

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Diseño e implementación de un sensor para la detección de motosierras de la red inalámbrica de telecomunicaciones para la Protección Ambiental en el bosque

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Walter Salas Pérez

Cartago, junio de 2005

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



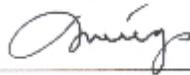
Dr. Ing. Pablo Alvarado Moya

Profesor lector



Ing. Nestor Hernández Hostaller

Profesor lector



Ing. Luis Paulino Méndez
Profesor asesor



Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 17 de junio de 2005

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.



Cartago, 17 de junio de 2005

Firma

Walter Salas Pérez

Céd: 1-1058-532

Resumen

El objetivo de este proyecto consiste en la creación de una herramienta eficaz que colabore con la protección de las zonas boscosas protegidas de Costa Rica.

En la actualidad Costa Rica ha tomado la iniciativa de conservar sus recursos naturales, teniendo un desarrollo en armonía con la naturaleza.

Como parte de las acciones que se han tomado, se encuentra la protección de los bosques, los cuales sirven de hábitat para una gran variedad de especies, tanto de flora como de fauna, muchas de las cuales solo existen en nuestro país.

Este proyecto diseña un sistema capaz de detectar motosierras mediante una red neuronal artificial de una capa, con la cual se pretende dotar a cualquier persona interesada de un medio tecnológico que optimice su capacidad de monitoreo de áreas de conservación natural. El medio utilizado para llevar a cabo la detección es el aire, ya que se realiza a través de audio.

Se espera que en un futuro cercano se pueda elaborar una red que cubra la totalidad de las zonas protegidas de Costa Rica, para que de esta manera, cuando se estén cortando árboles de manera ilegal, se active una alarma que notifique a los guarda-parques, y se pueda proceder a la detención de esta actividad.

Palabras clave: sensor motosierra, protección bosques, matlab, discriminador Fisher

Abstract

The objective of this project consists in the creation of an efficient tool that collaborates with the vigilance of Costa Rica's protected forest.

Currently, Costa Rica has taken the initiative to conserve its natural resources, having a development in harmony with the nature.

As part of the actions that have been taken, the forest's protection is a priority, because it serves as habitat for a great variety of species of flora and fauna, many of them only exist in our country.

This project designs a system able to detect power saw, through a neural artificial network of a single layer, fact for any person that want to protect forests. The way used to detect the power saw is the air, due the system work with audio.

It is expected that soon can devise a protection's network for all the protected zones of Costa Rica.

It is expected that in a nearby future can devise a network that cover the totality of the zones protected of Costa Rica, so that, when trees are being cut in an illegal way, an alarm be activated that notify to the guard-parks, and can proceed to detention of this activity

Keywords: sensor power saw, protected forest, matlab, Fisher discriminant.

Encomienda a Jehová tu camino,

confía en él y el hará...

Salmo 37:5

Dedicatoria

A Dios por acompañarme en todo momento a lo largo de este trayecto, dándome las fuerzas para seguir adelante y por bendecirme con una familia sin la cual no habría podido lograrlo.

Agradecimientos

Al profesor Pablo Alvarado por su ayuda incondicional en la realización del proyecto, muchas gracias, no solo por su colaboración técnica, sino también por ser un amigo en todo momento.

Al profesor Nestor Hernández, por permitirnos participar en un proyecto tan visionario y de una causa tan noble. Además, por su apoyo a lo largo del proyecto.

Al profesor Luis Paulino Méndez por su guía y su preocupación en aras de la calidad del proyecto.

Índice General

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Problema existente e importancia de su solución.....	1
1.2 Solución seleccionada.....	3
Capítulo 2: Meta y objetivos	6
2.1 Meta.....	6
2.2 Objetivo General.....	6
2.3 Objetivos específicos.....	7
a. Objetivos de hardware	7
b. Objetivos de software	7
c. Objetivos de documentación	7
d. Objetivos de implementación	7
Capítulo 3: Marco teórico	8
3.1 Descripción del sistema.....	8
3.2 Antecedentes bibliográficos.....	9
3.2.1 Detección por emisiones electromagnéticas.....	9
3.2.2 Transformada de Fourier	10
3.2.3 Localización satelital (GPS)	11
3.2.4 Identificación de patrones mediante una PC.....	12
3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.	13
3.3.1 Propagación del sonido.....	13
3.3.1.1 Influencia del suelo en la propagación del sonido	13
3.3.1.2 Interferencia	14
3.3.1.3 Frecuencia del sonido:	14
3.3.1.4 La intensidad sonora	14
3.3.1.5 Presión sonora	15
3.3.1.6 Timbre	15
3.3.1.7 La fase.....	16
3.3.2 Transformada de Fourier	17
3.3.2.1 Teorema del muestreo (Frecuencia de Nyquist).....	19
3.3.2.2 Espectograma	19
3.3.3 Filtros	21
3.3.3.1 Orden	23
3.3.3.2 Tipos de filtro	24

3.3.3.3 Filtros switch capacitor	25
3.3.4 Discriminante lineal de fisher	27
3.3.4 Redes Neuronales Artificiales	31
3.3.4.1 Entrenamiento	34
3.3.5 Amplificadores operacionales	35
3.3.6 Probabilidad y estadística	38
Capítulo 4: Procedimiento metodológico.....	42
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	42
4.2 Obtención y análisis de información	44
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	46
4.3.1 Emisiones electromagnéticas	46
4.3.2 Transformada de Fourier	46
4.3.3 Redes Neuronales Artificiales	46
4.3.4 Localización satelital (GPS).....	47
4.3.5 Identificación de patrones mediante la PC	47
4.4 Implementación de la solución.....	48
4.5 Reevaluación y rediseño.....	50
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución (Explicación del diseño).....	51
5.1 Análisis de soluciones y selección final	51
5.1.1 Emisiones electromagnéticas	51
5.1.2 Transformada de Fourier	51
5.1.3 Redes Neuronales Artificiales	52
5.1.4 Localización satelital (GPS).....	52
5.1.5 Identificación de patrones mediante la PC	52
5.2 Descripción del hardware	53
5.2.1 Recepción de la señal.....	54
5.2.2 Acondicionamiento de la señal	56
5.2.3 Procesamiento de la señal.....	62
5.2.4 Discriminante lineal y activación del sensor.....	67
5.2.4.1 Promedio de la señal proveniente de los filtros	68
5.2.4.2 Suma de señales correspondientes a motosierra.....	69
5.2.4.3 Suma de señales no correspondientes a motosierra.....	70
5.2.4.4 Comparación de señal resultante con el umbral.....	71
5.2.4.5 Componentes utilizados y consumo	72
5.3 Descripción del software.....	73
5.3.1 Rutina Entrenamiento	74
5.3.2 Rutina clase2	75
5.3.3 Rutina ACGHALF	79

5.3.4 Rutina intersección.....	80
Capítulo 6: Análisis de Resultados.....	81
6.1 Análisis de Fourier.....	81
6.2 Análisis estadístico de las señales.....	86
6.3 Análisis de circuito implementado.....	103
6.3.1 Etapa de recepción y acondicionamiento.....	103
6.3.2 Procesamiento de la señal.....	109
6.3.3 Etapa de discriminación y alcance.....	112
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones.....	117
7.1 Conclusiones.....	117
7.2 Recomendaciones.....	118
Bibliografía.....	119
Apéndices.....	121
A.1 Glosario, abreviaturas y simbología.....	121
Anexos.....	123
B1. Hojas de Datos de circuitos integrados utilizados.....	123
B1.1 LTC1264.....	124
B1.2 AD633.....	125
B1.3 LTC6900.....	126
B1.4 NE5532.....	127

Índice de figuras

Figura 1.1 Diagrama de flujo del sistema	4
Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema	8
Figura 3.2 Características de corte de diferentes filtros	22
Figura 3.3 Corte del filtro con diferente orden	23
Figura 3.4 Circuito básico de switch capacitor	25
Figura 3.5 Discriminación lineal en una dimensión	27
Figura 3.6 Proyección del vector \vec{w}	29
Figura 3.7 Elementos de una red neuronal artificial	32
Figura 3.8 Suma de varias neuronas	33
Figura 3.9 Unidades de una red neuronal	34
Figura 3.10 Amplificador operacional	35
Figura 3.11 Sumador inversor	36
Figura 3.12 Detector de umbral	37
Figura 3.13 Distribución normal con diferente desviación estándar	41
Figura 5.1 Circuito para la recepción de la señal	54
Figura 5.2 Micrófono de condensador	55
Figura 5.3 Etapa de acondicionamiento de la señal	57
Figura 5.4 Normalización de la señal	58
Figura 5.5 Etapa de suma de las señales del denominador	59
Figura 5.6 Multiplicador utilizando el chip AD633	60
Figura 5.7 AD633 utilizado como divisor	61
Figura 5.8 Filtro pasabanda con oscilador	62
Figura 5.9 Oscilador LTC 6900	63
Figura 5.10. Filtros en cascada	65
Figura 5.11 Etapa de decisión	67
Figura 5.12. Promedio de la señal proveniente de los filtros	68
Figura 5.13. Suma de señales correspondientes a motosierra	69
Figura 5.14 Suma de señales no correspondientes a motosierra	70
Figura 5.15 Comparación de señal resultante con el umbral	71
Figura 5.16 Diagrama de flujo de rutina entre	74
Figura 5.17 Diagrama de flujo de rutina clase2 (I parte)	76
Figura 5.18 Diagrama de flujo de rutina clase2 (II parte)	78
figura 5.19 Diagrama de flujo de rutina ACGHALF	79
Figura 6.1 Transformada de Fourier de grabación a 70 metros	82
figura 6.2 Transformada de Fourier de grabación acercándose a motosierra	83
Figura 6.3 Transformada de Fourier de grabación de motosierra cortando	83
Figura 6.4 Distribución normal de motosierra y jungla	86
Figura 6.5 Distribución normal de varios animales y motosierra	87
Figura 6.6 Archivo de entrenamiento	88
Figura 6.7 Espectograma de archivo de entrenamiento	89
Figura 6.8 Distribución normal del archivo de entrenamiento	90

Figura 6.9. Distribución normal de motosierra y jungla, al aplicar el vector de pesos wfi.	90
Figura 6.10 Distribución normal de varios animales y motosierra, al aplicar el vector de pesos wfi	91
Figura 6.11 Simulación del voltaje en el capacitor a la salida del rectificador	92
Figura 6.12. Señal normalizada sin la constante 0.1	93
Figura 6.13 Señal normalizada con la constante 0.1	93
Figura 6.14 Distribución normal del archivo de entrenamiento normalizado	94
Figura 6.15 Vector de pesos total señal normalizada	95
Figura 6.16 Distribución normal utilizando 20 pesos	97
Figura 6.17 Vector de pesos utilizando 20 valores.....	98
Figura 6.18 Distribución normal utilizando 8 pesos.....	98
Figura 6.19 Vector de pesos utilizando 8 valores.....	99
Figura 6.20 Distribución normal utilizando el vector de pesos escalado	101
Figura 6.21 Promedio de la señal de entrada con señal senoidal.....	103
Figura 6.22 Promedio de la señal de entrada con señal de audio	104
Figura 6.23 Señal promediada sumada a 0.1	105
Figura 6.24 Salida de la etapa de normalización, onda senoidal	106
Figura 6.25 Salida de la etapa de normalización	107
Figura 6.26. Salida de la etapa de normalización, señal con pico	108
Figura 6.27. Atenuación de los filtros	109
Figura 6.28 Frecuencias admitidas por el filtro.....	110
Figura 6.29 amplificación de los filtros	111
Figura 6.30 Detector con motosierra, sin comparador	112
Figura 6.31 Detector sin motosierra	113
Figura 6.32. Activación errónea del detector.....	114
Figura 6.33. Activación del sensor	115
Figura 6.34 Prueba de alcance del detector	116

Índice de tablas

Tabla 5.1. Frecuencia de salida de los osciladores y resistencia utilizada.....	64
Tabla 6.1 Frecuencias más notables de la motosierra en deferentes frecuencias.....	81
Tabla 6.2. Picos de energía de diferentes grabaciones	84
Tabla 6.3 Probabilidad de error en la separación estadística de un determinado sonido y la motosierra.....	87
Tabla 6.4 Valores seleccionados del vector de pesos normalizado	96
Tabla 6.5 Valores seleccionados del vector de pesos normalizado para el circuito	100
Tabla 6.6 Vector de pesos multiplicado	101
Tabla 6.7 Valor de resistencias en los sumadores.....	102

Capítulo 1: Introducción

El presente capítulo expone el problema de la tala ilegal en Costa Rica, un problema mayúsculo para un país que posee como una de sus principales fuentes de ingresos el turismo ecológico. Además, se plantea una solución basada en medios tecnológicos, a través de un sensor que detecte cuando se realiza la tala, del cual se espera que a mediano plazo pueda colaborar en la lucha contra este mal.

1.1 Problema existente e importancia de su solución

En la actualidad Costa Rica, como muchas otras naciones de Latinoamérica, ha tomado la iniciativa de conservar sus recursos naturales, teniendo un desarrollo en armonía con la naturaleza.

Entre las medidas que se han tomado, se encuentra la protección de los bosques, los cuales sirven de hábitat para una gran variedad de especies, tanto de flora como de fauna, muchas de las cuales solo existen en nuestro país.

Es importante destacar que una de las principales fuentes de ingreso en el país consiste en el turismo ecológico, basado en los diversos y numerosos ecosistemas que se encuentran en Costa Rica, dando a muchas personas la posibilidad de trabajar. En el 2003 produjo 1200 millones de dólares.

Además, gracias a los bosques se reduce la contaminación ambiental, ya que estos son catalizadores naturales del aire, que debido al desarrollo de las empresas y la flota automotriz, se ha visto gravemente contaminado.

También se debe tomar en cuenta el papel de los bosques como protectores de las fuentes hídricas, vitales para las actividades cotidianas.

El problema al que se enfrenta el país en este momento, consiste en la tala ilegal que se ha dado en las zonas protegidas. Este problema se ve agravado por la amplitud de estas y el escaso personal encargado de vigilarlas.

Los mecanismos existentes para controlar este problemas son pocos y rudimentarios, por ejemplo, el marcar la madera con pintura para demostrar que está acorde con los reglamentos establecidos.

Como alternativas para combatir este problema se creó el programa Estrategia para el Control de la Tala Ilegal (ECTI) del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), sin embargo, estos esfuerzos no han amedrentado a los taladores ilegales. Solo en el mes de noviembre del 2004 se detectaron nueve cortas ilegales.

Es por ello, que el Instituto Tecnológico de Costa Rica ha tomado la iniciativa de emprender un proyecto en el cual se colabore con esta política del país. Actualmente se ha construido un prototipo con capacidad de detectar la presencia de motosierras a 150 metros de distancia. El presente proyecto pretende desarrollar una alternativa al detector actual, o bien perfeccionarlo en distancia y discriminación principalmente. Por medio del presente proyecto se pretende elaborar un sensor con la capacidad de detectar motosierras en zonas protegidas.

La idea consiste en la elaboración de una red de estos sensores que cubra la totalidad de las zonas protegidas, para que de esta manera, cuando se estén cortando árboles de manera ilegal, se active una alarma que notifique a los guarda-parques, y se pueda proceder a la detención de esta actividad, en el momento mismo del talado.

1.2 Solución seleccionada

A la hora de llevar a cabo el sensor, se debieron tomar en cuenta una serie de recomendaciones hechas por la escuela de Ingeniería Electrónica, con el fin de hacer este accesible y de una fácil distribución.

Entre estas recomendaciones se encuentra:

- Debe ser de un bajo costo, para que así pueda ser distribuido en gran escala.
- Debe tener dimensiones pequeñas, para que de esta forma sea de fácil colocación y no muy visible.
- Debe tener bajo consumo de potencia, ya que probablemente funcione con algún tipo de batería, la cual debe tener la mayor duración posible.

Para llevar a cabo el diseño del mismo, se decidió utilizar una red neuronal artificial simple, con la modificación de su entrenamiento, el cual fue realizado mediante la PC con programas en Matlab y no se entrenó el circuito por si mismo. Gracias a esta solución fue posible realizar un análisis tanto de las frecuencias características de la motosierra, como de las posibles señales a las que se va a ver enfrentado el sensor en el bosque donde vaya a ser colocado. A partir de este estudio, se seleccionaron las ocho frecuencias más influyentes en la determinación de saber si se trataba o no de una motosierra. Estas frecuencias tienen un 'peso' diferente en la determinación final.

También gracias a este análisis se pudo determinar un umbral, el cual es un valor que delimita si se trata de una motosierra o no.

La figura 1.1 muestra la totalidad del proyecto y sus respectivas divisiones.

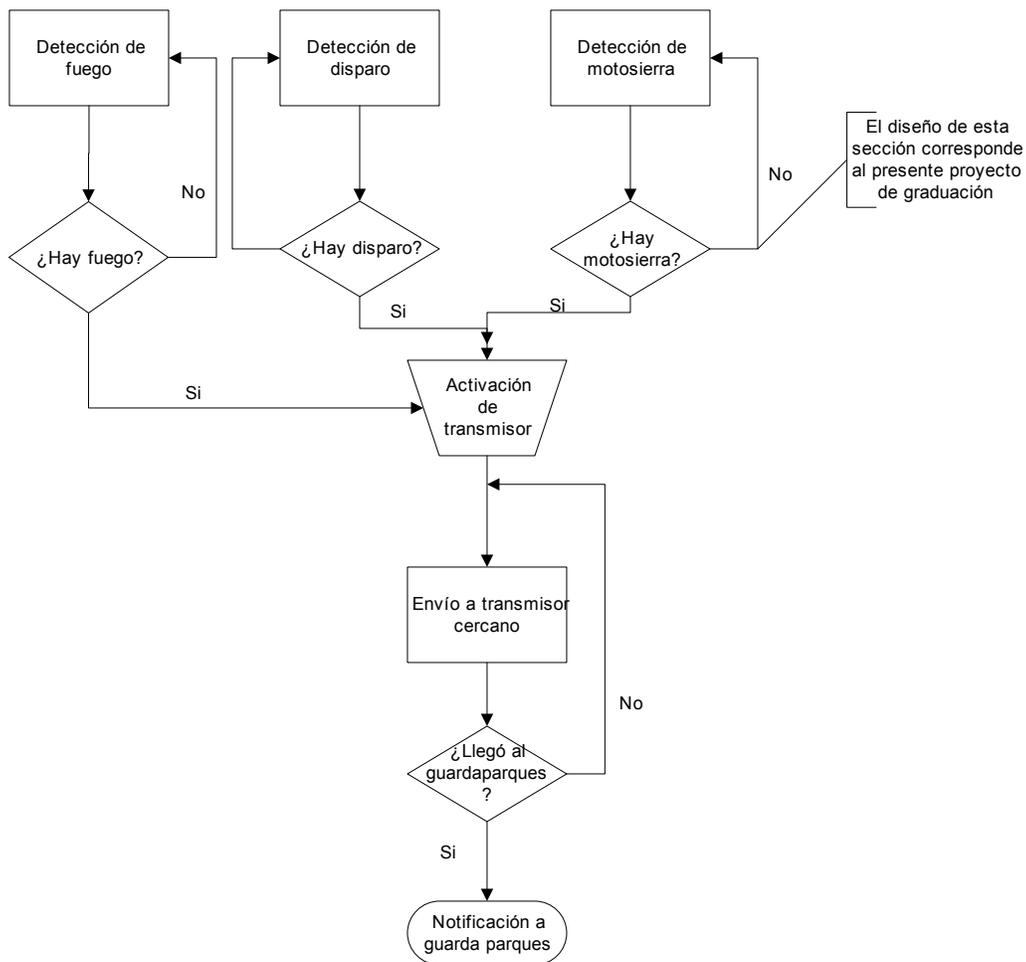


Figura 1.1 Diagrama de flujo del sistema

El sistema a implementar está constituido por las siguientes etapas:

Detección de fuego: Esta etapa es la que menos se ha desarrollado del proyecto. Entre sus posibles soluciones se encuentra la utilización de visión artificial.

Detección de disparos: Esta etapa se está desarrollando en paralelo con la detección de motosierra y sus criterios de diseño son similares.

Detección de motosierra: Es la parte de la cual se encarga el presente proyecto de graduación, cuya solución propuesta será expuesta más adelante.

Red de comunicación: Esta etapa será la encargada de enviar la información hasta la caseta del guarda-parques. El protocolo utilizado es un poco similar al bosquejado en el diagrama de flujo.

Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta

Este proyecto se realiza con el objetivo de contribuir con nuestro país en su lucha por la conservación de las zonas boscosas de nuestro país.

Se espera que en el futuro con la implementación de este proyecto se pueda tener un mayor control de las zonas protegidas del país, a través de una red de sensores que monitoree constantemente las zonas más atacadas por la tala ilegal. Esto a su vez, contribuirá a mejorar el rendimiento de los guarda parques, mediante la innovación tecnológica en pro de la conservación ambiental.

2.2 Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo capaz de detectar motosierras en zonas boscosas protegidas.

2.3 Objetivos específicos

a. Objetivos de hardware

- 1) Estudiar el prototipo anterior.
- 2) Diseñar la etapa de procesamiento de la señal recibida.
- 3) Diseñar la etapa de identificación y filtrado de la señal.
- 4) Diseñar la etapa de decisión y activación del sensor detector de motosierra.

b. Objetivos de software

- 1) Realizar los programas necesarios en Matlab para el análisis matemático.
- 2) Simular la salida de los filtros al pasar la señal de entrada.

c. Objetivos de documentación

- 1) Analizar posibles soluciones basadas en las características eléctricas de la motosierra.
- 2) Realizar un estudio matemático de las señales enviadas por la motosierra, basándose en un discriminador lineal de Fisher.
- 3) Analizar otras posibles señales a las que se pueda ver enfrentado el sensor.
- 4) Recomendaciones para el mejoramiento del prototipo.

d. Objetivos de implementación

- 1) Implementar la etapa de procesamiento de la señal recibida.
- 2) Implementar la etapa de identificación y filtrado de la señal recibida.
- 3) Implementar la etapa de decisión y activación del sensor detector de motosierra.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1 Descripción del sistema

A la hora de implementar la solución del problema, se dividió la implementación del sistema en cuatro partes, como se muestra en la figura 3.1:

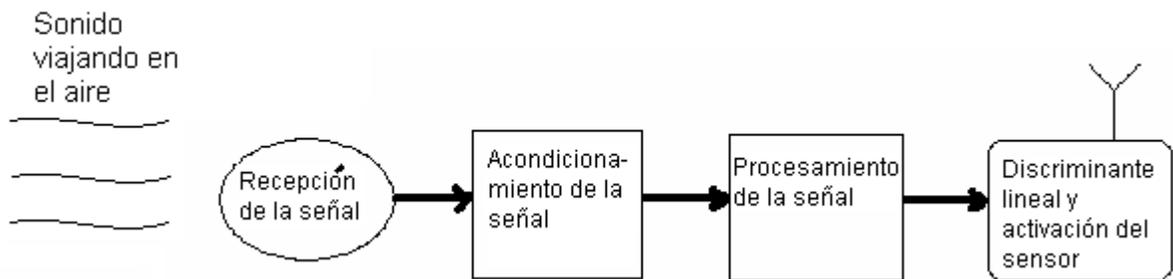


Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema

En la primera etapa se seleccionó un micrófono omnidireccional adecuado para la recepción de la señal y de bajo costo.

Para el acondicionamiento de la señal se decidió amplificar y normalizar la señal de entrada, con la intención de que a la hora de llegar a los filtros, siempre se trabaje a la misma amplitud.

Posteriormente la señal pasa por ocho filtros pasa banda. Estos poseen como frecuencia central las elegidas mediante un análisis estadístico.

En la etapa de discriminante lineal, cada una de las señales provenientes de los filtros, es amplificada o atenuada por su respectivo 'peso', para posteriormente sumarse. El resultado de éstas es comparado con el valor umbral, el cual determina si se trata de una motosierra o no.

3.2 Antecedentes bibliográficos

3.2.1 Detección por emisiones electromagnéticas

Una de las posibles soluciones que se consideraron fue el detectar emisiones electromagnéticas generadas por el motor de la motosierra. La ventaja de esta idea radicaba principalmente en la utilización de una antena como medio receptor y no de un micrófono.

La frecuencia de una emisión electromagnética es el ritmo con el cual el campo electromagnético cambia de dirección y/o amplitud, y generalmente se mide en hercios (**Hz**), siendo 1 Hz un cambio (ciclo) por segundo. La frecuencia y la longitud de onda están relacionadas, y cuando la frecuencia aumenta, la longitud de onda disminuye. Los campos de frecuencia industrial son de 50 ó 60 Hz y tienen una longitud de onda de unos 5.000 km. Por el contrario, los hornos de microondas tienen una frecuencia de 2,54 billones de Hz y una longitud de onda de unos 10 cm, y los rayos X tienen frecuencias de 10¹⁵ Hz y longitudes de onda mucho menores de 100 nm. Los campos estáticos, o campos de corriente continua (**DC**), no varían regularmente con el tiempo, y se puede decir que tienen una frecuencia de 0 Hz y una longitud de onda infinita.

Se realizaron mediciones con un analizador de espectros con una antena dipolo de 1,20 metros de largo. Se colocó la motosierra a una distancia de aproximadamente de 10 metros.

Se realizó un barrido del espectro hasta los 40 MHz, en los cuales no se encontró ninguna señal característica. Posteriormente, se realizó un barrido más exhaustivo de los 100 a los 500 kHz, en los cuales tampoco se detectaron emisiones rescatables.

Entre las causas por las que no se detectará esta señal, podría figurar la velocidad del barrido del analizador de espectros, esto debido a que la señal generada por la motosierra no es periódica.

3.2.2 Transformada de Fourier

El proyecto anteriormente realizado por otros estudiantes de la escuela de electrónica del ITCR se basó en la transformada de Fourier.

En su trabajo, se detectaron las frecuencias características de la motosierra mediante la transformada de Fourier y se procedió a ubicar en ellas filtros de un reducido ancho de banda, de tal forma que cuando se daban las tres frecuencias, se consideraba que había una motosierra.

La transformada de Fourier consiste en un operador que mapea una función del dominio del tiempo a la correspondiente función en el dominio de la frecuencia.

El análisis de Fourier tiene por objeto buscar las componentes en el dominio de la frecuencia dominantes de una señal.

La técnica de cálculo habitual es la llamada “*Transformación Rápida de Fourier*” (FFT); la cual tiene la ventaja, respecto los métodos convencionales, que sin pérdida de rigor en el análisis, permite su cálculo con muchas menos operaciones, lo que se traduce en una mayor facilidad de implementación del algoritmo y una mayor rapidez en la obtención del resultado. En el caso de la FFT el número de muestras con que se trabaja debe ser una potencia exacta de 2.

Una vez que se ha obtenido la o las frecuencias características de determinado sonido mediante el análisis de Fourier se procede a la elaboración de filtros que discriminen esa frecuencia de toda la señal, para que de esta manera pueda identificarse un determinado patrón al capturar sus frecuencias características

3.2.3 Localización satelital (GPS)

Una de las opciones utilizadas en la actualidad en algunas regiones de Europa y propuesta para la conservación de la amazonia y la mitigación de la tala ilegal consiste en el monitoreo mediante el sistema GPS (Global Position System), con el cual podría llevarse a cabo el monitoreo del país. La organización ambientalista Global Forest Watch señala una serie de directrices a seguir para llevar a cabo un plan de esta naturaleza.

Este tipo de detección consiste en el monitoreo constante de las zonas del país, las cual son fotografiadas y comparadas con las bases de datos existentes, determinando de esta forma si se ha dado alguna variación en las zonas protegidas.

Sin embargo, para llevar a cabo un proyecto de este tipo en Costa Rica, sería necesaria toda una infraestructura y un material humano calificado. Entre otras cosas, se necesitaría lo siguiente:

- Se debería crear un formato de método estandarizado para mantener la consistencia del material obtenido.
- Se debería recopilar una serie de imágenes para crear una base de datos como respaldo y fuente de información.
- Las fotos tienen un precio que oscila entre los 600 y 1000 dolares. Además estas no son capaces de detectar todos los detalles del terreno. Por ejemplo: una carretera en medio de los árboles.
- Los análisis de las fotos requieren tiempo y el trabajo de expertos. Por lo cual, se debería contratar un grupo de analistas.

Por estas razones fue descartado el uso de una unidad GPS para el presente proyecto. Entre las ventajas que exponía esta posibilidad se encontraba una plataforma ya definida para la detección de deforestación y detección de incendios.

3.2.4 Identificación de patrones mediante una PC

Actualmente los modelos de redes neuronales se están utilizando intensivamente para múltiples propósitos. Uno de los campos donde mejores resultados se están obteniendo es en el reconocimiento de patrones de sonido. A pesar de que esta tecnología aún no ha sido utilizada en la detección de motosierras, existe una estrecha relación con este proyecto, debido a que se trata del reconocimiento de un patrón determinado.

A través de paquetes que engloban el hardware y el software adecuado para dotar al PC con reconocimiento de voz es posible hablar al ordenador y él reconocerá lo que se le dice para posteriormente interpretarlo. Sin embargo, uno de los limitantes de estas opciones es su poca flexibilidad. En cuanto se monta el sistema en el propio PC y se le somete a una sesión de entrenamiento, se puede observar cómo progresivamente el conjunto de reconocimiento se va adaptando a la voz del usuario y cada vez escucha con mayor precisión hasta alcanzar unos errores extremadamente pequeños. Toda la arquitectura neuronal se encuentra implementada por software y complementada por hardware, por lo tanto, se trata de una simulación en tiempo real de una red neuronal. Esto es lógico, ya que el PC es un sistema de procesamiento secuencial, con lo que no es posible cambiar el funcionamiento del microprocesador de no ser por una emulación vía software.

3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.

3.3.1 Propagación del sonido

La señal que se desea detectar viaja a través del sonido, por lo cual es importante comprender como se propaga éste a través del medio y cuales factores lo pueden modificar.

La atmósfera es el medio más usual a través del cual se propaga el sonido. Se compone de distintos gases, teniendo además partículas flotantes y otras sustancias. Estos elementos presentan diferentes respuestas, ante la presencia de ondas acústicas. Debido a todos estos factores, puede decirse que la atmósfera no es homogénea, y por lo tanto, la velocidad a la que se desplaza el sonido a través de ésta, tampoco.

Otro factor que puede afectar la propagación del sonido en el bosque es el viento, ya que, al ser una magnitud vectorial, puede afectar la dirección y el sentido de la onda.

Además, se debe tomar en cuenta la humedad relativa cuando el sonido se propaga a través de la atmósfera a grandes distancias, ya que ésta absorbe energía sonora, debido a la viscosidad del aire y a procesos de absorción molecular del nitrógeno y el oxígeno particularmente.

3.3.1.1 Influencia del suelo en la propagación del sonido

La presencia del suelo modifica las condiciones de la propagación del sonido ya que origina reflexiones del sonido, entre otras cosas. Además, la presencia de deformaciones a lo largo de una topografía en la trayectoria de una onda, pueden reflejar, difractar, dispersar o absorber la energía que transporta.

Cuando se da la presencia de árboles, se origina una serie de eventos indirectos en el sentido de que además de producir en mayor o menor medida, los efectos mencionados con anterioridad, los árboles también modifican mediante sus raíces las condiciones del suelo, haciéndolo más poroso, con lo cual se agrega un efecto adicional, difícil de evaluar.

3.3.1.2 Interferencia

Según un estudio realizado en un bosque de pino, se da la mayor atenuación en el intervalo de frecuencias entre 300 y 500 Hz, debido a la interferencia entre la onda directa y la reflejada.

También se comprobó que para la mayoría de las frecuencias, la atenuación es superior cuando el receptor se ubica a poca altura.

3.3.1.3 Frecuencia del sonido:

La serie de compresiones y descompresiones de las moléculas del aire que ejerce el cuerpo emisor y la velocidad de vibración de dicho proceso, define la frecuencia del sonido emitido por la fuente. A mayor número de vibraciones mayor frecuencia.

El tono siempre es una magnitud subjetiva, basada en la amplitud de una serie de componentes armónicas contenidas en el propio sonido, o sea, que el tono es una propiedad intrínseca de cada sonido; en cambio la frecuencia es una magnitud referida a formas de onda de estricta periodicidad.

3.3.1.4 La intensidad sonora

En un cuerpo que vibra, mientras más aumente la amplitud de sus vibraciones, se incrementará la energía transportada al medio; como consecuencia, la energía que llegará al receptor será mayor, provocando una vibración más acentuada en el mismo.

La intensidad sonora (I) por unidad de superficie se expresa en Watts por metro cuadrado (W/m^2), aunque su representación más común es en decibeles.

3.3.1.5 Presión sonora

Las variaciones de presión producidas por una onda sonora en su propagación a través del espacio, ejerce una determinada fuerza sobre cada centímetro cuadrado de superficie. Estas presiones son muy pequeñas en comparación a la presión atmosférica ambiental y están superpuestas a ésta.

La presión sonora se comprueba con un medidor de nivel (sonómetro). El nivel de referencia para estas medidas es $0,0002$ dina por cm^2 ; que es la presión sonora mínima, es la que es capaz de producir sensación auditiva mínima.

3.3.1.6 Timbre

El timbre permite identificar la diferencia de un foco emisor en relación con otros referidos. Sin embargo, la frecuencia de emisión puede ser la misma. Por ejemplo: cada instrumento musical que suene con una misma nota sostenida, si están afinados, tendrán la misma frecuencia, pero cada uno de ellos sonará de diferente manera. Esto debido a la componente armónica que emite cada uno de ellos. El timbre depende del número y de la intensidad de los armónicos que acompañan a un sonido fundamental cuando este se produce, y de las características propias de cada fuente sonora.

Las amplitudes de cada armónico varían en función de la forma de onda. Pero siempre la de mayor amplitud se considera la fundamental.

3.3.1.7 La fase

La magnitud periódica de una onda varía en función del tiempo, entonces se le llama fase en el instante o momento de la onda que se procede a analizar. Dos ondas de la misma frecuencia están en fase, cuando sus semi-períodos de compresión (positivos) y descompresión (negativos) coinciden exactamente en el tiempo y en el espacio. Si se superponen dos señales en fase de igual amplitud se obtiene otra señal de la misma frecuencia pero del doble de amplitud. Y entonces se dice que están en contrafase cuando el semiperiodo positivo de una señal coincide con el negativo de la otra. Si se suman estas señales se cancelarán entre sí y el resultado será una ausencia o disminución de señal. Pueden existir varios grados de desfase entre sonidos. El oído humano sólo puede detectar retrasos o adelantos en dos o más sonidos.

3.3.2 Transformada de Fourier

En el proyecto se utilizó la transformada de Fourier para estudiar el comportamiento en el dominio de la frecuencia de una determinada cantidad de sonidos a los que hipotéticamente se enfrentaría el detector en su medio de trabajo, incluida la motosierra.

La transformada de Fourier se emplea con señales aperiódicas a diferencia de la serie de Fourier. Las condiciones para poder obtener la transformada de Fourier son (Condiciones de Dirichlet):

- Que la señal sea absolutamente integrable, es decir:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt < \infty$$

- Que tenga un grado de oscilación finito.
- Que tenga un número máximo de discontinuidades.

Se define la transformada de Fourier como:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp(-j2\pi ft) dt$$

La transformada inversa de Fourier corresponde a:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) \exp(j2\pi ft) df$$

Puesto que el valor de $F(w)$ para cada variable real w es un número complejo, suele representarse usando una gráfica para su módulo $|F(w)|$ y otra para su argumento principal $\theta = \arg(F(w))$ para $-\pi \leq \theta \leq \pi$ que se conocen, respectivamente, como espectro de amplitudes y espectro de fases de f .

Algunas de las propiedades de la transformada de Fourier importantes en el desarrollo del proyecto fueron las siguientes:

Se supondrá que las funciones que aparecen verifican las condiciones de Dirichlet para la integral de Fourier.

Escalado en el dominio del tiempo. La transformada de Fourier de $f(at)$ viene dada por $\frac{F(w/a)}{|a|}$; es decir:

$$F\{f(at)\} = \frac{1}{|a|} F\{f\}(w/a)$$

Desplazamiento, o traslación, en el dominio de la frecuencia. Si ω_0 es un número real, entonces la transformada de Fourier de $e^{j\omega_0 t} f(t)$ es $f(w - \omega_0)$. O sea:

$$F\{e^{j\omega_0 t} f(t)\} = F\{f(w - \omega_0)\}$$

Desplazamiento, o traslación, en el dominio del tiempo. Si t_0 es un número real, entonces la transformada de Fourier de la función trasladada $f(t-t_0)$ es $e^{-j\omega t_0} f(w)$. En otras palabras:

$$F\{f(t - t_0)\} = F\{e^{-j\omega t_0} f(f)\}$$

Teorema de Parseval: La energía total asociada con una función $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ se define como:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt$$

Si una función tiene energía total finita, entonces su transformada de Fourier también y, de hecho, se tiene:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F(w)|^2 dw$$

3.3.2.1 Teorema del muestreo (Frecuencia de Nyquist)

El teorema del muestreo es útil para determinar hasta que punto una señal continua puede reconstruirse a partir de sus muestras. Teóricamente, si la frecuencia de muestreo $f_{\Delta} = 1/\Delta$ es superior a dos veces la máxima frecuencia presente en la señal continua, es posible reconstruirla con toda exactitud a partir de las muestras obtenidas. En la práctica, el error de cuantificación y la longitud finita de los registros impiden esta reconstrucción exacta.

Por lo tanto, para que el muestreo sea correcto, es necesario escoger la frecuencia de muestreo de tal forma que $f_{\Delta} > 2f_{\max}$

Habitualmente se suele filtrar la señal de entrada para eliminar las frecuencias que no pueden ser detectadas mediante el proceso del muestreo, debido a la limitación del equipo con que se realiza la medición. Además, se considera recomendable que la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la frecuencia máxima de la señal.

3.3.2.2 Espectograma

La transformada de Fourier ha de calcularse localizada en el tiempo para el análisis de la señal; de tal modo que se puedan observar sus características frecuenciales durante un corto periodo de tiempo y su evolución temporal.

Un espectograma muestra las componentes de frecuencia contenidas en una señal en diferentes puntos en el tiempo. Para obtener el espectograma de la señal de audio creada con diferentes sonidos del bosque y la motosierra, se utilizó el comando *specgram* de Matlab.

Este comando calcula la transformada discreta de Fourier en ventanas de tiempo. El algoritmo que utiliza para calcular el espectograma de una señal dada es el siguiente:

- Se divide la señal en secciones, las cuales son superpuestas en ventanas de un tamaño previamente definido.
- Se realiza la transformada discreta de Fourier a cada una de las secciones para obtener un valor estimado de las frecuencias contenidas en ese intervalo. Cada una de esas transformadas se ubica en forma de columnas, indicando por medio de colores la energía de las frecuencias.
- La gráfica final es tridimensional, mostrando en el eje 'y' los valores de frecuencia, en el eje 'x' el tiempo, y con una gama de colores la energía contenida en los intervalos.

Junto con la función specgram se agregan una serie de comandos o condiciones:

Y: Se refiere a la señal de la que se va a obtener el specgram, en este proyecto corresponde a un archivo de audio, previamente digitalizado.

Nfft: Especifica la longitud del intervalo en el que se va a realizar la transformada.

FS: Es un escalar que define la frecuencia de muestreo.

3.3.3 Filtros

Un filtro eléctrico o electrónico es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase.

Algunas de las características que definen un filtro son las siguientes:

Función de transferencia

Independientemente de la realización concreta del filtro, la cual puede ser analógica, digital o mecánica, la forma de comportarse de un filtro se describe por su función de transferencia. Ésta determina la forma en que la señal aplicada va a ser modificada en amplitud y en fase al atravesar el filtro. La función de transferencia define características específicas para el filtro. Algunos filtros comunes son:

- a. Filtro de Butterworth, con una banda de paso suave y un corte agudo.
- b. Filtro de Tschebyshev, con un corte agudo pero con una banda de paso con ondulaciones.
- c. Filtros elípticos o de Cauer, que consiguen una zona de transición más abrupta que los anteriores a costa de oscilaciones en todas sus bandas.
- d. Filtro de Bessel, que, en el caso de ser analógico, aseguran una variación de fase constante.

La figura 3.2 muestra las características de corte de los diferentes tipos de filtros.

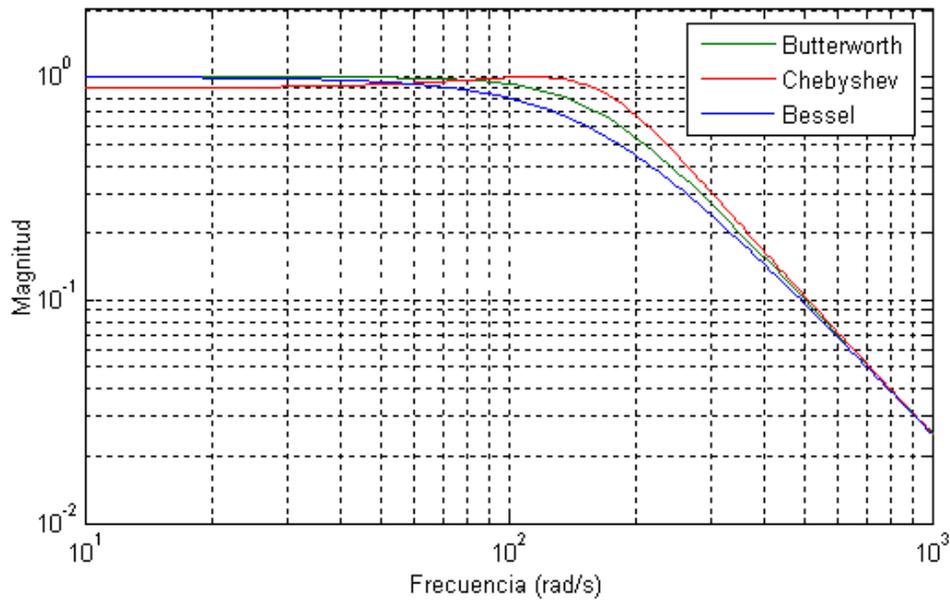


Figura 3.2 Características de corte de diferentes filtros.

Se puede llegar a expresar matemáticamente la función de transferencia en forma de fracción mediante las transformaciones en frecuencia adecuadas. Los valores que hacen cero el numerador son los ceros y los que hacen cero el denominador son polos.

$$H(f) = \frac{O(f)}{I(f)}$$

El número de polos indica el orden del filtro y el valor de estos junto a los ceros determina las características del filtro, como su respuesta en frecuencia y su estabilidad.

3.3.3.1 Orden

El orden de un filtro describe el grado de aceptación o rechazo de frecuencias por arriba o por debajo de la respectiva frecuencia de corte. Un filtro de primer orden, cuya frecuencia de corte sea igual a (F) presentará una atenuación de 6dB/oct (2F), (12dB a la segunda octava (4F), 18dB a la tercer octava (8F) y así sucesivamente.) Uno de segundo orden tendría el doble de pendiente (representado en escala logarítmica).

Esto se relaciona con los polos y ceros: los polos hacen que la pendiente baje con 20dB/dec y los ceros que suba, de esta forma los polos y ceros pueden compensar su efecto.

Se pueden realizar filtros analógicos de órdenes más altos conectando en cascada filtros de 1° o 2° orden debido a que a mayor orden el filtro se hace más complejo, como se muestra en la 3.3.

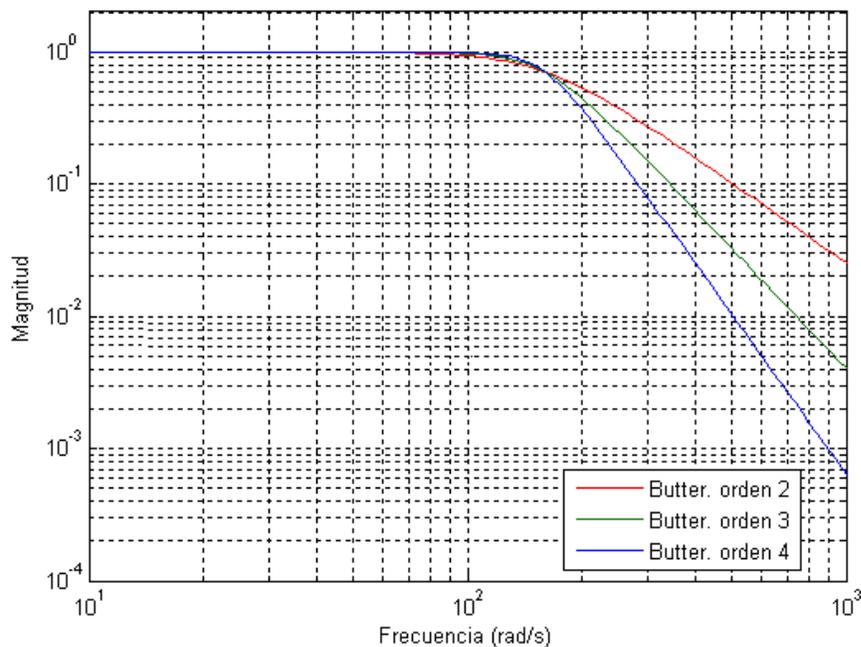


Figura 3.3 Corte del filtro con diferente orden

3.3.3.2 Tipos de filtro

Dependiendo de los componentes que lo integran, su respuesta en frecuencia o la forma en que se lleve a cabo el filtrado, los filtros pueden clasificarse de diferentes formas.

Para el presente trabajo, el filtro utilizado fue el siguiente:

Filtro paso banda: Son aquellos que permiten el paso de componentes de una señal eléctrica contenidos en una determinada banda de frecuencias, comprendido entre una frecuencia de corte superior y otra inferior.

Filtros activos y pasivos

Filtro pasivo: Es el constituido únicamente por componentes pasivos como condensadores, bobinas y resistencias.

Filtros activos: Es aquel que puede presentar ganancia en toda o parte de la señal de salida respecto a la de entrada. En su implementación se combinan elementos activos y pasivos. Siendo frecuente el uso de amplificadores operacionales, que permite obtener resonancia y un elevado factor Q sin el empleo de bobinas. Este fue el filtro utilizado en el presente proyecto.

Filtros analógicos o digitales

Atendiendo a la naturaleza de las señales tratadas los filtros pueden ser:

Filtro analógico: Diseñado para el tratamiento de señales analógicas.

Filtro digital: Diseñado para el tratamiento de señales digitales.

3.3.3.3 Filtros switch capacitor

En la última década los filtros activos con resistores y capacitores han ido siendo reemplazados por esta nueva variedad de filtro llamada 'switch capacitor'.

La ventaja de estos filtros es el hecho de que permiten la creación de circuitos analógicos exactos, sin la necesidad de utilizar resistores, los cuales son difíciles de incluir en los circuitos integrados. Además, los circuitos pueden ser hechos para que dependan en razón de los radios del capacitor y no de valores absolutos.

El funcionamiento de estos circuitos se puede ver en la figura 3.4, en la cual se encuentra un capacitor conectado a dos interruptores (switches) a diferentes voltajes.

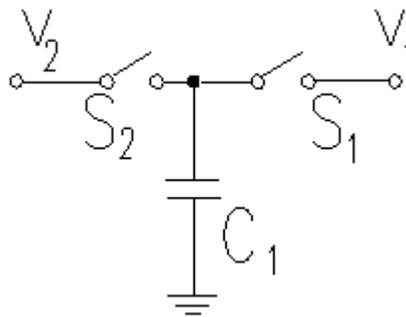


Figura 3.4 Circuito básico de switch capacitor

Si S₂ se cierra, S₁ se abre, y si S₁ se cierra, S₂ se abre. Por lo tanto, la carga esta definida por:

$$\Delta q = C_1 (v_2 - v_1)$$

Si los interruptores se abren y se cierran N veces en un tiempo ' t ', la cantidad de carga transferida por unidad de tiempo está dada por:

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} = C_1(v_2 - v_1) \frac{N}{\Delta t}$$

Reorganizando el lado izquierdo de la ecuación, el cual representa la carga por unidad de tiempo, o corriente, y el número de ciclos por unidad de tiempo del lado derecho, el cual es la frecuencia de reloj; puede re-escribirse la ecuación de la siguiente manera:

$$i = C_1(v_2 - v_1)f_{clk}$$

Reorganizando la ecuación:

$$\frac{(v_2 - v_1)}{i} = \frac{1}{C_1 f_{clk}} = R$$

Al observar la ecuación anterior puede verse que el 'switch capacitor' es equivalente al resistor. El valor de este resistor disminuye conforme se incrementa la frecuencia del reloj o se incrementa la capacitancia.

3.3.4 Discriminante lineal de fisher

El discriminante lineal de Fisher se utilizó para determinar cuando se trataba de una motosierra o no, en la etapa de decisión y activación del sensor.

Esta técnica de clasificación de datos, también conocida como análisis de discriminante lineal (LDA), fue inventada en 1936. Para comprender esta idea de una mejor manera se considera la figura 3.5 en la cual se presenta una discriminación lineal de este tipo.

En la figura 3.5, C1 y C2 representan dos clases de datos, una discriminación de una dimensión sería la proyección de una línea que separe las dos clases establecidas. El primer paso en este análisis consiste en lograr que los diferentes tipos de datos estén tan separados como sea posible. Para realizar esta separación se proyecta un vector de estrada X sobre un valor y , el cual es dado por: $y = w^T x$, donde w es un vector de pesos ajustable.

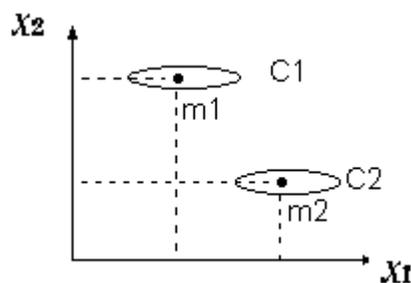


Figura 3.5 Discriminación lineal en una dimensión

Generalmente, las proyecciones sobre una dimensión generan una considerable pérdida de información y las clases separables en 'd' dimensiones pueden verse traslapadas. Sin embargo, con el ajuste de las componentes de las clases del vector de pesos w , se puede seleccionar una proyección que maximice la separación de las clases. Para llevar a cabo este procedimiento se deben considerar dos clases, en las cuales se determinan N_1 puntos de la clase C_1 y N_2 puntos de la clase C_2 . Los vectores de la media de las dos clases están dados por:

$$\hat{m}_1 = \frac{1}{N_1} \sum_{n \in C_1} x^n$$

$$\hat{m}_2 = \frac{1}{N_2} \sum_{n \in C_2} x^n$$

De esta manera, se está en la capacidad de establecer una separación de las clases cuando se proyecta w , con lo cual podemos seleccionar un w que maximice la separación entre las clases.

$$m_2 - m_1 = w^T (\hat{m}_2 - \hat{m}_1)$$

donde $m_k = w^T \hat{m}_k$ es la media de los datos proyectados de la clase C_k . Sin embargo, esta expresión puede volverse extremadamente amplia por el incremento de la magnitud de w . Para solucionar este problema, se puede limitar w hasta tener la longitud de una unidad, o sea, $\sum_i w_i^2 = 1$. Utilizando el multiplicador de Lagrange para lograr restringir la maximización se puede decir que $w \propto (\hat{m}_2 - \hat{m}_1)$. Al observar la figura anterior se puede ver que la separación de las muestras es mayor en el eje x_2 que en el eje x_1 . Esta solución puede verse de manera más compleja en la figura 3.6. En este caso la solución propuesta por Fisher consiste en maximizar una función que represente de la mejor manera la diferencia entre las clases proyectadas, normalizado por la medición de la distancia de cada uno de los puntos de las clases hasta el vector w .

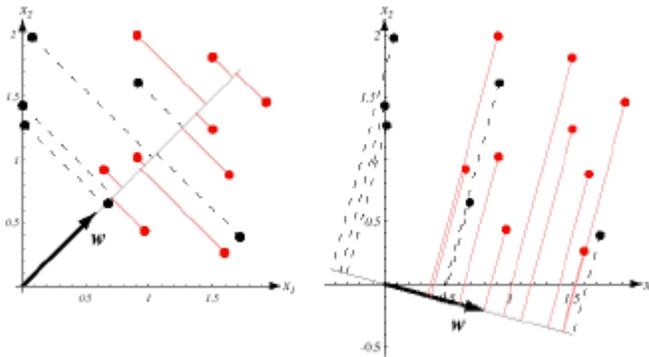


Figura 3.6 Proyección del vector $\overset{p}{w}$

Por lo tanto, en la fórmula de proyección $y = \overset{p}{w}^T \overset{p}{x}$ se debe transformar la componente x , por una componente que puede consistir en un vector con cierto grado de inclinación, al cual se le llamará 'y'. La figura anterior, en la cual se encontraban las clase C_1 y C_2 , transformado a C_k es llamado covarianza de clases, y es dado por:

$$s_k^2 = \sum_{n \in C_k} (y^n - m_k)^2$$

y puede ser definido como la covarianza total, abarcando todo el conjunto de datos con: $s_1^2 + s_2^2$. Una vez que se ha conseguido esta información, puede procederse al criterio de Fisher dado por:

$$J(\overset{p}{w}) = \frac{(m_2 - m_1)^2}{s_1^2 + s_2^2}$$

Utilizando las ecuaciones anteriores se puede re-escribir este criterio de Fisher haciéndolo únicamente dependiente de $\overset{p}{w}$:

$$J(\overset{p}{w}) = \frac{\overset{p}{w}^T S_B \overset{p}{w}}{\overset{p}{w}^T S_w \overset{p}{w}}$$

donde S_B es la matriz de covarianza 'intra clases' y está dada por:

$$S_B = (\overset{p}{m}_2 - \overset{p}{m}_1)(\overset{p}{m}_2 - \overset{p}{m}_1)^T$$

y S_w es la matriz de covarianza total 'inter clases' es dado por:

$$S_w = \sum_{n \in C_1} (\mathbf{x}^n - \mathbf{m}_1)(\mathbf{x}^n - \mathbf{m}_1)^T + \sum_{n \in C_2} (\mathbf{x}^n - \mathbf{m}_2)(\mathbf{x}^n - \mathbf{m}_2)^T$$

derivando $J(w) = \frac{(m_2 - m_1)^2}{s_1^2 + s_2^2}$ con respecto a \mathbf{w} , se encuentra que $J(\mathbf{w})$ es

maximizada cuando:

$$(\mathbf{w}^T S_B \mathbf{w}) S_w \mathbf{w} = (\mathbf{w}^T S_w \mathbf{w}) S_B \mathbf{w}$$

De las ecuaciones anteriores se puede ver que $S_B \mathbf{w}$ tiene siempre la dirección de $(m_2 - m_1)$. Además, la magnitud de w no es útil, solo su dirección. Debido a esto es posible utilizar factores de escala. Multiplicando ambos lados de la ecuación anterior por $S^{-1} \mathbf{w}$, se obtiene:

$$\mathbf{w} \propto S_w^{-1} (m_2 - m_1)$$

El cual es conocido como discriminante lineal de Fisher.

3.3.4 Redes Neuronales Artificiales

Debido a que el Discriminante Lineal de Fisher podría considerarse una red neuronal simple, se agregó este apartado tratando brevemente la teoría de las redes neuronales.

El campo de la Inteligencia Artificial ha tratado a través de los años de modelar los procesos mentales de los seres humanos, basándose en arquitecturas computacionales como la de Von Newman. Sin embargo, este modelo no se adapta al intento de crear programas capaces de aprender.

Debido a esto, varios investigadores se han dado a la tarea de crear arquitecturas de computadoras que se adapten de una mejor manera para la ejecución de procesos cognitivos complejos, lo que los ha llevado a estudiar modelos simplificados de las estructuras cerebrales humanas.

“¹El cerebro humano está constituido por una cantidad enorme de neuronas (aproximadamente 10^{12}), las cuales realizan procesos relativamente sencillos. Las neuronas se encuentran conectadas entre sí a través de unas fibras llamadas dendritas, en promedio una neurona puede estar conectada con alrededor de otras mil células de su clase, cada conexión establecida entre dos neuronas es conocida como una sinapsis. En total el cerebro humano promedio cuenta con aproximadamente 10^{15} sinapsis, una cantidad mayor que el total de estrellas que contiene nuestra galaxia. Las neuronas pueden excitar o inhibir la actividad de otras neuronas a través de sus sinapsis, de tal manera que toda la compleja gama de procesos mentales que se dan en el cerebro depende de la interacción de sus neuronas.”

Las Redes Neuronales Artificiales son redes compuestas de grandes cantidades de elementos computacionales simples altamente interconectados.

¹ Redes neuronales. Gil Salgado. Para más información referirse a la bibliografía

Pankaj Mehra y Benjamin W. Wah², explican las características de las Redes Neuronales Artificiales: "Quizá la mejor manera de caracterizar a las Redes Neuronales Artificiales es contrastarlas con otros modelos cognitivos y computacionales. El modelo cognitivo más popular empleado en la Inteligencia Artificial separa al conocimiento de la inferencia, de forma similar, el modelo computacional comúnmente utilizado para la programación de computadoras hace una distinción entre los datos y los programas. Las Redes Neuronales Artificiales diluyen estas distinciones: sus "algoritmos" son representados de forma estática por su arquitectura y sus "datos" son representados implícitamente por su dinámica. El término de "computación emergente" enfatiza el hecho de que los datos de entrada se vuelven indiscernibles antes de emerger como los datos de salida de la red."

El grado de activación (A) de cada elemento de una Red Neuronal Artificial determina la presencia-ausencia de señal en sus conexiones de salida. En la figura 3.7 se pueden ver los elementos de una red neuronal artificial, mientras que en la 3.8 pueden verse la suma de varias neuronas.

Este grado de activación está dado en función de la suma de sus entradas. En cada elemento de la red se asignan pesos (W) a las diferentes conexiones, entre mayor sea el peso de una conexión, más incrementará la presencia de una señal en dicha conexión la actividad de la unidad receptora.

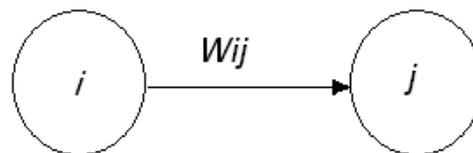


Figura 3.7 Elementos de una red neuronal artificial

Las conexiones que tienen un peso positivo ($W > 0$) incrementan la entrada del elemento destino y se conocen como "conexiones excitadoras", mientras que aquellas conexiones que tienen un peso negativo ($W < 0$), se denominan "conexiones inhibitorias" y decrementan la entrada del elemento destino (y por lo tanto su posible

² "Artificial Neural Networks, Concepts and Theory"

estado de activación). Aquellas conexiones que tengan un peso igual a cero ($W=0$) no contribuyen con la entrada del elemento destino.

La contribución de un elemento a la entrada de otro puede representarse como el producto de su grado de activación A por el peso de su conexión. Existe la posibilidad de establecer conexiones de retroalimentación, que básicamente trabajan con el grado de activación previo del elemento en cuestión.

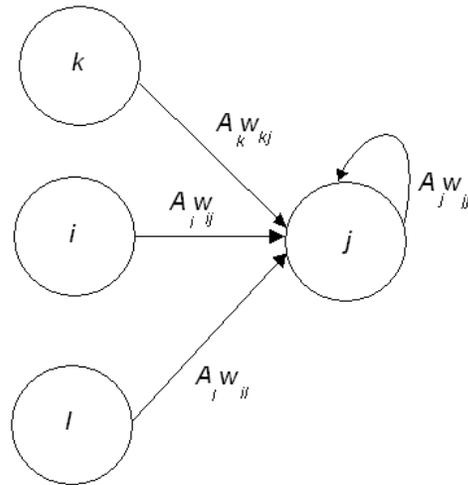


Figura 3.8 Suma de varias neuronas

La entrada total de la red a un elemento es la suma de los productos de las activaciones por los pesos de las entradas a la unidad, las entradas externas a la unidad (si es que estas existen) y una fracción del nivel previo de activación, si es que el elemento tiene retroalimentación.

Aquellas unidades de la red que reciben entradas del "mundo exterior", son conocidas como "unidades de entrada", mientras que las unidades que generan salidas hacia el "mundo exterior", se conocen como "unidades de salida". Las demás unidades de la red neuronal se conocen como unidades ocultas.

En la figura 3.9 se presentan las unidades de una red neuronal.

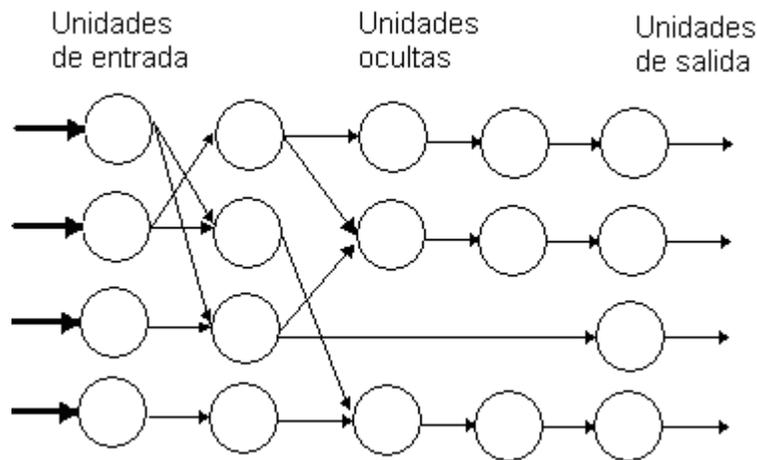


Figura 3.9 Unidades de una red neuronal

3.3.4.1 Entrenamiento

La forma natural de modificar el comportamiento de una Red Neuronal Artificial, es hacer cambios en los pesos de sus conexiones, de tal forma que la salida que produzca la red se vaya acercando a la salida deseada. Las unidades que deban activarse de manera conjunta verán incrementarse el peso de sus conexiones, en cambio un par de unidades que no deban activarse de manera simultánea verán decrementado el peso de su interconexión.

Las reglas de entrenamiento de una Red Neuronal Artificial son las que especifican la dirección y cantidad de las modificaciones en los pesos de las interconexiones. Estas reglas intentan minimizar ya sea una función de energía o un error estimado.

Ya que los pesos de las conexiones se modifican en función de los niveles de activación, la velocidad de modificación de los pesos de las conexiones suele ser un orden de magnitud más lenta que la velocidad de cambio de las activaciones. Este tipo de modificación lenta, permite que los cambios en el comportamiento de la red se den a largo plazo, esto es que aunque los grados de activación de los elementos de la red se modifiquen, de un patrón de entrada al siguiente, los pesos de sus conexiones permanecen relativamente constantes.

3.3.5 Amplificadores operacionales

En varias etapas del circuito se utilizaron amplificadores diferenciales en diferentes configuraciones. En la etapa de entrada se utilizaron como rectificadores de media onda. En las etapas finales se utilizaron como sumadores y también como detectores de umbral.

El amplificador operacional es un dispositivo de acoplo directo con entrada diferencial, y un único terminal de salida. Éste responde a la diferencia de tensión entre los dos terminales de entrada, no a su potencial común. Una señal positiva en la entrada inversora (-), produce una señal negativa a la salida, mientras que la misma señal en la entrada no inversora (+) produce una señal positiva en la salida. Con una tensión de entrada diferencial, ' V_d ', la tensión de salida, ' V_o ', será a ' aV_d ', donde ' a ' es la ganancia del amplificador, como se puede apreciar en la figura 3.10. Ambos terminales de entrada del amplificador se utilizarán siempre independientemente de la aplicación. La señal de salida es de un sólo terminal y está referida a tierra, por consiguiente, se utilizan tensiones de alimentación bipolares.

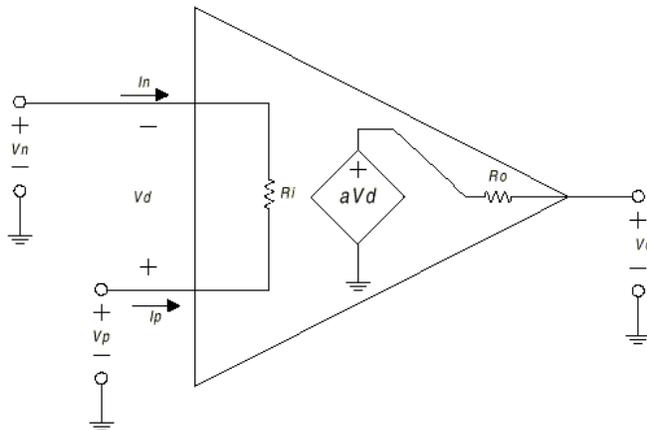


Figura 3.10 Amplificador operacional

Es un elemento no lineal, aunque en muchas ocasiones se comporta como un elemento de circuito lineal.

Entre sus características internas, se encuentran las siguientes:

Una impedancia de entrada muy elevada en sus entradas. La corriente de entrada de cada una de sus entradas puede considerarse cero:

$$I_a = I_b = 0$$

Una impedancia muy pequeña en su salida. El amplificador se considera como un generador ideal de tensión.

Una ganancia diferencial muy elevada. La tensión de salida está relacionada con las entradas por la relación:

$$V_o = A_d (V_a - V_b)$$

Estos amplificadores puede ser utilizados para una amplia gama de funciones, algunas de estas son:

Amplificador sumador inversor: Como se muestra en la figura 3.11, la tensión $V(+)$ está conectada a tierra, por lo que la tensión $V(-)$ estará a una tierra virtual, y debido a que la impedancia de entrada es infinita toda la corriente I_1 circulará a través de R_F . Lo que ocurre en este caso es que la corriente I_f es la suma algebraica de las corrientes proporcionadas por V_1 , V_2 y V_3 .

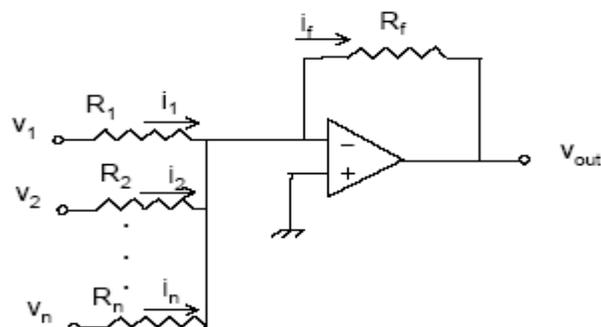


Figura 3.11 Sumador inversor

Su función de transferencia es $V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$

Detector de umbral: Esta aplicación es utilizada para determinar cuando un determinado voltaje debe ser considerado como un 1 o un 0 lógico. En esta aplicación, se polariza la entrada inversora con el voltaje umbral, de manera que una vez que el voltaje en la entrada no inversora supera el valor umbral, el amplificador envía en su salida en voltaje positivo. Su configuración puede verse en la figura 3.12.

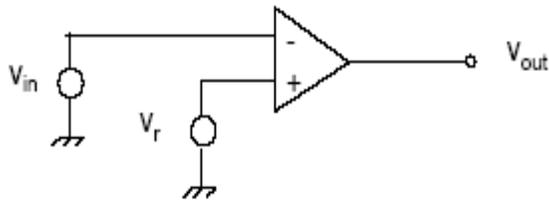


Figura 3.12 Detector de umbral

3.3.6 Probabilidad y estadística

A la hora de evaluar la capacidad del circuito en la discriminación de la señal buscada, se realiza una serie de análisis probabilísticos, los cuales fueron de utilidad en la toma de decisiones costo – calidad en la implementación del circuito.

La Estadística es la parte de las Matemáticas que estudia métodos para interpretar datos obtenidos de investigaciones o experimentos aleatorios (aquellos en los que no se puede predecir el resultado aunque se realicen siempre en las mismas condiciones), con el fin de extraer de ellos una conclusión.

Algunas de sus definiciones utilizadas o de importancia en este proyecto son las siguientes:

La moda: Es el valor de la distribución de frecuencias que tiene mayor frecuencia absoluta. Si a dos o más valores les corresponde la misma frecuencia máxima, la distribución se llama bimodal o multimodal.

La media aritmética: Se llama así a la suma de todos los valores dividida por el número total de los mismos. Para una tabla de frecuencias en la que a cada valor de la variable 'x_i', le corresponda una frecuencia absoluta 'f_i', la media (que se representa por \bar{x}), se calcula así:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^N f_i} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \cdot f_i}{N}$$

Varianza: Se define la varianza de una distribución de frecuencias al número obtenido de la siguiente expresión:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \cdot f_i}{N}$$

A la raíz cuadrada de la varianza se le denomina desviación estándar, o sea:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot f_i}{N}}$$

Covarianza: La covarianza de dos variables aleatorias X y Y se describe $Cov(X,Y)$, y se define como:

$$Cov(X,Y) = E[(X - u_x)(Y - u_y)]$$

donde u_x y u_y son las medias de X y Y respectivamente, y E la esperanza matemática.

Distribución normal (o campana de Gauss-Laplace)

Una de las distribuciones teóricas más utilizadas en la práctica es la distribución normal, también llamada distribución gaussiana. Su importancia radica fundamentalmente en la frecuencia con la que se dan distintas variables asociadas a fenómenos naturales y cotidianos.

El uso extendido de la distribución normal en las aplicaciones estadísticas puede explicarse, además, por otras razones. Muchos de los procedimientos estadísticos habitualmente utilizados asumen la normalidad de los datos observados. La simple exploración visual de los datos puede sugerir la forma de su distribución. No obstante, existen otras medidas, gráficos de normalidad y contrastes de hipótesis que pueden ayudar a decidir, de un modo más riguroso, si la muestra de la que se dispone procede o no de una distribución normal. Cuando los datos no sean normales, se pueden transformar o emplear otros métodos estadísticos que no exijan este tipo de restricciones.

Algunas de las propiedades más importantes de la distribución normal son las siguientes:

- Tiene una única moda, que coincide con su media y su mediana.
- La curva normal es asintótica al eje de abscisas. Por ello, cualquier valor entre $-\infty$ y $+\infty$ es teóricamente posible. El área total bajo la curva es, por tanto, igual a 1.
- Es simétrica con respecto a su media μ . Según esto, para este tipo de variables existe una probabilidad de un 50% de observar un dato mayor que la media, y un 50% de observar un dato menor.
- La distancia entre la línea trazada en la media y el punto de inflexión de la curva es igual a una desviación típica (σ). Cuanto mayor sea σ , más aplanada será la curva de la densidad de probabilidad.
- El área bajo la curva comprendida entre los valores situados aproximadamente a dos desviaciones estándar de la media es igual a 0.95. En concreto, existe un 95% de posibilidades de observar un valor comprendido en el intervalo $(\mu-1.96\sigma, \mu+1.96\sigma)$.
- La forma de la campana de Gauss depende de los parámetros μ y σ . La media indica la posición de la campana, de modo que para diferentes valores de μ la gráfica es desplazada a lo largo del eje horizontal. Por otra parte, la desviación estándar determina el grado de apuntamiento de la curva. Cuanto mayor sea el valor de σ , más se dispersarán los datos en torno a la media y la curva será más plana. Un valor pequeño de este parámetro indica, por tanto, una gran probabilidad de obtener datos cercanos al valor medio de la distribución

En la figura 3.13 se ve una distribución normal con una misma media y una diferente desviación estándar.

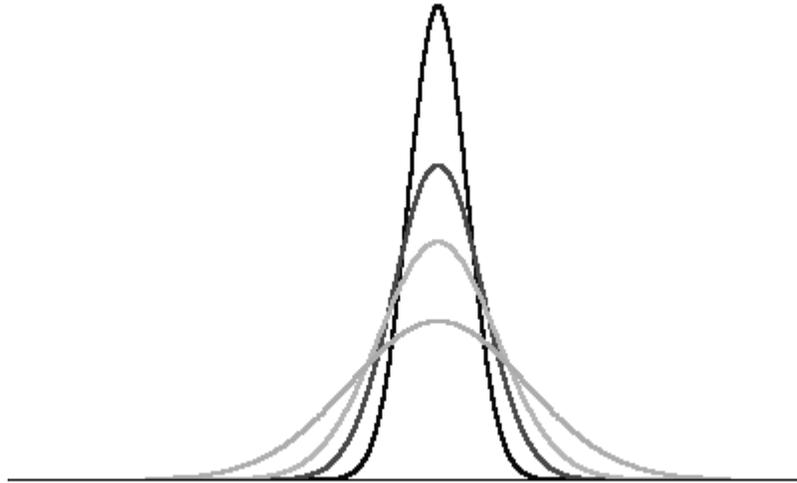


Figura 3.13 Distribución normal con diferente desviación estándar

La función de densidad de probabilidad $f(x)$ para una distribución normal es dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema

El problema a resolver consiste en la detección de la tala ilegal. Para llevarlo a cabo, se considera la posibilidad de diseñar un sensor que detecte motosierras, debido a que éstas son imprescindibles en la tala de árboles. Además, se toma en cuenta la utilización del sistema GPS para una detección satelital de los sitios en los que se realiza la tala ilegal.

Entre las posibilidades a investigar para la identificación de motosierras se encuentran dos en particular:

La primera consiste en estudiar la posibilidad de capturar emisiones electromagnéticas producidas por la motosierra. Esta solución tiene la ventaja de utilizar como receptor una antena.

La otra posibilidad consiste en seguir el prototipo anterior y detectar la motosierra a través de sus componentes fundamentales en frecuencia. En este caso se utiliza un micrófono como receptor.

Para la primera posibilidad se realiza un trabajo de campo, en el cual se llevan a cabo pruebas con un analizador de espectros y una antena dipolo de 1,20 metros de largo.

Para la evaluación de la segunda posibilidad se lleva a cabo una recopilación de grabaciones de la motosierra a diferentes distancias, y posteriormente se realiza un análisis de estas en el dominio de la frecuencia.

A la hora del análisis en frecuencia de la motosierra, el profesor ing. Pablo Alvarado sugiere el análisis a través de espectogramas en Matlab y no utilizar la transformada de Fourier. Lo anterior debido a que con los espectogramas no se

pierde la componente del tiempo, y además es posible realizar el análisis de otros posibles sonidos que se presten a confusión.

Entre las restricciones para la solución se destaca el hecho de no utilizar microcontroladores, ya que estos tendrían un mayor consumo de potencia y harían más caro el circuito. Además, se pide que el circuito no sea de grandes proporciones, sino lo más pequeño posible. Estas restricciones fueron dadas por los coordinadores del proyecto, ya que entre las características deseables se encuentra el hecho de realizar un diseño económico, de bajo costo para las personas que deseen adquirirlo en el futuro, y además, debe tener un bajo consumo de potencia, ya que, uno de sus objetivos es la alimentación a través de paneles solares.

Las metas establecidas para el sensor se basan principalmente en su capacidad de discriminación entre el sonido de la motosierra y cualquier otro sonido al que pueda verse enfrentado en el bosque, además, es importante el área de cobertura del sensor.

Otros aspectos a considerar consisten en el diseño de un circuito que consuma poca potencia (menos de 400 mA) y en el cual sus componentes no sean de un costo elevado.

4.2 Obtención y análisis de información

Inicialmente se tuvo una reunión con el profesor asesor, Luis Paulino Méndez y el encargado del proyecto, Néstor Hernández, donde se analizan las posibles soluciones, así como los requerimientos del proyecto.

En el inicio del proyecto se realiza una reunión con los encargados del prototipo anterior, Edgar Varela y Jorge Campos. Con ellos se comentan las ideas preliminares en el inicio del proyecto, así como las razones que motivaron a la escogencia final de su prototipo. Se comentan, además, algunas de las mejoras que se le realizan, las cuales no aparecen en el informe del proyecto. También se analiza con ellos las debilidades y fortalezas de su prototipo, así como las limitantes a las que se vieron sujetos. Luego se realiza un estudio del prototipo y se observa en funcionamiento.

También se cuenta con la colaboración del profesor Pablo Alvarado a lo largo de todo el proyecto, el cual brinda una colaboración invaluable en el análisis y entrenamiento de un discriminador lineal de Fisher para determinar las frecuencias a implementar en los filtros en el circuito final, así como del tratamiento de la señal de entrada.

Se realiza, además, una investigación en Internet acerca de otras posibles soluciones ya existentes. También se investiga acerca de las características particulares de los motores de dos tiempos, como el de la motosierra, con la intención de buscar otras posibles soluciones. Entre estas posibles soluciones se encuentran: emisiones electromagnéticas, alta temperatura del motor y sonido desplegado.

A través de varios análisis matemáticos, llevados a cabo para la identificación de la señal, se fueron disminuyendo la cantidad de componentes a utilizar en la implementación. A pesar de que la disminución de componentes afecta la capacidad de detección del sensor, uno de los requerimientos consiste en que el circuito debe tener un mínimo de componentes y tamaño reducido.

Posteriormente, para la identificación de los componentes a utilizar, el profesor Luis Paulino Méndez recomienda el uso de switch capacitor, para la etapa de filtrado. La búsqueda de los componentes con sus respectivas características y sus hojas de datos se realiza a través de Internet.

A la hora de llevar a cabo la búsqueda de los componentes, se toma en cuenta ciertos criterios que influyen en la decisión acerca de cuales utilizar.

Para la etapa de entrada, se decide utilizar un micrófono omnidireccional de presión y con bobina móvil, ya que estos poseen la característica de tener un mayor alcance en un ángulo de 360°, lo cual le permitiría un mejor monitoreo al circuito. Se realizan cotizaciones en Joshepson engineering, Acopacific acoustic, Bruel and Jaer, sin embargo, estos tienen un precio muy elevado, por lo que se decide utilizar un micrófono Panasonic, implementado generalmente en celulares.

Para las otras etapas se buscan amplificadores operacionales de bajo ruido (LNA), para de esta forma evitar la inserción de ruido en la señal analizada.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

A continuación se describen los métodos que se utilizan para la selección de las posibles soluciones y los criterios a utilizar para evaluarlas.

4.3.1 Emisiones electromagnéticas

La idea de esta posible solución surge de una reunión con los profesores Luis Paulino Méndez y Néstor Hernández. Posteriormente, se realiza una investigación en Internet acerca de las emisiones electromagnéticas; además se estudian las propiedades de los motores de dos tiempos, también tomado como fuente Internet.

Una vez realizada la investigación teórica se lleva a cabo un trabajo de campo en busca de emisiones producidas por la motosierra.

4.3.2 Transformada de Fourier

Esta solución se origina con el prototipo anterior, en el cual se implementa. Consiste en el análisis de la señal utilizando la transformada de Fourier.

Para este proyecto se recopilan sonidos de motosierra mediante una grabadora. Luego, estos son digitalizados y se obtiene su transformada rápida de Fourier en Matlab. En un principio esta fue la solución a implementar, sin embargo, posteriormente se decide utilizar otra debido a razones que se analizan más adelante.

4.3.3 Redes Neuronales Artificiales

Esta solución es recomendada por el profesor Pablo Alvarado. La información acerca de este tema fue expuesta por él mismo. Además se realiza una investigación en Internet y se consultan algunos libros, citados en la bibliografía, acerca del tema.

El análisis de la información, así como los programas necesarios para llevar a cabo la investigación se realizan en el programa matemático Matlab.

El procedimiento seguido para evaluar el funcionamiento de la red neuronal artificial se da a través de un análisis estadístico, también realizado en Matlab.

4.3.4 Localización satelital (GPS)

Esta es una de las tecnologías más populares en el campo del monitoreo de bosques. La obtención de la información acerca de esta posible solución fue investigada en Internet.

4.3.5 Identificación de patrones mediante la PC

La información concerniente a esta opción se recopiló en Internet.

A la hora de analizar esta solución se toma en cuenta fundamentalmente las restricciones iniciales del proyecto, principalmente la magnitud del circuito.

4.4 Implementación de la solución

Para llevar a cabo la solución elegida, se inicia realizando diversas grabaciones de una motosierra a diferentes distancias y con diferentes micrófonos.

Luego de digitalizar la señal, se analizan estas grabaciones en el dominio de la frecuencia, a través del programa matlab, en el cual se le realizan transformadas rápidas de Fourier. Al realizar este análisis se nota la variación de las frecuencias fundamentales. Además, las frecuencias más importantes en la motosierra son muy bajas, lo cual también presenta un obstáculo debido a que muchos sonidos poseen importantes componentes de frecuencia menores a 1 kHz.

Debido a lo anterior se decide utilizar un Discriminador Lineal de Fisher, el cual permite el análisis de varias señales a la vez, como se menciona anteriormente.

Posteriormente, se recopilan sonidos similares a los que puede verse enfrentado el sensor en el bosque, tales como monos, pájaros, ríos, etc.

Primeramente se realiza un análisis en matlab con ciertos sonidos comparados con una motosierra, con el fin de determinar si era posible realizar una división entre estos.

Una vez realizado este análisis, se realiza una distribución normal de los resultados, la cual arrojó la posibilidad de discernir entre ambas señales. En todos los casos analizados se comprueba que si es posible realizar una discriminación.

Superado este paso, se procede a editar un archivo de entrenamiento, el cual consiste en la unión de diferentes grabaciones de motosierras, las cuales son realizadas con diferentes motosierras y a diferentes distancias. Este archivo tiene también grabaciones de una serie de sonidos correspondientes a los que se podría enfrentar en el bosque, tales como pájaros, monos, ranas, etc. Estos sonidos son obtenidos de páginas en Internet.

Una vez editado este vector, se procede a someterlo a un programa realizado en matlab, el cual consiste en la normalización de la señal, simulando un rectificador de media onda, con un circuito RC en paralelo a su salida, con un $\tau = 0.01$.

Al final del programa, se simula una normalización equivalente a la ecuación

$$\text{matemática: } V_{sal} = \frac{V_{ent}}{V_{prom} + 0.1}$$

La señal ya normalizada es posteriormente sometida a un análisis llamado discriminador lineal de Fisher, mediante el cual se obtienen las frecuencias más importantes y sus respectivos pesos.

Luego, se fue disminuyendo las frecuencias utilizadas en el análisis, para de esta forma disminuir los componentes del circuito, mientras se le continúa realizando distribuciones normales, para determinar la capacidad de discriminación.

A la hora de llevar a cabo la implementación de los circuitos, se procede a montar cada una de las etapas en bloques individuales. En el caso de los filtros, se debe realizar una modificación en el diseño original, debido a que los filtros no pueden trabajar con un factor de calidad mayor a diez, por lo cual se procede a conectar tres filtros en cascada, con la ventaja de que en cada integrado hay cuatro filtros.

Una vez que las cuatro etapas del filtro funcionan individualmente, se van conectando progresivamente desde la primera hasta la última.

4.5 Reevaluación y rediseño

Algunas de las consideraciones que se pueden tomar en cuenta a la hora de rediseñar el sensor son las siguientes:

Es recomendable realizar grabaciones en el bosque donde se va a implementar el sensor, ya que, a la hora de realizar el análisis se discriminarían de una mejor manera los sonidos del medio en el que estará el circuito.

Los circuitos integrados AD633, que tienen la función de dividir la señal, con el objeto de normalizarla, trabajan con un voltaje mínimo de 8 voltios, lo cual obliga a esta etapa a trabajar con 8.5 voltios. A la hora de un rediseño se debería estudiar la posibilidad de utilizar un divisor que se alimente con 5 voltios, para que de esta forma el circuito trabaje a un mismo voltaje en todas sus etapas.

Una de las ventajas del circuito consiste en que las frecuencias centrales de los filtros y el valor de los pesos están definidos por potenciómetros, de tal forma que, si se realizara un análisis en el cual se identificarán frecuencias y pesos que mejorarán la discriminación, únicamente sería necesario ajustar los potenciómetros sin necesidad de modificar el hardware del circuito.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución (Explicación del diseño)

5.1 Análisis de soluciones y selección final

Las posibles soluciones para la detección de la tala ilegal son expuestas de una manera más amplia en la sección 3.2. En la presente sección únicamente se darán las justificaciones acerca de cada una de las posibilidades.

5.1.1 Emisiones electromagnéticas

Para la evaluación de esta posibilidad se lleva a cabo un trabajo de campo, en el cual se utiliza un analizador de espectros, el cual se coloca a una distancia de aproximadamente 10 metros de una motosierra. Al analizador se le conecta una antena dipolo de 1,2 metros de longitud. Se realiza un barrido del espectro hasta los 40 MHz, en los cuales no se encuentra la formación de ninguna señal característica debida a la motosierra. Posteriormente se realiza un barrido más detallado de los 100 a los 50 kHz, donde tampoco se detectan emisiones rescatables. Es debido a esta razón meramente técnica que se descarta este método como solución.

5.1.2 Transformada de Fourier

Esta solución consiste en el análisis de la señal utilizando la transformada de Fourier. En un inicio, esta es la solución que se empieza a implementar, realizando grabaciones de una motosierra en un medio abierto y posteriormente analizando las señales en Matlab. Sin embargo, se presenta un problema con las frecuencias más características de la motosierra, ya que estas variaban de un análisis a otro. Además, las frecuencias radicaban en menos de 1 kHz, la cual es una frecuencia en la que muchos sonidos tienen frecuencias fundamentales, como se puede ver más adelante mediante un espectograma. Debido a estas consideraciones técnicas se descarta esta nueva opción.

5.1.3 Redes Neuronales Artificiales

La solución que se decide implementar es una red neuronal simple, o de una capa, debido a las siguientes razones:

Su análisis es posible mediante el programa matemático Matlab.

Mediante una red neuronal simple, con un discriminador lineal de Fisher es posible evaluar no solo la señal a detectar, en este caso la motosierra, sino también las demás señales a las que se va a ver enfrentada en el medio que se coloque el sensor, en este caso podría ser el ruido de animales, los sonidos del río, etcétera.

La implementación de una red neuronal simple en un circuito electrónico es relativamente fácil, y no requiere de microprocesadores ni otros dispositivos que ameriten altos consumos de potencia.

5.1.4 Localización satelital (GPS)

Esta técnica es una de las más utilizadas a nivel mundial en la lucha por la defensa de los bosques, tanto en la lucha contra la deforestación como en la detección de incendios. Sin embargo, la principal limitante para esta solución es la infraestructura necesaria que debería establecerse para su realización. Entre otras cosas sería necesario crear una base de datos, la cual tendría un alto costo y tener personal capacitado laborando permanentemente, por lo cual, desde el punto de vista económico esta solución no es la adecuada.

5.1.5 Identificación de patrones mediante la PC

Este sistema se ha utilizado en la actualidad para reconocimiento tanto de voz como de imágenes, jeroglíficos y otros. Se basa en una red neuronal artificial que utiliza como base la arquitectura de una PC. Su análisis es uno de los más exactos en la actualidad, ya que se 'entrena' constantemente hasta llegar a identificar un patrón determinado. La limitante de esta solución radica en el hecho de que la solución a implementar debe ser de bajo costo, y para llevar a cabo una de estas sería necesario utilizar un microprocesador de un alto análisis matemático, lo cual haría el circuito más caro y de un mayor consumo de potencia.

5.2. Descripción del hardware

Como se ilustró en la figura 3.1 el diagrama de bloques del circuito se divide en cuatro etapas:

- Recepción de la señal.
- Acondicionamiento de la señal.
- Procesamiento de la señal.
- Discriminante lineal y activación del sensor.

A continuación se realizará un análisis de cada una de las etapas desde el punto de vista del hardware utilizado, su utilidad y sus principales características.

5.2.1 Recepción de la señal

El circuito mostrado en la figura 5.1 es el utilizado para llevar a cabo la captura de la señal de audio en el bosque. Esta etapa consiste de un micrófono con su respectiva alimentación y una etapa de amplificación.

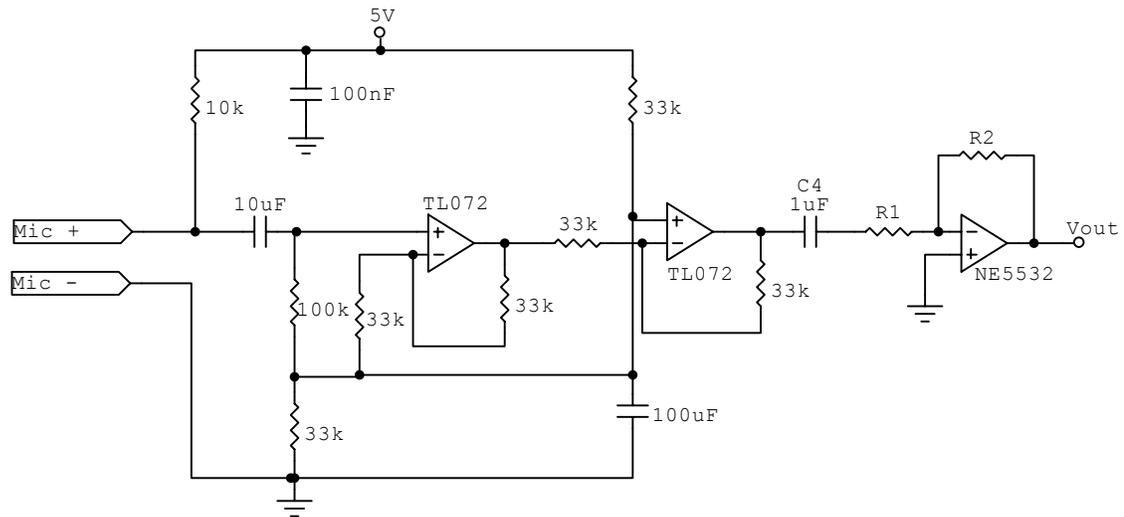


Figura 5.1 Circuito para la recepción de la señal

Para la recepción de la señal de audio se utiliza un micrófono de condensador omnidireccional, modelo Panasonic WM-64MC.

Este micrófono es seleccionado debido a su capacidad de captura omnidireccional, la cual hace sensible al micrófono de sonidos provenientes en cualquier dirección.

En la figura 5.2 se muestra un micrófono de condensador; como se observa en la figura, en estos micrófonos el diafragma está montado junto a una placa (que puede estar agujereada o no), pero sin llegar a tocarla. Una pila está conectada a ambas piezas de metal, la cual produce una diferencia de potencial eléctrico entre ellas, en el caso del circuito lo constituye la alimentación suministrada a través de la resistencia de 10 K Ω . Esta distancia cambia si el diafragma se mueve como

respuesta al impacto de las ondas sonoras. Cuando la distancia cambia, la corriente fluye por el hilo conductor. La cantidad de corriente es básicamente proporcional al desplazamiento del diafragma, y tan diminuta, que debe ser amplificada antes de abandonar el micrófono.

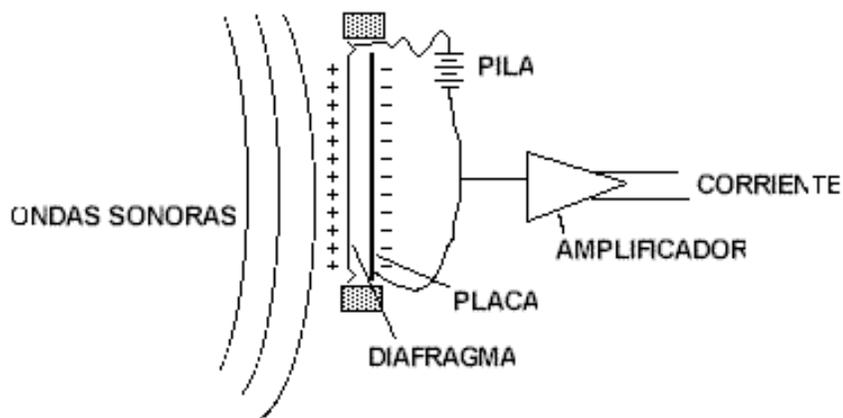


Figura 5.2 *Micrófono de condensador*

Además, los micrófonos de condensador poseen una excelente captación a frecuencias que oscilan entre los 50 Hz y 15 kHz, lo cual lo hace ideal para esta aplicación.

5.2.2 Acondicionamiento de la señal

Esta etapa tiene la función de acondicionar la señal de tal forma que esta llegue a la etapa de análisis en óptimas condiciones.

La salida de esta etapa tiene la ventaja de tener un voltaje de salida aproximadamente 3 voltios en sus niveles pico. Además, a la hora de llevar a cabo la normalización de la señal de entrada, no se da la amplificación de las señales muy bajas, las cuales probablemente sean ocasionadas por el ruido ambiente o el sonido del viento, o aquellas zonas en la señal de audio en las cuales no hay información.

La necesidad de esta etapa queda en evidencia en el momento en que se empiezan a realizar los análisis de la señal en el dominio de la frecuencia; esto debido a que a la hora de llevar a cabo análisis de Fourier de diferentes grabaciones, se comprueba que la amplitud de la grabación afecta la ubicación de las frecuencias más significativas de la señal analizada.

Las partes que comprenden esta etapa son las siguientes:

- Rectificación de la señal.
- Suma de un nivel de corriente continua a la señal rectificada.
- División y normalización de la señal

En la figura 5.4 se muestra el primer circuito de esta etapa.

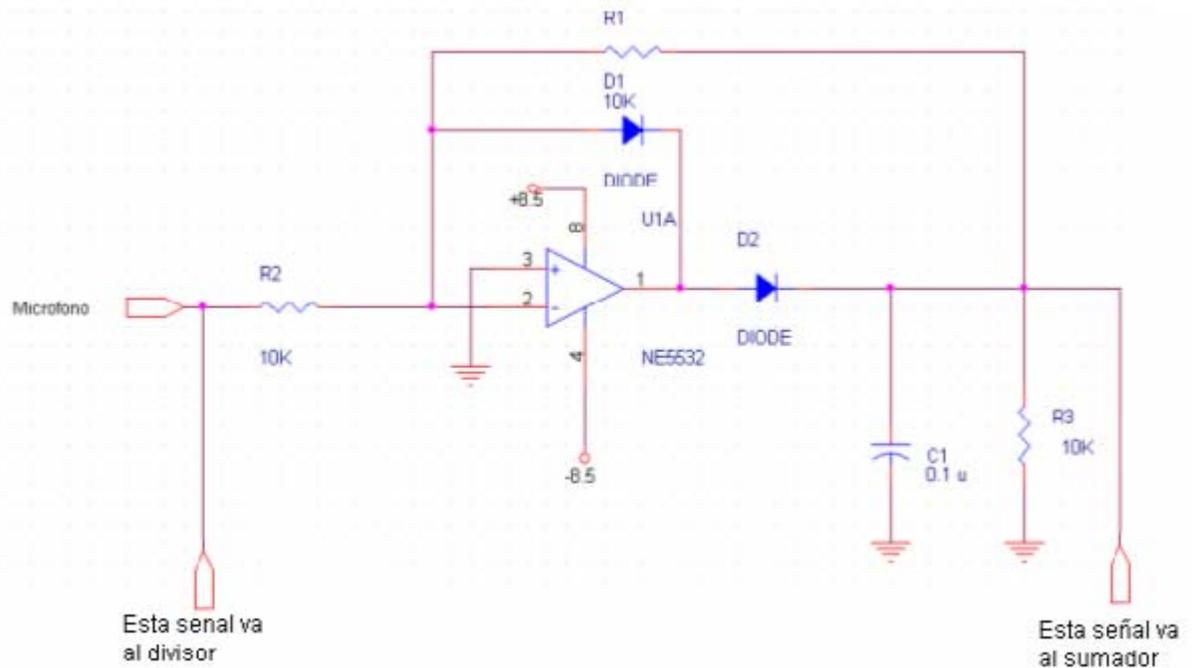


Figura 5.4 Normalización de la señal

Este circuito está conformado por un amplificador operacional en configuración de rectificador de media onda inversor. Posteriormente, se encuentran un capacitor en paralelo con una resistencia, los cuales tienen la función de suprimir las grandes variaciones de voltaje en poco tiempo, Este circuito RC posee un $\tau = 0.01$.

La función de este bloque es obtener un promedio de la señal de entrada, el cual se utiliza a la hora de normalizar la señal de entrada, simulando la ecuación matemática:

$$V_{sal} = \frac{V_{ent}}{V_{prom} + 0.1}$$

con la finalidad de enviar una señal normalizada a los filtros y que no normalice las señales muy pequeñas, a eso se debe el 0.1 en el denominador.

En la figura 5.5 se muestra la etapa en la cual se suman las señales que se ubican en el denominador de la ecuación anteriormente citada.

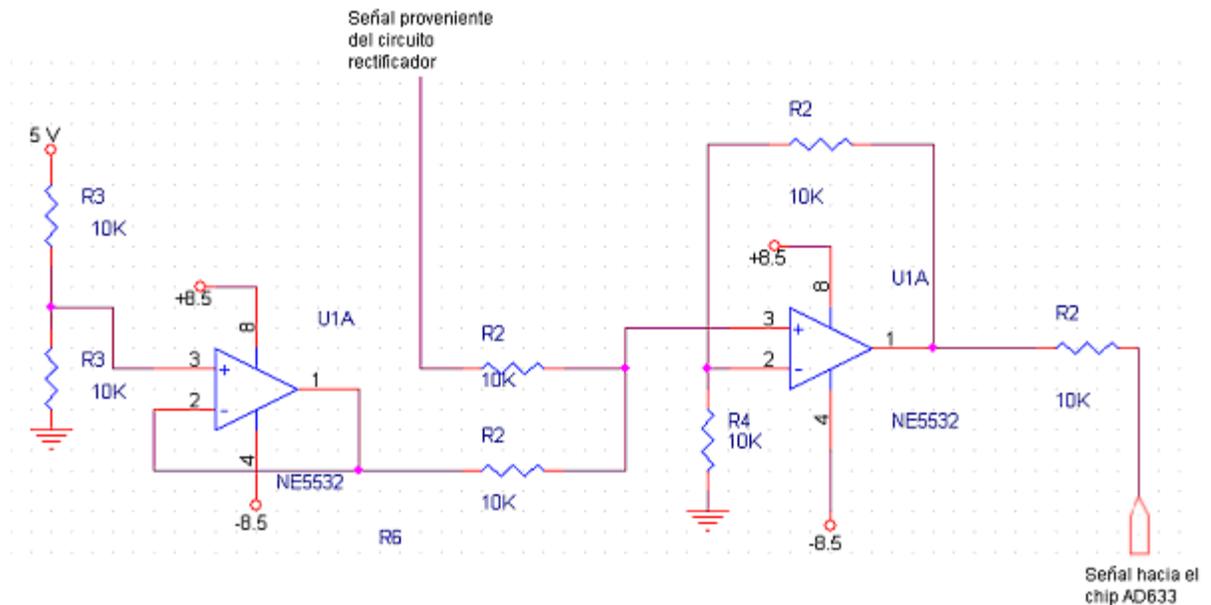


Figura 5.5 Etapa de suma de las señales del denominador

Esta etapa consiste en un amplificador operacional conectado en configuración sumador no inversor, con ganancia unitaria, el cual suma la señal promediada obtenida en la etapa anterior y un voltaje en corriente continua de 0.1 voltios.

Es importante resaltar el hecho de que esta etapa debe estar constituida por un sumador no inversor, debido a que en la siguiente etapa la señal de entrada debe ser positiva. Otra opción consiste en utilizar un sumador inversor y posterior a esta un inversor de ganancia unitaria, sin embargo, hubiera sido la adición de un componente más de manera innecesaria. El voltaje de 0.1 voltios se obtiene utilizando un divisor de tensión. Fue necesario ubicar un seguidor de voltaje entre el divisor de tensión y el sumador, para que el primero no se viese afectado por la impedancia del segundo.

La salida de esta etapa comprende el denominador de la ecuación matemática, $V_{prom} + 0.1$.

En la figura 5.6 se muestra la primera etapa del circuito utilizado para realizar la división. Para comprender la importancia de esta etapa es necesario señalar que en la etapa que se lleva a cabo la división de la señal de entrada entre la suma de la señal promediada y el voltaje en corriente directa de 0.1, el resultado es multiplicado por 10, debido a las características del chip.

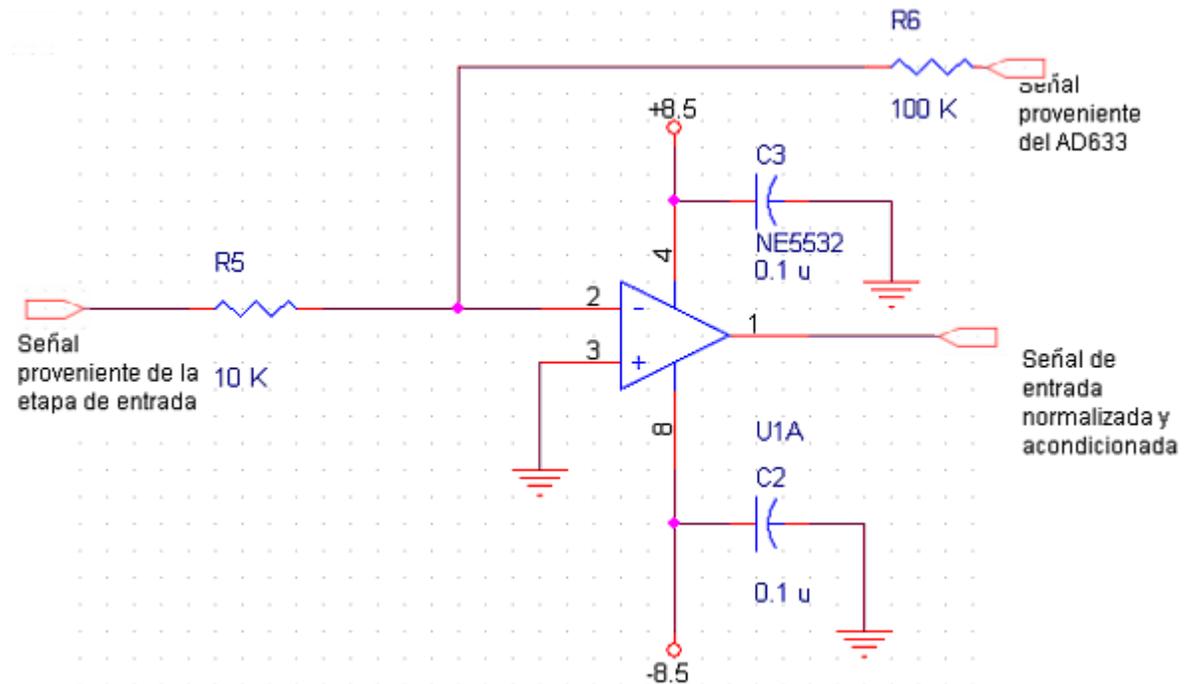


Figura 5.6 Multiplicador utilizando el chip AD633

Es por ello que en esta etapa se realiza una atenuación de la señal por un factor de diez veces su valor, con la intención de evitar una posible saturación a la hora de la división. Inicialmente se había utilizado un multiplicador, sin embargo en una posterior revisión del circuito se considera la posibilidad de realizar la atenuación en este punto.

La utilidad de esta etapa radica en la división entre 10 de la señal de entrada, para que a la hora de ser amplificada en la división vuelva a su valor original.

Las conexiones del chip AD633 utilizadas para llevar a cabo la división se muestran en la figura 5.7:

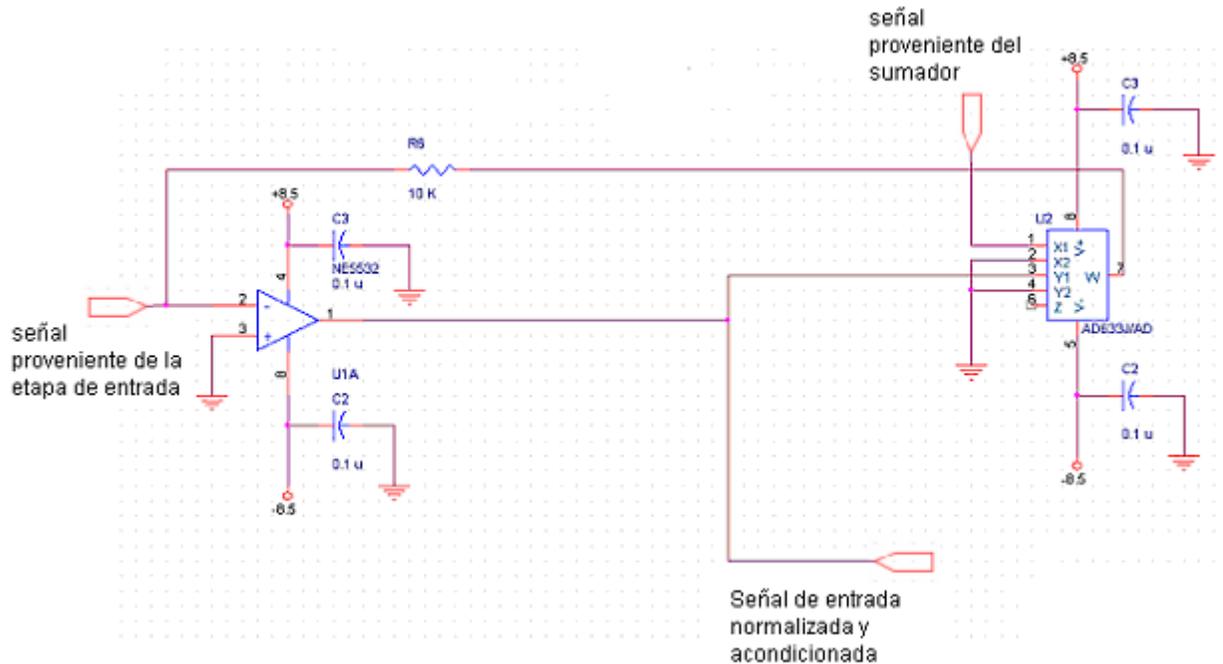


Figura 5.7 AD633 utilizado como divisor

El equivalente matemático de esta etapa es el siguiente: $w = -(10v) \frac{E}{Ex}$

Donde w es la salida, E en este caso es la señal proveniente del micrófono dividida entre 10 y Ex corresponde a la salida de la figura 5.5, igual a $V_{prom} + 0.1$.

5.2.3 Procesamiento de la señal

La etapa de procesamiento de la señal tiene la función de obtener diferentes componentes de frecuencia la señal de entrada, con el objetivo de enviarlas a la etapa de decisión. Para llevar a cabo la selección de las frecuencias centrales de los filtros utilizados se realiza un análisis exhaustivo de la señal de la motosierra y las posibles señales con las que se verá enfrentado el sensor en el bosque; sin embargo, este tema será abordado en el capítulo 6.

A continuación se muestra en la figura 5.8 un bloque de la etapa de filtros

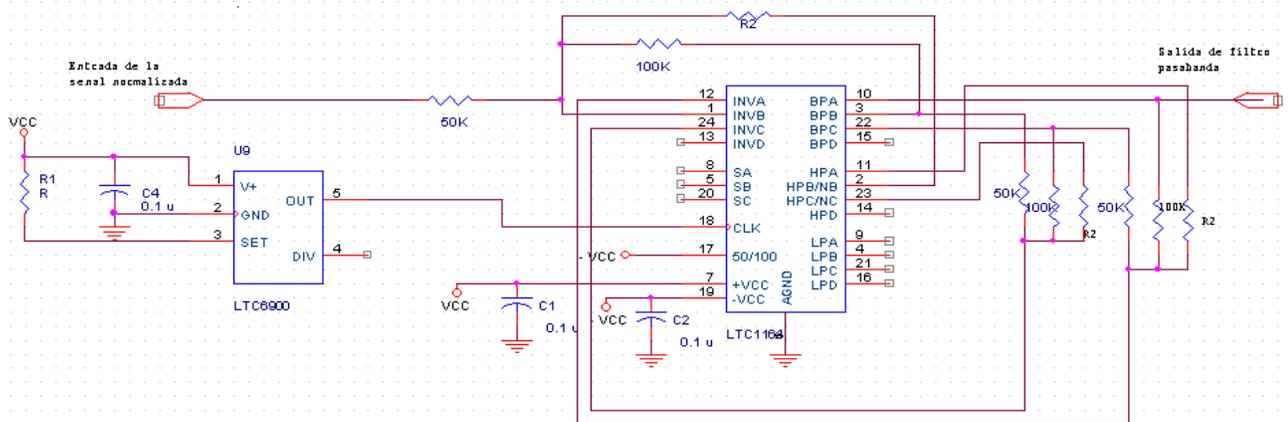


Figura 5.8 Filtro pasabanda con oscilador

Esta etapa se conforma por ocho módulos similares al mostrado anteriormente, con diferente frecuencia de oscilación. Cada uno tiene la función de identificar una frecuencia diferente con un respectivo ancho de banda establecido.

El oscilador que se muestra en la figura 5.9 tiene la función de determinar la frecuencia central a la cual trabajan los filtros.

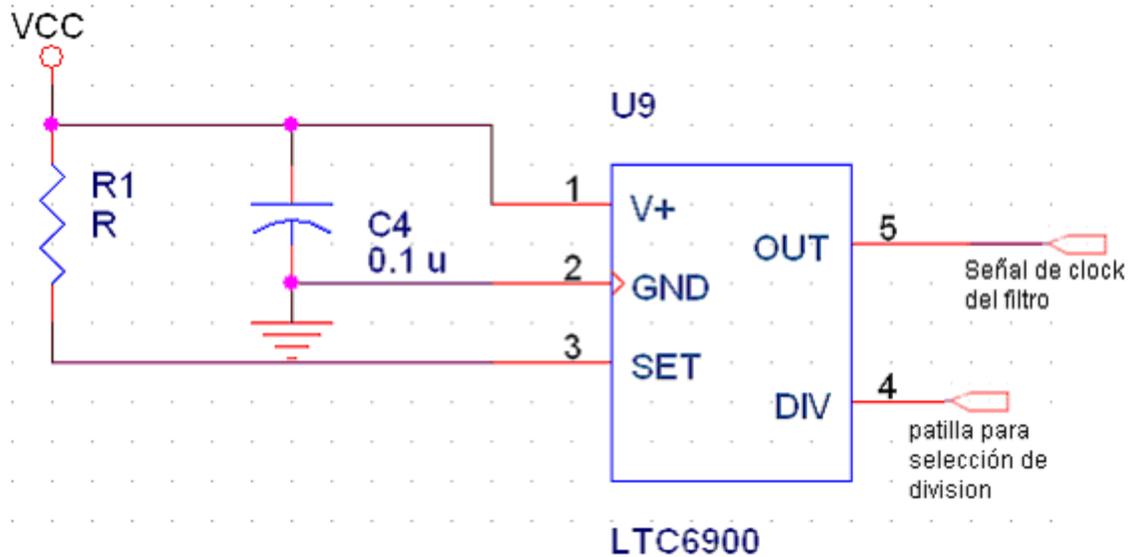


Figura 5.9 Oscilador LTC 6900

El oscilador utilizado es el LTC6900³. Entre sus principales características se encuentra su bajo consumo de potencia, el cual es aproximadamente de 1 mA por chip, para un total de 8 mA por todos los integrados, además su rango de frecuencias, el cual va desde 1 kHz hasta 2 MHz.

Cabe destacar que los osciladores utilizados son de encapsulado de superficie, por lo cual se le debe implementar una base para utilizarlo.

La salida de oscilador se da por la patilla 5 y consiste en una onda cuadrada de 50% de ciclo, la cual puede tener una amplitud que varía entre los 2.7 y los 5 voltios.

Este oscilador tiene la función en el circuito de determinar la frecuencia central de cada uno de los filtros a los cuales está conectado.

³ Más información en Anexos

En la configuración utilizada la resistencia R1 y la patilla 4 son las encargadas de determinar la frecuencia emitida por este. El resistor R1 puede tener un valor entre los 10 kΩ y los 2 MΩ

La frecuencia de oscilación del filtro puede ser determinada a través de la siguiente fórmula:

$$F_{osc} = 10MHz \cdot \left(\frac{20000}{N \cdot R_1} \right)$$

En la conexión utilizada en este proyecto N tiene un valor de 10.

La tabla 5.1 muestra el valor de resistencia y la frecuencia de salida de cada uno de los filtros:

Tabla 5.1. Frecuencia de salida de los osciladores y resistencia utilizada.

Frecuencia del Clock (kHz)	Valor de resistencia (KΩ)
353,140	56,634
568,480	35,182
740,740	27,000
826,880	24,187
861,330	23,219
895,780	22,326
938,850	21,302
990,530	20,191

Los valores de esta tabla se obtienen basándose en las frecuencias más apropiadas para la discriminación de la motosierra. En la sección 6 se explican los criterios utilizados para la selección de estas.

La conexión de los filtros puede observarse en la figura 5.10:

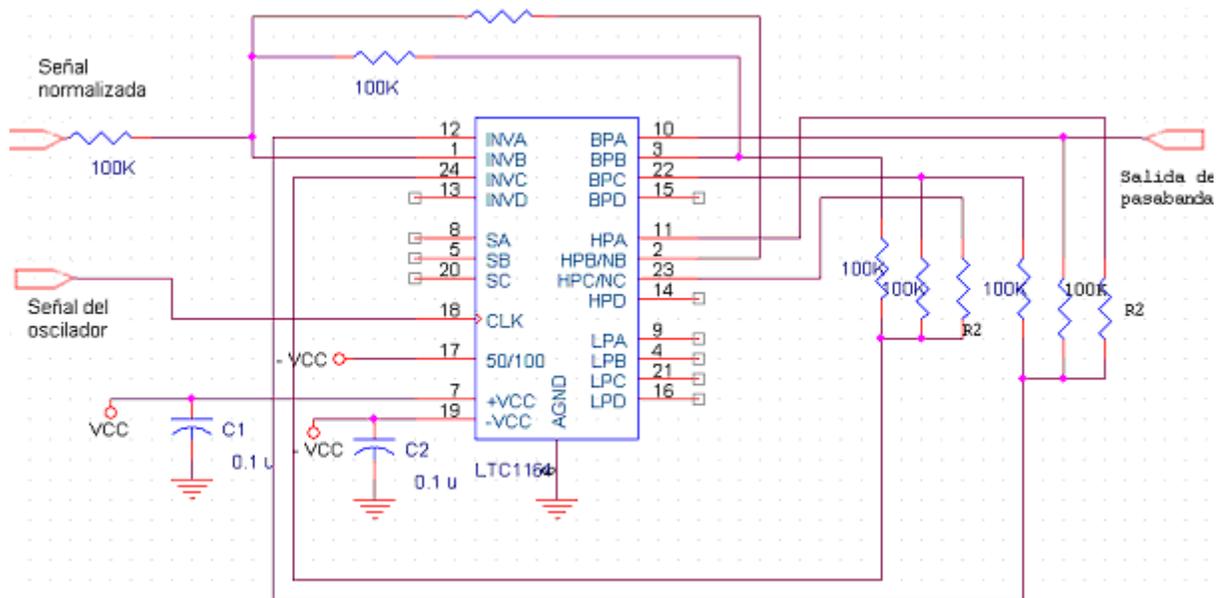


Figura 5.10. Filtros en cascada

El circuito integrado utilizado para esta etapa es el LTC1164, el cual consiste en cuatro filtros de bajo consumo de segundo orden.

Estos filtros pueden conectarse de tal forma que trabajen en variados modos de operación, el modo seleccionado es el 1. En este modo el filtro se comporta como un filtro Butterworth, y tiene la posibilidad de ser conectado en filtros pasabanda de segundo orden en cascada.

Esta etapa está alimentada con ± 5 voltios. El consumo de corriente típico de estos filtros es de 3.6 mA. En total el consumo de los ocho filtros ronda los 30 mA

A la hora de llevar a cabo las conexiones, se decide conectar la patilla 17 a –VCC debido a que de esta forma todos los filtros trabajan con una frecuencia igual a la frecuencia de entrada dividida entre 100.

Como se puede observar en la figura anterior se conectan tres filtros en cascada, respectivamente los B,C y A, todos en modo de operación 1. Al realizar estas conexiones en cascada se obtiene la ventaja de aumentar el orden del filtro resultante, lo cual hace que el corte del filtro sea más vertical, atenuando de manera más drástica las frecuencias que quedan fuera del ancho de banda permitido. Además, también se disminuye el ancho de banda de cada uno de los filtros. Este ancho de banda varía de acuerdo a la frecuencia central de cada uno de los filtros, teniendo un ancho de banda mayor los filtros con una frecuencia central mayor.

La frecuencia central de cada filtro se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$F_o = \frac{f_{CLK}}{100}$$

El factor de calidad (Q), de cada filtro se obtiene mediante:

$$Q = \frac{R_3}{R_2}$$

Es importante destacar que todos los factores de calidad (Q) de los filtros son 10. Lo anterior debido a que este es el máximo valor que soportan los filtros sin alterar su adecuado funcionamiento.

En esta etapa se lleva a cabo la amplificación de la señal que pasa por los filtros en un factor de 2 por filtro, para un total de 8 por etapa, ya que hay tres filtros en cascada para cada señal. Además, la ganancia de los filtros invierte la señal.

5.2.4 Discriminante lineal y activación del sensor

Esta etapa se encarga de enviar la señal de activación a la etapa de comunicación. La señal consiste en la activación de una señal de 5 voltios en la salida. En caso de que el sensor no se active, la señal permanece en 0 voltios. El circuito para esta etapa se muestra en la figura 5.11.

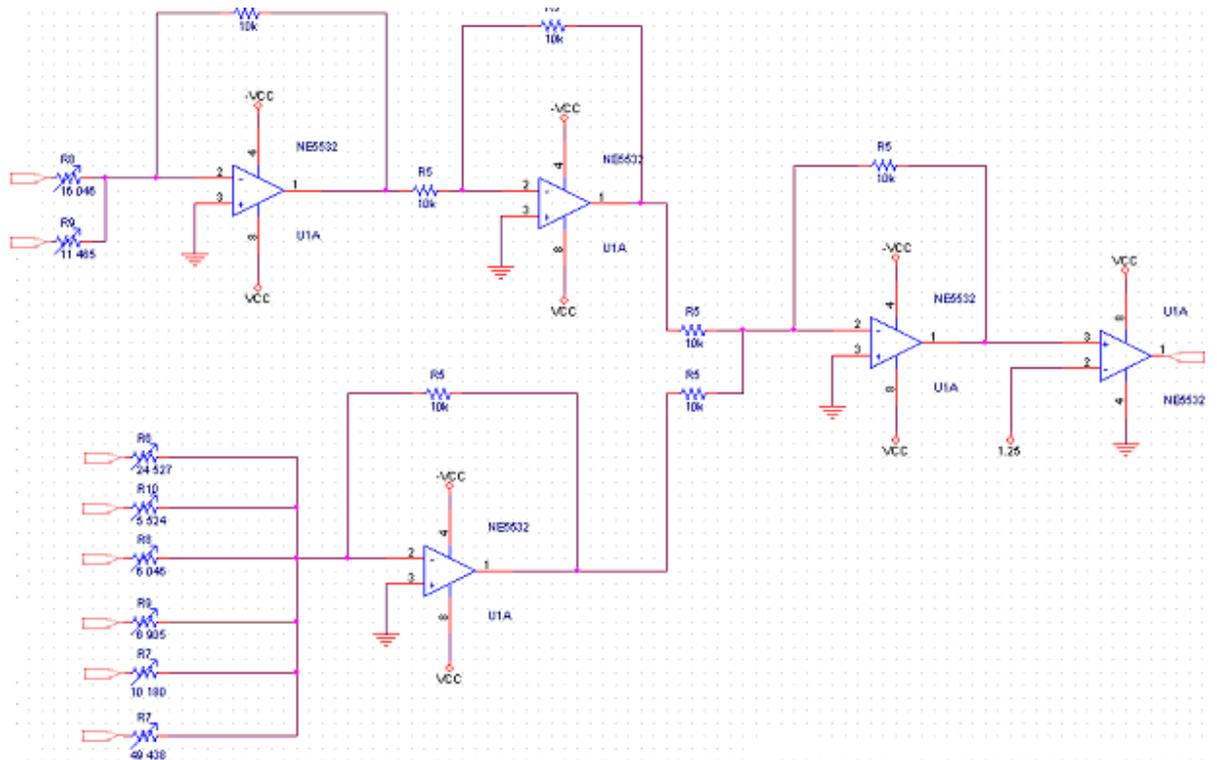


Figura 5.11 Etapa de decisión

Para efecto de su estudio, esta etapa puede dividirse en tres partes:

- Promedio de la señal proveniente de los filtros.
- Suma de señales correspondientes a motosierra.
- Suma de señales no correspondientes a motosierra.
- Comparación de señal resultante con el umbral.

5.2.4.1 Promedio de la señal proveniente de los filtros

En la figura 5.12 se muestra el promedio de la señal proveniente de los filtros. A esta etapa llegan las señales ya filtradas y amplificadas en la etapa anterior. Su función es la de realizar un promedio de la energía de la componente en frecuencia que paso el filtro, para que de esta manera pueda ser debidamente considerado en los pesos. Consiste en un rectificador de media onda, con un circuito RC a la salida, similar al utilizado en la etapa de normalización de la señal para obtener un promedio. Además, se agrega un seguidor de voltaje, para que la impedancia de salida no afecte la siguiente etapa.

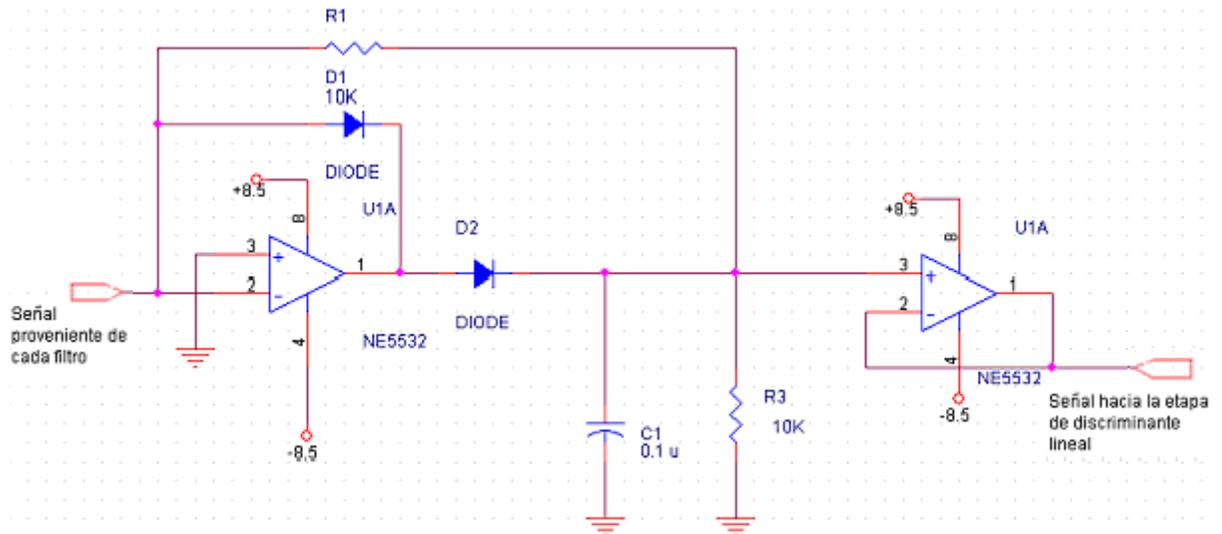


Figura 5.12. Promedio de la señal proveniente de los filtros

La amplificación que se da en los filtros se debe a que el promedio de energía que llega a esta etapa es muy bajo, y se ve seriamente afectado por el ruido del circuito.

Para cada uno de los filtros existe una etapa de estas, y su salida va a la entrada de los sumadores que componen los pesos.

5.2.4.2 Suma de señales correspondientes a motosierra

En la figura 5.13, la señal proveniente de la etapa de promedio llega a los potenciómetros.

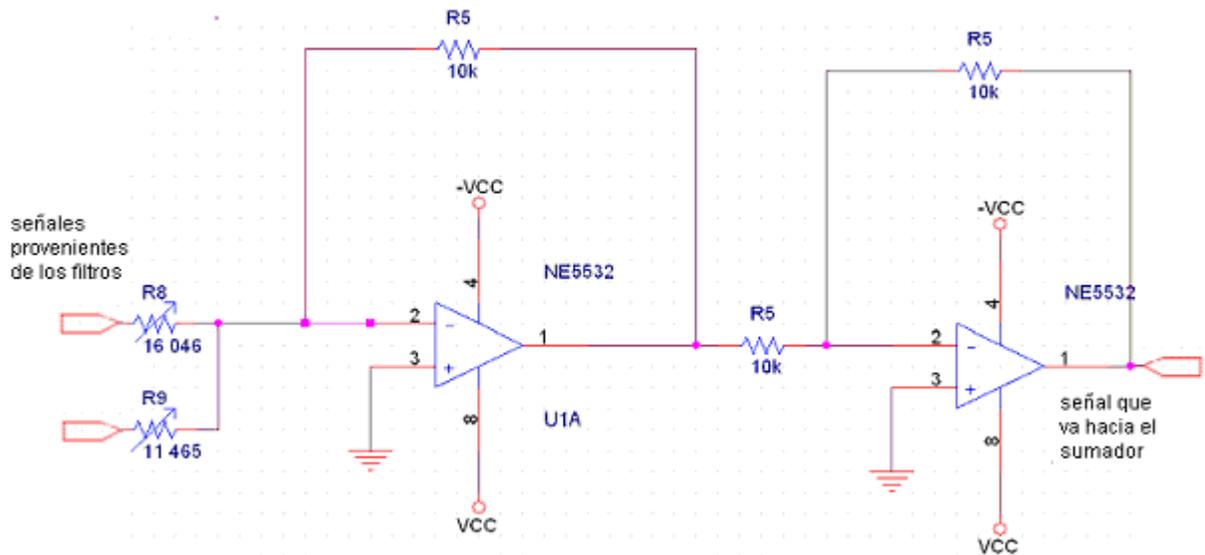


Figura 5.13. Suma de señales correspondientes a motosierra

El primer amplificador del filtro consiste en un sumador inversor, en el cual las entradas tienen una ganancia diferente. Esta ganancia corresponde al peso establecido a cada una de las frecuencias asignadas.

Posteriormente a este sumador se encuentra un inversor, utilizado para tener un umbral de referencia positivo. El hecho de haber utilizado un sumador inversor y posteriormente un inversor, en vez de utilizar un sumador no inversor se basa en la idea de que en futuros montajes, se podrían agregar más de dos entradas a este sumador, lo cual en el caso de la configuración actual significaría simplemente agregarla en la entrada, mientras que si se hubiese utilizado un sumador no inversor habría sido necesario también recalcular la resistencia de retroalimentación.

5.2.4.3 Suma de señales no correspondientes a motosierra

A esta etapa, figura 5.14, llegan las señales provenientes de los filtros que dejan pasar las señales características que no corresponden a motosierras. Este circuito corresponde a un amplificador inversor, con una diferente ganancia para cada una de sus entradas

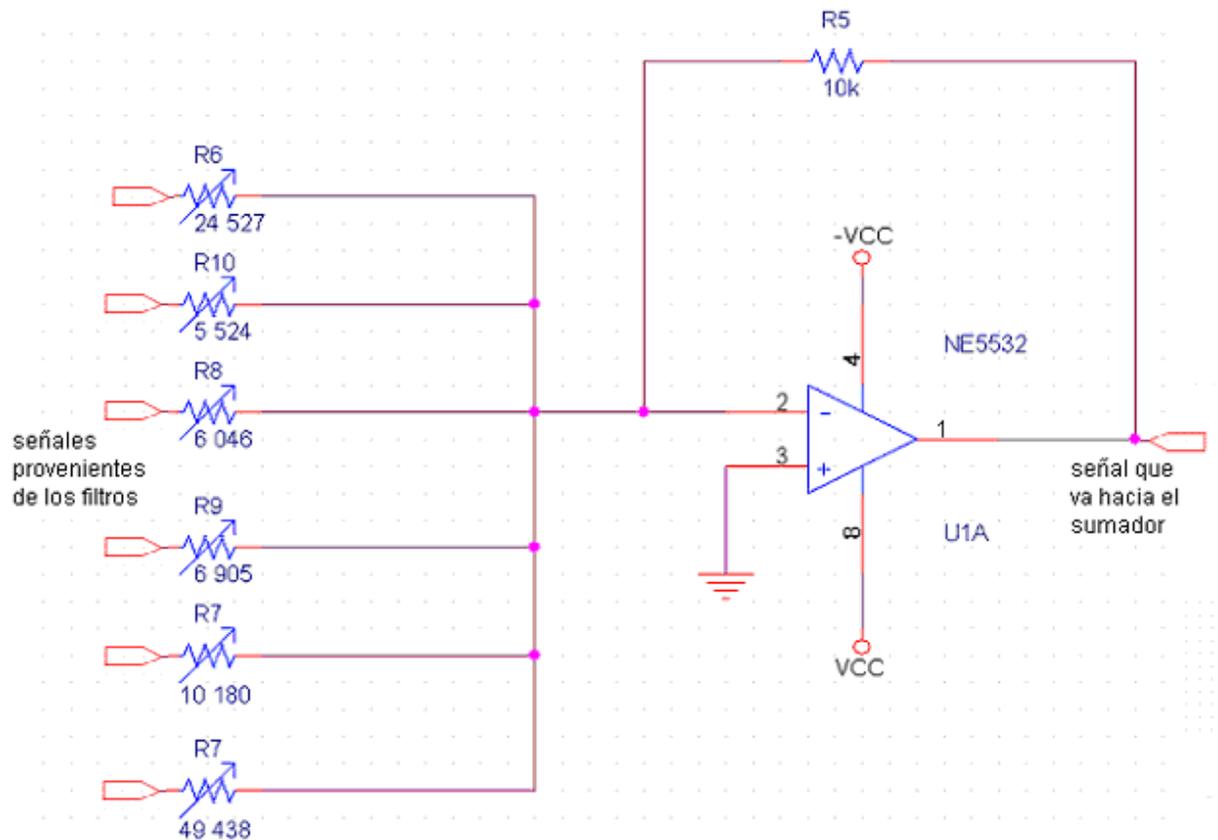


Figura 5.14 Suma de señales no correspondientes a motosierra

El valor de cada una de las resistencias corresponde al peso de la frecuencia central del filtro. En este caso, mientras mayor sea la magnitud de la señal permitida por el filtro y mayor su correspondiente peso, menor será la posibilidad de que la señal de entrada halla sido producida por una motosierra.

5.2.4.4 Comparación de señal resultante con el umbral

A la parte mostrada del circuito en la figura 5.15 llegan las señales provenientes de los sumadores tanto de las señales de motosierra, como de las que no. Este sumador inversor lleva a cabo la suma e invierte la señal, es importante rescatar que la señal se trabaja de una manera inversa, para que de esta forma el umbral quede positivo, ya que, como se verá en el análisis, este tiene un valor negativo.

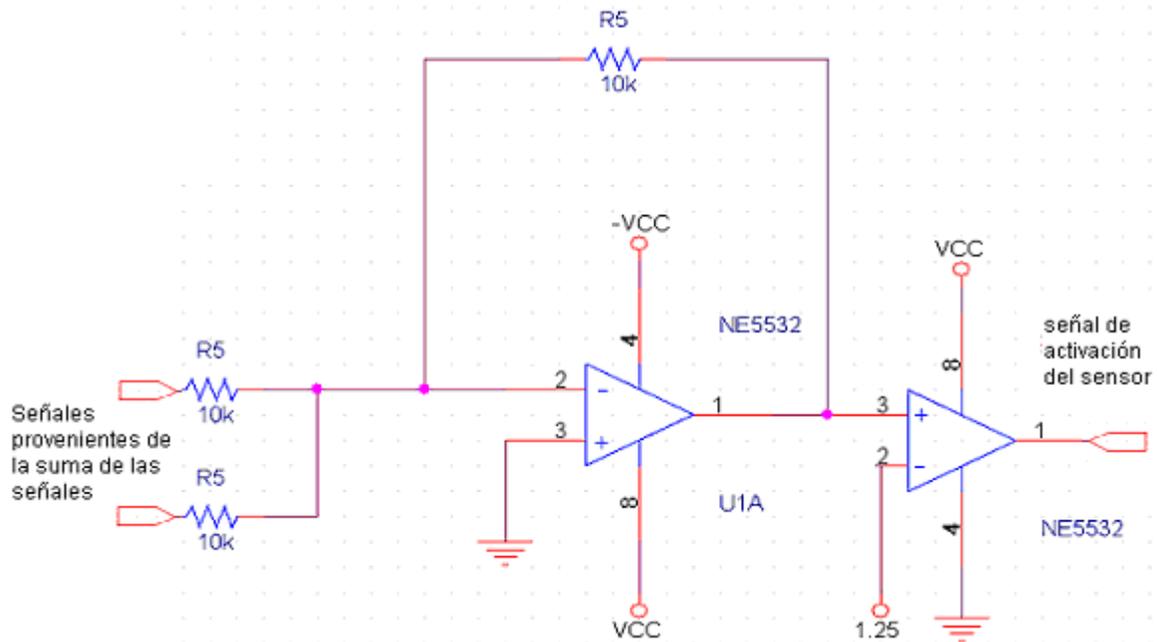


Figura 5.15 Comparación de señal resultante con el umbral

Una vez realizada la suma de estas dos señales, se llega a un comparador de nivel, el cual posee un voltaje de referencia igual al valor umbral determinado por la distribución normal realizada en matlab.

Este amplificador detector de umbral posee la alimentación negativa conectada a tierra, y así, cuando el circuito no supera el umbral la señal de salida es cero. Su alimentación positiva está conectada a 5 voltios, por lo tanto será la magnitud de la salida en el momento de activación del sensor, la cual irá a la siguiente etapa.

5.2.4.5 Componentes utilizados y consumo

Para el montaje del circuito se utilizan:

- 8 Filtros LTC1164.
- 8 osciladores LTC6900.
- 1 multiplicador analógico AD633.
- 14 amplificadores operacionales de bajo ruido NE5532.
- 1 micrófono P11965.
- 2 amplificadores LT072.
- 19 diodos.
- 40 capacitores.
- Aproximadamente 108 resistencias.
- 16 potenciómetros.

El consumo total de potencia del circuito es de 1,8 W.

5.3 Descripción del software

A pesar de que el circuito implementado no requiere de ningún tipo de programación, ésta es necesaria para llevar a cabo el análisis de las frecuencias y determinar los pesos de cada una. Además, también se realizan simulaciones para evaluar la eficiencia del circuito, obteniendo distribuciones normales, para determinar la cantidad de información que no podía ser discriminada.

Previamente a la ejecución de cada uno de los programas diseñados, fue necesario obtener cierta información a través de comandos, dado que su programación podía generar algunas complicaciones.

Antes de llevar a cabo cada una de las rutinas, se inicia digitalizando la señal en matlab, convirtiéndola en un archivo .wav. Esta digitalización genera dos constantes, 'y' y 'fs'. 'y' contiene la información de la señal y 'fs' contiene la frecuencia de muestreo de la señal. Posteriormente, se realiza un espectograma de la señal, obteniendo las siguientes constantes:

B: es una matriz que almacena toda la información del análisis de Fourier. A esta constante, posteriormente se le extrae su valor real, omitiendo los valores complejos.

f: Consiste en una matriz de una sola columna, en la cual se detallan los intervalos de frecuencia, a los que el programa realiza el análisis.

t: Es también una matriz, pero en este caso de una sola fila, en la cual se detallan los intervalos de tiempo en los cuales se realiza el análisis por el programa.

Estos tres vectores son utilizados para llevar a cabo el espectograma:

En el eje y, se encuentra el vector f, en el eje x, el vector t y tridimensionalmente se encuentra la matriz B.

Todos los programas son desarrollados en matlab. A continuación se expondrán los diagramas de flujo de cada uno de ellos.

5.3.1 Rutina Entrenamiento

Entradas: num, ceros

Salidas: E

A la hora de llevar a cabo el análisis de la señal de audio es necesario crear un vector que distinga cuando los sonidos del archivo corresponden a motosierra y cuales no. Este vector debe tener el mismo número de columnas que el archivo de audio, con unos en la parte correspondiente a motosierra y ceros en la parte de la señal de audio donde no hay motosierra, como lo muestra el diagrama de flujo de la figura 5.19.

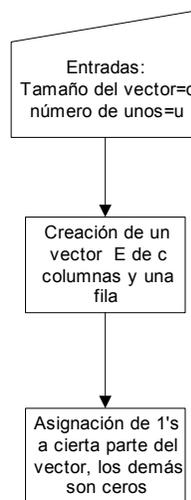


Figura 5.16 Diagrama de flujo de rutina entre

Este vector de entrenamiento es utilizado posteriormente para indicar en el análisis cual parte de los datos analizados corresponde al sonido de la motosierra y cual parte no. La diferenciación inicial para establecer el criterio debió hacerse de manera manual.

5.3.2 Rutina clase2

Entradas: B, E

Salidas: C1,C2,SW,w,W1,W2,Z1,Z2,m3,m4,s1,s2,v1,v2

Esta es una de las rutinas más importantes del análisis, ya que, aquí se obtiene y aplica el discriminante lineal de Fisher, el cual se encarga de realizar la diferenciación entre las señales y destacar sus principales puntos para discernir entre ellas.

En el diagrama de flujo mostrado en la figura 5.17, se puede apreciar la metodología utilizada en el programa para obtener el discriminador lineal de Fisher.

Inicialmente, se obtiene el número de unos y ceros, que componen el vector E. Posteriormente se crean dos matrices con un número de filas igual a las de la matriz B y cada una con una cantidad de columnas correspondientes al número de unos y al número de ceros.

Una vez creados estos vectores, se divide la información de la matriz B, enviando los datos correspondientes al sonido de la motosierra a una matriz y los datos correspondientes a otros sonidos a la otra matriz.

Una vez divididos los datos se obtiene la media y la covarianza de cada uno de ellos, la cual es utilizada posteriormente para obtener la covarianza entre clases. Obtenida ésta, ya se tienen todos los elementos necesarios para adquirir el discriminante lineal de Fisher.

En el momento que se tiene éste, se procede a aplicarlo a cada una de las matrices, para así crear dos nuevas matrices con el método aplicado.

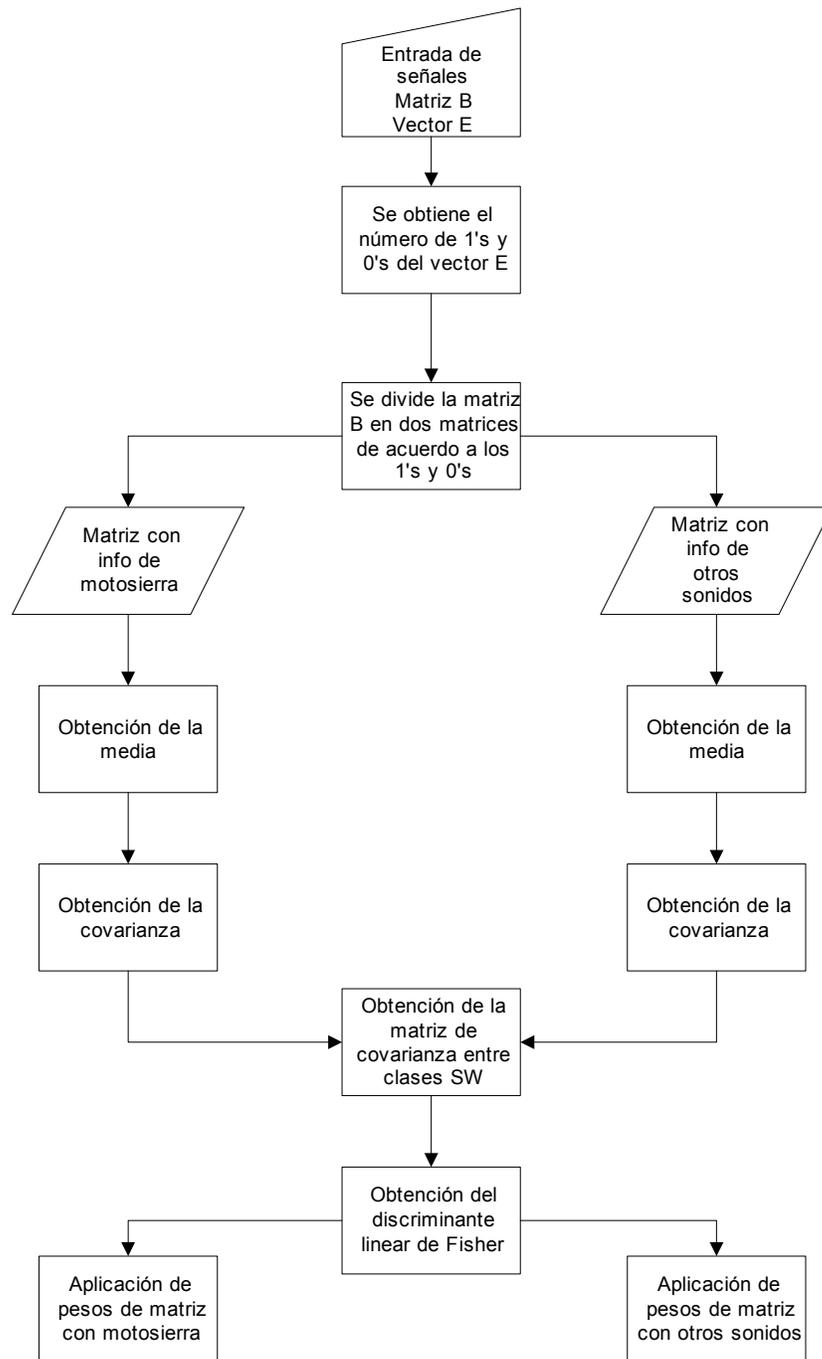


Figura 5.17 Diagrama de flujo de rutina clase2 (I parte)

En esta primera parte del circuito se crean varias constantes importantes para el análisis, a continuación se detallan:

C1, C2: Estas son las matrices en las cuales se divide la información: C1 posee la información correspondiente a la motosierra y C2 la información de los demás sonidos. Cabe destacar que C1 y C2 no poseen las mismas dimensiones, lo anterior debido a que el tamaño de estas depende de la cantidad de sonido procedente de motosierras y a la cantidad de otros sonidos en el archivo de audio analizado.

SW: Llamado matriz de covarianza entre clases. Esta constante es necesaria para la obtención del discriminante lineal de Fisher. Se obtiene multiplicando la covarianza de C1 por el número de columnas de este, sumado al producto de la covarianza de C2 por su número de columnas.

W: Discriminante lineal de Fisher, o vector de pesos. En este vector se encuentra una valoración de cada una de las frecuencias analizadas y su influencia en la discriminación de este par de grupos de información. Este vector posee datos tanto positivos como negativos.

W1,W2: Estos son las matrices de información tanto de motosierra como de no motosierra después de haberseles aplicado el vector de pesos. Estas matrices son importantes debido a que a través de ellas se puede evaluar la capacidad de discriminación del vector.

En la siguiente parte de la rutina clase2, mostrada en la figura 5.18, se obtiene la información necesaria para evaluar la discriminación y se realizan las gráficas que permiten valorar de una mejor manera la información.

Primeramente se obtiene la media, la varianza y la desviación estándar de ambas matrices.

Posteriormente se lleva a cabo la gráfica de la distribución normal de ambas señales, con la intención de realizar un análisis comparativo de manera gráfica de la separación de ambas señales.

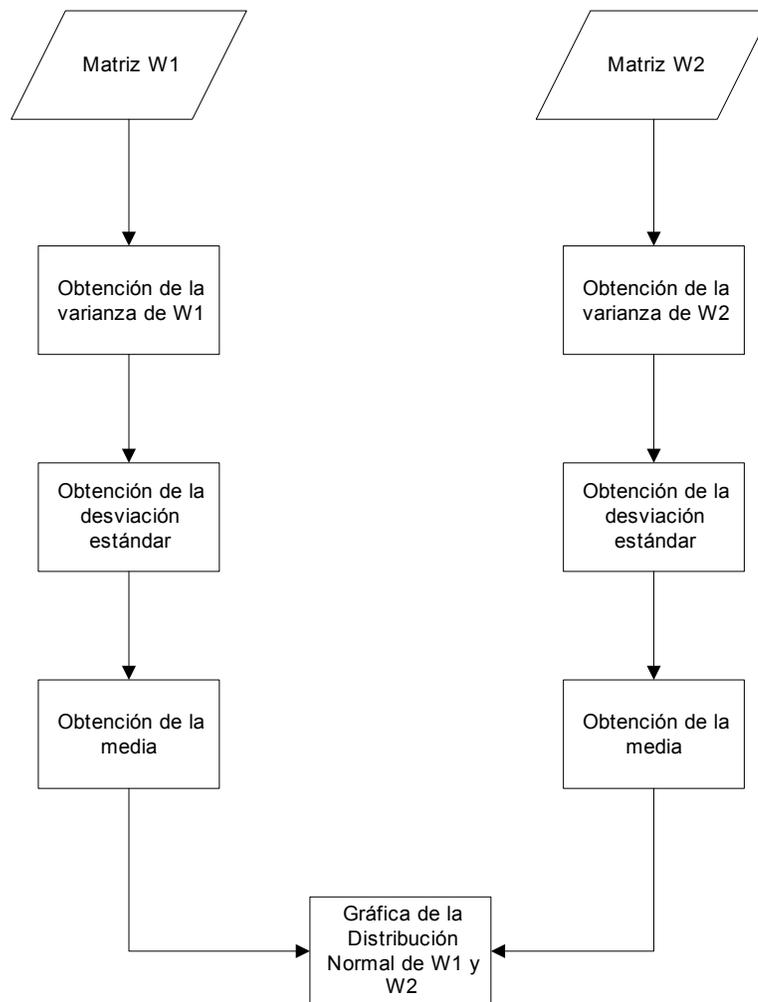


Figura 5.18 Diagrama de flujo de rutina clase2 (II parte)

Esta parte de la rutina da las siguientes constantes en su salida:

m3,m4: Son la media de las matrices W1 y W2.

v1,v2: Se refiere a la varianza de las matrices W1 y W2.

S1,S2: Es la desviación estándar de cada una de las matrices.

Z1,Z2: Es la distribución normal de las matrices W1 y W2.

5.3.3 Rutina ACGHALF

Entradas: y, f, sT, yf

Salidas: x, xf

Esta rutina, mostrada en la figura 5.19, se utiliza con la finalidad de simular la etapa de acondicionamiento de la señal que posee el circuito, para que de esta forma el análisis posterior tuviera una señal de entrada con características similar a la que van a experimentar los filtros y posteriormente la etapa de decisión del circuito.

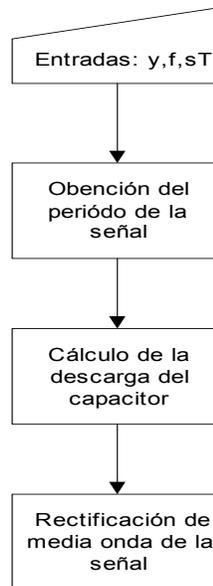


figura 5.19 Diagrama de flujo de rutina ACGHALF

Este programa recibe como entradas: la señal de audio digitalizada, la frecuencia de muestreo y el tiempo de descarga del capacitor. También puede incluirse una cuarta constante yf , la cual se utiliza en caso de que se procese la señal por partes.

A la hora de iniciar la rectificación primeramente obtiene el periodo de la señal de entrada, el cual es necesario para calcular el tiempo de descarga del capacitor.

Una vez que se ha calculado el tiempo de descarga se procede a analizar la señal paso a paso. Si un valor de la matriz de la señal es cero, es omitido, debido a que el rectificador es de media onda.

5.3.4 Rutina intersección

Una vez que se tienen las distribuciones normales de las matrices W1 y W2, se procede a despejar las funciones en busca de su punto de intersección, este despeje debe realizarse en el programa MAPLE, debido a que matlab no posee la capacidad de manejar tantas variables. La ecuación despejada es la siguiente:

$$\frac{e^{\left(-1/2\frac{(x_1-u_1)^2}{\sigma_1^2}\right)}}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} = \frac{e^{\left(-1/2\frac{(x_2-u_2)^2}{\sigma_2^2}\right)}}{\sqrt{2\pi}\sigma_2}$$

Obtenida la ecuación que muestra el punto de intersección de las distribuciones, se soluciona en matlab aplicando las constantes obtenidas en la rutina clase2.

Cuando se tiene la intersección entre las señales, se realiza una integración de las distribuciones normales desde infinito hasta el punto de intersección y desde menos infinito hasta el punto de intersección, para obtener de esta manera las probabilidades de error a la hora de la detección en el circuito.

Esta rutina no se implementa en una función de matlab, debido a que el manejo de las constantes lo hace un poco complejo. Por lo tanto, se ejecuta manualmente en la ventana de comandos.

Capítulo 6: Análisis de Resultados

6.1 Análisis de Fourier

La primer etapa en el análisis de la información consistió en el análisis de la señal de audio, aplicando la transformada rápida de Fourier (FFT), en el programa matlab. Para este análisis se utilizó la aplicación SPTOOL.

Las señales recopiladas se editaron de tal forma que solo queda la parte importante, para evitar la aparición de componentes en frecuencia que no correspondieran a la señal a reconocer.

Para este análisis inicialmente se pasó la señal a través de filtros pasobanda de diferente valor, con la intención de observar el comportamiento de la motosierra a bajas frecuencias. Estas se muestran en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Frecuencias más notables de la motosierra en deferentes frecuencias

Filtro (Hz)	Frecuencia (Hz)	Energía
200Hz	110	0.56
200-400	241	1.9
400-600	563	1.94
500-600	563	1.94
600-800	744	1.68
600-700	664	1.4
800-1000	923	1.24
1000-1200	1076	1.73
1200-1400	1389	1.739
1400-1600	1429	1.28
1600-1800	1730	0.76
1800-2000	1870	0.88

La primera columna de la tabla presenta el ancho de banda del filtro aplicado, los cuales son filtros butterworth de segundo orden.

En la columna del centro se indica la frecuencia en la cual se presentó el pico más alto de energía y en la tercera columna se muestra la intensidad de ese valor de energía utilizado en matlab.

Las frecuencias más altas se dan a los 241, 563 y 1389 Hz respectivamente. Estos valores son similares a los utilizados por el prototipo anterior a la hora de realizar la detección.

Sin embargo, no se consideró adecuada la utilización de estas frecuencias, debido a que la mayoría de los sonidos emiten altos picos de energía a bajas frecuencias, como las mencionadas, por lo cual, la posibilidad de que el sensor confunda un sonido con el de la motosierra sería elevado. Esta afirmación se verá justificada más adelante en el espectograma.

Las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 ilustran los datos obtenidos al aplicar la transformada de Fourier a algunas de las diferentes muestras realizadas.

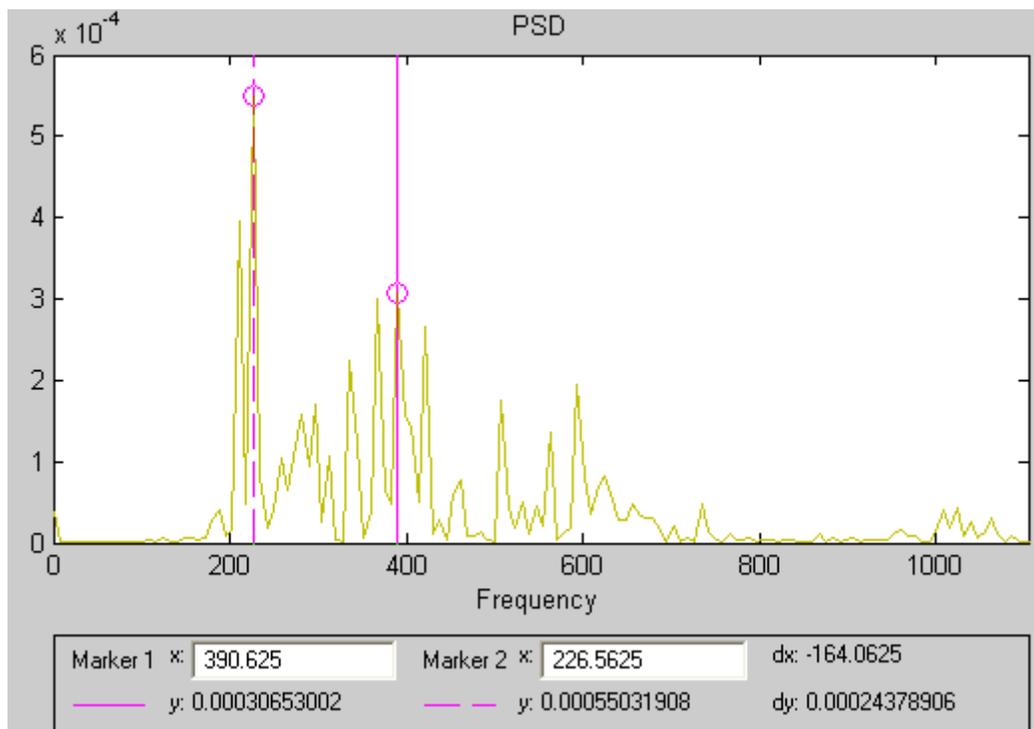


Figura 6.1 Transformada de Fourier de grabación a 70 metros.

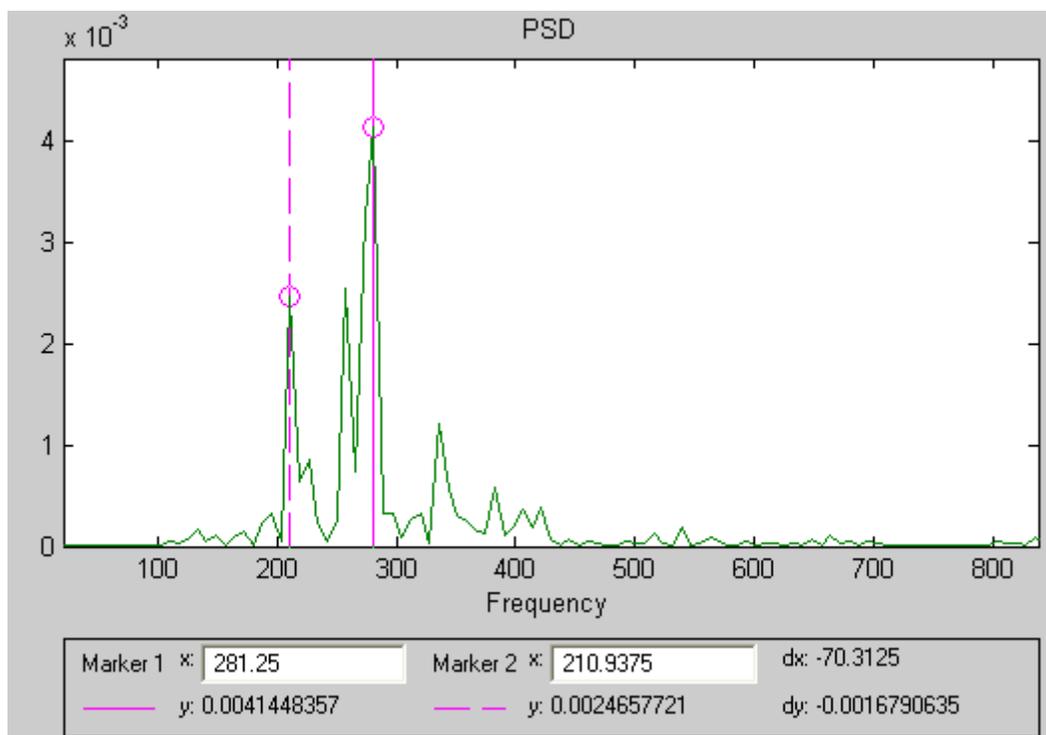


Figura 6.2 Transformada de Fourier de grabación acercándose a motosierra

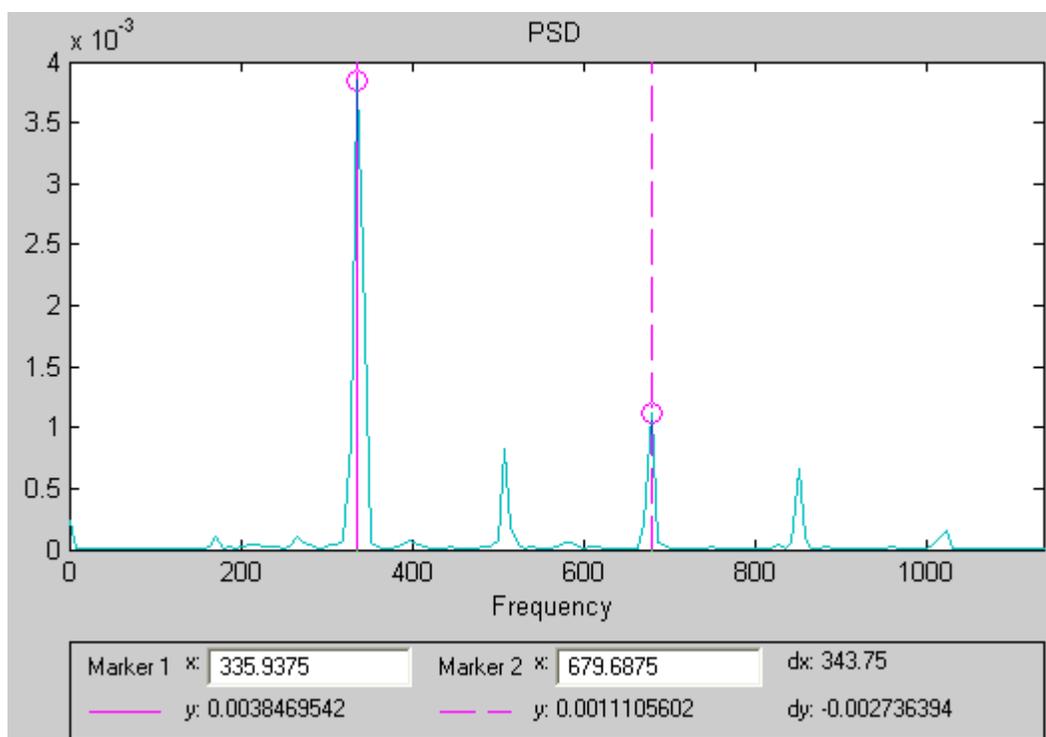


Figura 6.3 Transformada de Fourier de grabación de motosierra cortando

La tabla 6.2 muestra las recopilaciones de frecuencias y sus componentes más significativos. Se pueden observar cinco mediciones diferentes, estas grabaciones se realizan a diferentes distancias, todas con la misma motosierra y la misma grabadora.

Tabla 6.2. Picos de energía de diferentes grabaciones

Tipo de medición	Frecuencia (Hz)	Energía (*10⁻⁴)
70 metros	210	3.9
	226	5.5
	390	3
120 metros	851	9.4
	992	24
	1132	8
Alejamiento	445	29
	554	30
	578	19
Acercamiento	211	24
	257	25
	281	41
Corte	335	38
	507	8.7
	679	11

Como puede apreciarse, los picos más altos de energía de las transformadas de Fourier se dan a frecuencias diferentes.

Esta es la razón por la cual se debe utilizar una etapa de normalización de la señal de entrada.

Teóricamente, la situación anterior se debe a la variación de la magnitud con que se realizó la grabación, la cual influye en la ubicación de los principales picos de frecuencia. Esta afirmación se puede respaldar con las propiedades de Fourier, en una de las cuales se indica que la inserción de una variable en el dominio del tiempo puede influir en la ubicación y magnitud de la componente en el dominio de la frecuencia. Otros factores que pueden influir son perturbaciones que no fueron filtradas adecuadamente, como otros sonidos presentes en el momento de la grabación, o la distancia de la grabación.

Además, se decidió llevar a cabo un análisis más profundo de la señal, en el cual no se pierda la componente del tiempo, como se da en la transformada de Fourier. Por lo tanto, se decidió utilizar la función Specgram de Matlab, la cual realizó un análisis en frecuencia sin omitir el tiempo.

También se tomó la determinación de utilizar una red neuronal simple para el diseño del circuito.

6.2 Análisis estadístico de las señales

Como primer paso en el análisis de la detección de la motosierra en el bosque, se decidió realizar pruebas para determinar si el método era el adecuado y tiene la capacidad de discernir entre algunos sonidos del bosque y la motosierra. Para ello se llevó a cabo un análisis con el discriminante lineal de Fisher y una distribución normal del mismo, comparando la señal de la motosierra con otros sonidos a los que se pueda ver el sensor enfrentado en el bosque.

La figura 6.4 muestra la distribución normal de los vectores $W1$ y $W2$, a los cuales se les ha aplicado el vector de pesos correspondiente a su análisis. La señal analizada está compuesta por un archivo que consta de una parte con la grabación de una motosierra y con otra parte con sonido propios del bosque tropical, obtenidos en Internet. Como puede observarse, el traslape en la distribución normal de ambas es muy poco, con lo cual se determinó que el método es apropiado para este caso.

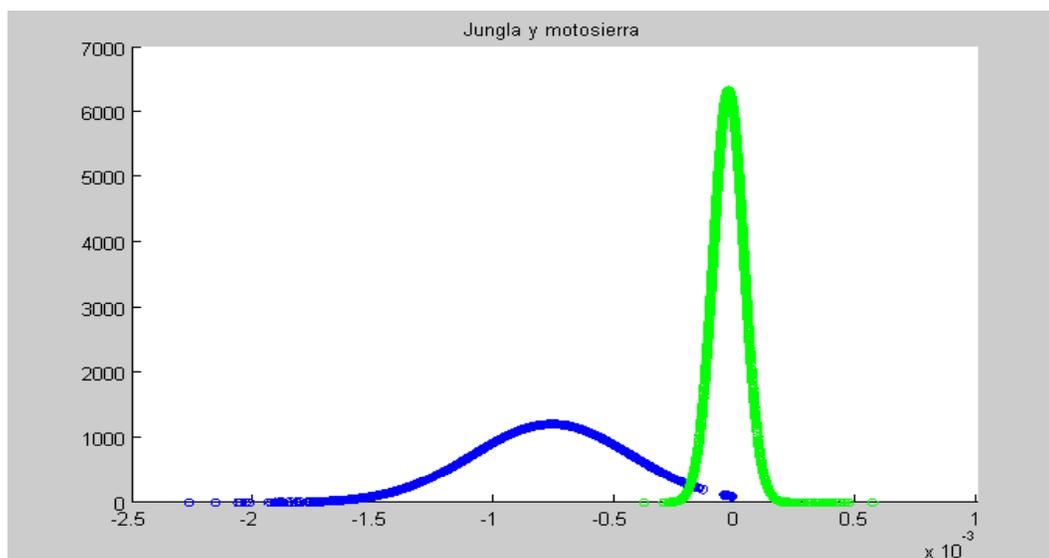


Figura 6.4 Distribución normal de motosierra y jungla

En la figura 6.5 puede observarse otra prueba realizada, esta vez con varios animales, entre ellos lobos, pájaros y monos. Aquí también puede observarse que la separación entre las distribuciones normales es aceptable, por lo que también puede concluirse que el método tiene la capacidad de discernir entre sonidos de motosierras y otros del medio en el que se va a desenvolver.

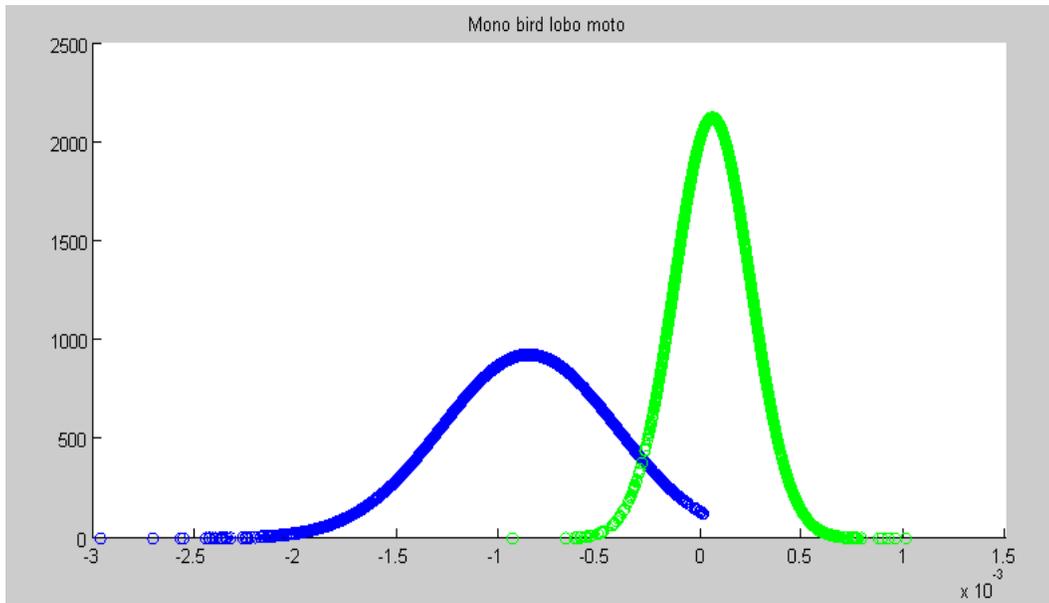


Figura 6.5 Distribución normal de varios animales y motosierra

En la tabla 6.3 se muestra la probabilidad de error de demás pruebas realizadas con diferentes sonidos.

Tabla 6.3 Probabilidad de error en la separación estadística de un determinado sonido y la motosierra

Muestras	% Falsa alarma	% No detectado
Bosque	5%	3%
Monos, pájaros y lobos	8%	6%
Lluvia, loras y lobos	2.45%	1.3%
Avioneta	8.5%	6%

El siguiente paso que se llevó a cabo consistió en la elaboración de un vector de entrenamiento, el cual consiste en un archivo de audio digitalizado, en el mismo se incluyen todas las grabaciones realizadas a la motosierra y además diversos sonidos a los que se puede ver enfrentado el sensor en el bosque.

La señal de audio mostrada en la figura 6.6 fue procesada por la función Specgram de matlab, la cual arroja una matriz y dos vectores. Un vector posee la información en el tiempo y se ubica en el eje horizontal, mientras que el otro vector contiene la información de la frecuencia y se ubica en el eje vertical. La matriz B posee la información relacionada a la transformación de Fourier, pero en números complejos, por lo que fue necesario obtener su valor absoluto. Esta información se ilustra en densidades de color en el specgram.

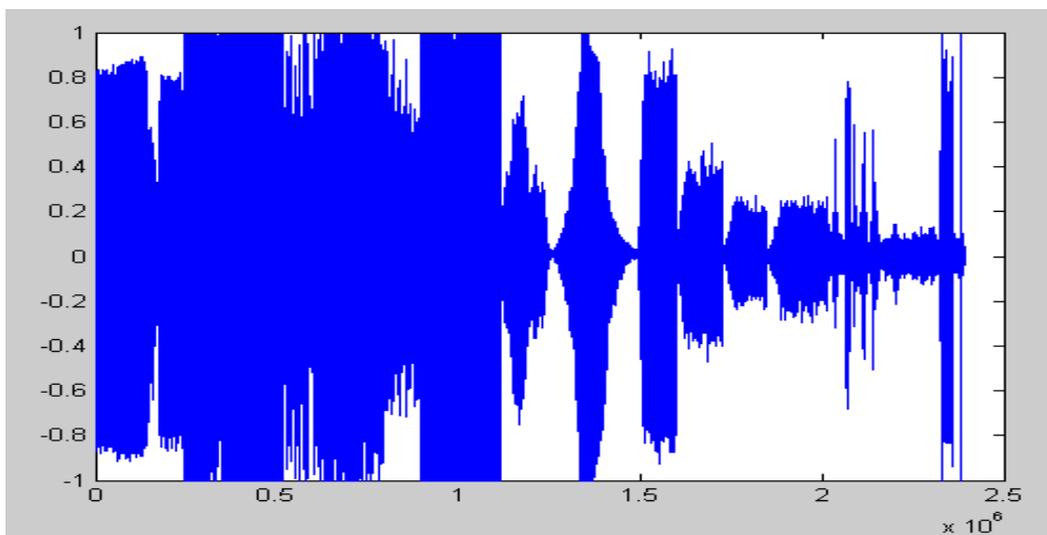


Figura 6.6 Archivo de entrenamiento

El comando utilizado fue `specgram(y,128,fs,128,64)` donde 'y' es la señal de audio digitalizada y 'fs' es su frecuencia de muestreo. El segundo valor especifica la longitud de la FFT que se utilizará, mientras que el cuarto la longitud de la ventana.

En el espectrograma se pueden ver las frecuencias que poseen más energía en colores más intensos. La parte que posee los análisis de la motosierra van de aproximadamente los 0 a los 50 segundos, los demás corresponden a otro tipo de sonidos relativos al bosque.

Como puede apreciarse en la figura 6.7, algunos de los sonidos no correspondientes a la motosierra también presentan altos valores de energía a bajas frecuencias, menores a 2 kHz. Esta situación demuestra que al trabajar con bajas frecuencias se compromete la capacidad de discriminación del sensor y puede considerarse uno de los puntos débiles del prototipo anterior.

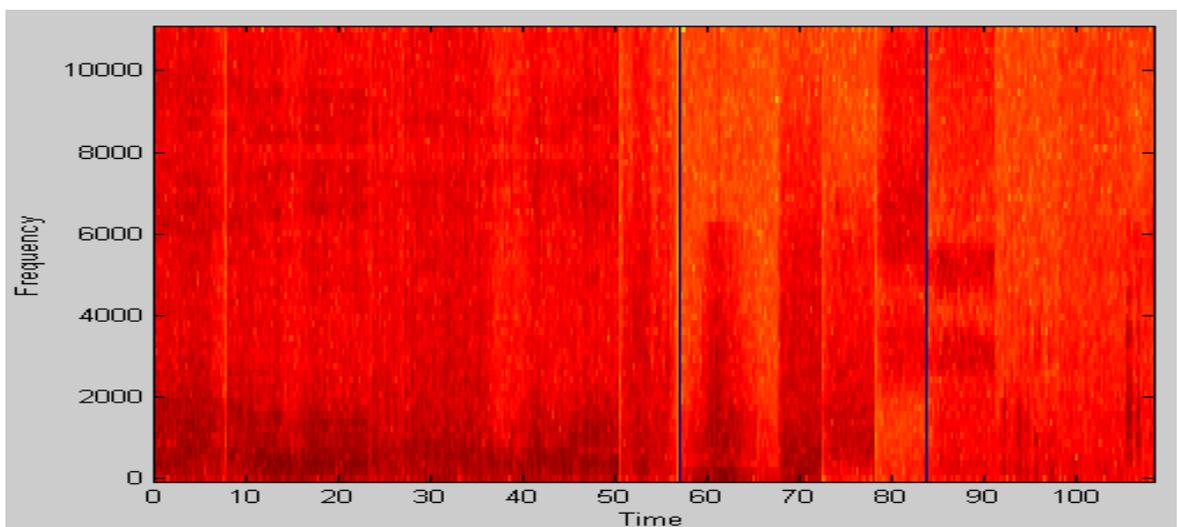


Figura 6.7 Espectrograma de archivo de entrenamiento

Una vez obtenida esta información se procede a aplicar el discriminante lineal, obteniendo una proyección de los datos en el vector ω . La distribución normal de la separación de estos datos se muestra en la figura 6.8:

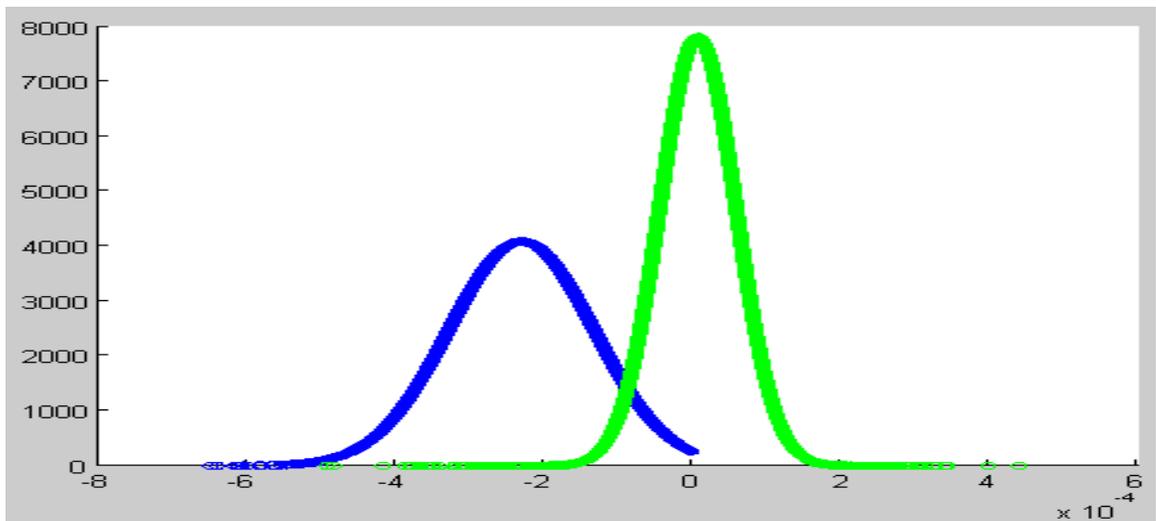


Figura 6.8 Distribución normal del archivo de entrenamiento

Puede verse que la distribución normal de las matrices W1 y W2 en este caso también es aceptable. Debido a lo anterior procedió a aplicarse el vector de entrenamiento de este análisis, al cual se le llamó 'wfi', a los otros archivos de audio con señales de motosierras y otros sonidos analizados previamente.

Como se pudo observar en la figura 6.6, el volumen de la grabación fue diferente para la mayoría de los sonidos, y como se comenta anteriormente, esta situación puede afectar negativamente el análisis en frecuencia. Las figuras 6.9 y 6.10 ilustran las consecuencias si no se hubiese normalizado la señal.

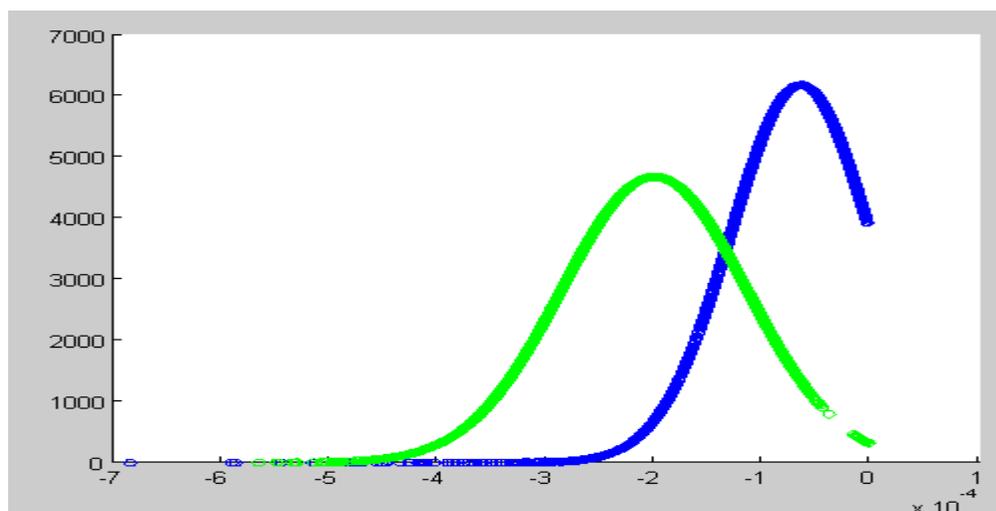


Figura 6.9. Distribución normal de motosierra y jungla, al aplicar el vector de pesos wfi.

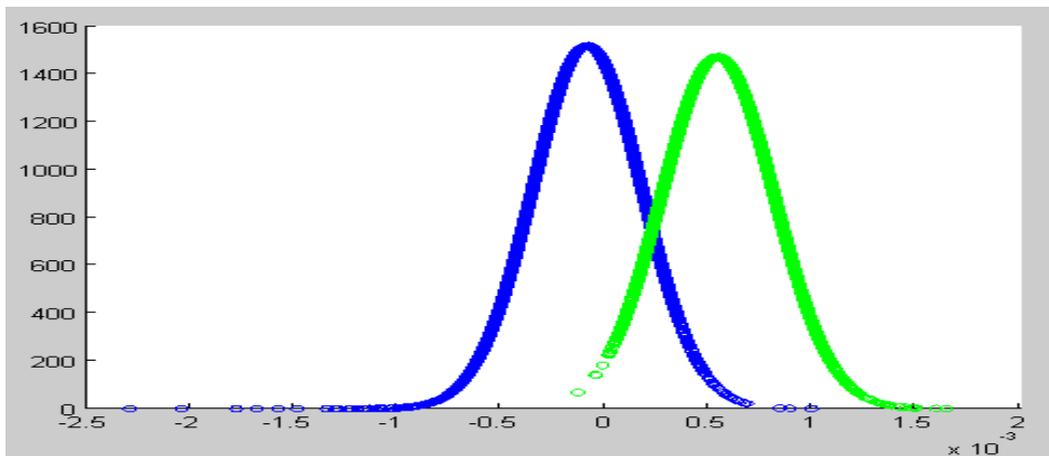


Figura 6.10 Distribución normal de varios animales y motosierra, al aplicar el vector de pesos wfi

Como puede observarse en las figuras anteriores, las distribuciones normales se trasladaron drásticamente al utilizar un vector de pesos global, lo cual significa un problema, debido a que mientras mayor sea el traslape, menor será la confiabilidad del sensor. Además, a la hora de implementar el vector de pesos en el circuito, no solamente se utilizará uno global, sino que también se le verán disminuidas sus frecuencias analizables, lo que seguramente le reducirá su capacidad de discernir.

Esta situación reafirmó la necesidad de normalizar la señal. Además, dada la magnitud es probable que se produjera algún tipo de distorsión y pérdida de información.

Es por ello que se trabajó en un circuito que nivele la señal que llegue del micrófono a un mismo volumen, para mejorar el análisis y afinar el vector de pesos que fue utilizado para calibrar los filtros y definir la influencia de las señales en la decisión final.

Para la simulación del circuito en matlab, se creó una función que cumplió la de un rectificador de media onda con un circuito RC a la salida, además de que se ejecuta la ecuación:

$$V_{sal} = \frac{V_{ent}}{V_{prom} + 0.1}$$

donde la constante 0.1 en el denominador se ubicó para evitar la amplificación de señales muy pequeñas, las cuales probablemente no contengan información importante.

A continuación, en la figura 6.11 se muestra la señal a la salida del rectificador.

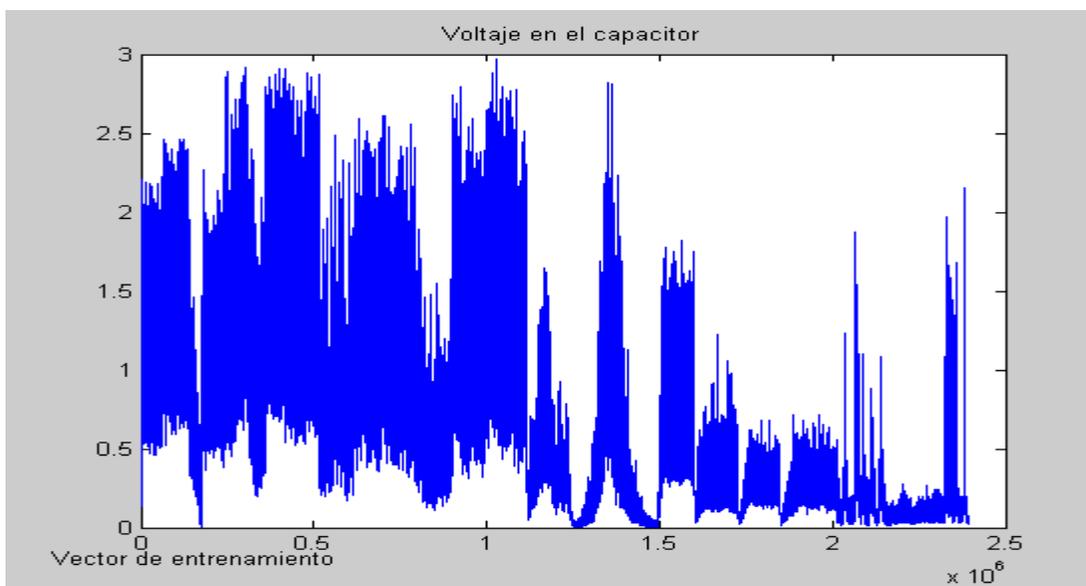


Figura 6.11 Simulación del voltaje en el capacitor a la salida del rectificador

Como puede observarse, la función del rectificador es dar una señal con los picos máximos, los cuales se utilizarán para obtener una normalización de la señal de entrada, además gracias a la configuración RC a la salida del rectificador se da una atenuación de los cambios bruscos en el voltaje.

La importancia de la constante 0.1 en el denominador puede verse claramente en las figuras 6.12 y 6.13, en las cuales se muestra la señal promediada con, y sin esta constante.

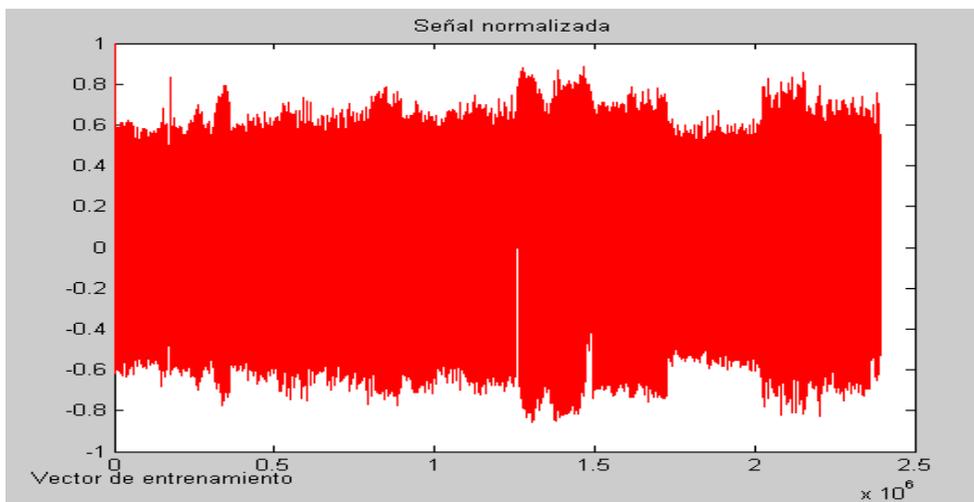


Figura 6.12. Señal normalizada sin la constante 0.1

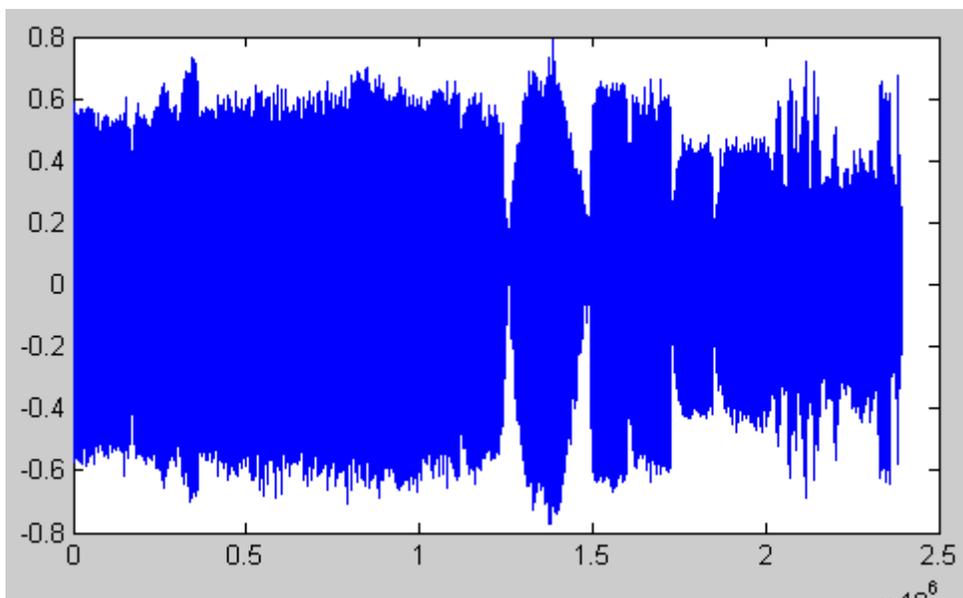


Figura 6.13 Señal normalizada con la constante 0.1

Como puede verse, las señales son similares, con la diferencia de unas pequeñas zonas en las cuales la información era muy baja, probablemente por la ausencia de sonidos y no era necesario realizar la amplificación.

Una vez normalizada la señal se procedió a realizar nuevamente los análisis comentados anteriormente, obteniendo resultados satisfactorios, por lo que se decidió seguir adelante con el análisis de este archivo de entrenamiento. En la figura 6.14 se muestra la señal normalizada.

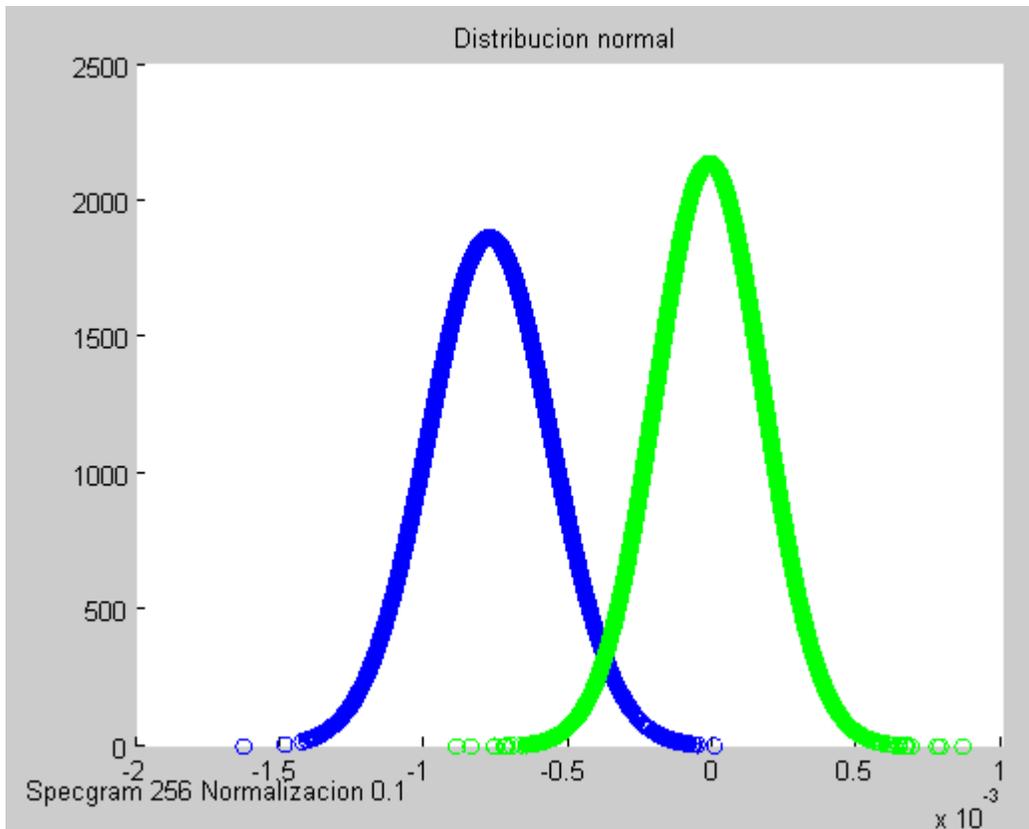


Figura 6.14 Distribución normal del archivo de entrenamiento normalizado

Luego de obtener la figura de las distribuciones normales se procedió a calcular su punto de intersección, con la intención de calcular los posibles rangos de error del sensor.

Punto de intersección entre las distribuciones normales: $-3.6551e-004$

Luego de obtenido el punto de intersección se integran las distribuciones, obteniendo así las probabilidades de errores.

Probabilidad de que una motosierra no sea detectada: 2.67 %

Probabilidad de que una señal sea confundida con una motosierra: 3.14%

La figura 6.15 ilustra la influencia de cada uno de los intervalos de frecuencia analizados, en valor absoluto. En este caso se toma en cuenta 129 intervalos de frecuencia y por ende 129 pesos

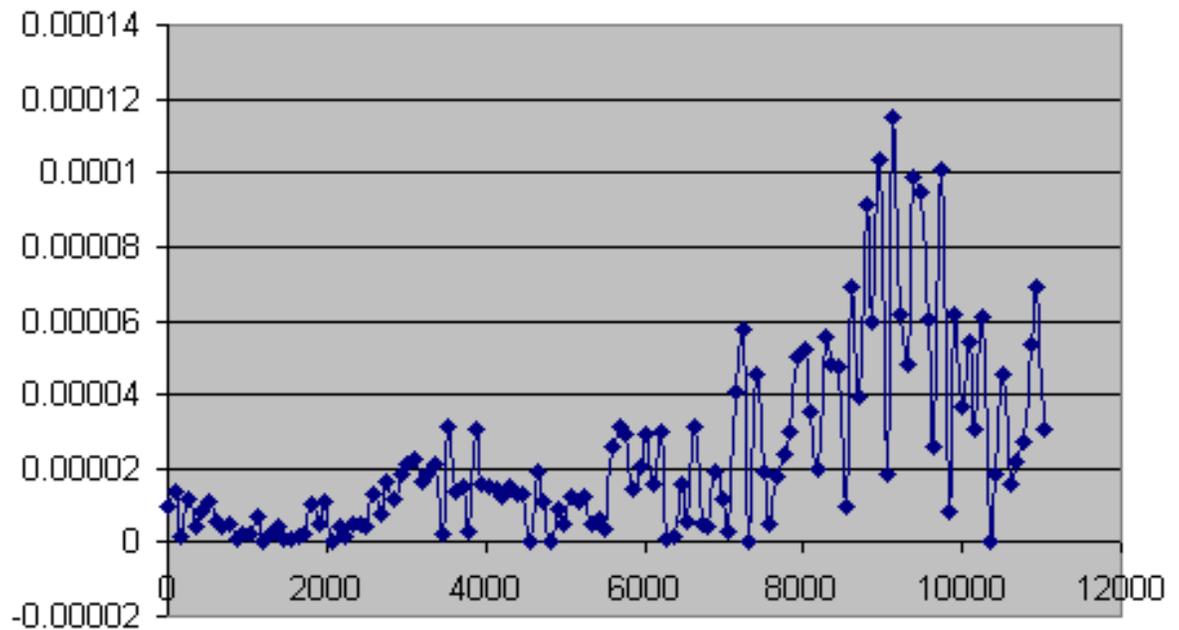


Figura 6.15 Vector de pesos total señal normalizada

Del vector de pesos anteriormente mostrado se seleccionan las 21 frecuencias con los pesos más significativos, esto debido a que el circuito final solo utiliza 8 frecuencias, debido a que debe ser de un tamaño reducido y económico.

Los pesos seleccionados son los siguientes:

Tabla 6.4 Valores seleccionados del vector de pesos normalizado

Frecuencia (Hz)	Peso (*10⁻⁵)	Frecuencia (Hz)	Peso(*10⁻⁵)
3531,4	8,75	8785,5	-9,72
3876	-2,57	8957,8	-1,2923
5684,8	8,67	9130,1	-1,1288
6029,3	2,14	9388,5	-1,3745
6201,6	2,42	9733	-8,05
6632,2	4,67	9905,3	-5,40
7235,2	-6,16	10078	4,60
7407,4	-9,90	10250	2,13
8010,4	1,2421	10508	-1,10
8268,8	-2,4177	10939	4,40
8613,3	-1,8038		

Una vez seleccionados los pesos, estos pasan a formar el vector de pesos total y se procedió a realizar de nuevo todo el análisis, obteniendo la distribución normal de las matrices W1 y W2 que se muestra en la figura. 6.16.

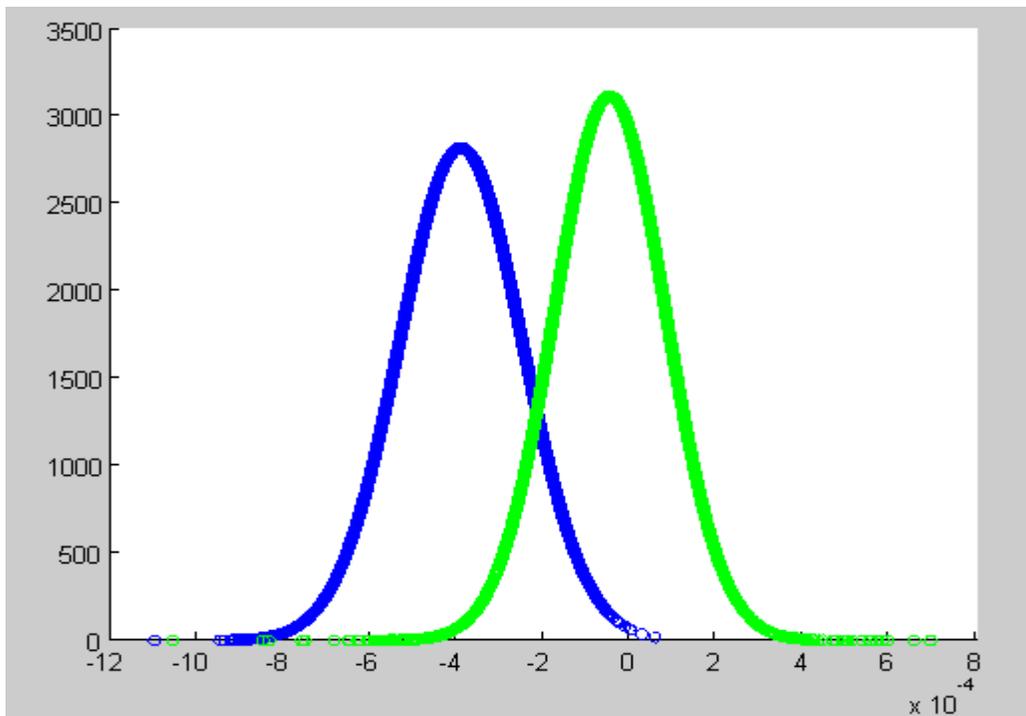


Figura 6.16 Distribución normal utilizando 20 pesos

Punto de intersección de las distribuciones normales: $-2.0317e-004$

Posibilidad de que una motosierra no sea detectada: 9.12 %

Posibilidad de que un ruido sea detectado como motosierra: 11.39 %

Al comparar los márgenes de error al utilizar todo el vector de pesos y al usar solo 20 pesos, puede verse que las posibilidades de error aumentan significativamente, sin embargo, al tomar en cuenta la relación costo beneficio, puede considerarse aceptable, debido a que el margen de error aún es bajo. Además, es importante destacar que en el vector de entrenamiento se incluyen sonidos de motores de avión, los cuales son muy similares a los de la motosierra y posiblemente hagan la discriminación de la motosierra con otros sonidos más compleja.

En la figura 6.17 se muestra nuevamente la influencia de cada uno de los intervalos de frecuencia seleccionados. En este caso se muestran 20 valores.

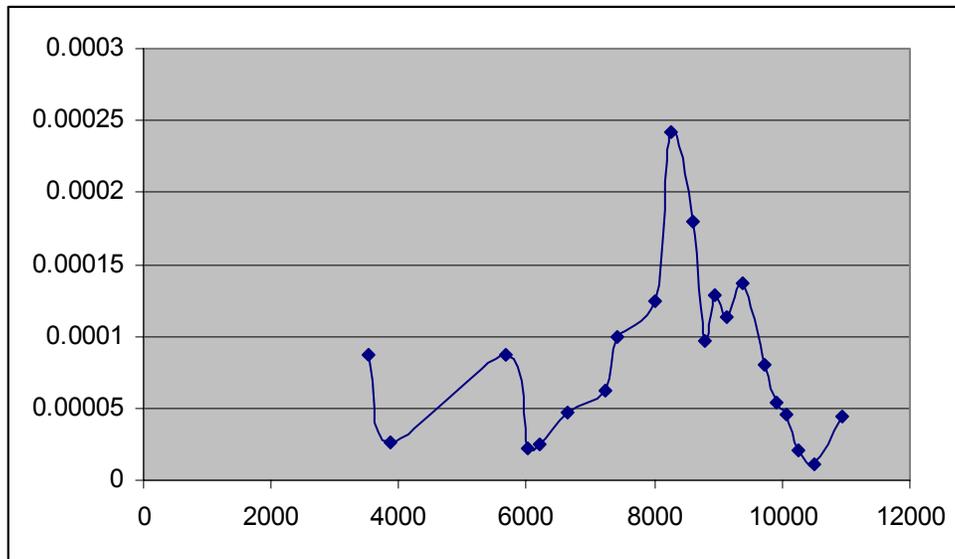


Figura 6.17 Vector de pesos utilizando 20 valores

Una vez obtenida esta información se procede a reducir nuevamente el vector de pesos, dejándolo solamente en 8. En la figura 6.18 se muestra la nueva distribución normal.

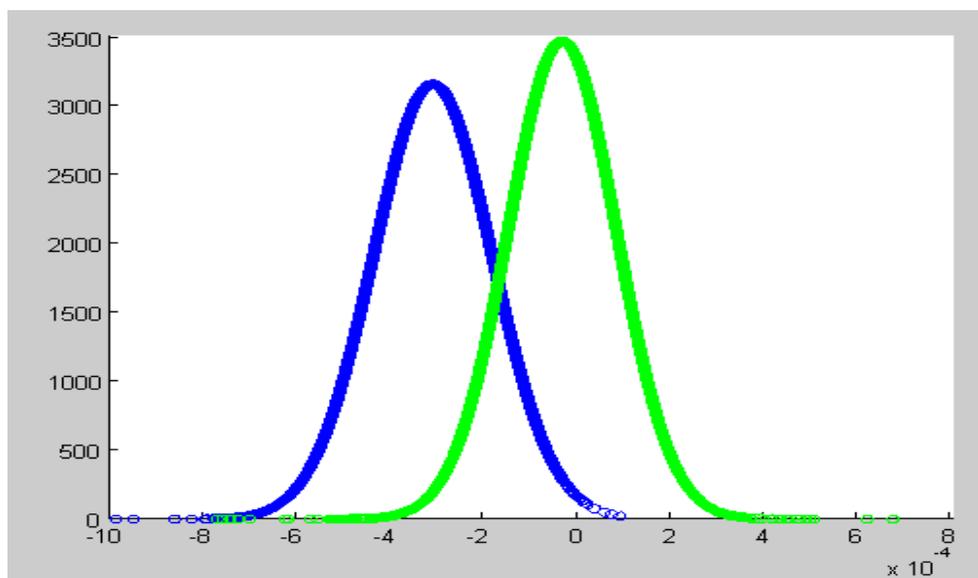


Figura 6.18 Distribución normal utilizando 8 pesos

Punto de intersección de las distribuciones normales: $-1.6049e-004$

Probabilidad de que una motosierra no sea detectada: 11.67 %

Probabilidad de que un ruido sea detectado como motosierra: 13.9 %

Puede verse que en este caso el descenso en el rendimiento del sensor a la hora de discriminar los sonidos no disminuyó mucho, y sigue siendo aceptable.

Estos pesos son los elegidos para llevar a cabo la discriminación en el circuito, cada uno tiene una frecuencia a la que se debe ubicar el filtro y su correspondiente peso en la etapa de decisión. La figura 6.19 muestra la ubicación y el peso de las frecuencias seleccionadas.

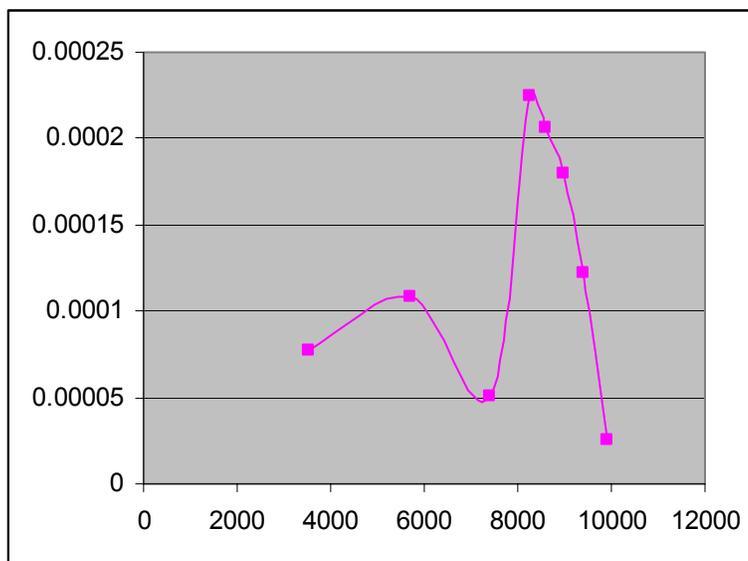


Figura 6.19 Vector de pesos utilizando 8 valores

Además, es importante resaltar que algunos de estos pesos tienen la función de indicar que la señal de entrada es una motosierra, mientras que otros tienen la función de indicar que no se trata de una motosierra.

Los pesos mostrados en la tabla 6.5, en conjunto con sus respectivas frecuencias son los que serán utilizados en el circuito, sin embargo, todavía se presenta el inconveniente de las magnitudes de los pesos, los cuales son muy pequeños y resultaría complicado a la hora de implementarlo.

Tabla 6.5 Valores seleccionados del vector de pesos normalizado para el circuito

Frecuencia (Hz)	Peso (*10 ⁻⁵)
3531,4	7,75
5684,8	1.0851
7407,4	-5,07
8268,8	-2,2522
8613,3	-2,0578
8957,8	-1,8016
9388,5	-1,2221
9905,3	-2,52

La ventaja que existe radica en que, en el vector de pesos únicamente interesa la dirección del vector y no su magnitud, por lo que es posible multiplicar los valores de los pesos por una constante.

Una vez que se multiplicó el vector de pesos se procede a realizar el análisis de nuevo. La tabla 6.6 muestra el nuevo vector de pesos, mientras que la figura 6.20 su respectiva distribución normal.

Tabla 6.6 Vector de pesos multiplicado

Frecuencia (Hz)	Peso
3531,4	0,6232
5684,8	0,87216
7407,4	-0,40771
8268,8	-1,8103
8613,3	-1,654
8957,8	-1,4481
9388,5	-0,98227
9905,3	-0,20227

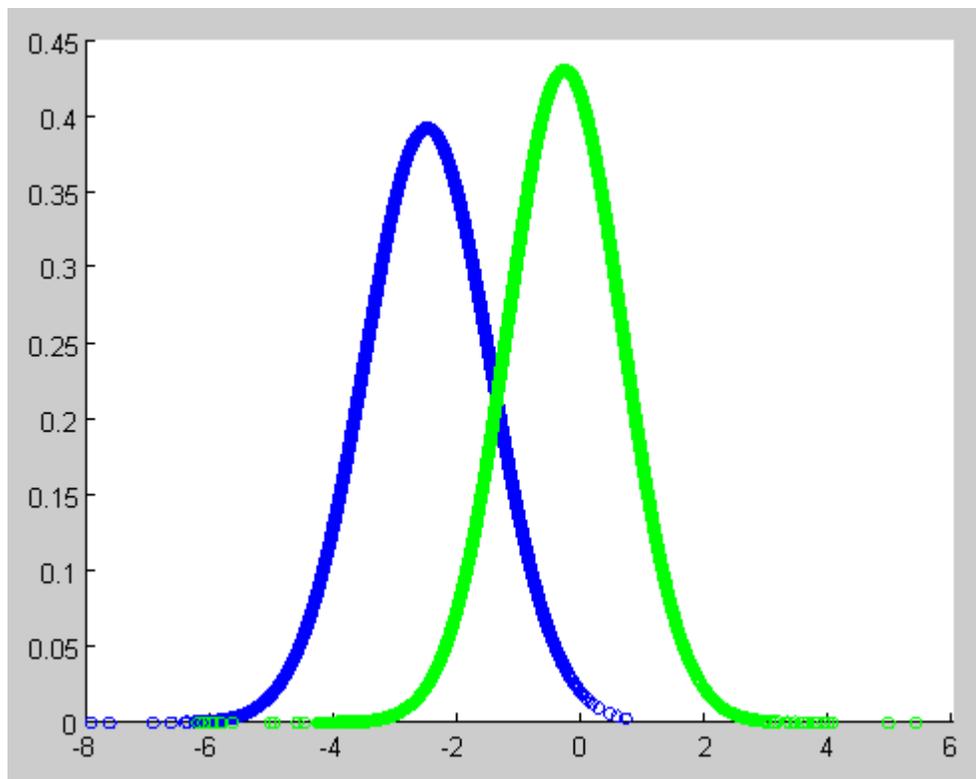


Figura 6.20 Distribución normal utilizando el vector de pesos escalado

Punto de intersección de las distribuciones normales: -1.2521

Posibilidad de que una motosierra no sea detectada: 11.67 %

Posibilidad de que un ruido sea detectado como motosierra: 13.9 %

De esta manera pudo verificarse que el escalamiento del vector de pesos no influye en su capacidad de discriminación.

Una vez escalado el vector de pesos es posible definir el valor de las resistencias utilizadas en los sumadores de la etapa de decisión.

En la tabla 6.7 se puede apreciar que los pesos con valor negativos corresponden a las frecuencias no características de la motosierra, por lo tanto, cuando estos se presenten las posibilidades de que haya una motosierra son escasas.

Tabla 6.7 Valor de resistencias en los sumadores

pesos normalizados y multiplicados *8000	Valor de Rf (Ω)	Valor de R (Ω)
0,6232	10000	16046,2131
0,87216	10000	11465,7861
-0,40771	10000	24527,2375
-1,8103	10000	5523,94631
-1,654	10000	-6045,94921
-1,4481	10000	6905,60044
-0,98227	10000	10180,5003
-0,20227	10000	49438,8688

6.3 Análisis de circuito implementado

6.3.1 Etapa de recepción y acondicionamiento

La recepción de la señal de entrada comprende varias etapas, de las cuales se van a ir analizando cada una de las respuestas obtenidas en el circuito implementado.

La figura 6.21 muestra la salida del rectificador de media onda y el circuito RC. La señal inferior muestra la señal de entrada, en la cual se utiliza una onda senoidal, mientras que la superior muestra el valor promediado de la señal. Esta señal es la adecuada para normalización de la señal debido a que aparte de normalizar la señal suaviza las variaciones de voltaje, como consecuencia del circuito RC a la salida del rectificador.

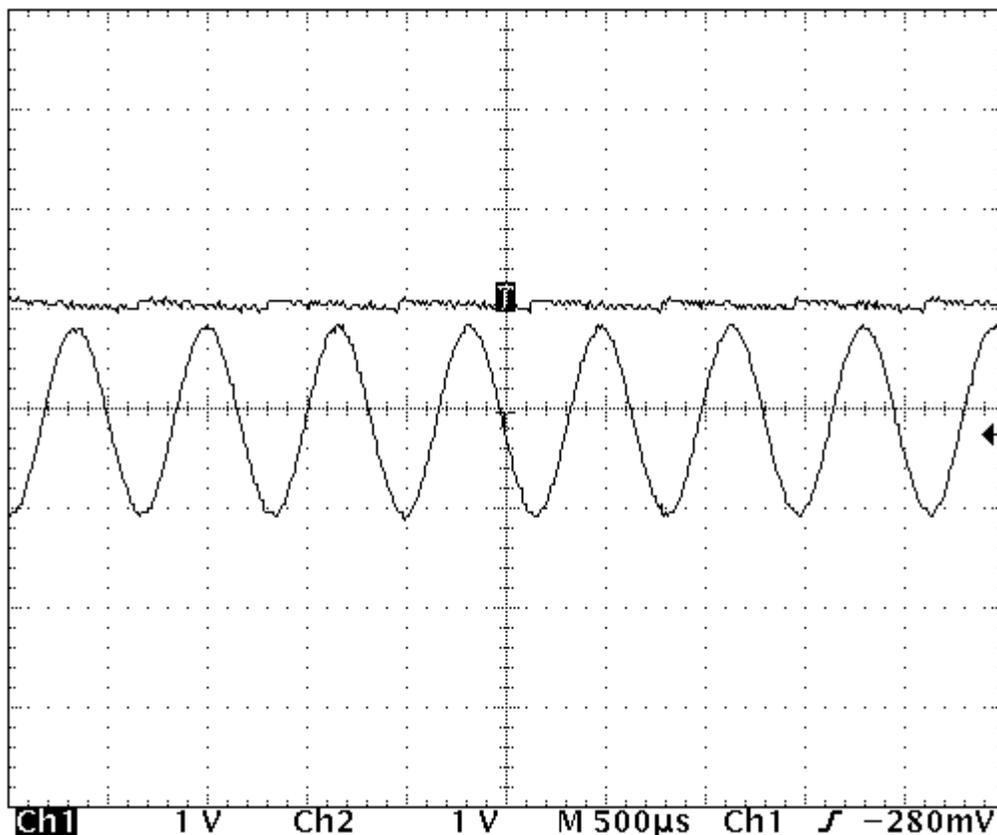


Figura 6.21 Promedio de la señal de entrada con señal senoidal

La figura 6.22 muestra esta misma etapa utilizando una señal de audio, correspondiente a una canción.

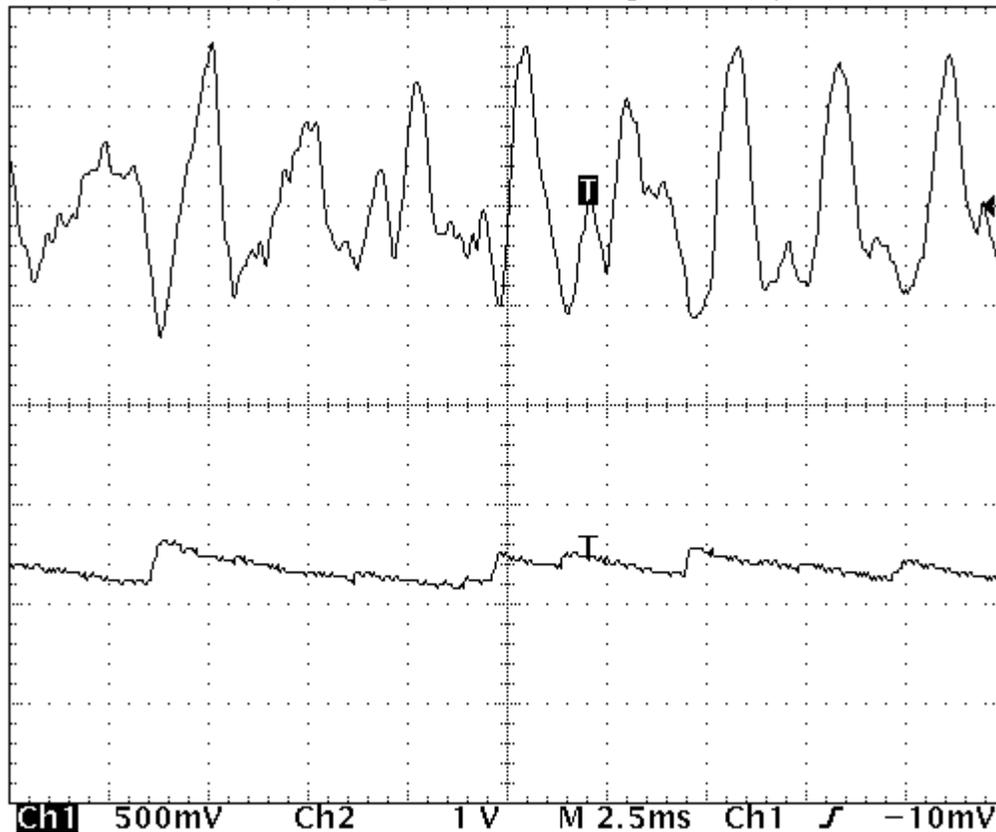


Figura 6.22 Promedio de la señal de entrada con señal de audio

En este caso puede apreciarse mejor la acción del promediador y su variación con los voltajes picos. Mientras más brusca sea la variación de voltaje, más elevada será la señal a la salida del promediador. En caso de que fuese necesario incrementar o disminuir la variación en el promediador, esto podría realizarse manipulando el tiempo de descarga del capacitor, ya sea cambiando el valor de la resistencia o la del capacitor mismo

La figura 6.23 muestra la etapa en la cual se suma un valor de 0.1 voltios a la señal de entrada. El voltaje promedio medido en la señal entrante al sumador fue de 1.04 voltios, mientras que la salida fue de 1.188 voltios. Como puede verse, la diferencia entre las señales es de 0.148 voltios, lo cual satisface los requerimientos del sumador

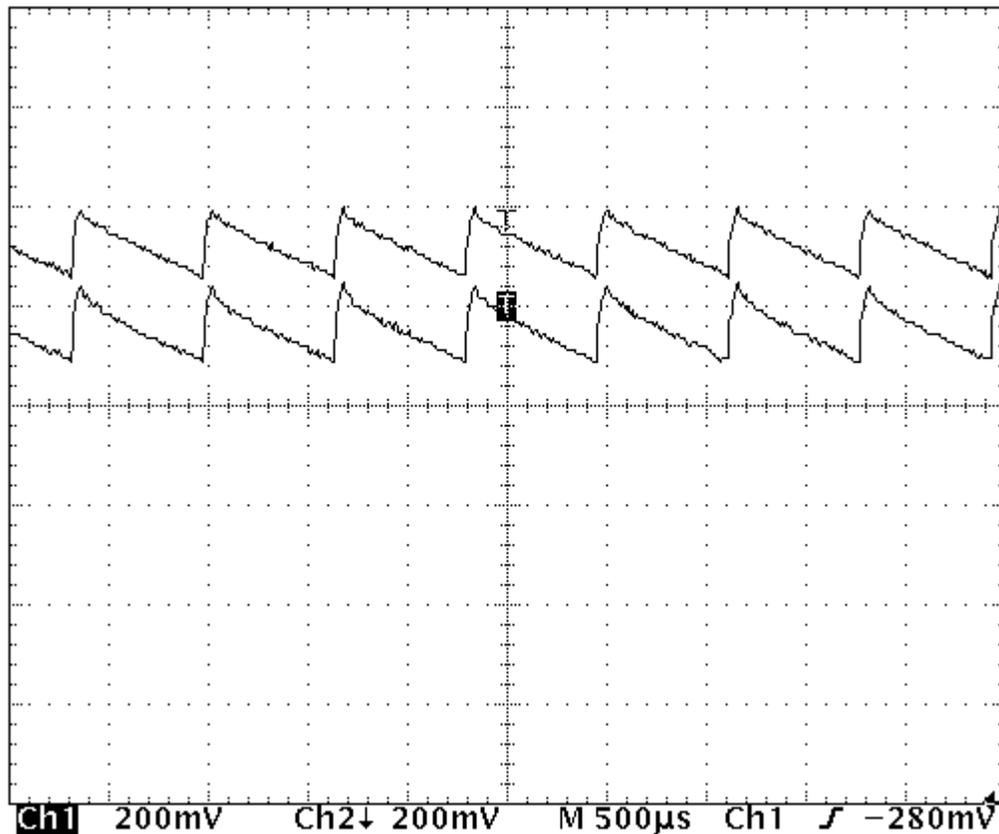


Figura 6.23 Señal promediada sumada a 0.1

Además, puede observarse que no se da ningún tipo de desfase entre las señales, lo cual constituye otro requerimiento en esta etapa.

En la figura 6.24 se muestra la salida de la etapa de normalización. La señal inferior es la de entrada al circuito y la superior la salida. La escala de ambas es de 1 voltio por división. De esta figura es importante destacar la oposición a la variación en el voltaje, la cual se aprecia en las crestas de la onda, esta propiedad se verá con mayor claridad en los ejemplos posteriores. Además, puede verse que la señal de salida tiene un pico máximo de aproximadamente 1.5 voltios.

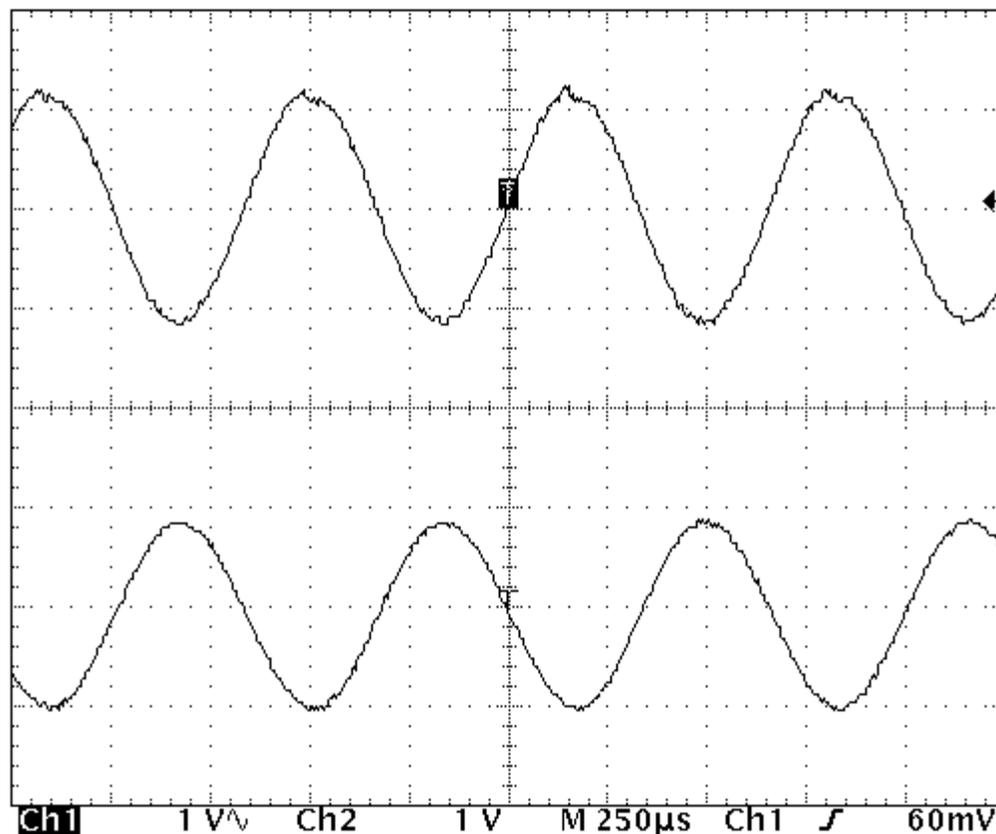


Figura 6.24 Salida de la etapa de normalización, onda senoidal

Por último, se puede destacar en esta señal el hecho de que la señal llega invertida a la etapa de los filtros, lo cual ya fue considerado en la etapa de decisión.

En la figura 6.25 se puede ver el efecto de la etapa de normalización. La señal superior es la salida, mientras que la inferior, la de entrada. Puede verse como la señal superior posee un voltaje más uniforme a lo largo de toda la señal, en comparación con la señal de entrada. Además, su amplitud pico, casi alcanza el valor de 1 voltio.

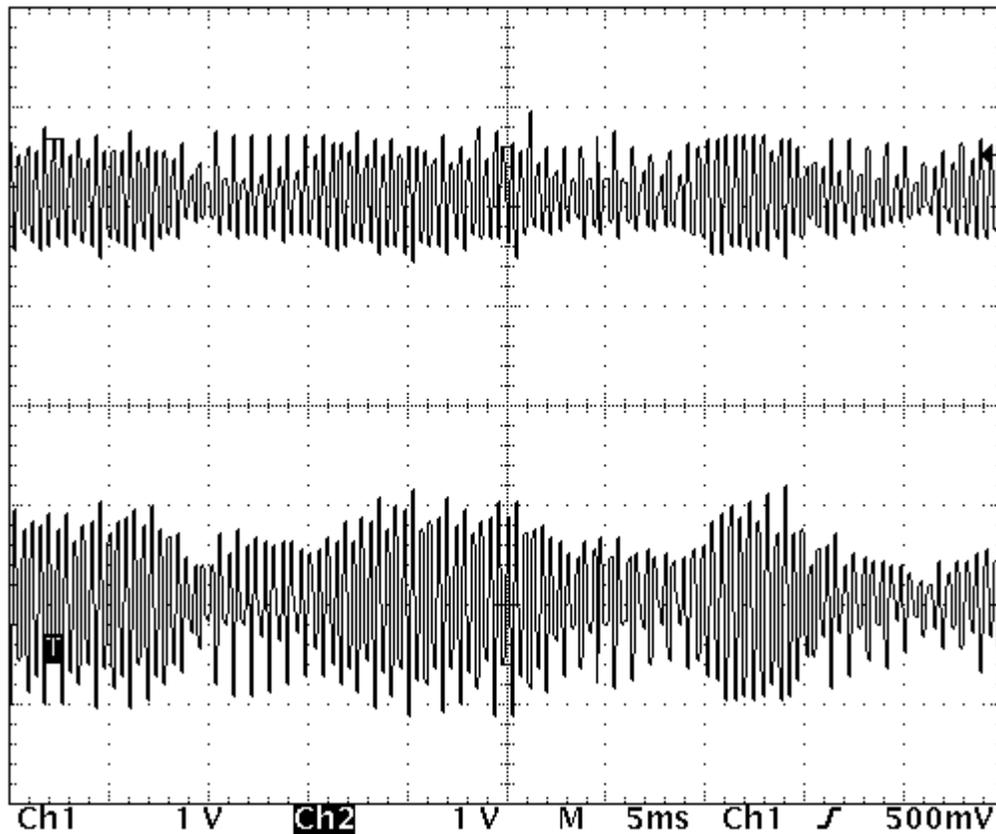


Figura 6.25 Salida de la etapa de normalización

Con la prueba de esta señal, se midió la capacidad del circuito a la hora de enfrentar un pico alto de voltaje, según la figura 6.26.

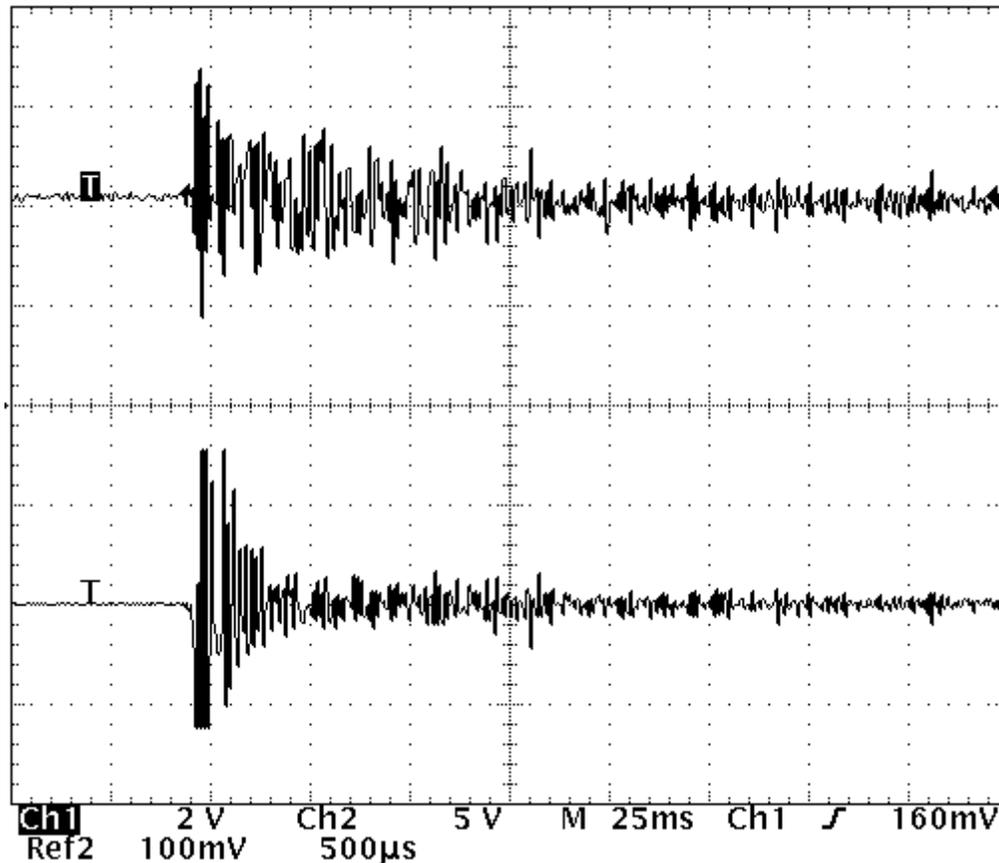


Figura 6.26. Salida de la etapa de normalización, señal con pico

El valor pico máximo de la señal de entrada posee un valor de aproximadamente 8 voltios, como puede verse en la señal inferior, la cual esta a una escala de 5 voltios por división. La respuesta que da el circuito atenúa el pico a un voltaje de aproximadamente 2.2 voltios, lo cual refleja de manera clara la obtención del objetivo de esta etapa. También se evalúa la capacidad de respuesta del circuito, ya que, a pesar de que inicialmente debe llevar a cabo una fuerte atenuación, al observar el resto de la señal de salida se aprecia que la señal no fue atenuada en su totalidad, sino solamente la parte que lo ameritaba, mientras que otras partes mantuvieron su valor, o incluso fueron amplificadas.

6.3.2 Procesamiento de la señal

En las figuras 6.27 y 6.28 puede apreciarse la capacidad de filtrado de los componentes utilizados para esta función. En la figura 6.27 se ubican la señal de entrada al filtro, en el canal 2, en la parte inferior de la figura, y la salida en el canal 1, parte superior. En la columna de la derecha se encuentran tanto las frecuencias de ambas señales, así como sus magnitudes.

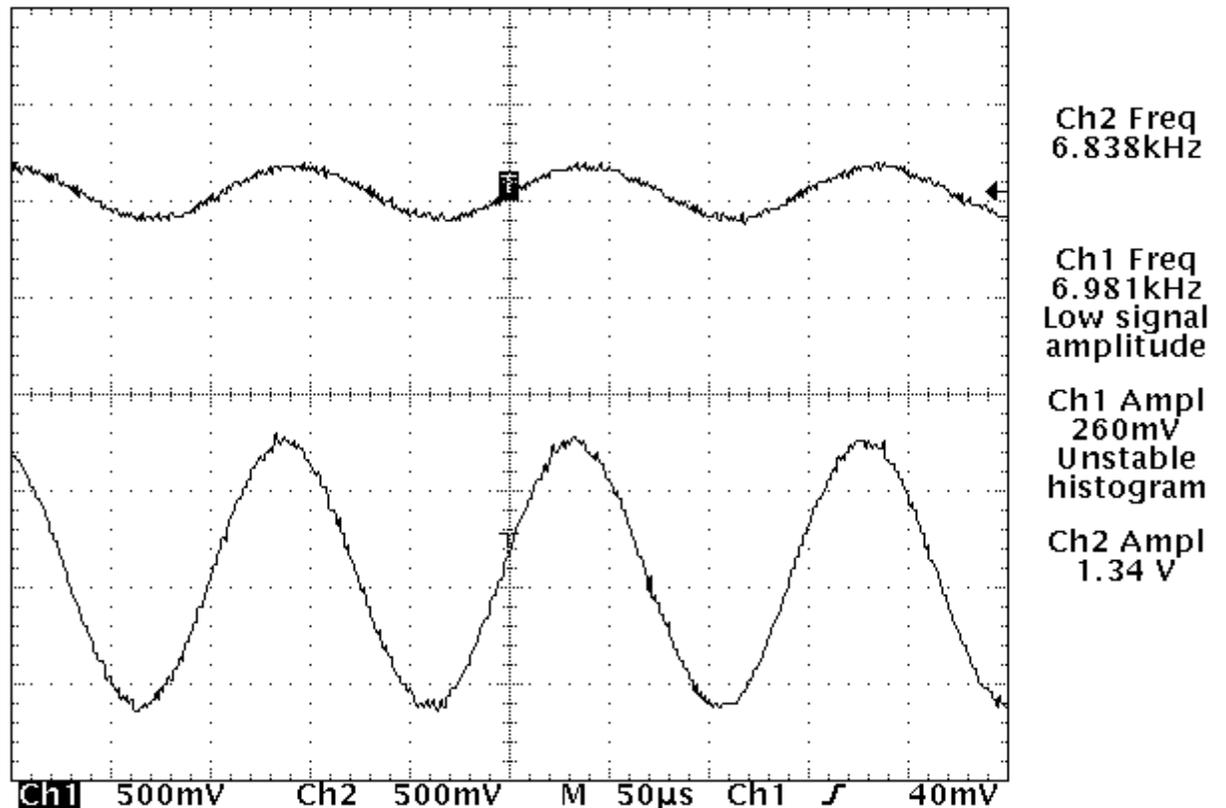


Figura 6.27. Atenuación de los filtros

Puede apreciarse que la atenuación de la señal es casi absoluta, al no encontrarse en el rango de frecuencias que el filtro paso-banda permite. Cabe rescatar que en este caso el filtro tiene su frecuencia central en 7.4 kHz.

En la figura 6.28 puede verse una frecuencia dentro del ancho de banda permitido por el filtro. En este caso la frecuencia central es 7.4 kHz, y la señal de entrada posee una frecuencia de 7.4 kHz, la cual fue medida en el canal 2, y corresponde a la señal en la parte inferior de la figura. Como puede verse en este caso, la señal en vez de ser atenuada, más bien fue levemente amplificada.

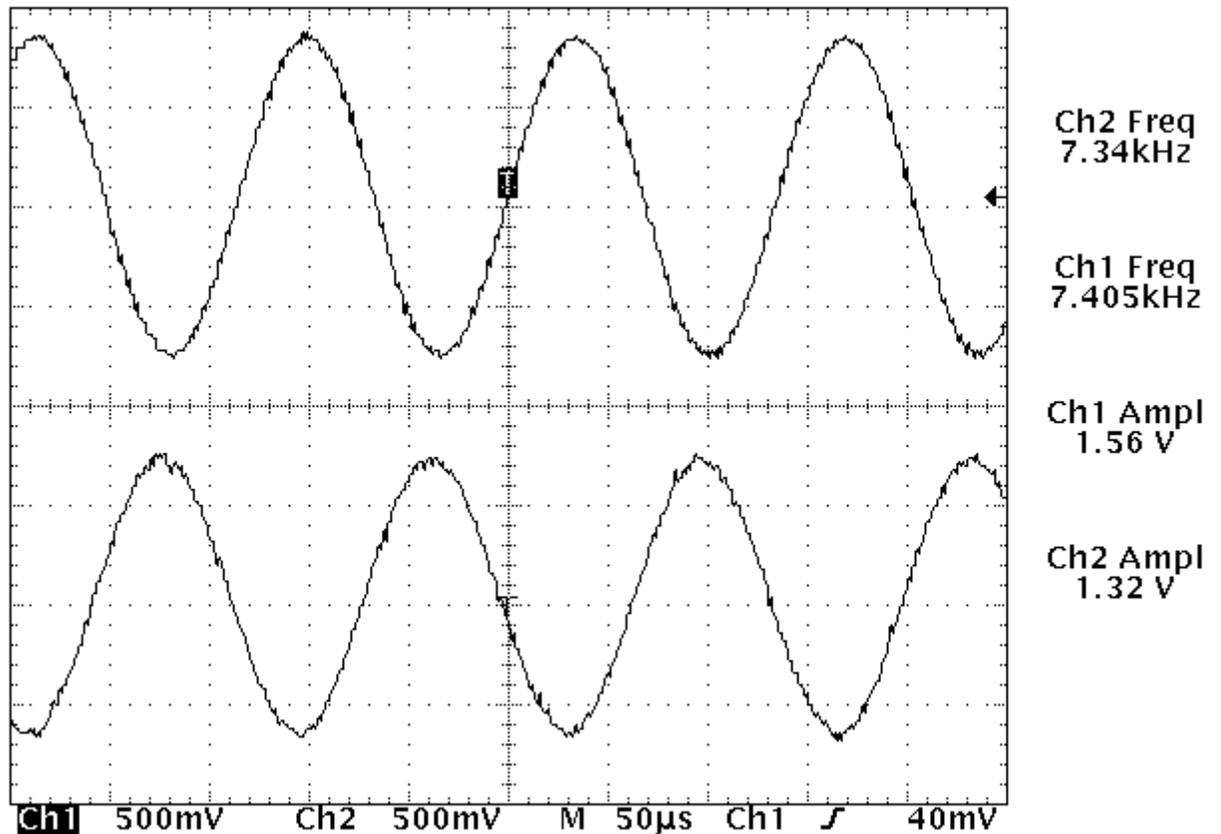


Figura 6.28 Frecuencias admitidas por el filtro

De las figuras anteriores también puede verse que el ancho de banda de los filtros es de aproximadamente 500 Hz, después de los cuales la señal se vuelve despreciable.

El comportamiento de los ocho filtros utilizados es similar al mostrado en las figuras anteriores, debido a que la configuración es exactamente la misma.

Los filtros no solamente fueron utilizados para filtrar, sino también para amplificar la señal a la salida de estos. En la figura 6.29, la señal de entrada puede observarse en la parte superior, con un voltaje de 500 mV p-p aproximadamente. Debido a que la señal poseía la frecuencia central del filtro, la señal paso el mismo y fue amplificada por un factor de 4.

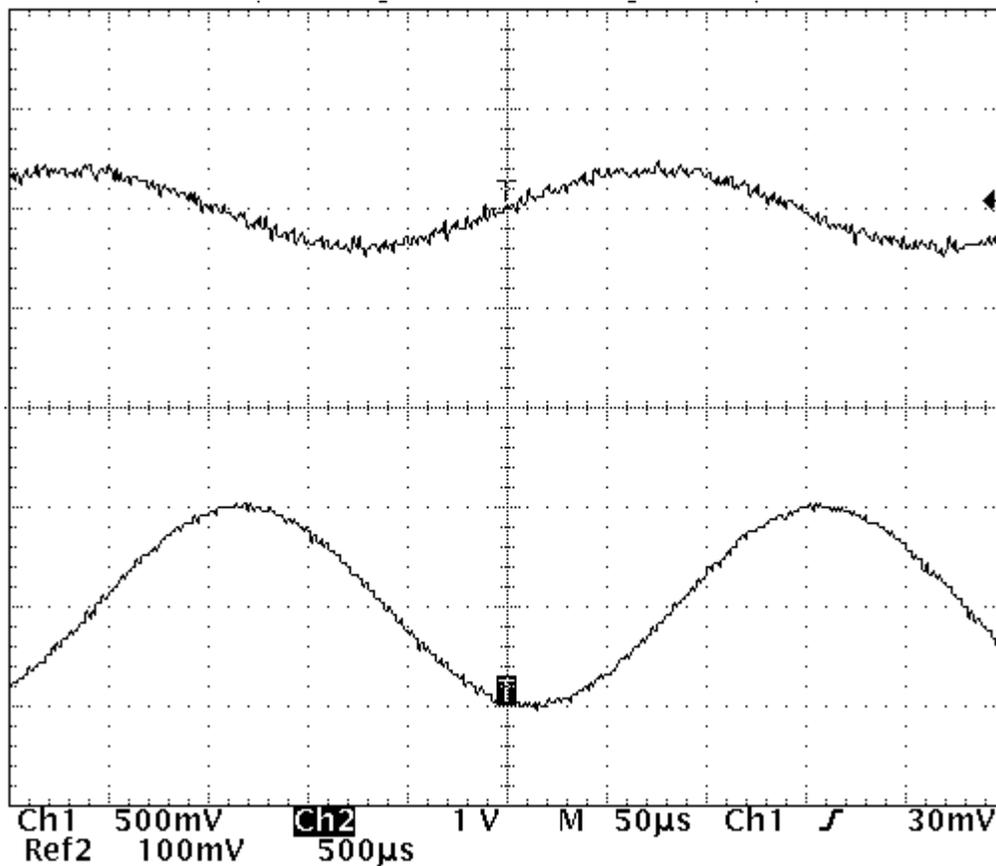


Figura 6.29 *amplificación de los filtros*

La etapa de promediamiento de la señal es muy similar a la utilizada en la etapa de entrada para el acondicionamiento de la señal.

6.3.3 Etapa de discriminación y alcance

En esta etapa se ilustran las pruebas relacionadas con la capacidad de discriminación y el alcance del detector.

Para llevar a cabo la evaluación de la capacidad de discriminación del detector, se probó el circuito con los sonidos utilizados en el archivo de entrenamiento. En la figura 6.30, se aprecia el momento en que la motosierra está siendo reproducida.

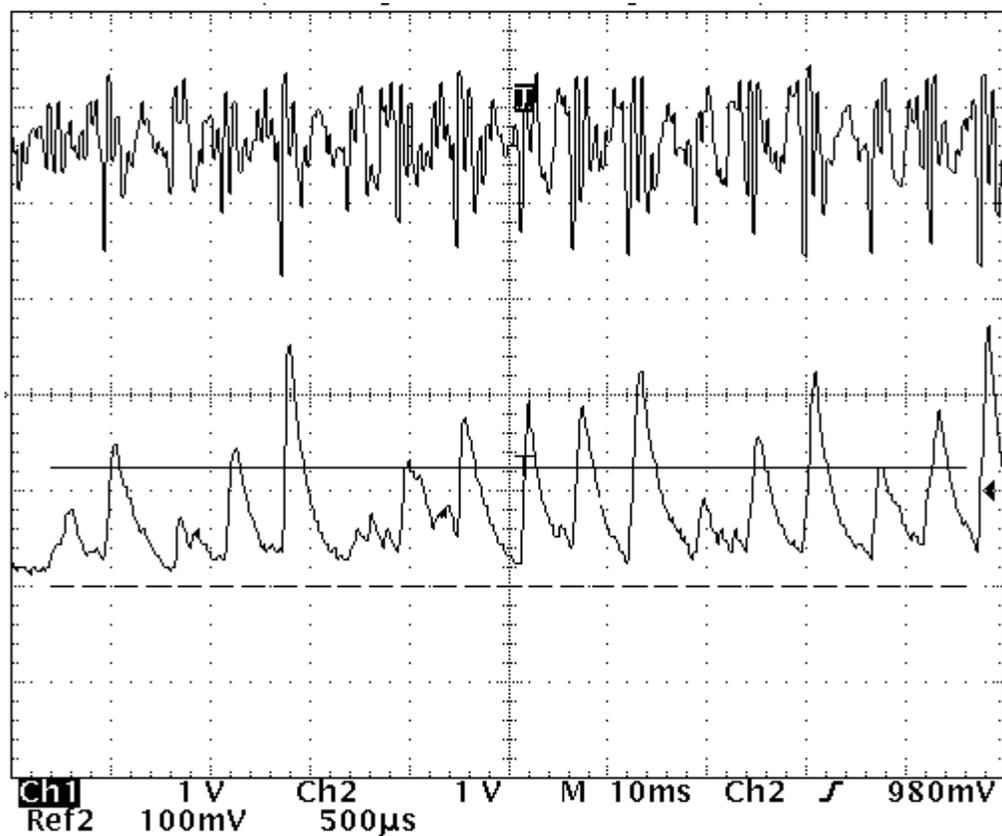


Figura 6.30 Detector con motosierra, sin comparador

Esta medición se tomó en la etapa anterior al comparador que activaría una señal. La parte superior de la figura constituye la señal de entrada y la inferior, la salida de la etapa de discriminante lineal. Todos los valores por encima de la línea horizontal, el cual es el umbral de decisión, darían la alerta de la detección de una motosierra.

En la figura 6.31 se muestra el momento en que no se encuentra la señal de la motosierra, sino el de algún otro evento incluido en el análisis. Como puede verse, la señal inferior en la figura se encuentra lejos del umbral de detección.

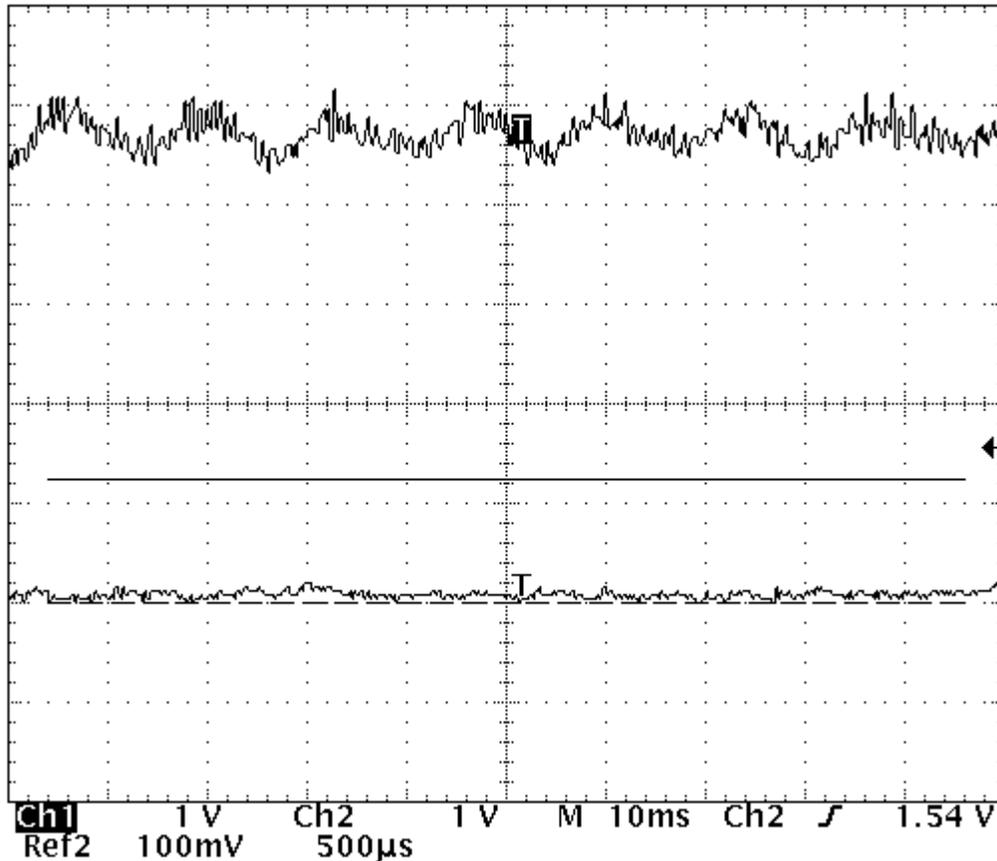


Figura 6.31 Detector sin motosierra

Esta situación se presentó en casi todas las señales que no corresponden a la motosierra. Sin embargo, como lo predijo el análisis estadístico, hubo una etapa en la que el detector confunde una señal que no corresponde a la motosierra, y se alcanza el umbral necesario para la activación.

Esta situación se puede observar en la figura 6.32. El sonido que presenta la confusión es el de las chicharras.

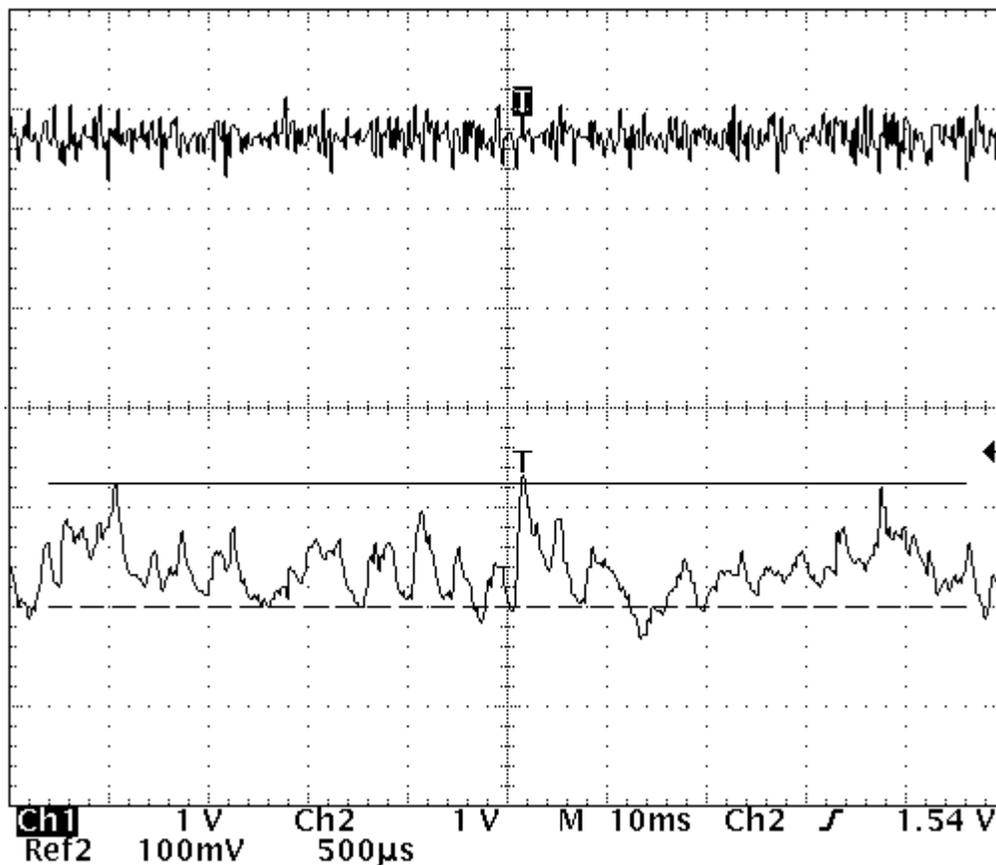


Figura 6.32. Activación errónea del detector

Esta confusión ayudó a verificar la validez del análisis probabilístico realizado anteriormente, en el cual se determinaba una probabilidad de error de un 12% aproximadamente.

El hecho de que se haya utilizado el archivo de entrenamiento para probar el poder de discriminación del circuito, fue precisamente con la intención de verificar las aseveraciones hechas en la sección 6.2. Si se hubiese agregado un sonido no analizado en las pruebas, el resultado puede no haber sido el deseado. Lo anterior es importante destacarlo debido a que en el momento en que se quiera implementar el detector en una determinada zona, es necesario crear un archivo de entrenamiento en el lugar, y luego entrenar al detector, para que de esta manera tenga analizados la mayoría de los posibles sonidos a los que se va a ver expuesto.

En la figura 6.33 se muestra la señal de activación a la salida del comparador. Cada vez que se da un pico que sobrepasa el umbral determinado se produce un pico de 5 voltios, el cual con una lógica adecuada pueda activar una señal enviada al guarda-parques.

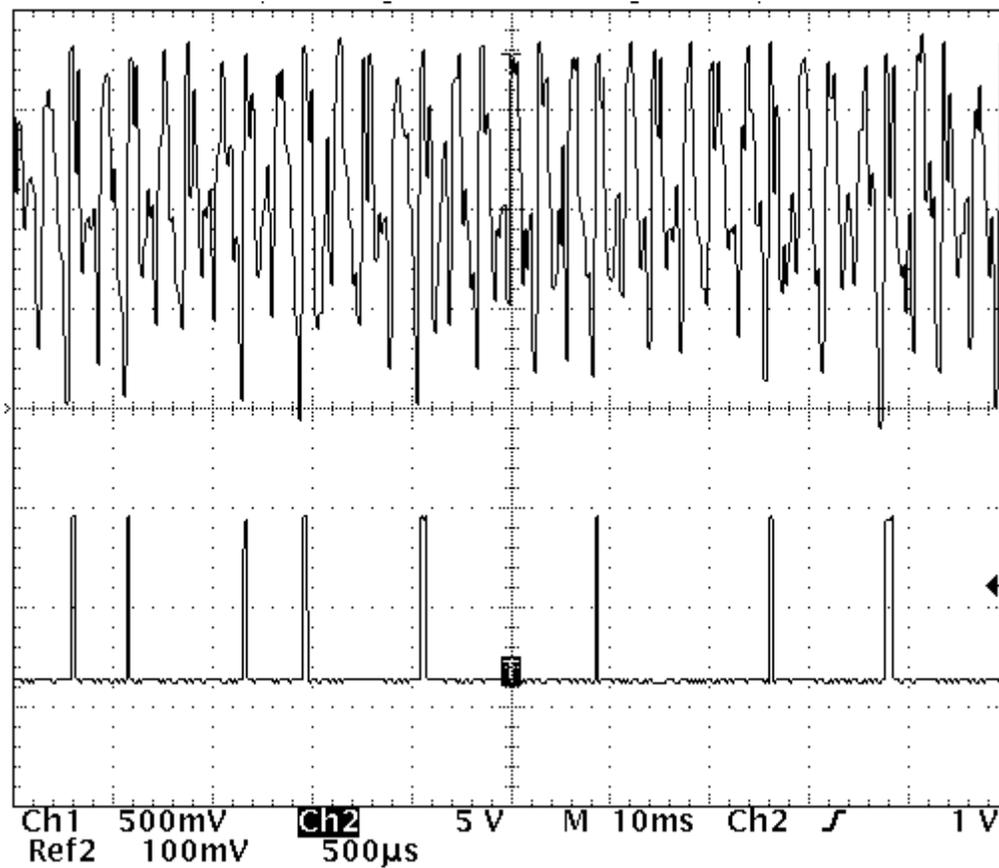


Figura 6.33. Activación del sensor

Para llevar a cabo la estimación del alcance del detector, se llevaron a cabo pruebas con una motosierra y no con grabaciones. El lugar donde se llevaron a cabo las mediciones, fue en las afueras de los laboratorios de la Escuela de Ing. Electrónica.

El alcance óptimo del detector es de un radio de aproximadamente 30 metros, para una cobertura de 2826 m^2 .

La figura 6.34 muestra el oscilograma en el que se midió la distancia máxima de detección.

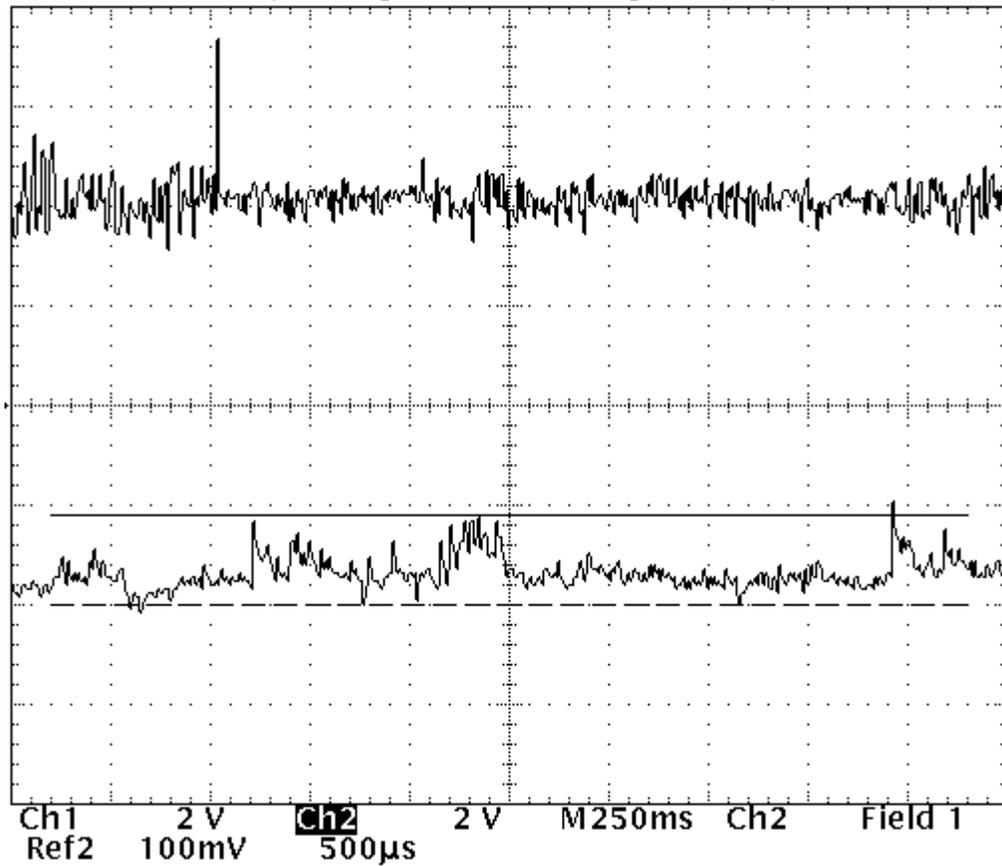


Figura 6.34 Prueba de alcance del detector

Una de las opciones para alcanzar una mayor distancia consiste en incluir en el archivo de entrenamiento grabaciones de la motosierra a diferentes distancias, alejándose cada 5 metros, por ejemplo.

También puede mejorar el desempeño de la distancia el hecho de utilizar un micrófono de mejor calidad, o bien varios micrófonos, en vez de uno solo.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. El prototipo diseñado tiene la capacidad de discernir señales provenientes de motosierras con aproximadamente un 90 % de seguridad.
2. Mientras mayor sea la cantidad de sonidos incluidos en el vector de entrenamiento, mayor será la calidad de discriminación del detector.
3. A la hora de implementar el prototipo debió disminuirse la cantidad de frecuencias a analizar, por lo cual su calidad de discriminación disminuyó.
4. El rango de frecuencias evaluado por el circuito va de los 3 kHz a los 10 Khz aproximadamente, a diferencia del prototipo anterior, que utiliza frecuencias menores a 1 kHz.
5. Todo el análisis del circuito fue simulado en matlab, lo cual significa una justificación teórica a la parte electrónica implementada.
6. El detector podría ajustarse para tener una mayor sensibilidad, sin embargo, su discriminación disminuiría.
7. El área de cobertura del detector es de 2826 m².
8. La distancia de cobertura puede incrementarse entrenando el detector con grabaciones de motosierra a mayores distancias.
9. La red neuronal no solo utiliza para la discriminación las frecuencias características de la motosierra, sino también las de los sonidos más comunes en el bosque.
10. El hardware del circuito podría utilizarse para la detección de otros sonidos, sin embargo, debería realizarse nuevamente el análisis.
11. El consumo de potencia del circuito es de aproximadamente 1.8 W.

7.2 Recomendaciones

1. Sería conveniente, a la hora de un posible mejoramiento del prototipo, llevar a cabo la grabación de sonidos para el entrenamiento, propiamente en el lugar donde se va a implementar, ya que, de esta manera se estaría trabajando en el análisis con la certeza de que las señales utilizadas son las que en realidad se encuentra en la zona de trabajo del sensor.
2. A la hora de alimentar el circuito, la etapa de procesamiento de la señal trabaja con un voltaje de 8.5 bipolar, mientras que el resto del circuito trabaja con 5 voltios. Esta diferencia se debe a que los multiplicadores adquiridos tienen un voltaje mínimo de 8 voltios. Se recomienda en un futuro adquirir multiplicadores que trabajen con 5 voltios, para poder alimentar todo el circuito a un mismo voltaje.
3. A la hora de realizar el análisis se recomienda utilizar otro programa que no sea matlab, ya que este tiene dificultades a la hora de llevar a cabo ciertos cálculos matemáticos. Podrían realizarse programas en algún lenguaje de programación más robusto. Sin embargo, si se utiliza matlab, se recomienda hacerlo en un computador que posea un procesador eficiente, pentium 4, por ejemplo.
4. Para mejorar el alcance, podría llevarse a cabo el archivo de entrenamiento con muestras del sonido de la motosierra distanciándose en intervalos de 5 metros, hasta la distancia esperada.
5. Para una mejor implementación y facilidad a la hora de realizar pruebas, sería útil llevar a cabo una versión digital del mismo, ya que así, podrían variarse los valores de los filtros de una manera más sencilla.

Bibliografía

Series y transformada de fourier. Tratamiento digital de señales [en línea].
<http://www.tecnun.com/asignaturas/tratamiento%20digital/tema3.pdf> [consulta: 25
setiembre 2004]

(*Casacuberta, cap. 3, pp 37-43*), (*Papoulis, cap. 5, pp 141-*), (*Newland, cap. 10-11*)[en línea] http://www.biopsychology.org/tesis_esteve/apendices/dft/tdft.htm#tit3
[consulta: 6 octubre 2004]

Filtros analogicos. wikipedia. La enciclopedia libre. [en línea]

http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_anal%C3%B3gico [consulta: 20 octubre 2004]

Coughlin, Robert F. y Driscoll Frederick F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales.* 5 ed. México: Prentice Hall, 1999.

Geryon. *Amplificadores operacionales.* [en línea]

<http://lu7dba.org.ar/biblioteca/tecnica/amplificadores%20operacionales.htm>

Geryon. *Teoría Electrónica* . [en línea]

<http://geryon.uc3m.es/electronica1/t1/t1teoria.htm>[consulta: 4 noviembre 2004]

<http://www.elprisma.com/apuntes/apuntes.asp?categoria=702#>

[consulta:16 noviembre 2004]

Bethea, Robert M. *Statical methods for engineers and scientist.* 3 ed. Marcel Dekker Inc., 1995.

Montgomery, Douglas y Runge, George. *Probabilidad y Estadística.* México: McGraw-Hill, 1994.

<http://usuarios.lycos.es/manuelnando/esta.html> [en línea] [consulta: 7 diciembre 2004]

<http://www.monografias.com/trabajos15/estadistica-apoyo/estadistica-apoyo.shtml>
matrices [en línea] [consulta: 14 diciembre 2004]

"Teoría de matrices y Álgebra lineal", *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 98* © 1993-1997 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Bishop, Christopher M. Neural networks for pattern recognition. New York: Oxford University Press Inc., 1994.

Clellan, James et al. Computer – based exercises for signal processing using Matlab. Prentice Hall, 1994.

Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

LDA: Análisis de discriminante lineal (Linear Discriminant Analysis).

Red neuronal artificial: Circuito electrónico constituido por una serie de enlaces, similares en su operación a una neurona biológica. Esta red lleva a cabo un aprendizaje a través de un proceso llamado entrenamiento, en el cual se exponen los patrones a los que se va a enfrentar, en este caso, sonidos.

Pesos: Valores que determinan la influencia de cada una de las entradas de una red neuronal.

Espectrograma: Transformada de Fourier de una muestra de tiempo corto de un segmento en forma de ventana de la señal en el tiempo $s(t)$.

Covarianza: Es una medida común de la relación de dos variables aleatorias, la cual describe la forma en que éstas varían juntas.

Desviación estándar: Corresponde a la raíz cuadrada de la varianza

Media o valor esperado: El valor esperado o media indica la tendencia central de los datos. Esto significa que es el valor alrededor del cual tienden a agruparse los datos de una distribución.

Mediana: Valor que divide la distribución en partes iguales, o sea que el número de observaciones por encima de la mediana es igual al número de observaciones por debajo de ella.

Moda: Es la observación que se presenta con mayor frecuencia de la muestra.

Muestra: Es un subconjunto de observaciones seleccionadas de una población.

Población: Esta formada por la totalidad de las observaciones en las cuales se tiene interés.

Varianza: Es una medida de la variabilidad en la población; describe la dispersión en los datos de una muestra o población. Es el promedio del cuadrado de las diferencias de cada dato con el promedio.

Anexos

B1. Hojas de Datos de circuitos integrados utilizados

B1.1 LTC1264



Application Note 56

January 1994

"Better than Bessel" Linear Phase Filters for Data Communications

Richard Markell

INTRODUCTION

The pace of the world of digital communications is increasing at a tremendous rate. Daily, the engineer is requested to compact more data in the same channel bandwidth with closer channel spacing. As an example, multilevel Pulse Amplitude Modulation (PAM) systems can be used to compress data into a bandwidth limited channel. The most typical PAM system is simply ones and zeros, the binary system. By shifting from a two-level system to a four-level system, we double the data bandwidth in a bandwidth limited channel at the expense of requiring a 8dB higher signal-to-noise ratio at the receiver.¹ This signal-to-noise trade-off to cram more bits into the same bandwidth is why filtering is becoming more and more critical in data transmission. This is precisely why the LTC data communications filters were born.

Filters such as the Bessel switched capacitor filter (LTC1064-3), although having excellent transient response, have very poor noise or adjacent channel rejection. DSP is a help if the designer is trying to use telephone bandwidth, but is not fast enough for efficient uses of 100kHz of bandwidth, let alone 200kHz, where data rates approach 400 to 800kbps.

Enter the LTC1264-7 Linear Phase Filter

The LTC1264-7 has group delay which is equal to the Bessel in the passband while it has rejection at the second harmonic of the cutoff frequency of -30dB versus the Bessel's -12dB. Thus, Bessel is banished, replaced by a better linear phase solution for the data transmission problem. Even the most conservative data compaction engineer will agree that the LTC1264-7 is "Better than Bessel." Enough hoopla², let's get into the details.

Linear Technology's LTC1X64-7 family of filters incorporates 2 poles of phase compensation (allpass filtering) and 6 poles of lowpass elliptic filtering in a single 14-pin package. No external resistors are required. The LTC1264-7 is the first member of the Dash 7 linear phase filter family. The group includes the LTC1264-7, the LTC1164-7, the low power (4mA) member of the family with cutoff frequency to 20kHz and the LTC1064-7, the originator of the family, which provides cutoff frequencies to 100kHz.

This application note discusses some of the requirements and techniques for using filters in digital communications. The terms "channel bandwidth," "eye diagrams" and "linear phase" filtering are discussed without the need for the "engineering speak" which permeates many textbook explanations of the same subjects.

The eye diagram measures the "quality" of the transmission channel. The eye opening provides subjective indication of bit error rate or the "goodness of the channel." This will be discussed in more detail later in this text.

¹ Kamilo Feher, "Digital Communications: Microwave Applications," Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1981.

² Hoopla is an utterance designed to bewilder.



AN56-1

B1.2 AD633



Low Cost
Analog Multiplier

AD633

FEATURES

Four-Quadrant Multiplication
Low Cost 8-Lead Package
Complete—No External Components Required
Laser-Trimmed Accuracy and Stability
Total Error Within 2% of FS
Differential High Impedance X and Y Inputs
High Impedance Unity-Gain Summing Input
Laser-Trimmed 10 V Scaling Reference

APPLICATIONS

Multiplication, Division, Squaring
Modulation/Demodulation, Phase Detection
Voltage-Controlled Amplifiers/Attenuators/Filters

PRODUCT DESCRIPTION

The AD633 is a functionally complete, four-quadrant, analog multiplier. It includes high impedance, differential X and Y inputs and a high impedance summing input (Z). The low impedance output voltage is a nominal 10 V full scale provided by a buried Zener. The AD633 is the first product to offer these features in modestly priced 8-lead plastic DIP and SOIC packages.

The AD633 is laser calibrated to a guaranteed total accuracy of 2% of full scale. Nonlinearity for the Y-input is typically less than 0.1% and noise referred to the output is typically less than 100 μ V rms in a 10 Hz to 10 kHz bandwidth. A 1 MHz bandwidth, 20 V/ μ s slew rate, and the ability to drive capacitive loads make the AD633 useful in a wide variety of applications where simplicity and cost are key concerns.

The AD633's versatility is not compromised by its simplicity. The Z-input provides access to the output buffer amplifier, enabling the user to sum the outputs of two or more multipliers, increase the multiplier gain, convert the output voltage to a current, and configure a variety of applications.

The AD633 is available in an 8-lead plastic DIP package (N) and 8-lead SOIC (R). It is specified to operate over the 0°C to +70°C commercial temperature range (J Grade) or the -40°C to +85°C industrial temperature range (A Grade).

REV. B

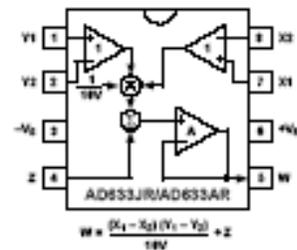
Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

CONNECTION DIAGRAMS

8-Lead Plastic DIP (N) Package



8-Lead Plastic SOIC (SO-8) Package



PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD633 is a complete four-quadrant multiplier offered in low cost 8-lead plastic packages. The result is a product that is cost effective and easy to apply.
2. No external components or expensive user calibration are required to apply the AD633.
3. Monolithic construction and laser calibration make the device stable and reliable.
4. High (10 M Ω) input resistances make signal source loading negligible.
5. Power supply voltages can range from ± 8 V to ± 18 V. The internal scaling voltage is generated by a stable Zener diode; multiplier accuracy is essentially supply insensitive.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

B1.3 LTC6900



INITIAL RELEASE
Final Electrical Specifications
LTC6900

Low Power, 1kHz to 20MHz Resistor Set SOT-23 Oscillator

January 2002

FEATURES

- One External Resistor Sets the Frequency
- 1kHz to 20MHz Frequency Range
- 500µA Typical Supply Current, $V_S = 3V$, 3MHz
- Frequency Error $\leq 1.5\%$ Max 5kHz to 10MHz ($T_A = 25^\circ C$)
- Frequency Error $\leq 2\%$ Max 5kHz to 10MHz ($T_A = 0^\circ C$ to $70^\circ C$)
- ± 40 ppm/ $^\circ C$ Temperature Stability
- 0.04%/V Supply Stability
- 50% $\pm 1\%$ Duty Cycle 1kHz to 2MHz
- 50% $\pm 5\%$ Duty Cycle 2MHz to 10MHz
- Fast Start-Up Time: $< 1.5ms$
- 100Ω CMOS Output Driver
- Operates from a Single 2.7V to 5.5V Supply
- Low Profile (1mm) ThinSOT™ Package

APPLICATIONS

- Portable and Battery-Powered Equipment
- PDAs
- Cell Phones
- Low Cost Precision Oscillator
- Charge Pump Driver
- Switching Power Supply Clock Reference
- Clocking Switched Capacitor Filters
- Fixed Crystal Oscillator Replacement
- Ceramic Oscillator Replacement

DESCRIPTION

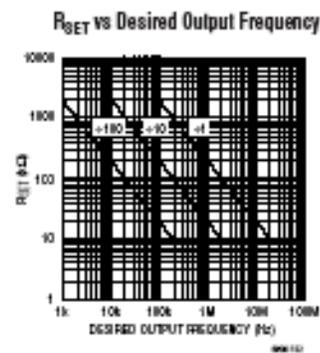
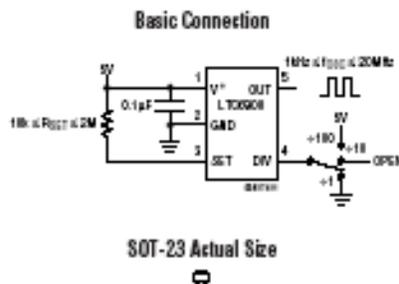
The LTC6900 is a precision, low power oscillator that is easy to use and occupies very little PC board space. The oscillator frequency is programmed by a single external resistor (R_{SET}). The LTC6900 has been designed for high accuracy operation ($\leq 1.5\%$ frequency error) without the need for external trim components.

The LTC6900 operates with a single 2.7V to 5.5V power supply and provides a rail-to-rail, 50% duty cycle square wave output. The CMOS output driver ensures fast rise/fall times and rail-to-rail switching. The frequency-setting resistor can vary from 10kΩ to 2MΩ to select a master oscillator frequency between 100kHz and 20MHz (5V supply). The three-state DIV input determines whether the master clock is divided by 1, 10 or 100 before driving the output, providing three frequency ranges spanning 1kHz to 20MHz (5V supply). The LTC6900 features a proprietary feedback loop that linearizes the relationship between R_{SET} and frequency, eliminating the need for tables to calculate frequency. The oscillator can be easily programmed using the simple formula outlined below:

$$f_{OSC} = 10MHz \cdot \left(\frac{20k}{N \cdot R_{SET}} \right), N = \begin{cases} 100, & \text{DIV Pin} = V^+ \\ 10, & \text{DIV Pin} = \text{Open} \\ 1, & \text{DIV Pin} = \text{GND} \end{cases}$$

2.7, LTC and LT are registered trademarks of Linear Technology Corporation. ThinSOT is a trademark of Linear Technology Corporation.

TYPICAL APPLICATION

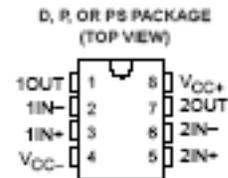


B1.4 NE5532

NE5532, NE5532A DUAL LOW-NOISE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS075G – NOVEMBER 1979 – REVISED JUNE 2002

- Equivalent Input Noise Voltage
5 nV/√Hz Typ at 1 kHz
- Unity-Gain Bandwidth . . . 10 MHz Typ
- Common-Mode Rejection
Ratio . . . 100 dB Typ
- High dc Voltage Gain . . . 100 V/mV Typ
- Peak-to-Peak Output Voltage Swing 32 V
Typ With $V_{CC\pm} = \pm 18$ V and $R_L = 600 \Omega$
- High Slew Rate . . . 9 V/μs Typ
- Wide Supply-Voltage Range . . . ± 3 V to
 ± 20 V
- Designed to Be Interchangeable With
Signetics NE5532 and NE5532A



description/ordering information

The NE5532 and NE5532A are high-performance operational amplifiers combining excellent dc and ac characteristics. They feature very low noise, high output-drive capability, high unity-gain and maximum-output-swing bandwidths, low distortion, high slew rate, input-protection diodes, and output short-circuit protection. These operational amplifiers are compensated internally for unity-gain operation. The NE5532A has specified maximum limits for equivalent input noise voltage.

ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	PDIP – P	Tube	NE5532P	NE5532P
		Tube	NE5532AP	NE5532AP
	SOIC – D	Tube	NE5532D	N5532
		Tape and reel	NE5532DR	
		Tube	NE5532AD	N5532A
		Tape and reel	NE5532ADR	
	SOP – PS	Tape and reel	NE5532PSR	N5532
			NE5532APSR	N5532A

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications published in Texas Instruments data sheets. Product quality is assured by continuous improvement and process control systems. Product performance may vary from published specifications due to manufacturing tolerances.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 455393 • DALLAS, TEXAS 75245

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

1