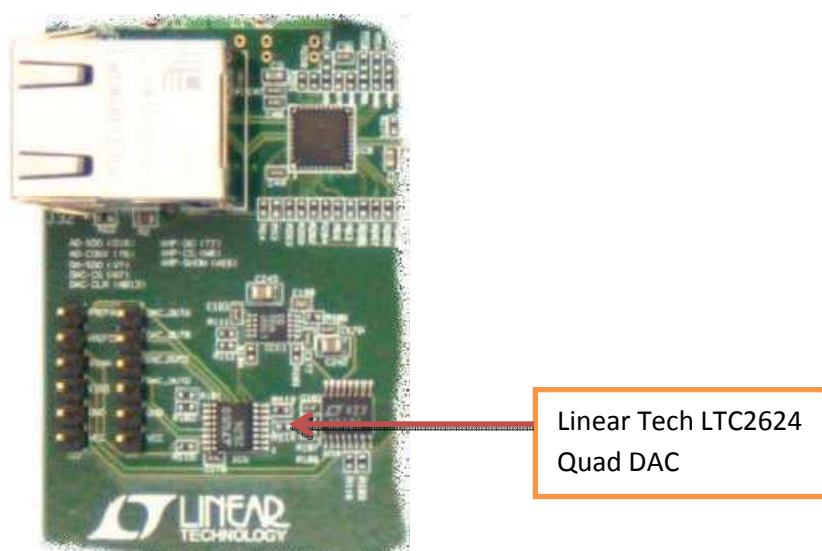


Figura 65: DAC (Xilinx, 2008)

En la Figura 66 se muestra la Interface de comunicación por medio del Bus SPI, identificando como es el control que realiza el Bus SPI. El Bus SPI es un tipo de comunicación full-dúplex, síncrono, caracteres orientados a desarrollarse en casa canal.

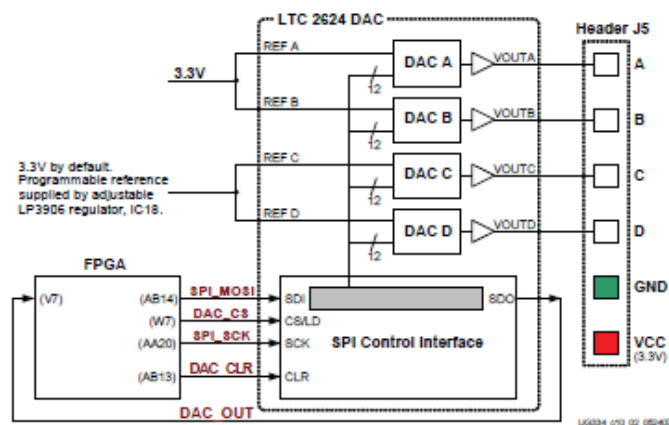


Figura 66: DAC conexión esquemática (Xilinx, 2008)

La configuración típica que se realiza para tener un rendimiento eficiente de los datos del convertor digital a análogo, es muy compleja ya que si se dan cálculos erróneos en la integración de los elementos este no podrá realizar un decodificación adecuada y se perderán datos de la señal original.

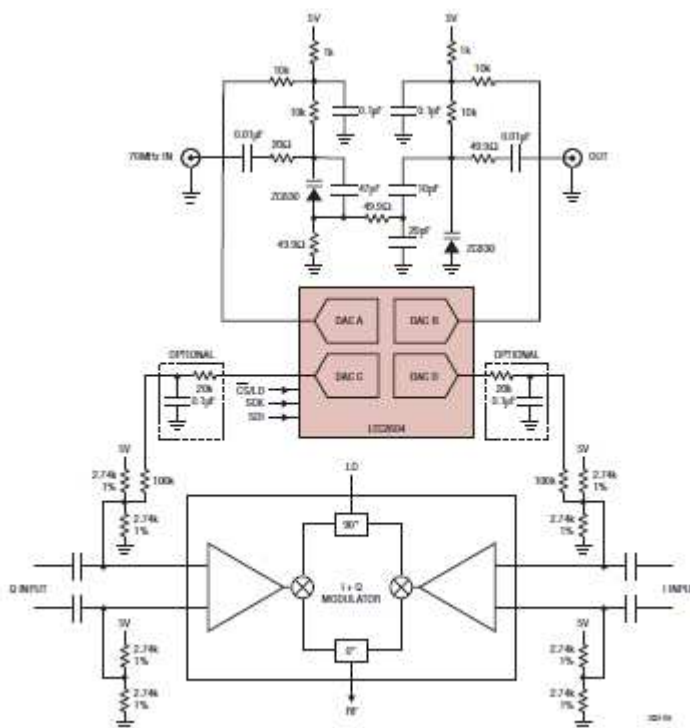


Figura 67: Usando los cuatro canales del DAC para control de atenuación (Xilinx, 2008)

Comunicación SPI

Para realizar la conversión de un dato digital a analógico se debe realizar una configuración específica en el Bus SPI la cual se muestra en la Figura 68, este Bus soporta tasas como máximo de 50MHz, sin embargo se realiza un chequeo constante todo el tiempo para enviar las instrucciones de control.

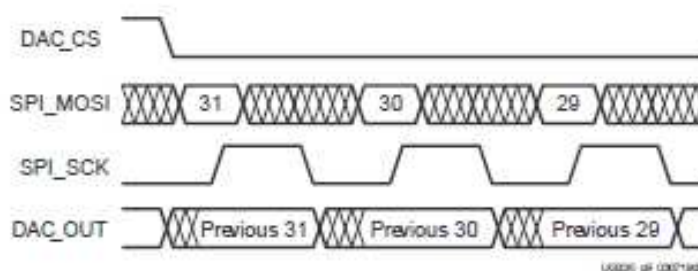


Figura 68: Detalles del Bus SPI para el DAC (Xilinx, 2008)

4.3.2. Diseño

El diseño general para la implementación del tema de investigación, pretende satisfacer todos los requerimientos establecidos con anterioridad, buscando las mejores soluciones para poder brindar al usuario final un modelo económico y de fácil utilización, esta etapa para la elaboración del diseño es el punto clave para proyectarse a nuevas tendencias que la humanidad necesita en su cotidianidad.

Establecidos con claridad los criterios de diseño se procede a realizar el diseño mostrado en la Figura 69. (Xilinx, 2008)

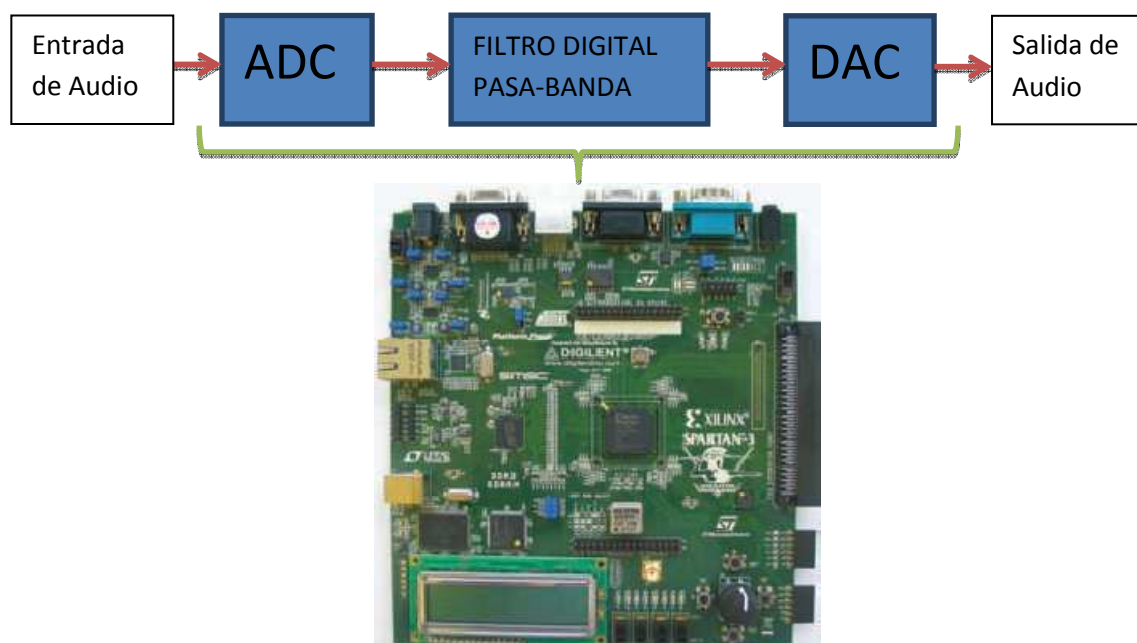


Figura 69: Diseño General del Proyecto de Investigación

4.4. Programación en lenguaje VHDL

4.4.1. Comunicación con la plataforma de Matlab Simulink

SystemGenerator

SystemGenerator para DSP es una plataforma software que usa las herramientas de TheMathWorkMATLAB/Simulink para representar una visión abstracta de alto nivel del sistema de DSP, y que automáticamente genera el código HDL de la función de DSP desarrollada usando los más optimizados LogiCOREs de Xilinx.

De esta forma, SystemGenerator permite modelar directamente mediante un entorno de alto nivel muy flexible, robusto y fácil de utilizar sistemas de DSP y de alto rendimiento para una plataforma hardware específico. Así, todos estos elementos pueden ser usados simultáneamente, simulados en conjunto y sintetizados para obtener una función de DSP sobre FPGA. El aspecto más interesante de trabajar en MATLAB/Simulink es poder emplear la poderosa herramienta de simulación de sistemas Simulink para realizar la verificación del diseño.

Una de las características más importantes de Xilinx SystemGenerator es que posee abstracción aritmética, es decir, trabaja con representaciones en punto fijo con una precisión arbitraria, incluyendo la cuantización y el sobre flujo. También puede realizar simulaciones tanto en doble precisión como en punto fijo.

Más de 90 bloques de construcción de DSP se encuentran en el Blockset Xilinx DSP para Simulink. En la Figura 70 se muestran los bloques DSP comunes de construcción tales como sumadores, multiplicadores y registros. También se incluyen un conjunto de bloques de construcción compleja DSP, como bloques de corrección de errores, filtros FFT y memorias.

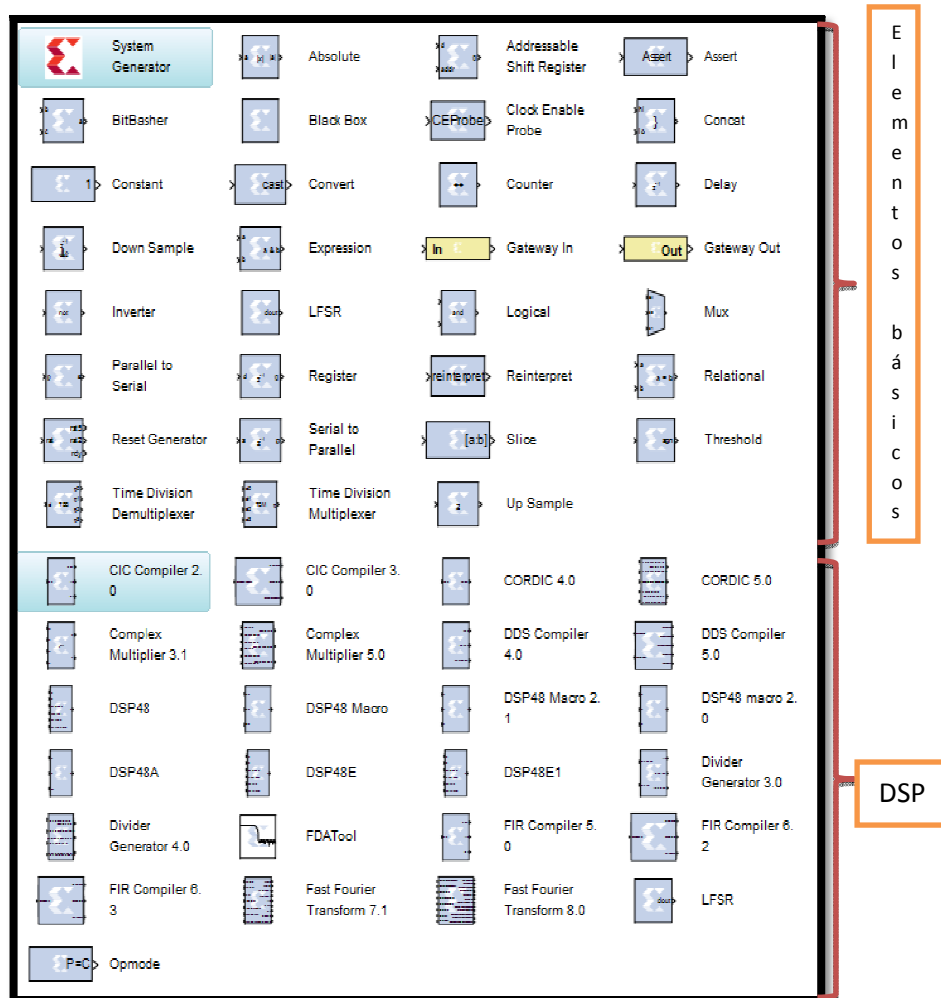


Figura 70: Bloques Xilinx en Simulink de Matlab

Requerimientos del Sistema Operativo y Software

Hoy en día se dispones de paquetes el cual son compatibles para versión de Windows de 32 y 64 bits, así también como para plataformas de desarrollo libre como lo es Linux es su versión Ubuntu.

Los requisitos del sistema operativo y software para la versión 14.3 de SystemGenerator se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9: Requisitos del sistema operativo Windows y Software

Requerimientos	Observaciones
Windows 7 64 bits	Se debe instalar todos los drivers de los puertos
Xilinx ISE® Design Suite versión 14.3	Se debe instalar en la unidad C:\Xilinx
Math Works Matlab®, Simulink con Toolbox en version 2010b	MATLAB se debe instalar en un directorio sin espacios (por ejemplo, C: \ MATLAB \ R2010b)

Conexión de Matlab y Xilinx ISE

Para realizar este proceso de conexión se debe ejecutar como administrador la opción de SystemGenerator MATLAB Configurator, esta opción se encuentra instalada en los accesorios de Xilinx ISE 14.1, en la Figura 71 se muestra la conexión de Matlab®.

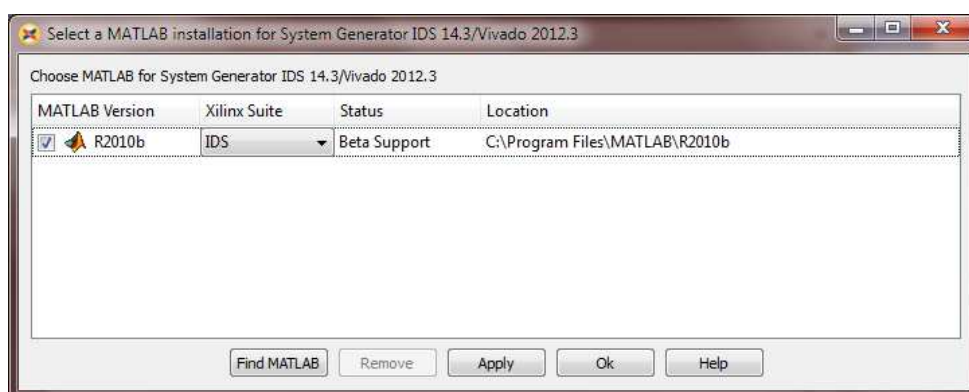


Figura 71: Configuración para conectar Matlab y Xilinx ISE

4.4.2. Adaptación del filtro a la tarjeta FPGA

Por medio de la conexión entre Matlab y Xilinx ISE®, se puede realizar toda la implementación de los módulos y en específico la implementación del filtro por las prestaciones de las librerías de DSP que este integra, pero dentro de las características importantes que permiten desarrollar estos módulos en la integración de una licencia pagada, no se quiere dejar a un lado esta opción pero como se mencionó su costo es muy alto y para esta investigación lo que se quiere es reducir los costos.

Hay una solución la cual presta Xilinx ISE® el cual mediante los IP Cores que este integra se puede implementar el filtro, ahora bien el tipo de filtro es FIR, el cual garantiza un óptimo rendimiento, en la Figura 72, se presenta la forma de añadir un IP Core y en específico el filtro digital FIR.

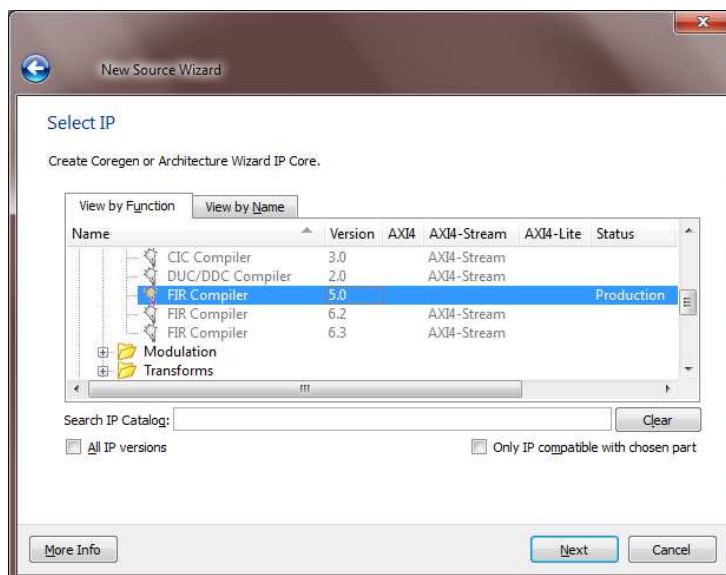


Figura 72: Filtro de Impulso de Respuesta Finita

4.4.3. Configuración del Filtro FIR

Pre-diseño del filtro FIR pasa-banda en Filtre Design & Análisis Tool

Con ayuda de la herramienta de Matlab Filtre Design & Análisis Tool, se desarrolló el filtro digital pasa-banda, se integraron las mismas características del Filtro Prediseñado, porque permiten identificar por las pruebas realizadas la discriminación del ruido producido por maquinaria industrial.

En la Figura 73, indica la configuración y exportación de los coeficientes del filtro para integrarlos posteriormente al IP Core de Xilinx ISE®.

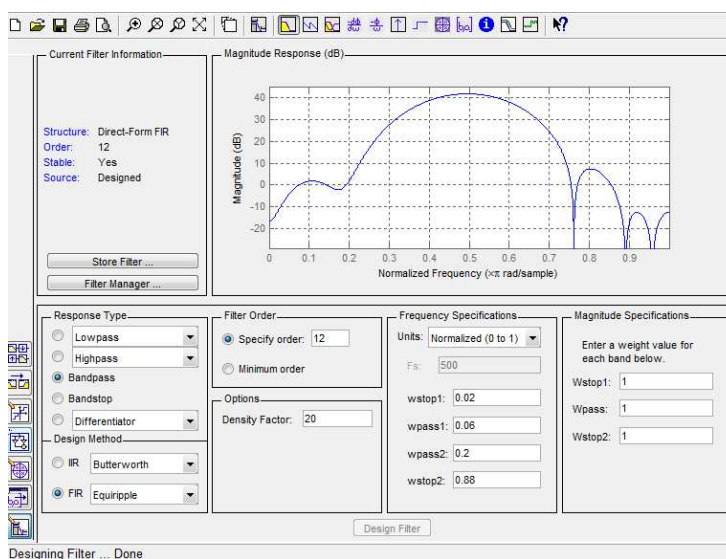


Figura 73: Configuración del Filtro FIR pasa-banda

Coefficientes del Filtro

La Tabla 10 representa el orden del coeficiente y el valor del mismo.

Tabla 10: Coeficientes del Filtro

Orden del Coeficiente	Valor del Coeficiente
Z^{12}	-3.9487
Z^{11}	0.2238
Z^{10}	14.4987
Z^9	-1.0887
Z^8	-27.2566
Z^7	0.9588
Z^6	33.3701
Z^5	0.9588
Z^4	-27.2566
Z^3	-1.0887
Z^2	14.4987
Z^1	0.2238
Z^0	-3.9487

Configuración del Filtro FIR pasa-banda en IPCore de Xilinx ISE

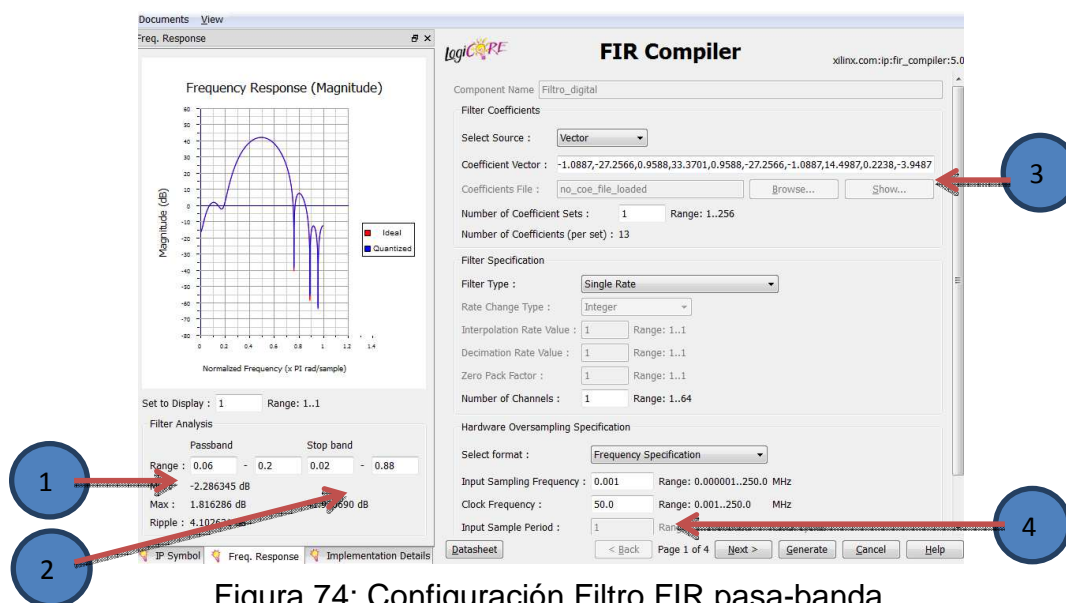


Figura 74: Configuración Filtro FIR pasa-banda

- 1) Parámetro W_p : comprendido entre el rango $W_p = [30 \ 100]/500$.
- 2) Parámetro W_s : comprendido entre el rango $W_s = [10 \ 440]/500$.
- 3) Ingreso de los Coeficientes del Filtro FIR pasa-banda.
- 4) Frecuencia de Reloj: este parámetro es configurado dependiendo del tipo de tarjeta que se disponga ya que se debe integrar el mismo reloj de funcionamiento de la tarjeta.

4.4.4. Procesamiento de la señal recibida

El convertor análogo digital es el encargo de la adquisición de datos hacia el FPGA. Esta etapa del receptor es desarrollada en lenguaje de descripción de Sof

Envío de la palabra de control para el amplificador

Por medio de la simulación se verifica el comportamiento del rendimiento del ADC, para ello se necesita de dos pasos importantes para su correcto funcionamiento los cuales se detallan a continuación:

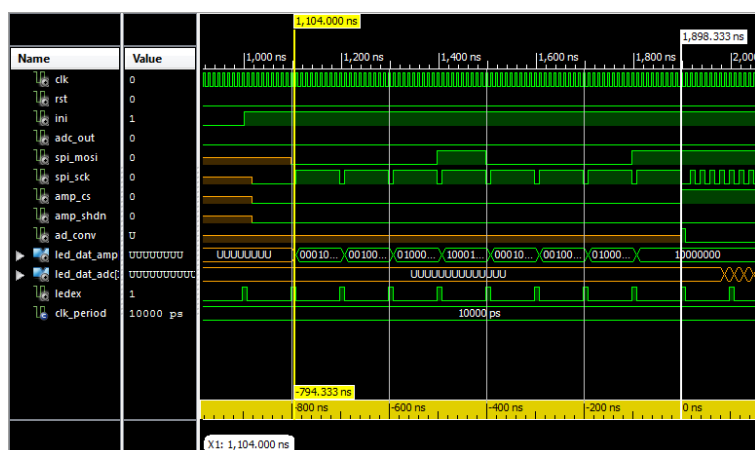


Figura 75: Configuración de palabra de control para pre-amplificador

La segunda etapa es adquirir el dato por los puertos los cuales con adquiridos mediante el Bus SPI por medio de la línea SPI_MOSI se realiza la adquisición del dato y la respectiva conversión del dato a digital como se muestra en la Figura 75.

También se debe realizar la configuración previa para el funcionamiento del ADC para ello solo se necesita que la línea AD_CONV realice un flanco de reloj, la Figura 76 indica la configuración.

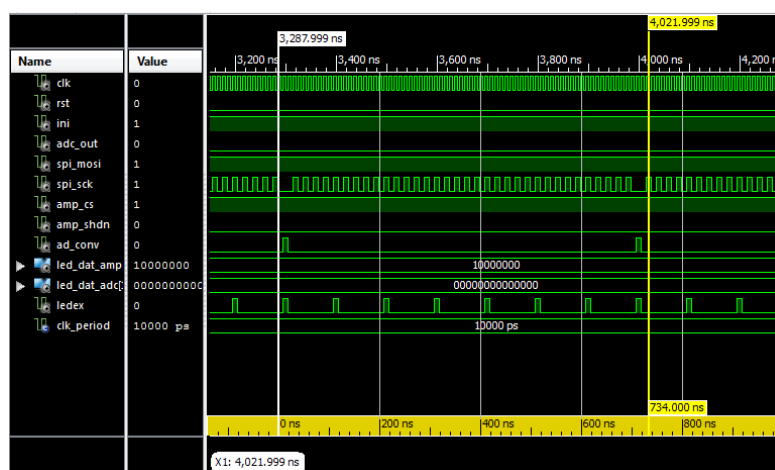


Figura 76: Adquisición del dato y conversión del mismo con el ADC

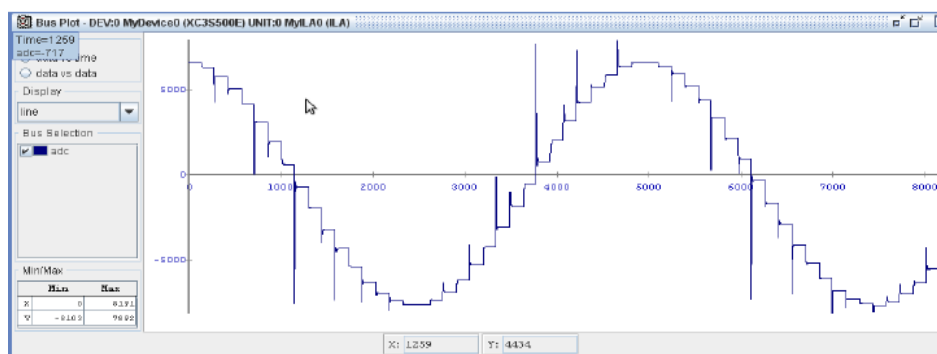


Figura 77: Señal Digitalizada

4.4.5. Señal de salida analógica

Para recuperar la información y poder obtener una percepción del audio grata para el oído humano se debe establecer.

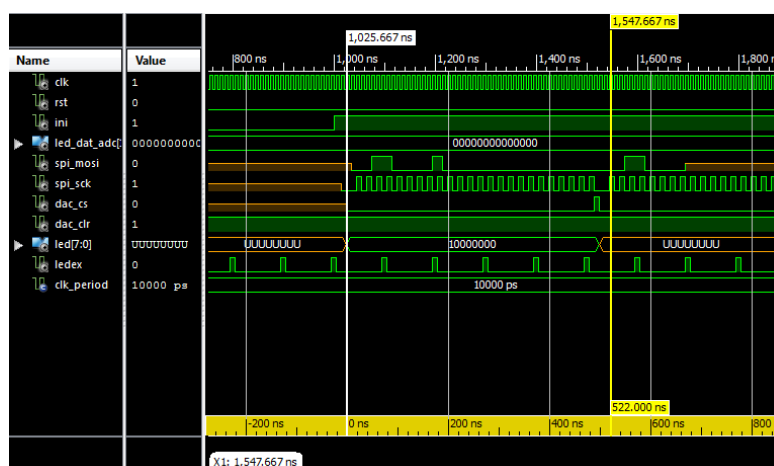


Figura 78: Configuración y Reconstrucción de la señal con el DAC

4.4.5. Diagrama Esquemático y(Diagrama de flujos)

Para llegar a determinar un porcentaje de funcionamiento óptimo se debe tomar en cuenta que un proceso de flujos constante para así llegar a determinar el comportamiento del dispositivo y su rendimiento.

Esta características es importante porque se integran criterios de diseño en arquitecturas a nivel de software, desde el punto de vistas de un programador se debe determinar el inicio del proceso y un fin así como el de

llegar a determinar la necesidad en específico para la cual se desarrolla el diseño.

El esquema presentado en la Figura 79, integra todos los criterios anteriormente analizados teniendo como objetivo el llegar a cumplir las necesidades planteado en este proyecto de grado.

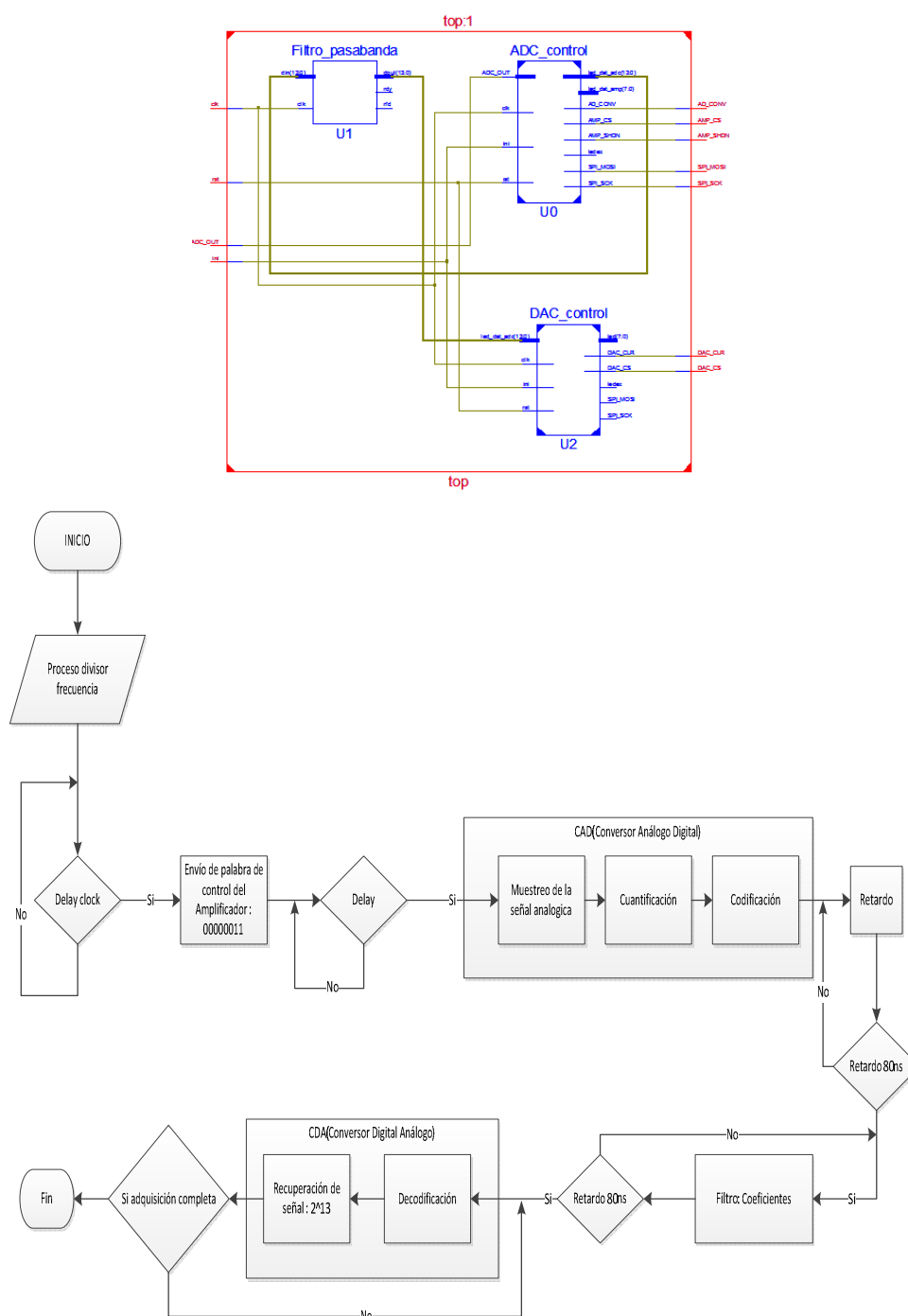


Figura 79: Diagrama Esquemático en Xilinx ISE

5. CAPITULO V

PRUEBAS DEL SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CALIDAD AUDITIVA

El presente proyecto de grado está basada en una investigación aplicada, tiene como fin el de llegar a determinar un sistema capaz de poder ofrecer un servicio de alta calidad auditiva hacia el personal de empresas que manejan grandes maquinarias que causan un alto nivel de ruido, así como también la de poder establecerse en el mercado como un producto comercial.

Muchas de las investigaciones aplicadas cometen errores al mezclar criterios de diseño en fundamentos teóricos entre DSP y FPGA, para ello se va a especificar brevemente sus cualidades en el desarrollo tecnológico en hardware.

Una FPGA (en origen, ahora las hay mucho más complejas) es un dispositivo de lógica programable en el que existen dentro un altísimo número de elementos básicos de lógica electrónica (como puertas, bi-estables, etc.) y por encima de ellas (en la oblea) hay unas matrices de interconexión que pueden programarse.

Generalmente si se acude a un diseño con FPGA es porque se necesitan una prestaciones críticas, que no es fácil asegurar por la vía (mucho más simple) de un procesador (un microprocesador, un micro-controlador, un DSP, o del tipo que sea). Es por ello que al final en el uso de FPGAs se suelen hacer especificaciones todavía cercanas al mundo del diseño hardware.

Un DSP es un tipo de microprocesador especializado para tareas de procesado de señal. En las técnicas de procesado digital de señal hay

determinado tipo de operaciones que son muy habituales. Los DSPs tienen una arquitectura interna que permite hacer esas cosas a velocidad máxima. Suelen tener varios buses de datos independientes ligados a un multiplicador y un acumulador.

Hay FPGAs que incluyen un pequeño módulo de DSP junto a las puertas, hay DSPs que tienen una sección de FPGA dentro, unos y otros pueden llevar dentro A/Ds y D/As, módulos para comunicación serie y USB, etc. De tal forma que, al reunirlos, en un solo chip puedes desarrollar todo el sistema.

El software es el mástil de la carpa en muchos de los productos FPGA modernas. Con eso en mente, Xilinx provee capacidad tanto de prototipo virtual como de prototipado de hardware con la meta de desarrollo y depuración.

Como un detalle se debe destacar que los diseños de filtros digitales se usan frecuentemente para tratamiento digital de imágenes o para tratamiento digital de señales. Los filtros FIR tienen la función que si la señales una señal impulso, la salida tendrá un número finito de términos no nulos.

Dado este criterio se establece que para obtener la salida solo se basan en entradas actuales y anteriores, estos tipos de filtro para su constante desarrollo se han apoyado en los dispositivos lógicos programables puesto que gracias a estos dispositivos se ha logrado un adecuado funcionamiento en tiempo real.

Los dispositivos de ayuda auditiva son diversos tipos de instrumentos auditivos los cuales se comercializan a bajos y altos costos, el dispositivo previamente estudiado y desarrollado se basa en todos los requerimientos que una persona en ambientes de trabajo requiere considerando su estabilidad de trabajo emocional y la inversión que la empresa invierte en el desarrollo.

5.1. Implementación del sistema de mejoramiento de calidad auditiva

El presente trabajo describe una nueva propuesta didáctico-metodológica llevada a cabo para el departamento de eléctrica y electrónica, la cual tiene como objetivo la implementación la cual tiene como objetivo principal el contribuir al mejoramiento de la comprensión auditiva en ambientes de trabajo industrial

En las prácticas de simulación realizadas en el Capítulo 4 se llegó a determinar que rendimiento del sistema funciona perfectamente por lo que se procedió a la generación del archivo bit-stream con el que se programa la tarjetas de desarrollo FPGA de usuario, para llevar a cabo este enunciado primero hay que generar el código VHDL a partir del sistema previamente analizado en el capítulo 4 con el software Matlab.

El presente diseño integra todos los fundamentos teóricos establecidos por los criterios de procesamiento digital de señales y la implementación del mismo como se muestra en la Figura 80, el sistema brinda al personal técnico y laboral de instituciones de producción a nivel regional el poder reducir las altas emisiones de ruido llegando a establecer un buen estilo de vida laboral.

La implementación del sistema integra varios componentes los cuales ayudan a mejora el rendimiento del sistema, todos estos elementos cumplen funciones específicas, cabe recalcar que la tarjeta de desarrollo FPGA ofrece múltiples forma de poder manipularla por software esto permitió el poder utilizar un rendimiento de la tarjeta a 97% dando a lugar a su máxima capacidad de operación del sistema de mejoramiento de calidad auditiva.



Figura 80: Implementación del sistema

El sistema de mejoramiento de calidad auditiva en ambientes de trabajo ofrece al usuario en condiciones de alto y bajo ruido producido por maquinas industriales una óptima comunicación, sin la necesidad de integrar algún otro tipo de dispositivo ya que este cumple con una especificación dada por el cliente y no es de fácil configuración.

El sistema de mejoramiento de calidad auditiva integra tecnología de última generación como son los sistemas embebidos FPGA en su versión de la familia Spartan 3A/AN como se muestra en la Figura 81, solo se debe mencionar que la tecnología implementada para el funcionamiento del sistema es la más utilizada en la actualidad por investigadores para el mejoramiento de la tecnología. Es la puerta para mejorar los sistemas integrados en la actualidad de comunicaciones y de control.



Figura 81: Tarjeta Spartan 3A/AN XSC300

El funcionamiento del presente proyecto plasmado en el prototipo implementado el cual está identificado en la Figura 80 integra los siguientes elementos y pasos para la configuración del prototipo y de la correspondiente manipulación del mismo.

5.1.1. Elementos que intervienen en el Sistema

Periférico de entrada para la adquisición de señales

Este periférico visualizado en la Figura 82, tiene como función principal la de facilitar al usuario el poder conectar un dispositivo de adquisición de señales de audio como un micrófono o MIC electronic por medio de su plug de 3.3 mm hacia el Jack que integra el periférico.

Como segunda función del periférico es la de realizar el acondicionamiento de la señal de entrada hacia el prototipo implementado en la FPGA, este proceso lo realiza por medio del integrado AN7116.

El AN7116 es un monolítico circuito integrado el cual cumple la función de amplificar señales específicamente de audio a potencias de 1W, tiene una función adicional la de poder ser configurado como un amplificador variable o fijo.

Este amplificador cumple un trabajo del 92 % de su capacidad de operación esto es debido a que se manipulan niveles de voltaje un poco elevadas en relación a la tarjeta FPGA, pero es aceptable para el rendimiento del sistema en general.

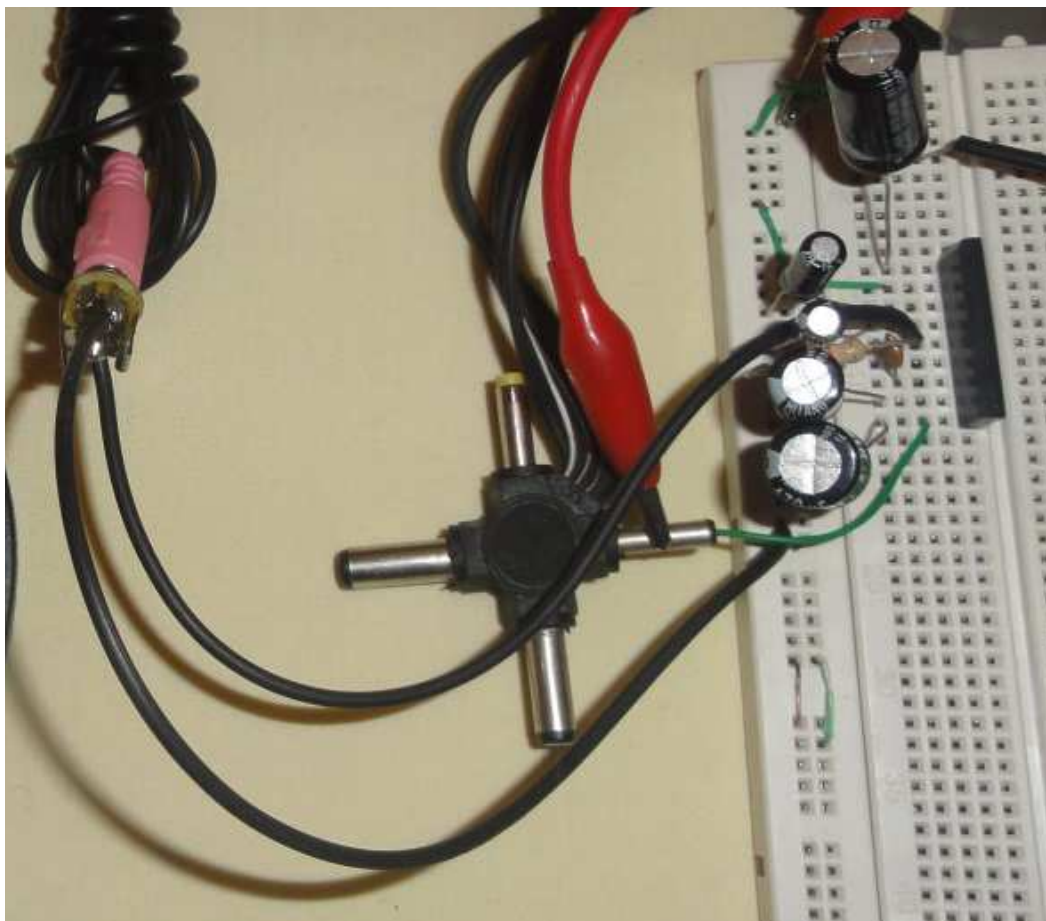


Figura 82: Periférico de Entrada del Sistema

Modulo para el Procesamiento Digital de Señales (PDS)

Sin lugar a duda los sistemas embebidos presentan un gran desempeño, para implementaciones de baja y alta escalabilidad, la meticulosa investigación de los avances tecnológicos se han ido extendiendo a largo, esto se debe a que los grandes países de la industria pretender tener sistemas que realicen procesos de forma rápida y segura.

Este módulo lo integra completamente la tarjeta de desarrollo Spartan 3A/AN por medio de sus elementos internos como es el Amplificador de señales de audio, Conversor Analógico Digital (CAD) y el Conversor Digital Analógico DCA como se puede observar en la Figura 83, internamente el integrado de Xilinx XSC300 realiza el control de los elementos por medio de múltiples configuraciones comprendiendo la conexión de los mismos y el tipo de comportamiento para el CAD y DCA

Del protocolo de comunicación SIP que integra la tarjeta de desarrollo Spartan 3A/AN, facilita la operatividad de los distintos elementos presentes en su placa, este protocolo se implementó en la programación ya que facilita en la programación reducir el nivel de procesamiento de la tarjeta, el protocolo SIP ejerce una jerarquía para la sincronización de los elementos, este parámetro es muy importante porque necesariamente se necesita un sistema de control para realizar los procesos internos en la tarjeta de desarrollo.

El módulo de PDS cumple con las características de sus predecesores que son las siguientes la frecuencia de muestreo esta en 4400Hz, utiliza una codificación de código turbo con un tamaño en símbolo de 4 bits presenta una mejora en el sistema con la incorporación en un libro o base de datos los cuales permiten almacenar la información y adaptarla a cualquier condición del medio, esto es debido que cuando se manipula señales de audio por medio de un DSP es muy difícil poder realizar la reconstrucción de la misma.



Figura 83: Módulo de procesamiento digital de señales

Este módulo brinda un rendimiento del 80 %, por lo tanto su comportamiento es aceptable para la manipulación de señales de audio, su función principal es la de manipular señales analógicas con niveles de voltaje menores a los 3.3V, el procesamiento interno que realiza la tarjeta de desarrollo FPGA Spartan 3A/AN es del 92% ahorrando recursos de procesamiento en comparación con equipos que realizan lo mismo pero necesitan de interfaces de software.

Se debe tomar en cuenta que la manipulación de la tarjeta Spartan 3A/AN necesita de un trato especial, para ello se debe seguir las respectivas instrucciones de operación dadas por el fabricante.

Periférico de Salida para la Emisión de Señales

Este diseño integra un acondicionador de señales porque la tarjeta envía señales con niveles de voltaje muy bajas y son propensas a ser distorsionadas por agentes externos en el cual se esté manipulando la señal de audio, para ello se integró el integrado AN7116.

Este integrado AN7116 cumple la función de acondicionar la señal del conversor digital análogo la cual se la adquiere por el puerto de la tarjeta nominado J1, esta señal puede llegar a ser amplificada a una potencia de 1W, dado que el integrado contiene una gran utilización en sistemas de telecomunicación permite acondicionar la señal a cualquier dispositivo genérico.

Como proceso final se anexo un plug al final del sistema esto es debido a que en el mercado hay un sinnúmero de dispositivos capaces de reproducir señales de audio, se tomó esta decisión al concebir que las pruebas son realizadas en múltiples ambientes y como una aplicación genérica.



Figura 84: Auricular del prototipo

El periférico de salida tiene un rendimiento de un 95% esto es debido a que el integrado AN7116 de audio está funcionando a un nivel de voltaje en el rango de 6 V a 9 V.

Cuando se realizó las pruebas de funcionamiento se pudo determinar dos factores importantes para la mejora del diseño el primer factor fue un pequeño nivel de ruido dado por la resistencia del parlante y el ruido que proporciona la placa donde se integró los circuitos de acondicionamiento de la señal de audio.

5.1.2. Conexión Tarjeta FPGA y PC

Paso 1.

Este proceso consiste en instalar los drivers de la tarjeta Spartan 3A/AN en el ordenador en el cual se va a desarrollar, manipular y grabar el programa realizado para el diseño realizado para el proyecto de mejoramiento de calidad auditiva.

Por medio del cable USB establecido entre la tarjeta Spartan 3A/AN y el ordenador se realiza la conexión física mostrada en la Figura 85, posterior a esta conexión se debe realizar una conexión lógica entre la PC y la tarjeta de programación Spartan 3A/AN, esta conexión la realiza la aplicación iMPACT esta es proporcionada por Xilinx 14.1.

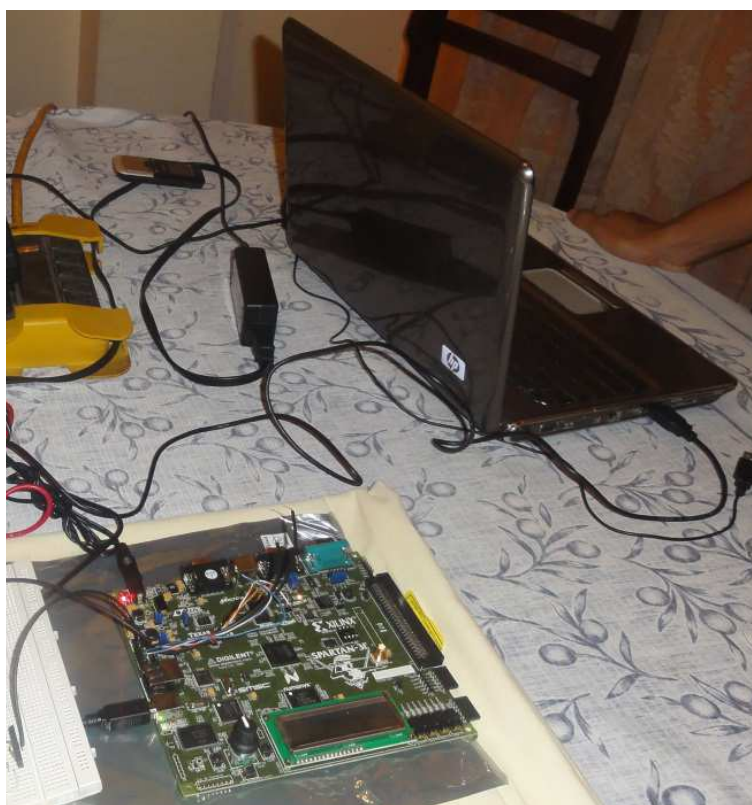


Figura 85: Conexión Spartan 3A/AN

Xilinx 14.1 integra una solución directa para realizar la conexión entre la familia de tarjetas de desarrollo Spartan y ordenadores de escritorio o portátiles esta aplicación es de fácil manipulación, iMPACT integra una amplia gama de familias para tarjetas de desarrollo FPGAs, se puede acceder a esta aplicación como se muestra en la Figura 86.

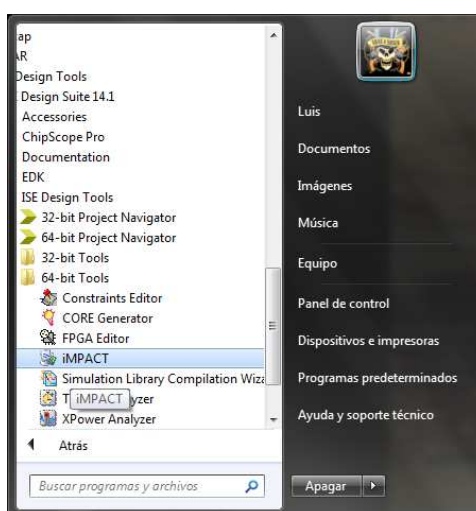


Figura 86: Acceso desde Windows 7 de iMPACT

Por medio del comando Ctrl+N se puede acceder directamente a una conexión directa realizando un escaneo automático del dispositivo conectado este proceso lleva un poco de tiempo ya que la tarjeta debe realizar un sincronismo con la PC, esto también ayuda a poder realizar las simulaciones realizadas en el Capítulo 4, y ha poder hacer emulaciones esta última depende del tipo de licencia que se haya comprado.

Al finalizar el escaneo de la tarjeta de programación Spartan 3A/AN, la aplicación iMPACT muestra en su ventana de ejecución la configuración interna de la tarjeta, el cual muestra los diferentes núcleos o circuitos impresos de Xilinx que la tarjeta de desarrollo integra como se visualiza en la Figura 87.

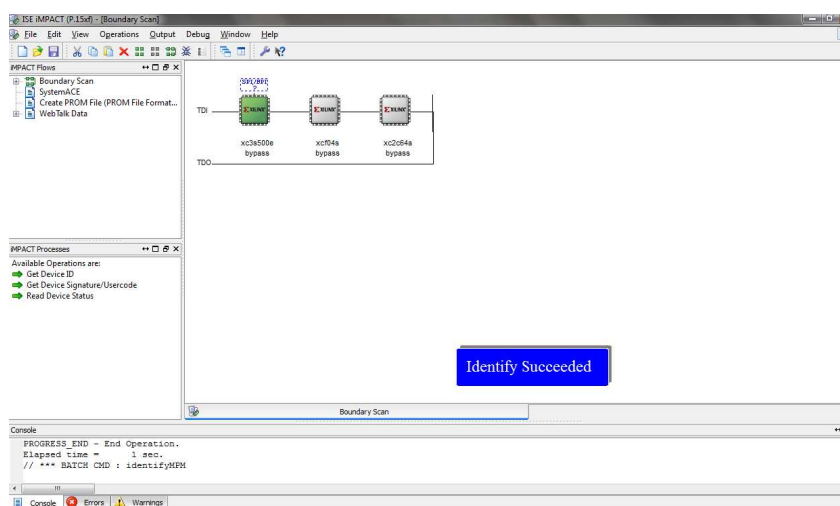


Figura 87: Identificación del dispositivo en iMPACT

Paso 2.

Realizado de forma satisfactoria el paso 1 se procede a realizar la configuración interna de la tarjeta en el cual se establecen los núcleos de los circuitos impresos de Xilinx, es indispensable establecer cual circuito impreso se va a establecer como el núcleo de control en la tarjeta (para mayor facilidad siempre se establece como núcleo principal el primero ubicado de izquierda y derecha), e identificar qué tipo de grabado de la aplicación se quiere realizar ya que se puede establecer un esporádico o permanente implementación de la aplicación.

Cada compilación de cualquier programa genera un archivo con extensión `.bit` el cual contiene las configuraciones básicas y necesarias del proyecto, si se ha realizado alguna conexión errónea simplemente puede bajar el rendimiento de la tarjeta y en casos extremos puede la tarjeta de desarrollo sufrir alguna avería.

Grabar Proyecto en Tarjeta FPGA Spartan 3E

En este literal intervienen dos componentes como son el proyecto desarrollado y la tarjeta Spartan 3A/AN XSC300, se debe posicionar en el núcleo principal, para integrar el proyecto se debe realizar doble click y realizar la búsqueda del archivo `"top.bit"` (top es el nombre del proyecto) el cual contiene toda la información de la aplicación desarrollada, así como la configuración de los periféricos internos y externos, en el resto de los núcleos no se debe cargar ningún archivo y dejar configurado por default así como se muestra en la Figura 88.

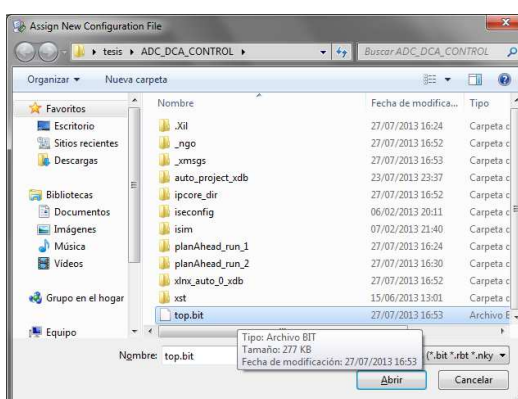


Figura 88: Cargar el archivo de configuración general del proyecto

La aplicación iMPACT realiza una previa verificación del compilado `.bit` por medio de su código fuente, este tipo de verificación permite determinar si la aplicación cargada corresponde al diseño de la tarjeta a ser programada.

Establecida una la compilación del programa en la tarjeta de desarrollo Spartan 3A/AN se debe esperar unos segundos hasta una correcta ejecución de la aplicación, terminada la verificación de ejecución de la aplicación se procede a realizar el correspondiente retiro del cable USB para que no sufra la tarjeta algún daño, esto se debe porque en el proyecto se integra niveles de voltaje en los rangos de 3.3 a 9 V.

Para culminar con el proceso de grabado del proyecto en la tarjeta en la tarjeta de desarrollo Spartan 3A/AN se procede a realizar el evento de programado para lo cual con un click izquierdo se accede a la opción como se muestra en la Figura 89.

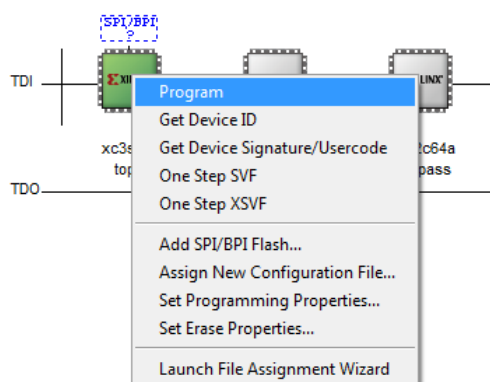


Figura 89: Evento para grabar el proyecto

Los desarrolladores de la compañía Xilinx han provisto mecanismos de protección en las tarjetas de desarrollo FPGA, en el que se especifica que toda aplicación de tener un proceso de verificación antes de ser grabada en la tarjeta FPGA, para lo cual iMPACT integra esta protección este evento se denomina programación satisfactoria como se muestra en la Figura 90.

Dado que es un proceso muy meticuloso automáticamente este evento se realiza sin necesidad de alguna autorización brindando así al desarrollador una óptima protección del hardware.

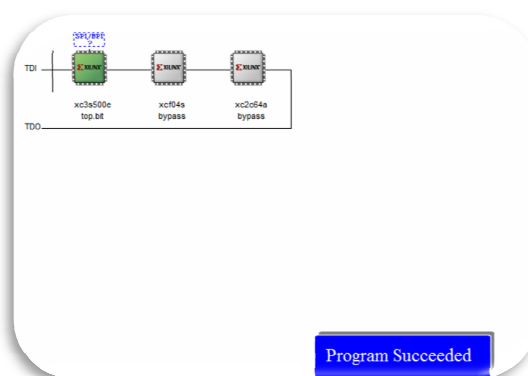


Figura 90: Finalización para un correcto grabado del proyecto

5.2. Pruebas del sistema

Las siguientes pruebas fueron realizadas en ambientes industriales con altas emisiones de ruido, se realizaron en dos escenarios como son la maquinaria industrial y los equipos eléctricos que utilizan los trabajadores en el área operativa, el tipo de adquisición de la señal se la realizó como prueba de campo.

Se procedió a adquirir la señal de prueba por medio de un dispositivo de adquisición de audio mostrado en la Figura 91, este dispositivo es de equipos para grabaciones de voz en estudios de grabación.



Figura 91: Micrófono para adquirir señal de muestra

Este mecanismo de adquisición de datos que se estableció cumple con las especificaciones de muestreo para la adaptación de la señal hacia la tarjeta FPGA las cuales se establecieron con anterioridad en el capítulo 3.

El número de muestras adquiridas en el campo de prueba presentaron un patrón en común el cual se llegó a establecer por la maquinaria industrial que se estaba manipulando, obteniendo una señal de muestra estándar porque cumple con los parámetros de análisis para el desarrollo del proyecto de tesis.

Previamente adquirida la señal estándar para el análisis se procedió a almacenar el archivo de audio en un ordenador en un formato genérico de reproducción llamado .wav

Antes de realizar la reproducción se debe realizar la configuración interna del equipo para las salidas de audio por el puerto auricular, la reproducción del archivo de audio estará dada por la aplicación de Windows 7 en su versión de Windows Media Player con un ciclo repetitivo esto se lo estableció por el comportamiento del prototipo ya que necesita un pequeño tiempo para estabilizar el sistema en un 98%.

5.2.1. Obtención de Resultados

Las pruebas que se realizaron para identificar el tipo de filtrado de audio que realiza la tarjeta FPGA y el rendimiento del mismo son hechas en el osciloscopio Tektronix TDS320 mostrado en la Figura 92, este equipo permite visualizar gráficamente las señales eléctricas variables en el tiempo, a partir de estas señales se puede determinar parámetros de la misma como frecuencia, periodo, amplitud,.. etc.



Figura 92: Osciloscopio Tektronix TDS320

Para verificar el correcto funcionamiento del prototipo se estableció un mecanismo de medición colocando una punta de medición a la entrada del sistema y otra a la salida del sistema, cada una identificada por el Canal 2 y Canal 1 respectivamente en el osciloscopio.

Dentro de las protecciones necesarias para la correcta manipulación del equipo se debe establecer una buena manipulación del equipo verificando el rendimiento del mismo con pruebas de funcionamiento de fábrica, ya que el sistema de supresión de ruido diseñado manipula señales antes y después de un procesamiento digital de señales.

El siguiente análisis que se detalla es de forma visual, esto es debido a que se dispone del equipo de medición Tektronix TDS320 por medio de sus herramientas que integra facilita la visualización permitiendo visualizar resultados.

Para realizar el análisis se consideró los dos principales niveles de ruido industriales considerando los cuales son de 70 dB a 90 dB

Resultados para un nivel de ruido de 70 dB

En la Figura 93 se visualiza las señales de audio obtenidas tanto en el ingreso y salida del sistema de mejoramiento de calidad auditiva, las señales están con un nivel de ruido de 70 dB, este parámetro es el de menos perjuicio para el personal de operación pero causa molestias al momento de establecer una comunicación fiable, se presentan síntomas de Hipoacusia moderada o media.

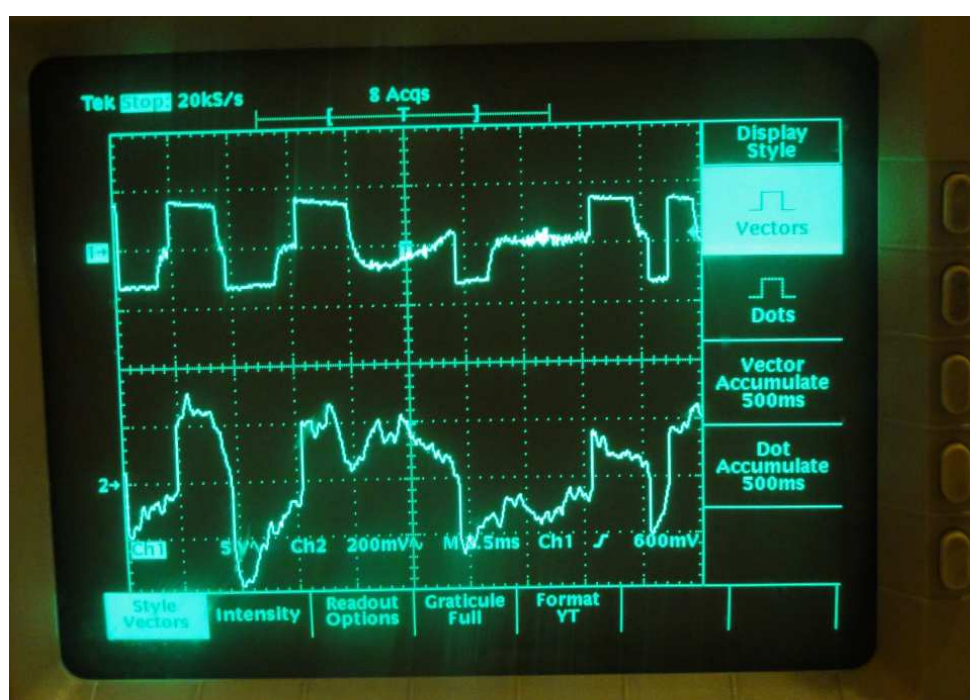


Figura 93: Medición del Sistema de mejoramiento de calidad auditiva para 70 dB

Observado las señales de audio en el Osciloscopio se puede determinar a simple vista que el sistema de mejoramiento de calidad auditiva suprime los niveles de ruido perjudiciales al oído humano, sin embargo hay pequeños factores que no permiten un funcionamiento del 100% de sistema, así también se puede establecer que la amplificación de la señal de audio es perceptible para el oído humano llegando a determinar en esta medición óptimos resultados.

Resultados para un nivel de ruido de 80 dB

En la Figura 94 se visualiza las señales analógicas obtenidas tanto en el ingreso y salida del sistema de mejoramiento de calidad auditiva con un nivel de ruido en los 80 dB, este parámetro es de nivel medio para el perjuicio del personal de operación, en este nivel de ruido se presentan síntomas de Hipoacusia severa.

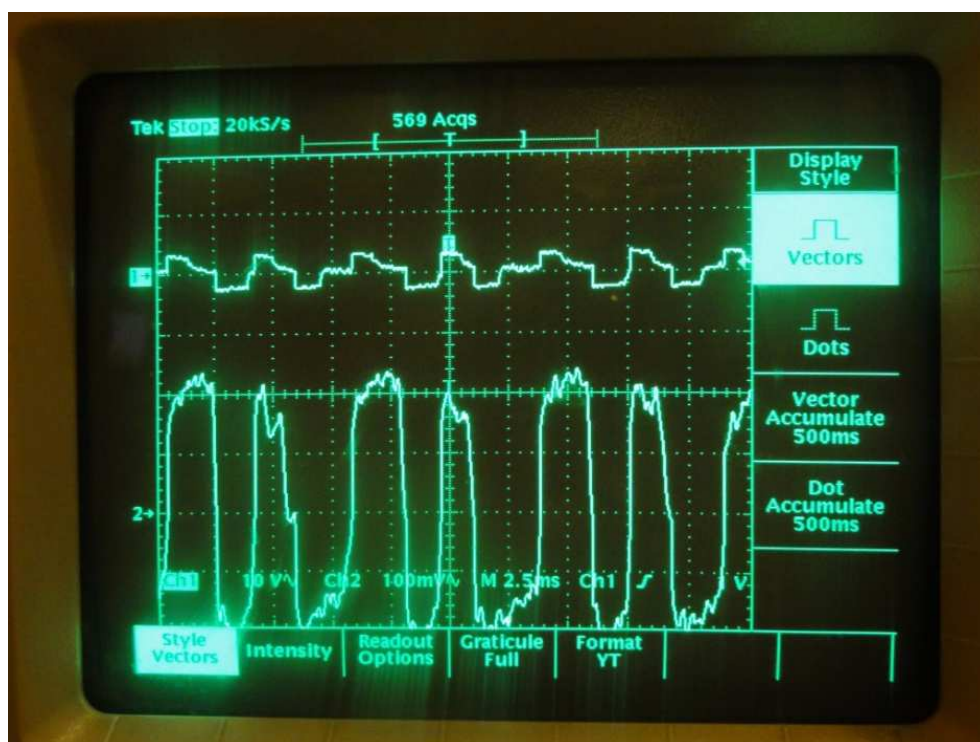


Figura 94: Medición del Sistema de mejoramiento de calidad auditiva para 80 dB

Realizando una observación minuciosa de las señales de audio en el Osciloscopio se puede determinar a simple vista que el sistema de mejoramiento de calidad auditiva suprime los niveles de ruido perjudiciales al oído humana aunque se realizó una amplificación un poco más elevada para obtener esta señal deseada, sin embargo hay pequeños factores que no permiten un funcionamiento del 100% de sistema,

Resultados para un nivel de ruido de 90 dB

En la Figura 95 se visualiza las señales analógicas obtenidas tanto en el ingreso y salida del sistema de mejoramiento de calidad auditiva con un nivel de ruido en los 90 dB, este parámetro es el de más perjuicio para el personal de operación causando molestias al momento de establecer una comunicación fiable y llegando a futuras enfermedades que causan un daño al rendimiento laboral y familiar.

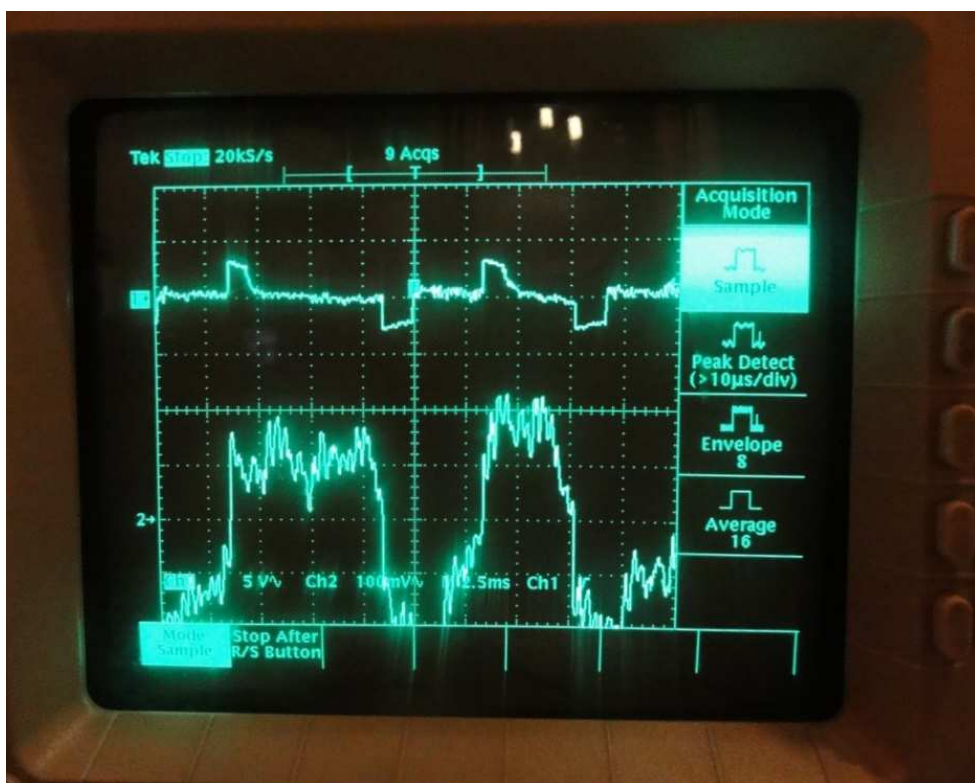


Figura 95: Medición del Sistema de mejoramiento de calidad auditiva para 90 dB.

Realizando una observación minuciosa de las señales de audio en el Osciloscopio se puede determinar a simple vista que el sistema de mejoramiento de calidad auditiva suprime los niveles de ruido perjudiciales al oído humano, el tipo de amplificación que se utilizó es la misma que en la medición realizada para un nivel de ruido de 80 dB, se tomó en cuenta que al ser un nivel de ruido muy elevado se debió tomar muchas precauciones al realizar la medición de la señal.

Dado que el sistema de mejoramiento de calidad auditiva cumple en los niveles de ruido de 70 dB, 80 dB y 90 dB y además de requerimientos establecidos como son su buena percepción y la supresión de ruidos en el rango de frecuencia de 200 Hz a 1000 Hz se puede llegar a determinar que la implementación sin duda alguna es completamente eficiente en condiciones de prueba de laboratorio.

5.3. Análisis de resultados

Las recomendaciones establecidas por la ECUACUSTICA el cual enuncia que “El control del ruido se establece en la fuente, ambiente y en el receptor o trabajador, se debe corregir en estos puntos de origen para así garantizar la seguridad y salud de los trabajadores”.

Con la obtención de los resultados satisfactorios del sistema de mejoramiento de calidad auditiva en ambientes de trabajo con niveles de ruidos, puede proceder a realizar los cálculos los cuales garantizan de forma segura el margen de error en el sistema, rendimiento del sistema y una comparación entre lo esperado inicialmente vs la implementación real del sistema.

5.3.1. Obtención de Potencias del sistema de Mejoramiento de Calidad auditiva

Cuando se mide potencia eléctrica y en específico de señales de audio, puede que se necesite usar un amplio rango de cifras numéricas. Los transmisores pueden emitir millones de watts y los receptores recibir billones de watts, también llamados nano-watts. Para hacer que la medición de potencias sea más sencilla, los ingenieros diseñaron el bel (nombrado tras Alexander Graham Bell) para usar valores exponenciales (el número de veces que multiplicas un número por sí mismo) para representar diferentes niveles de potencia.

Más tarde el término se transformó en "decibel", que es la décima parte de un bel, para dar un rango más extenso. Las mediciones de potencia en watts o mili-watts son mediciones absolutas, y aquellas en decibeles dan niveles relativos a un nivel de potencia de referencia.

Actualmente se puede observar que el nivel de audio se mide en dBV (ámbito doméstico) y en dBm (ámbito profesional), ambos van en vías paralelas. Para obtener estos resultados se señales a nivel de ámbito profesional se procedió a realizar la conversión de unidades, con la Ecuación 8.

$$P_{dBm} = 10 \log\left(\frac{P}{1mW}\right)$$

Ecuación 8: Calculo de la potencia

Calculo de la potencia promedio para el nivel de ruido en 70 dB

Potencia de Ingreso

$$P_{dBm} = 10 \log\left(\frac{0.02W}{1mW}\right) = 23.0103 \text{ dBm}$$

Potencia de Salida

$$P_{dBm} = 10 \log\left(\frac{0.06W}{1mW}\right) = 27.7815 \text{ dBm}$$

Calculo de la potencia promedio para el nivel de ruido en 80 dB

Potencia de Ingreso

$$P_{dBm} = 10 \log\left(\frac{0.1W}{1mW}\right) = 20 \text{ dBm}$$

Potencia de Salida

$$P_{dBm} = 10 \log\left(\frac{1W}{1mW}\right) = 30 \text{ dBm}$$

Calculo de la potencia promedio para el nivel de ruido en 90 dB

Potencia de Ingreso

$$P_{dBm} = 10 \log \left(\frac{0.8W}{1mW} \right) = 29.030 \text{ dBm}$$

Potencia de Salida

$$P_{dBm} = 10 \log \left(\frac{1W}{1mW} \right) = 30 \text{ dBm}$$

Como parte fundamental en el cálculo de potencia del sistema de mejoramiento de calidad auditiva se utilizó la fórmula de potencia absoluta como se muestra en la Ecuación 9, esta fórmula permite obtener el nivel de potencia para determinar el funcionamiento del sistema en condiciones de alto y bajo ruido.

$$P_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right)$$

Ecuación 9: Calculo de la potencia absoluta

Calculo de la potencia absoluta para el nivel de ruido en 70 dB

$$P_{dB} = 10 \log \left(\frac{600mV}{200mV} \right) = 4,7712$$

Calculo de la potencia absoluta para el nivel de ruido en 80 dB

$$P_{dB} = 10 \log \left(\frac{1V}{100mV} \right) = 10$$

Calculo de la potencia absoluta para el nivel de ruido en 90 dB

$$P_{dB} = 10 \log \left(\frac{1V}{800mV} \right) = 12,5$$

La Tabla 11 presenta los niveles de potencia a la entrada y la salida del sistema de mejoramiento de calidad auditiva, estos niveles de potencia representan las pruebas para los niveles de ruido en 70dB, 80dB y 90dB.

Tabla 11: Comparación de niveles d potencia de la Entrada y Salida del Sistema

Nivel de Ruido(dB)	Potencia de Entrada del Sistema(dBm)	Potencia de Salida del Sistema(dBm)	Potencia absoluta del Sistema(dB)
70	23.0103	27.7815	4.7712
80	20	30	10
90	29.030	30	12,5

Resultados obtenidos por medio del Osciloscopio Tektronix TDS320

El osciloscopio es básicamente un dispositivo de visualización gráfica que muestra señales eléctricas variables en el tiempo. El osciloscopio tiene una escala vertical calibrada en volts (0 mV) por cada división que sirve para medir la amplitud y una escala horizontal calibrada en segundos (0 ms) por cada división que sirve para medir el tiempo de uno o más períodos y de allí calcular la frecuencia.

El Osciloscopio Tektronix TDS320 tiene en su repertorio de herramientas "cursores" que son dos trazos paralelos desplazables independientemente y que se pueden poner horizontales o verticales estos trazos se colocan entre las zonas a medir por ejemplo en horizontal entre crestas y valles para la amplitud o en vertical entre dos crestas para el período y automáticamente el osciloscopio calcula la amplitud o la frecuencia.

Sin embargo hay nuevos osciloscopios los cuales realizan el cálculo de la longitud de onda para determinar en qué frecuencia está trabajando la señal a ser medida o manipulada.

El siguiente análisis que se realizó se orienta a la comparación entre el sistema desarrollado en Matlab® y el sistema implementado en la Tarjeta de

desarrollo FPGA Spartan 3A/AN, se obtuvo las frecuencias de operación del sistema de mejoramiento de calidad auditiva con la ayuda de las herramientas que integra el Osciloscopio Tektronix TDS320.

Este proceso es un preámbulo para llegar a determinar el funcionamiento del sistema de mejoramiento de calidad auditiva, indistintamente del cálculo que se llegue a obtener como margen de error las pruebas en calidad de audio son muy de excelente nitidez para el oído humano, esto se menciona ya que pueden haber errores en la lectura de los datos.

Los datos obtenidos para las frecuencias de trabajo del sistema de mejoramiento de calidad auditiva en los niveles de ruido para 70 dB, 80dB y 90 dB. Son los que se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12: Obtención del rango de frecuencias de operación del Sistema

Nivel de Ruido (dB)	Rango de Frecuencia Filtrado en Matlab(Hz)
70	195,34 – 1087,54
80	192,52 – 920,87
90	200,23 – 950,67

Comparación de los resultados Simulados y Prácticos

Establecidos las adquisiciones de los datos para el análisis del comportamiento en el sistema de mejoramiento de calidad auditiva, se puede proceder a realizar una comparación con los datos anteriormente calculados por medio de las simulaciones y emulaciones las cuales se detallan en el capítulo 4.

La siguiente Tabla 13 permite identificar el rendimiento del sistema de mejoramiento de calidad auditiva con comparación al análisis de la simulación.

Tabla 13: Comparación de resultados simulados y Prácticos

Nivel de Ruido (dB)	Rango de Frecuencia Filtrado en Matlab (Hz)	Rango de Frecuencia Filtrado en el Sistema de mejoramiento de calidad auditiva (Hz)
70	210 – 1100	195,34 – 1087,54
80	208 - 970	192,52 – 920,87
90	205 - 990	200,23 – 950,67

Por medio de la Tabla 13 se puede llegar a determinar la funcionalidad del sistema, como se puede observar con mucha facilidad el sistema tiene algunos pequeños desfases de frecuencia en relación al esperado por la simulación, no obstante se puede llegar a determinar que el sistema sigue cumpliendo con su finalidad para la eliminación de las señales de frecuencia no comprendidas por el filtro FIR pasa bandas.

Calculo de error del sistema para los diferentes niveles de ruido.

En una medición intervienen el experimentador, el patrón de medida y el sistema físico del que se desea medir alguna magnitud, para obtener una buena medición.

Los parámetros que se tomaron en cuenta para realizar el cálculo de error son los siguientes:

- Resolución: esta medida es la mínima división de la escala con ello se establece en que escala se está leyendo los niveles de voltajes.
- Sensibilidad: en esta medida se establece un número de muestras para realizar la medición este parámetro viene determinado por el equipo y los estándares vigentes en el mercado.
- Exactitud: es la cualidad que tiene el oscilador el cual indica que es preciso y está bien calibrado

Estos parámetros son representados en la Ecuación 10, la cual integra los criterios anteriormente mencionados para el cálculo de márgenes de error.

$$R\% = \frac{Val_{teorico} - Val_{practico}}{Val_{teorico}} * 100$$

Ecuación 10: Calculo del margen de error

Calculo para el nivel de ruido de 70 dB

Límite Inferior

$$E\%_{70dB} = \frac{210 - 195,34}{210} * 100 = 6,9805\%$$

Límite Superior

$$E\%_{70dB} = \frac{1100 - 1087,54}{1100} * 100 = 1,1327\%$$

Calculo para el nivel de ruido de 80 dB

Límite Inferior

$$E\%_{80dB} = \frac{208 - 192,52}{208} * 100 = 7,4423\%$$

Límite Superior

$$E\%_{80dB} = \frac{970 - 920,87}{920,87} * 100 = 5,3351\%$$

Calculo para el nivel de ruido de 90 dB

Límite Inferior

$$E\%_{90dB} = \frac{205 - 200,23}{208} * 100 = 2,2932\%$$

Límite Superior

$$E\%_{90dB} = \frac{990 - 950,67}{990} * 100 = 3,9727\%$$

Con anterioridad se pudo pre establecer un estimado de los resultados, esto lleva a determinar que el sistema presenta un pequeño margen de error pero en los rangos aceptables de +7% y -7%.

Calculo de Rendimiento del Sistema

El cálculo del rendimiento en el sistema de mejoramiento de calidad auditiva integra dos parámetros fundamentales para el análisis los cuales son: la potencia de salida y la potencia de entrada.

Se estableció el análisis de potencia ya que es un mecanismo para realizar mediciones de rendimiento en sistemas de audio como se muestra en la Ecuación 11.

$$R\% = \frac{P.Salida}{P.Entrada} * 100$$

Ecuación 11: Calculo del rendimiento del sistema

$$R\% = \frac{\frac{V_{out}^2}{R_{out}}}{\frac{V_{in}^2}{R_{in}}} * 100 = \frac{\frac{(200mV)^2}{8\Omega}}{\frac{(600mV)^2}{50\Omega}} * 100 = \frac{5000}{7200} * 100 = 70\%$$

Dentro de la investigación realizada para los sistemas embebidos con tecnología FPGA específicamente en la familia Spartan 3 se llegó a establecer un rango de funcionamiento óptimo para cualquier tipo de sistema integrado en la tarjeta de programación, el cual indica que dentro del 65 % y 85 % de su rendimiento, el sistema implementado en el dispositivo de desarrollo tendrá una larga durabilidad operativa y brinda al usuario un óptimo desempeño del mismo para nuestro caso de estudio un nivel de audio aceptable para el operador de maquinaria industrial.

5.3.2. Modified Bark Spectral Distortion

BSD fue desarrollado en la Universidad de California. Fue esencialmente la primera medida objetiva para incorporar las respuestas psicoacústicas. Su rendimiento fue bastante bueno para codificación de voz distorsiones en comparación con las medidas objetivas tradicionales (en el dominio del tiempo y en el dominio espectral). La medida BSD se basa en la suposición de que la calidad de voz está directamente relacionada con la sonoridad del habla, que es un término psicoacústico define como la magnitud de la sensación auditiva. Con el fin de calcular la sonoridad, la señal de voz se procesa utilizando los resultados de las mediciones de. BSD calcula la distorsión global mediante el uso de la distancia euclídea entre los vectores de sonoridad media de la referencia y de la voz distorsionada. BSD funciona bien en los casos en que la distorsión en las regiones sonoras representa la distorsión global, ya que sólo procesa las regiones sonoras; por esta razón, las regiones sonoras deben ser detectadas. El método se basa en los siguientes teoremas de transformación Espectrales.

Transformaciones espectrales

La adaptación del conjunto de referencias de templates a una nueva voz del locutor involucra la transformación de un espectro a otro que se relaciona de mucha mejor forma a las nuevas características espectrales del locutor. Suponga que es un espectro de voz producido por un locutor A. La transformación espectral es un mapeo, f , que convierte en la cual es más adecuada a ser producido por el locutor B. Un clásico enfoque a transformaciones espectrales es estimar el espectro de las cuerdas vocales (excitación) y las dimensiones del tracto vocal (principalmente la longitud) para locutores individuales, y entonces realizan la transformación espectral basados en el modelo del tracto vocal físico definido por los parámetros articulatorios estimados. La transformación es parametrizada por α y se escribe en la forma.

Otro enfoque popular para la transformación espectral es establecer una correspondencia entre los pares de espectros “típicos” de dos locutores basados en su ocurrencia en el mismo contexto de voz (esto es, vocales embebidas en palabras portadoras). El contexto podría simplemente ser una palabra, como se representó por una secuencia de entradas de libro código de cuantización vectorial (llamadas el reconocedor de palabras basado en palabras). (Esto podría también ser una secuencia de fonemas especificado). En lugar de utilizar un simple, transformación universal, parametrizada por θ , que mapean un espectro arbitrario a otro, el uso de palabras código VQ permite el mapeo no paramétrico para un conjunto finito de espectros “típico”. Esto por lo regular es más flexible, más efectivo mapeo que el universal, las transformaciones paramétricas θ por lo que no postulan de manera adecuada la existencia de tal función para el espectro arbitrario.

El procedimiento para determinar al apropiado conjunto de transformaciones es como sigue. Como es usual, se utiliza una notación vectorial; \mathbf{v}_A y \mathbf{v}_B son vectores espectrales obtenidos de repeticiones del locutor A y del locutor B respectivamente. Basados en el conjunto de vectores de entrenamiento coleccionados de las repeticiones del locutor B, se emplea el algoritmo de Lloyd generalizado para generar un libro código de tamaño N. Este libro código se utiliza entonces para cuantizar vectorialmente las secuencias espectrales de ciertas pronunciaciones de palabras conocidas. Sin pérdida de generalidad, si se considera que es una secuencia espectral para una muestra de una palabra en particular. La cuantización vectorial con \mathbf{v}_B resulta en:

Notar que el libro código no es óptimo en el sentido de la distorsión promedio mínima. Sin embargo, si \mathbf{v}_A y \mathbf{v}_B son razonablemente cerrada, la calidad de la distorsión de \mathbf{v}_A puede ser cercanamente óptima y codificada con \mathbf{v}_B podría resultar en una secuencia de índices altamente correlacionados con \mathbf{v}_A excepto por la alineación temporal.

DE cualquier forma, las transformaciones espectrales basadas en VQ mapean un espectro arbitrario de un locutor a otro espectro que es miembro de una colección finita de espectro típicos de otro locutor. Este tipo de transformación puede resultar efectiva en el reconocimiento de voz.

Jerarquía de Clusterización Espectral

La clusterización espectral jerárquica es una técnica de clusterización adaptativa que realiza la adaptación del locutor de manera automática, de una manera auto-organizada. Otra vez, en el sistema de reconocimiento de palabras basado en VQ, cada palabra o clase de muestra se representa por un conjunto de secuencias indexadas de VQ que se conocen como “el diccionario de palabras”. El diccionario de palabras representa todas las pronunciaciones y variaciones posibles de la palabra (por diferentes locutores) a un locutor en particular mientras que la secuencia de índices permanece intacta.

La idea clave de este método de adaptación es clusterizar de forma jerárquica el cluster del espectro en el nuevo conjunto de entrenamiento en correspondencia con aquellos en el libro código VQ original. La correspondencia entre el centroide de un nuevo cluster y la palabra código original se establece por medio de un vector de desviación. El método trabaja como sigue.

Reconocimiento de Voz en Entornos Ruidosos

La calidad de la mayoría de los sistemas de reconocimiento de voz, en donde los diseños son predicados sobre consideraciones ambientales, tales como bajo ruido de fondo, se degradan rápidamente en presencia de ruido y distorsión. Este es un factor importante de considerar en el problema del reconocimiento de voz en ambientes adversos que son inevitablemente aplicaciones del mundo real.

A manera de ejemplo, Dautrich et. Demostró que un reconocedor de palabras aisladas entrenado virtualmente sin ruido fue capaz de alcanzar un total de 95% de calidad tuvo un orden de incremento en magnitud en la razón de error cuando se probó con muestras contaminadas con ruido a una relación de señal a ruido de 18 dB. En resume los resultados de e ilustra muchas consideraciones claves en el reconocimiento de voz ruidosa. Primero, como la curva (etiquetada como matching S/N) muestra, un reconocedor puede otorgar una buena calidad aún en condiciones con mucho ruido de fondo si las mismas condiciones de prueba (nivel de ruido) se utilizan para contener el material de entrenamiento del cual los patrones de referencia del vocabulario se obtienen. Segundo, la degradación en la calidad del reconocimiento debido al ruido puede ser significativamente reducida si los patrones de referencia almacenados son entrenados bajo las condiciones que se aproximan a las condiciones de prueba ruidosas (ver la curva etiquetada como MISMATCHED S/M – TEST S/N= 18 dB en donde la abscisa representa el nivel de ruido agregado a los patrones de referencia). Estos resultados indican ciertas formas ciertas formas que se manifiestan alrededor del problema del ruido, lo inadecuado proviene del hecho de que los patrones de referencia del entrenamiento bajo la relación exacta de las condiciones de ruido de las muestras de prueba es realista y que los patrones de entrenamiento y de referencia basados en entradas ruidosas contienen una calidad inaceptable cuando las condiciones de prueba no involucran al ruido. Así, el uso del término “ambientes adversos” implica no conocimiento, no relación, y muchas diferencias en el ambiente y otras variables entre el entrenamiento y la prueba. Obviamente, en la consideración del reconocimiento de voz en ambientes adversos, la meta es tener un reconocedor automático con calidad robusta aproximándose a las condiciones de relación (esto es como si el reconocedor fuera entrenado y probado bajo las mismas condiciones).

Condiciones Adversas en el Reconocimiento de Voz

Un reconocedor de voz regularmente encuentra tres causas principales de condiciones adversas: ruido, distorsión, y efectos de articulación humana.

- Ruido:

Un ambiente acústico ruidoso es considerado regularmente aditivo, lo que significa que la señal grabada es una suma de la señal de voz y el ruido del ambiente. Los altos niveles de ruido ambiental son de las condiciones primarias de que se analizan en un reconocedor de voz. Las fuentes de ruido ambiente son abundantes. Por ejemplo, en un ambiente de oficina, las fuentes de ruido incluyen maquinaria de oficina tales como máquina de escribir o impresoras, computadoras personales, o estaciones de trabajo, las cuales son por lo regular equipadas con componentes en movimiento tales como discos y ventiladores, el teléfono y las conversaciones del personal. Estas fuentes contienen suficiente ruido acústico para causar bastante degradación en la calidad de un reconocedor de voz. El nivel de presión sonora (SPL) en una oficina normalmente varía entre los 45-50 dBA (criterio de ruido 40~45). De un modelo alisado todo-polos de orden 16, de un ambiente ruidoso grabado en una oficina de personal con una SUN 3/110 trabajando. En una oficina de negocios en donde las actividades secretariales se realizan, el SPL podría ser entre 15-20dB más alto que en una oficina personal. Dentro de un automóvil, el nivel de ruido acústico del motor, el ventilador de enfriamiento, llantas es considerablemente más alto y particularmente cuando el automóvil se desplaza a altas velocidades. No es usual que la relación señal a ruido de las señales de voz grabadas en un carro de pasajeros con un micrófono montado sobre el asiento en la parte frontal del operador/locutor esté debajo de 5 dB cuando el carro está cruzando a una alta velocidad de 90 km/h con una ventana cerrada y el ventilador esté apagado.

El ruido debido a los equipos de transmisión y conmutación en una red telefónica pueden en algunas ocasiones ser un factor que afecte la calidad del reconocedor.

- Distorsión:

De la misma forma que la contaminación aditiva debido a las señales ruidosas, las señales pronunciadas inevitablemente contienen una serie de distorsiones espectrales antes de ser grabadas y procesadas para el reconocimiento de voz. (Existen dos tipos de distorsiones – lineal y no lineal- casi la mayoría de lo que aquí se presenta tratará sobre la distorsión lineal). El cuarto en el cual la unidad de reconocimiento de voz es colocada por lo regular presenta un variante grado de reverberación que puede alterar el espectro de la señal. El micrófono que funciona como transductor, dependiendo de su tipo y posición de montaje, también puede distorsionar de manera significativa el espectro de la señal de voz. Cuando la configuración del transductor utilizado en la prueba es diferente a la utilizada a la que se utiliza durante el entrenamiento de los patrones de referencia, se presenta un problema en la distorsión espectral siendo uno de los mayores problemas. Por ejemplo, se reportó en que un sistema de reconocimiento de vocabulario grande con una calidad base del 85% de palabras adecuadas en una condición de transductor relacionado (micrófono de habla cerrado Sennheiser HMD224 utilizado tanto para entrenamiento como reconocimiento) alcanzó solamente un nivel del 19% de palabras adecuadas cuando un micrófono diferente (Crown PZM6fs de escritorio fue utilizado) durante la prueba de prueba.] (W. Yang, 1997)

Cuando un reconocedor automático de voz es desarrollado en una red telefónica, el canal telefónico a través del cual la señal de voz viaja puede causar mucha mayor distorsión del espectro de la señal.

Para la obtención de un valor de dimensionamiento objetivo que nos de la correlación de la ganancia de la señal filtrada y señal con ruido (Figura 96), se ha implementado en la herramienta de cálculo matemático Matlab, un programa que ejecute el proceso para calcular dicho valor utilizando el método MBSD.

El programa a ser utilizado manipula una muestra de 20ms de cada una de las señales con ruido y filtrada respectivamente. Por lo que antes de utilizar el programa MBSD se debe ajustar las dos señales debido a que por cuestiones de retardos introducidos en el procesamiento de las señales, la señal filtrada tendrá un retardo imperceptible para el oído humano, pero que debe ser considerada en la ejecución del programa.

Para el ajuste de las señales se han tomado los picos máximos de ambas señales y de acuerdo a su posición se ha calculado el número de muestras recorridas por las que se ha desfasado la señal filtrada, para lo cual se ha utilizado la Ecuación 12.

$$\#muestra = Fr(Nyquist) * \text{Tiempo de la señal}$$

$$Fr(Nyquist) = 8\text{Khz}$$

Ecuación 12: Numero de muestras para $Fr(Nyquist)=8k$

Tiempo de la señal= Tiempo en el eje x de la señal pico a ser comparada.

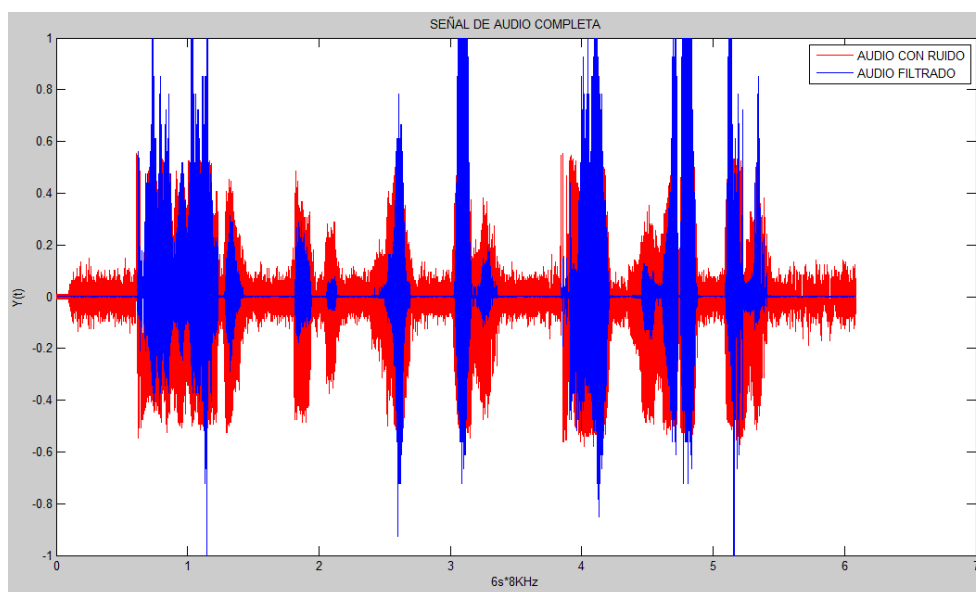


Figura 96: Grafica de las señales originales

Después de calcular el desfase se determinó que por motivos de procesamiento de la señal, la señal filtrada se ha recorrido 5 muestras o 625 micros segundos mostradas en las Figuras (97 a la 101).

Una vez que se ha conseguido ajustar ambas señales, señal con ruido y señal filtrada respectivamente, se procede a coger 20ms o 160 muestras de cada una de las señales.

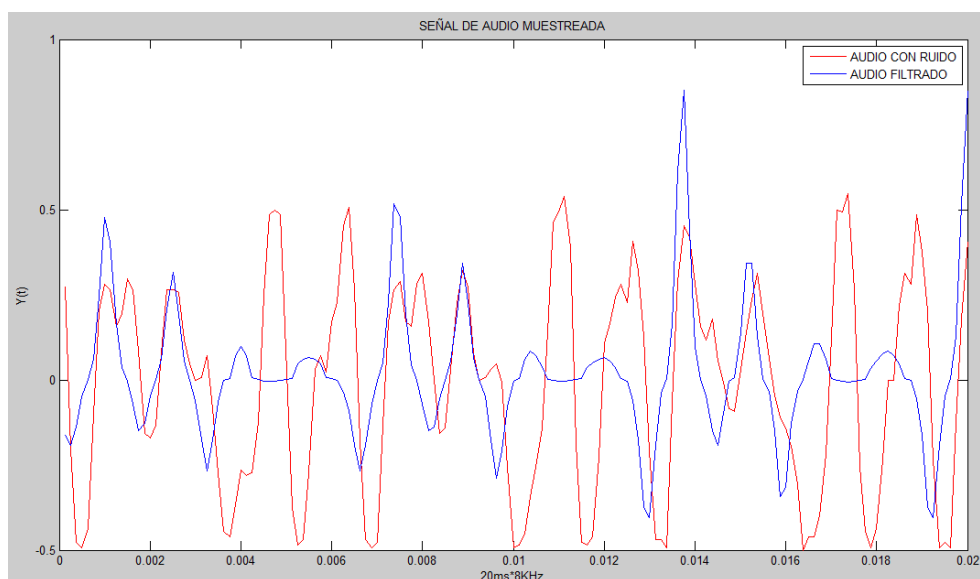


Figura 97: Grafica de las muestras de las señales con un tiempo de 1.1s

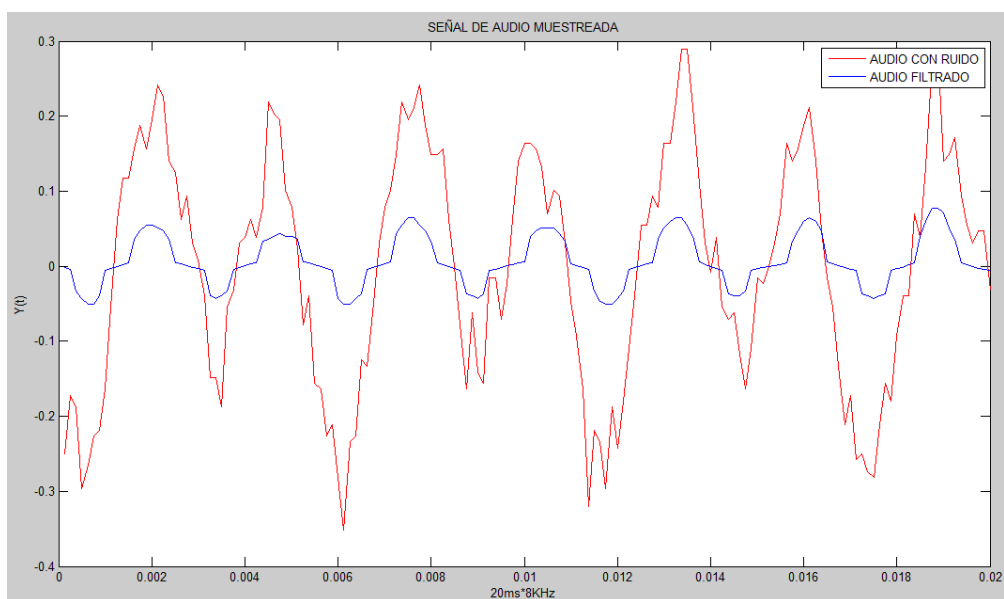


Figura 98: Grafica de las muestras de las señales con un tiempo de 2.1s

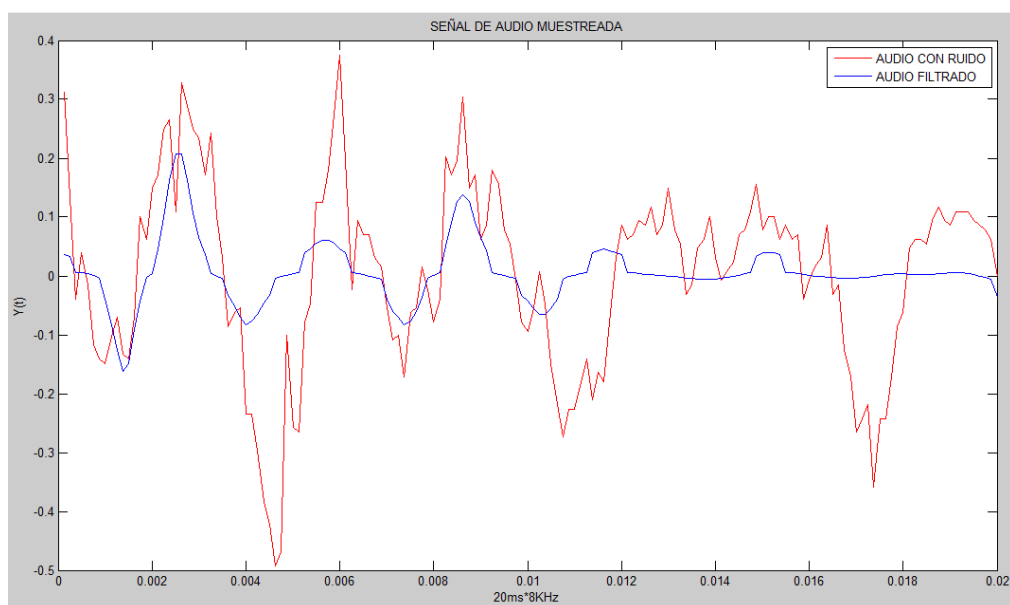


Figura 99: Grafica de las muestras de las señales con un tiempo de 2.1s

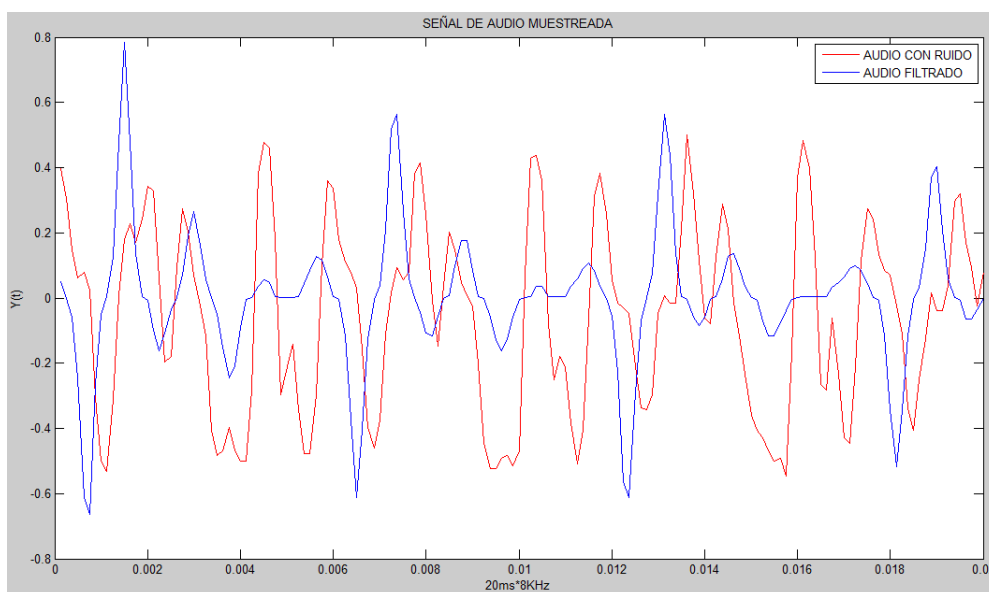


Figura 100: Grafica de las muestras de las señales con un tiempo de 4.1s

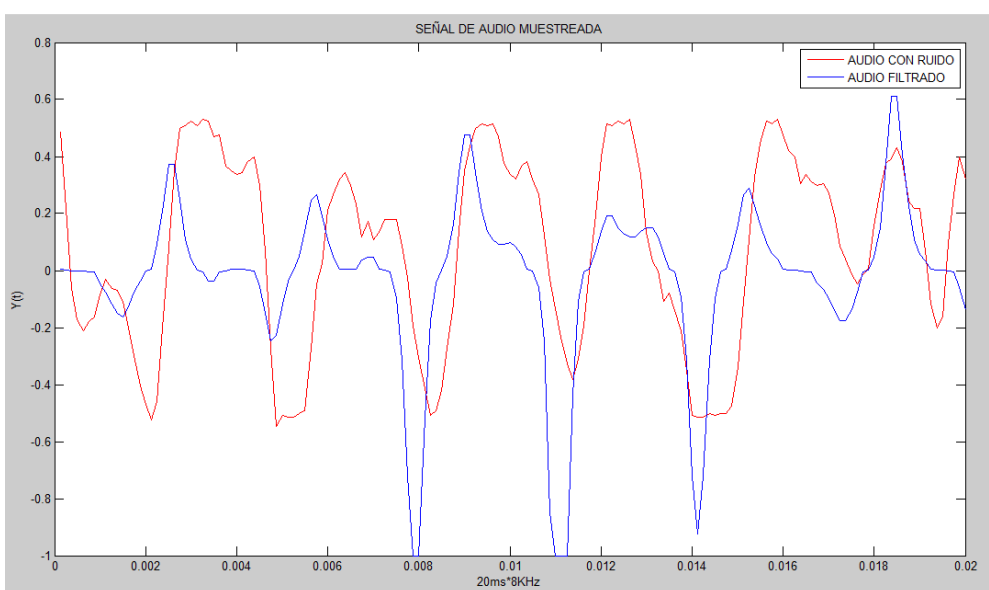


Figura 101: Grafica de las muestras de las señales con un tiempo de 5.1s

Es importante coger muestras de señal con amplia información (picos altos de información), luego de tomar varias muestras y por ende varios cálculos se ha determinado que el valor promedio del dimensionamiento objetivo que nos da la correlación de la ganancia de la señal filtrada y señal con ruido es de 8,77dBs como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14: Resultados de la ejecución del programa MBSD.

Prueba	Ganancia dBs	Tiempo de Muestra
1	10,67	1,1
2	7,26	2,1
3	7,08	3,15
4	9,088	4,15
5	9,78	5,15
Ganancia Promedio	8,7756	

Finalmente se puede llegar a determinar que dentro de la investigación realizada para los sistemas embebidos con tecnología FPGA específicamente en la familia Spartan 3 se llegó a establecer un rango de funcionamiento óptimo para cualquier tipo de sistema integrado en la tarjeta de programación, el cual indica que dentro del 65 % y 85 % de su rendimiento, el sistema implementado en el dispositivo de desarrollo tendrá una larga durabilidad operativa y brinda al usuario un óptimo desempeño del mismo para nuestro caso de estudio un nivel de audio aceptable para el operador de maquinaria industrial.

6. CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La herramienta más eficiente para realizar los procesos matemáticos permitiendo modelar cualquier tipo de filtro y realizar la verificación del comportamiento del mismo es Matlab, si duda alguna esta herramienta ofrece su máximo potencial es sus últimas versiones ya que consta de nuevas herramientas que facilitan su uso.
- Las tarjetas de desarrollo FPGA en la Familia Spartan 3A/AN permite desarrollar sistemas de audio con un rendimiento del 70 % , adecuando a las necesidades de múltiples factores que se quieran modelar en el sistema, para su mayor optimización se pueden integrar los módulos dedicados permitiendo garantizar su rendimiento a un 98%.
- Se llegó a determinar que los filtros FIR son los más idóneos para la implementación en sistemas embebidos permitiendo manipular señales de audio en tiempo real, manipulando altas tasas de muestreo, esta característica es ideal ya que la tarjeta de desarrollo FPGA Spartan 3A presenta algoritmos dedicados a optimizar sistemas de audio.
- En el diseño del sistema se utilizaron las mejores opciones para integrar periféricos compatibles en sistemas embebidos como es el micrófono, el auricular, estos integran un circuito el cual facilita manipular niveles de audio muy bajas.

- Se llegó a establecer un sistema para el mejoramiento de calidad auditiva capaz de ofrecer las mismas ventajas y rendimientos que otros dispositivos establecidos en el mercado por empresas dedicadas a facilitar un ambiente de trabajo sin ruido.

6.2.Recomendaciones

- Es recomendable tener un buen computador para realizar la ejecución de aplicaciones realizadas en Matlab, porque dentro del procesamiento digital de señales se necesita amplio nivel de procesamiento establecidos en el capítulo 2, así como de una versión reciente de Matlab porque las funciones que integra son proporcionadas por desarrolladores que se especializan en necesidades de los clientes.
- Se recomienda tener un conocimiento de nivel medio acerca del lenguaje de programación en VHDL, ya que este tipo de lenguaje comprende un complejo nivel de desarrollo a nivel de hardware, para ello se debe seguir un curso de 120 horas, estar en constante práctica en el software Xilinx y de tener a la mano un kit de desarrollo como por ejemplo la familia Spartan.
- Se recomienda realizar pruebas de nivel de tensión antes de realizar las conexiones hacia la tarjeta, esto garantizara que la tarjeta no sufra un sobrecalentamiento del circuito impreso Xilinx y no dañe al resto de periféricos conectados hacia la misma o los que integran la tarjeta de fábrica, además de integrar todas las seguridades necesarias acerca de la Tarjeta de desarrollo Xilinx Spartan 3A/AN.
- Es recomendable comprobar el buen funcionamiento de las sondas para realizar las mediciones de las señales a la entrada y la salida del

sistema, antes de realizar las mediciones se necesita comprobar el funcionamiento del osciloscopio con pruebas de funcionamiento básicas, así como ajustar todas las señales en toda la pantalla del osciloscopio y finalmente el de identificar en qué tipo de escala se encuentra la señal que se está visualizando en la pantalla y de qué tipo de escala se está utilizando en la punta de prueba.

BIBLIOGRAFIA

- Centro del audífono. (2011, Enero). *Centro del audífono*. Retrieved from http://www.centrodelaudifono.es/causa_pa.html
- CEPAL. (2011). *Las personas con discapacidad en América Latina*. Santiago de Chile: UNFPA.
- Coclear. (2009). Sistema Nucleos 5. *Hear now and always*, 6-8.
- Ecología y Vida. (Junio de 2013). <http://www.ecologia-vida.com.ar/>. Obtenido de http://www.ecologia-vida.com.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=101&Itemid=42
- European Agency for Safety and Health at Work. (2012). *Data to describe the link between OSH and employability*. Bilbao: Monitoring.
- Family Doctor. (2008, Agosto). *Family Doctor*. Retrieved from <http://familydoctor.org/familydoctor/es/prevention-wellness/staying-healthy/occupational-health/hearing-noise-induced-hearing-loss.html>
- GAES. (2012, Octubre). <http://www.viviendoelsonido.com/>. Retrieved from <http://www.viviendoelsonido.com/pages/index/ruido-y-trabajo>
- Maxinez, D. G., & Alcalá, J. (2002). *VHDL El arte de programar sistemas digitales*. México D.F.: Compañía editorial Continental.
- Medlab. (2005, Noviembre). <http://www.medlab.com.ni/>. Retrieved from http://www.medlab.com.ni/medio_amb.php
- Ministerio del Ambiente Colombia. (2006, Febrero). <http://www.minambiente.gov.co/>. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/documentos/3126_1727_Documento_soporte_ruido_mayo_25.pdf
- Sánchez, J. J., & Ruiz, A. B. (2011). *Cambios educativos y formativos para el desarrollo humano y sostenible*. Murcia: Ediciones de la Universidad de Murcia.
- Sense Internacional. (2010, Septiembre). <http://www.sordoceguera.org/>. Retrieved from http://www.sordoceguera.org/vc3/sub/mapa_sitio.php

- Universidad de Córdoba Escuela Politécnica Superior. (2001, Septiembre).
<http://rabfis15.uco.es/>. Retrieved from
[http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/\(4\)%20efectos%20del%20ruido/efectos%20del%20ruido%20en%20la%20audicion.htm](http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/(4)%20efectos%20del%20ruido/efectos%20del%20ruido%20en%20la%20audicion.htm)
- Vida y Salud en Línea de la Dra. Aliza. (2008, Agosto).
<http://www.vidaysalud.com/>. Retrieved from
<http://www.vidaysalud.com/su-salud-de-a-a-z/sintomas/perdida-de-la-audicion-en-adultos/>
- W. Yang, M. D. (1997). A modified bark. *IEEE Speech Coding Workshop*,.
- Xilinx. (2008). *Spartan-3A/3AN FPGA Starter Kit Board User Guide*. San José California: Xilinx.

FIRMAS

Sangolquí, 13 de Mayo del 2014

ELABORADO POR

Sr. Luis Ignacio Oña Jacho

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Paul Bernal