

SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE FUENTES SONORAS

ANDRÉS ENRIQUE SEGOVIA CÁRDENAS
LEYBERTH JOSÉ RUMBO LÚQUEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA

2011

SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE FUENTES SONORAS

ANDRÉS ENRIQUE SEGOVIA CÁRDENAS
LEYBERTH JOSÉ RUMBO LÚQUEZ

Tesis de grado presentada como requisito para optar el título de Ingeniero
Electrónico

Dirigido por:
Ing. Raúl Restrepo

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA

2011

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

A mis padres: Ana Cárdenas y Raúl Segovia.

A mis amigos

Andrés Enrique Segovia Cárdenas

DEDICATORIA

A mis padres: Leiber Enrique y Mariela Mercedes

A mis hermanos Karen Maziel y Leymerth Enrique

A Javier Rodríguez y Martha Lopera

A Juan Carlos Mena y María Isabel Ortiz

A mis amigos

Leyberth José Rumbo Lúquez.

AGRADECIMIENTOS

Los Autores expresan sus agradecimientos a:

En primer lugar a Dios que en su eterna misericordia nos da la oportunidad de formarnos como personas y como profesionales, derramando su sabiduría e inteligencia para ser sabios y culminar con éxito cada proyecto que emprendemos en la vida.

Agradecemos a nuestro director de proyecto el Ingeniero. Raúl Restrepo Agudelo, por su apoyo constante, asesoría y dedicación durante este proceso

Al Ingeniero Iván Muñoz por sus aportes y colaboración en el desarrollo del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1 METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL SISTEMA	7
1.1 <i>LA METODOLOGÍA CON LA CUAL SE DESARROLLÓ EL SISTEMA FUE LA SIGUIENTE:</i>	7
1.1.1 Diseño y construcción de un prototipo capaz de capturar la señal de información	7
1.1.2 Diseño y construcción de un prototipo capaz de capturar la señal información sin ruido 8	8
1.1.3 Prueba del sistema de captura de audio	8
1.1.4 Acondicionamiento mecánico de los micrófonos	8
1.1.5 Determinación del entorno de trabajo	8
1.1.6 Montaje y puesta en marcha del sistema	9
1.1.7 Calibración del sistema	9
1.1.8 Elaboración del programa principal	9
1.1.9 Elaboración del prototipo final	9
2 ENTORNO DE TRABAJO	10
2.1 <i>ESPACIOS DISPUESTOS EN LA UPB BUCARAMANGA</i>	10
2.1.1 Variables Analizadas	11
2.2 <i>RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS DIFERENTES ESPACIOS</i>	11
2.3 <i>SITIO ESCOGIDO</i>	13
2.3.1 Descripción del entorno de trabajo	13
3 ENSAMBLE DEL SISTEMA	15
3.1 <i>Circuitos fabricados</i>	15
3.1.1 Descripción del circuito de captura y acondicionamiento de las señales de audio ----	15
3.1.1.1 Circuito de captura y transmisión	15
3.1.1.2 Circuito de recepción y procesamiento	17

3.2	<i>ACONDICIONAMIENTO MECÁNICO DE LOS MICRÓFONOS ELECTRET</i>	19
3.2.1	Funcionamiento del acondicionamiento mecánico tipo cilíndrico tubular	20
3.2.2	Funcionamiento del acondicionamiento mecánico tipo Canal cónico	20
4	MUESTREO	23
4.1	<i>LA TÉCNICA UTILIZADA PARA LA CAPTURA SE DESCRIBE A CONTINUACIÓN:</i>	23
4.2	<i>UBICACIÓN ESTRATÉGICA DE LOS CUATRO MICRÓFONOS</i>	24
5	DETECCIÓN DE SONIDO	25
5.1	<i>METODOLOGÍA DE DETECCIÓN</i>	25
5.2	<i>CALIBRACIÓN DEL SISTEMA</i>	26
5.3	<i>DIAGRAMA FINAL DE CAPTURA DEL MICRÓFONO IMPLEMENTADO</i>	27
5.4	<i>CALCULO DE LA POSICIÓN DE LA FUENTE SONORA</i>	29
6	ALGORITMO IMPLEMENTADO EN EL SISTEMA	30
6.1	<i>DESCRIPCIÓN DEL CODIGO</i>	30
6.2	<i>DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO</i>	32
6.3	<i>CODIGO IMPLEMENTADO</i>	33
7	IMÁGENES DEL SISTEMA IMPLEMENTADO	47
	CONCLUSIONES	51
	AVANCES FUTUROS	106
	BIBLIOGRAFIA	107

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Espacios Dispuestos en la UPB Bucaramanga.-----	10
Tabla 2. Ventajas y Desventajas de los Espacios en la UPB. -----	12
Tabla 3. Patrón polar de directividad del micrófono implementado.-----	28
Tabla 4. ADCON1: Registro de Control 1. -----	91
Tabla 5. ADCON2: Registro de Control 2. -----	92
Tabla 6. Pines de Referencia A/D.-----	93
Tabla 7. ADCON3: Registro de Control 3. -----	94
Tabla 8. ADCHS: Registro Selector de Canal de Entrada.-----	95
Tabla 9. ADPCFG: Registro de Configuración del Puerto Análogo.-----	96
Tabla 10. ADCSSL: Registro de Selección de Escaneo de Entradas. -----	97

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquemático del Circuito de captura y transmisión-----	16
Figura 2. Diseño PCB del Circuito de captura y transmisión-----	17
Figura 3. Esquemático del Circuito de recepción y procesamiento-----	18
Figura 4. Diseño PCB del Circuito de recepción y procesamiento-----	19
Figura 5. Cilindro Hueco. -----	20
Figura 6. Canal cónico.-----	21
Figura 7. Acondicionamiento Mecánico.-----	22
Figura 8. Muestreo de los canales de entrada del sistema. -----	23
Figura 9. Distribución del espacio en la Sala de Música. -----	26
Figura 10 Captura de un micrófono respecto a una señal patrón -----	27
Figura 11. Directividad del micrófono final. -----	28
Figura 12. Circuito de recepción y procesamiento Tarjeta Final -----	47
Figura 13. Circuito de captura y transmisión tarjeta final -----	47
Figura 14. Cable UTP para la interconexión de los módulos-----	48
Figura 15. Vista interna del módulo principal -----	48
Figura 16. Modulo principal más micrófono móvil -----	49
Figura 17. Vista lateral del módulo principal -----	49
Figura 18. Sistema Final -----	50
Figura 19. Montaje del sistema final -----	50
Figura 20. Generación del sonido.-----	53
Figura 21. Amplitud de una señal -----	54
Figura 22. Frecuencia de una señal.-----	55
Figura 23. Señales a distintas frecuencias. -----	55
Figura 24. Armónicos de una señal de audio.-----	56

Figura 25. Visualización de Longitud de Onda-----	57
Figura 26 Función de una onda seno-----	60
Figura 27 Clasificación de una onda-----	61
Figura 28 Micrófono de Carbón -----	63
Figura 29 Respuesta en Frecuencia Micrófono de Carbón -----	64
Figura 30 Micrófono piezoeléctrico -----	64
Figura 31 Respuesta en Frecuencia Micrófono Piezoeléctrico-----	65
Figura 32 Micrófono Dinámico de bobina -----	67
Figura 33 Micrófono de Bobina -----	67
Figura 34 Micrófono de Cinta -----	69
Figura 35 Micrófono de Cinta -----	69
Figura 36 Micrófono de Condensador-----	72
Figura 37 Micrófono de Condensador-----	72
Figura 38 Micrófono Electret -----	74
Figura 39 Micrófono Electret -----	74
Figura 40. Vista interna micrófono Electret-----	74
Figura 41. Micrófono Diferencial-----	75
Figura 42. Patrón De Micrófono Omnidireccional-----	76
Figura 43. Patrón De Micrófono Bidireccional-----	77
Figura 44. Patrón De Micrófono tipo Cardioide. -----	79
Figura 45. Patrón De Micrófono Tipo Hipercardioide. -----	80
Figura 46. Patrón De Micrófono Tipo Escopeta. -----	81
Figura 47. Comparación Entre Algunos Tipos De Respuesta. -----	81
Figura 48. Amplificador Inversor-----	83
Figura 49. Amplificador no inversor. -----	84
Figura 50. Diagrama de Pines del dsPIC30F4013. -----	87
Figura 51. Convertidor A/D de 12 Bits.-----	89
Figura 52. Proceso de Conversión -----	98

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. EL SONIDO -----	52
ANEXO B. TRANSDUCTORES DE SONIDO-----	62
ANEXO C. MODELOS DE CAPTACIÓN-----	76
ANEXO D. MICROCONTROLADOR -----	85

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: SISTEMA DE SEGUIMIENDO DE FUENTES SONORAS

AUTORES: Andres Enrique Segovia Cárdenas
Leyberth José Rumbo Lúquez

FACULTAD: Ingeniería Electrónica

DIRECTOR: Ing. Raúl Restrepo

RESUMEN

Este documento presenta el diseño de un sistema que permite seguir y ubicar de forma automática una fuente sonora. Para este fin se desarrollo un sistema que controla la orientación de un micrófono móvil, el cual permite la localización de la fuente sonora. Este proceso se hizo mediante la triangulación de las ondas sonoras de entrada en cuatro micrófonos ubicados estratégicamente en un recinto específico. La señal de control se obtuvo mediante la implementación de un algoritmo en un microcontrolador además éste último ejerce la acción de control sobre el elemento de posicionamiento. Para llevar a cabo este proyecto inicialmente se hicieron pruebas de los micrófonos electret que se usarían como sensores de posición de la fuente sonora, estos micrófonos al ser omnidireccionales, recibían seña de audio de todas las direcciones y hubo que plantear una solución para hacerlos mas directivos, esta solución fue diseñar un micrófono diferencial utilizando dos micrófonos electret uno frente al otro de tal forma que la señal de información fue la del locutor y la señal de ruido fue el sonido externo o del publico que se presentara en el recinto. Al observar la señal recibida por estos micrófonos se determino que necesitaban un acople mecánico para incrementar la señal de audio que captaban cada uno de los micrófonos electret para de esta forma ubicar la posición de locutor adecuadamente y enviar estas señales a un microcontrolador para cuantificarlas para posteriormente controlar el servomotor que mueve el micrófono diferencial que finalmente apunta hacia la ubicación del locutor.

PALABRAS CLAVES: Triangulación, microcontrolador, electret, sensor, directivo, diferencial.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF UNDERGRADUATE THESIS

TITLE: MONITORING SYSTEM OF SOUND SOURCE
WRITTEN BY: Andres Enrique Segovia Cárdenas
Leyberth José Rumbo Lúquez
FACULTY: ELECTRONIC ENGINEERING
TUTOR: ING. Raul Restrepo

ABSTRACT

This paper presents the design of a system to track and automatically locate a sound source. To this end we developed a system that controls the orientation of a mobile microphone, which allows the location of the sound source. This process was made by triangulation of the sound waves into four microphones strategically placed in a specific precinct.

The control signal is obtained by implementing an algorithm in a microcontroller this one also controls the action on the positioning element. To carry out this project initially the electret microphones were tested because they would be used as sensors for position of the sound source, as these microphones are omnidirectional, they receive audio signal from all directions and we had to pose a solution to make them more selective .

This solution was to design a differential microphone using two electret microphones facing each other so that the information signal was the speaker and the noise signal was the external sound or the public to report to the campus.

By observing the signal received by these microphones was determined that they needed a mechanical coupling to increase the audio signal captured each of the electret microphone in this way locate the position of Speaker properly and send the signals to a microcontroller to quantify and subsequently control the actuator that moves the differential microphone finally points to the location of the speaker.

KEY WORDS: Triangulation, microcontroller, electret sensor, steering, differential.

VoBo DIRECTOR

INTRODUCCIÓN

Hoy en día en las diferentes salas o auditorios no se cuenta con un equipo que pueda ubicar una fuente sonora de forma automática, generalmente se cuenta con personal que realiza esta función. En vista de esta situación, se ha desarrollado la idea de implementar un equipo económico, que permita realizar automáticamente la ubicación y seguimiento de una fuente sonora y al adaptarlo a un sistema de audio o video permitirá la reducción de costos al realizar un evento.

Teniendo en cuenta los parámetros necesarios para la aplicación, se desarrolló un sistema que controla la orientación de un micrófono móvil, el cual permite la localización de la fuente sonora. Este proceso se hizo mediante la triangulación de las ondas sonoras de entrada en cuatro micrófonos ubicados estratégicamente en un recinto específico. La señal de control se obtuvo mediante la implementación de un algoritmo en un microcontrolador además éste último ejerce la acción de control sobre el elemento de posicionamiento.

En este proyecto se llevó a cabo la realización de un sistema cuya finalidad es la localización de una fuente sonora utilizando micrófonos electret como sensores de posición.

Inicialmente se realizaron pruebas de los micrófonos electret conectándolos a la entrada de un computador portátil y observando la señal captada en el programa Adobe Audition, de esta forma el micrófono electret se polarizaba con el circuito interno que trae el computador para este fin, con esta prueba se observó que el programa no arrojaba resultados significativos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

Se realizó un circuito para polarizar el micrófono independientemente utilizando una fuente de poder de 5 voltios, se desarrollaron pruebas en el Auditorio menor

Jesús Quiroz Crispín de la Universidad Pontificia Bolivariana y se observó la señal en el osciloscopio digital RIGOL el cual mostraba una señal más fiable, al igual se trabajó con el osciloscopio FLUKE. El sistema fue muy inestable en el momento de recibir señales de audio provenientes del público, se intentó solucionar este inconveniente amplificando la ganancia del micrófono directivo pero el sistema siguió mostrando inconvenientes y problemas de acústica. Es decir la señal sonora emitida se reflejaba en las paredes del recinto y al micrófono le era imposible determinar la señal real emitida.

Para evitar este problema generado por el sonido proveniente del público se optó por implementar un diseño de micrófonos diferenciales, el uno opuesto al otro para de esta forma restar una señal con la otra y mejorar la directividad del micrófono que apunta hacia el expositor y así eliminar casi por completo la señal proveniente del público. Para recibir de una manera fiable y óptima la señal en cada uno de los micrófonos se hizo un acople con icopor de forma cónica para introducir cada uno de los micrófonos electret, logrando así mejor recepción de la señal y un micrófono mucho más directivo.

Aun así el problema de acústica del auditorio continuaba siendo un gran inconveniente de solucionar ya que al amplificar la voz del expositor en los parlantes de recinto el sistema se desestabilizaba y no realizaba la tarea requerida. Por esta razón se hicieron pruebas en diferentes sitios como salones de clase, laboratorios, espacios abiertos etc. donde se llegó a la conclusión de que la solución era no amplificar la voz del expositor y así poder desarrollar el sistema para que realizara el seguimiento de la fuente sonora de una manera correcta. Esto se hizo teniendo en cuenta de que así como ocurre en el ser humano con el oído, de que le es difícil definir el punto o lugar específico de donde proviene el sonido que escucha, así también ocurre en el micrófono.

Realizando pruebas en los distintos sitios expuestos dentro de este libro, se logró una muy buena respuesta en la sala de música, dado que en esta sala las

condiciones de reflexión y acústica de la señal no afectan el sistema, favoreciendo en gran medida su funcionamiento. Una vez determinado el sitio de trabajo se realizó la calibración de las señales obtenidas para luego realizar el software que finalmente ubicaría la posición del locutor mediante el proceso digital que más adelante se describe con detalle.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ✓ Desarrollar un sistema que permita ubicar la voz de un conferencista que se mueve libremente por un escenario sin necesidad de tener las limitaciones de los micrófonos convencionales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar mediciones de potencia sonora vs. distancia, para así poder determinar la respuesta de los dispositivos a utilizar en el sistema de seguimiento de las fuentes sonoras.
- ✓ Realizar pruebas de laboratorio para caracterizar las partes del sistema, tales como el preamplificador de señal para el micrófono Electret, el cual se desea implementar en el diseño final.
- ✓ Implementar el sistema de seguimiento de fuentes sonoras con un micrófono móvil y varios micrófonos fijos o de triangulación.

1 METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL SISTEMA

Al analizar las diferentes operaciones que el sistema debería realizar y el entorno de trabajo se determinó que el sistema definitivo implementaría cuatro micrófonos fijos y un micrófono móvil. Al analizar las diferentes estrategias para determinar la posición por medio del sistema planteado se optó por el uso del valor promedio de las señales capturadas, dado que nuestro sistema no se interesaba en sí en el sonido instantáneo sino en el sonido en un lapso de tiempo; para esto se implementó un filtro RC, capaz de convertir una señal pulsante en un nivel DC, con el cual se podría trabajar posteriormente.

1.1 LA METODOLOGÍA CON LA CUAL SE DESARROLLÓ EL SISTEMA FUE LA SIGUIENTE:

1.1.1 Diseño y construcción de un prototipo capaz de capturar la señal de información

Al realizar este circuito se determinó que un micrófono Electret con su comportamiento omnidireccional presentaba una respuesta no adecuada para el desarrollo del proyecto. Como respuesta a este análisis se determinó que era necesario implementar un micrófono diferencial, que permitiese anular la señal de ruido del entorno y sólo capturar la señal de información.

1.1.2 Diseño y construcción de un prototipo capaz de capturar la señal información sin ruido

El paso siguiente realizado fue el diseño y construcción de un prototipo capaz de anular el ruido; para esto se implementó la tecnología del amplificador diferencial, el cual nos permitió restar dos señales. Es necesario recalcar que los dos micrófonos tanto del delantero como el posterior capturan en forma similar la señal de ruido, pero considerando como ruido la señal no proveniente del área de interés.

1.1.3 Prueba del sistema de captura de audio

Al probar el sistema de captura de audio se determinó que era necesario adecuar mecánicamente la señal de audio, dado que los micrófonos Electret no eran capaces de capturar de forma correcta la señal.

1.1.4 Acondicionamiento mecánico de los micrófonos

En esta etapa del diseño se investigó sobre las diferentes formas de mejorar la forma de captura del sonido, y se llegó a la conclusión de probar dos tipos de acondicionamiento un tipo cilíndrico tubular y un tipo cilíndrico cónico, estos dos procesos serán explicados más adelante.

1.1.5 Determinación del entorno de trabajo

Para el desarrollo del proyecto fue necesario investigar diferentes entornos de trabajo tales como espacios abiertos al cubierto, espacios abiertos al descubierto y espacios cerrados. Al analizar cada uno de estos espacios se concluyó que el espacio más apto para el funcionamiento del sistema es la sala de música ubicada en el edificio E primer piso de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional

Bucaramanga, dado que esta presentaba disponibilidad y condiciones adecuadas para la elaboración y ajuste del sistema.

1.1.6 Montaje y puesta en marcha del sistema

Una vez obtenidos los permisos necesarios para poder laborar en la sala de música, se instaló el sistema en la parte frontal de la sala y se procedió a la etapa de calibración.

1.1.7 Calibración del sistema

Para un óptimo funcionamiento del sistema es necesario que este esté calibrado de tal forma que las señales capturadas por cada uno de los micrófonos sean equivalentes; el procedimiento realizado para lograr este objetivo se describe más adelante.

1.1.8 Elaboración del programa principal

Al obtener las señales calibradas del sistema, se realizó un software capaz de cuantificar las señales provenientes de cada uno de los cuatro micrófonos para así realizar el proceso de control con el cual se puede determinar el sector en el cual se encuentra el locutor.

1.1.9 Elaboración del prototipo final

Una vez realizadas las etapas anteriormente descritas, se procedió a montar el sistema en sus respectivos gabinetes y mejorar la presentación del mismo.

2 ENTORNO DE TRABAJO

Existen diversos entornos en los cuales se podría implementar el sistema planteado, pero una de las cualidades del audio es que no existen dos ambientes iguales, de tal forma que es necesario escoger el entorno de trabajo más favorable para el desarrollo del proyecto.

2.1 ESPACIOS DISPUESTOS EN LA UPB BUCARAMANGA

La Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, cuenta con diversas áreas, que fueron analizadas y evaluadas con el fin de encontrar el sitio más apto para la investigación; en este estudio se analizaron los siguientes sitios de trabajo:

Tabla 1. Espacios disponibles en la UPB Bucaramanga.

No.	ESPACIO	UBICACIÓN
1	Auditorio menor Jesús Quiroz Crispín	Universidad Pontificia Bolivariana, Edificio J, Piso 1.
2	Plazoleta de Exposiciones	Universidad Pontificia Bolivariana, Edificio J, Piso 2.
3	Salón de clases	Edificio E 301
4	Balcones	Universidad Pontificia Bolivariana, Edificio J, Piso 3 y 4.
5	Auditorio mayor Juan pablo segundo	Universidad Pontificia Bolivariana, Edificio H, Piso 1.
6	Campo Abierto	Universidad Pontificia Bolivariana.
7	Laboratorio de Electrónica	Universidad Pontificia Bolivariana, Edificio B, Piso 2 Sala 2.
8	Sala de Música	Universidad Pontificia Bolivariana, Edificio E, Piso 1.

Fuente: Autores.

2.1.1 Variables Analizadas

En estos espacios se analizaron diversas variables, que según su respuesta se podía determinar si era factible o no implementarlo en nuestra investigación.

Dichas variables son:

- ❖ Si el sitio está al aire libre o cubierto.
- ❖ Reflexiones del sonido.
- ❖ Ruido del ambiente.
- ❖ Absorción del sonido.
- ❖ Difusión del sonido.
- ❖ Disponibilidad.

Estas variables fueron explicadas anteriormente, por tanto no se entrará en detalle en esta sección, a excepción de la variable Disponibilidad, que fue anexada con el objetivo de analizar su disponibilidad de préstamo para la investigación.

2.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS DIFERENTES ESPACIOS

Al observar y estudiar cada uno de los espacios mencionados anteriormente se pudo concluir lo siguiente:

Tabla 2. Ventajas y Desventajas de los Espacios en la UPB.

ESPACIO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Auditorio menor Monseñor Crispín	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Espacio cerrado ✓ Al cubierto ✓ Buena disponibilidad ✓ Difusión del sonido ✓ Ruido nulo 	<ul style="list-style-type: none"> × Reflexión del sonido × Poca absorción del sonido
Plazoleta de Exposiciones	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Al cubierto ✓ Buena disponibilidad ✓ Difusión del sonido 	<ul style="list-style-type: none"> × Ruido ambiente × Espacio abierto
Balcones	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Buena disponibilidad ✓ Difusión del sonido 	<ul style="list-style-type: none"> × Ruido ambiente × Espacio abierto × Espacio semi-cubierto
Auditorio mayor Juan pablo segundo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Espacio cerrado ✓ Al cubierto ✓ Poca disponibilidad ✓ Difusión del sonido ✓ Ruido nulo 	<ul style="list-style-type: none"> × Reflexión del sonido × Poca absorción del sonido
Campo Abierto	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Buena disponibilidad ✓ Difusión del sonido 	<ul style="list-style-type: none"> × Ruido ambiente × Espacio abierto × Espacio descubierto
Laboratorio de Electrónica	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Espacio cerrado ✓ Al cubierto ✓ Buena disponibilidad ✓ Difusión del sonido 	<ul style="list-style-type: none"> × Ruido ambiente × Poca absorción del sonido
Sala de Música	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Espacio cerrado ✓ Al cubierto ✓ Buena disponibilidad ✓ Difusión del sonido ✓ Ruido nulo ✓ Poca reflexión del sonido ✓ Buena absorción del sonido 	<ul style="list-style-type: none"> × Vestigios de resonancia
Salón de Clases	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Al cubierto ✓ Difusión del sonido 	<ul style="list-style-type: none"> × Ruido ambiente × Espacio abierto

Fuente: Autores.

2.3 SITIO ESCOGIDO

Teniendo en cuenta los resultados de los diversos sitios analizados, se concluyó que el espacio más apropiado para el desarrollo del proyecto es la Sala de Música, que se encuentra ubicada en la Universidad Pontificia Bolivariana, Edificio E, Piso 1, Salón E-101.

Ya que mostró buenas repuestas respecto a las variables analizadas, principalmente su disposición, poca reflexión del sonido y buena absorción del mismo; además esta sala fue diseñada y construida con el objeto de reducir la reflexión del sonido, para esto, la sala cuenta con un recubrimiento especial mediante elementos difusores y superficies amortiguadoras del sonido.

2.3.1 Descripción del entorno de trabajo

Como se enumeró anteriormente, para el desarrollo del proyecto fue necesaria la búsqueda de un entorno adecuado para el funcionamiento del sistema. Como conclusión se determinó la sala de música ubicada en el bloque E de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga como el espacio más propicio para el desarrollo del proyecto. Dicho espacio cuenta con superficies de aislamiento acústico adecuado para nuestro sistema.

Las dimensiones de las salas son aproximadamente las siguientes: 8.03 m de ancho por 12 m de largo; al escoger la parte frontal para el sistema se determinó que a pesar de las estrategias de aislamiento colocadas en la sala, no se anulaba totalmente la resonancia del sonido, de tal forma que se buscó el punto de equilibrio para que los micrófonos particularmente los que estaban más cercanos a los costados no tuviesen problemas. Tal como se puede observar en la gráfica 9 los micrófonos están distanciados entre sí. Los micrófonos mic1 y mic4 tienen una separación de una longitud de 1,3 m a la pared, de tal forma que los dos micrófonos consumen una distancia de 2,6 m; el espacio restante se dividió en

tres distancias equidistantes de 1,81 m entre los micrófonos mic1 a mic2, mic2 a mic3, y mic3 a mic4. El micrófono móvil se encuentra ubicado entre los micrófonos mic2 y mic3.

3 ENSAMBLE DEL SISTEMA

3.1 Circuitos fabricados

Para el desarrollo del sistema fue necesario crear un dispositivo que anulara de forma adecuada el ruido generado por una fuente externa al área a analizar; para eso fue necesario crear un sistema de micrófono diferencial con base en micrófonos Electret.

3.1.1 Descripción del circuito de captura y acondicionamiento de las señales de audio

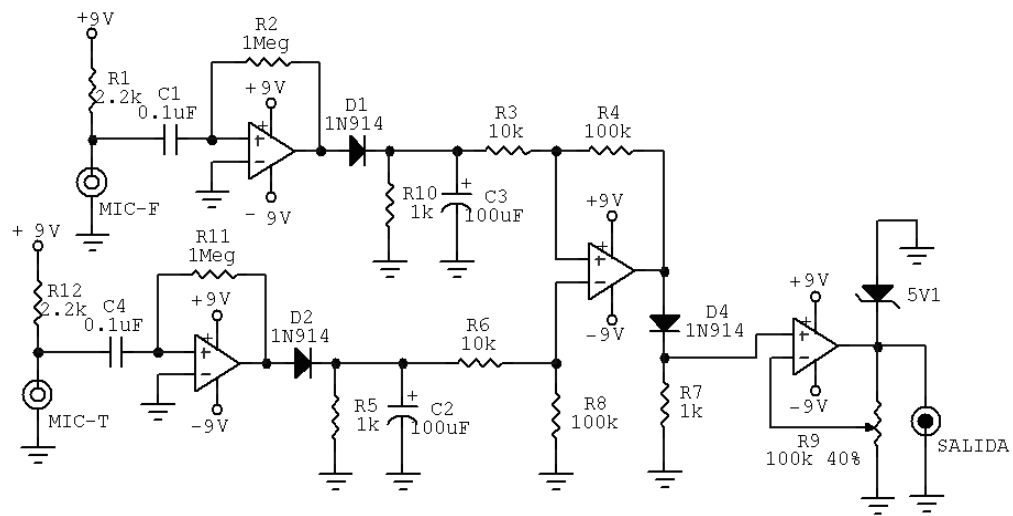
El sistema consta de dos circuitos principales: el circuito de captura y transmisión y el circuito de recepción y procesamiento; el circuito captura y transmisión es implementado en cada uno de los cuatro micrófonos y el circuito de recepción y procesamiento es implementado en el módulo central del sistema (micrófono móvil); ambos circuitos son explicados a continuación:

3.1.1.1 Circuito de captura y transmisión

Para el funcionamiento del circuito fue necesario crear una fuente de polarización y suministro de corriente adecuada para los micrófonos Electret; los circuitos son alimentados por dos fuentes de poder una de +9 V y una de -9 V con su respectiva etapa de filtrado; el chip principal del circuito es el circuito integrado TL084, que consta de cuatro amplificadores operacionales con entradas JFET, lo cual ayuda a que el circuito tenga una alta impedancia de entrada; las señales de los micrófonos son filtradas de tal forma que se elimina el nivel de polarización suministrada por la red formada por la resistencia de 2200 ohmios y el micrófono

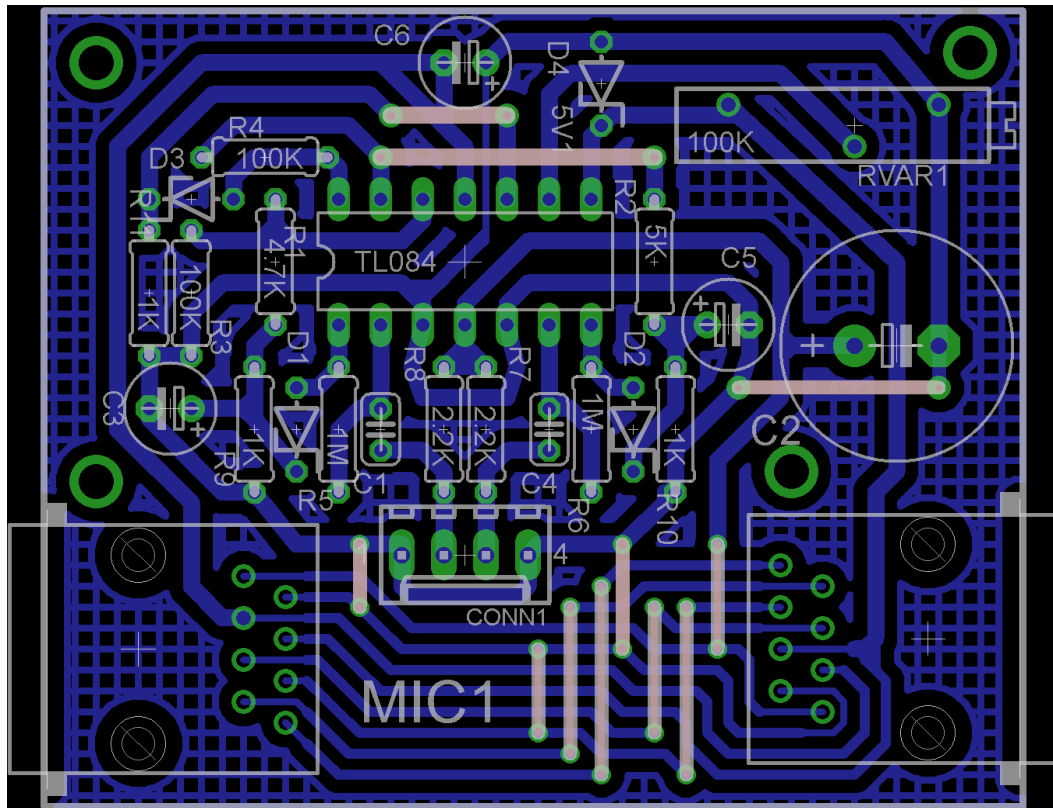
Electret (ver figura 1); esta señal es conducida a un amplificador inversor con una ganancia elevada, para luego ser acondicionada nuevamente por un diodo de conmutación rápida (1N914) el cual elimina la parte negativa de la señal. La señal resultante es suministrada a un filtro RC formado por un capacitor de 100uF y una resistencia de 1000 ohmios. Ese proceso es realizado en ambos micrófonos tanto en el delantero como en el posterior. Las señales resultantes de estos dos micrófonos son conducidas a un amplificador diferencial de ganancia 10, el cual cumple la tarea de restar la señal de ruido a la señal de información. Es necesario mencionar que el ruido es captado por ambos micrófonos de forma similar de modo que la señal resultante es la señal información.

Figura 1. Esquemático del Circuito de captura y transmisión



Fuente: Autores.

Figura 2. Diseño PCB del Circuito de captura y transmisión



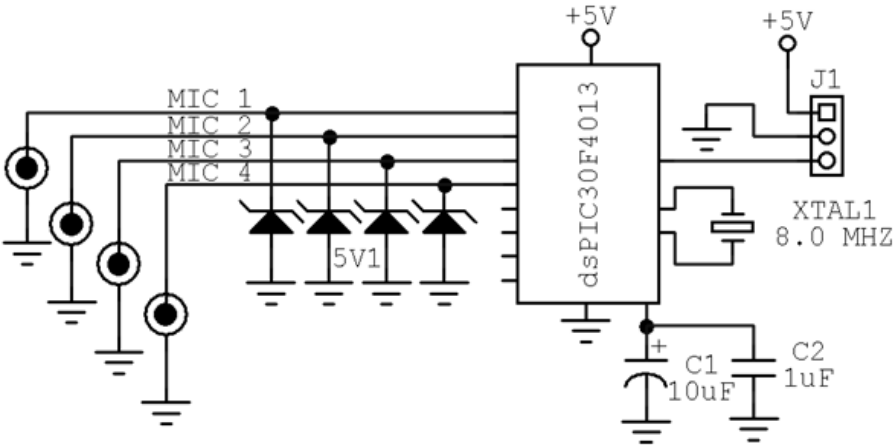
Fuente: Autores.

3.1.1.2 Circuito de recepción y procesamiento

Este circuito consta de un microprocesador Dspic30F4013, un acondicionamiento de fuentes de poder, puertos de conexión para los diferentes elementos del módulo principal, entre otros. Las señales de los micrófonos y las señales de voltaje (fuentes), son captadas y suministradas respectivamente por este circuito por medio de los cables UTP; las fuentes de poder se basan en la implementación de tres baterías de 9 voltios que suministran los voltajes de polarización de +9 V y -9 V; asimismo por medio de un regulador de voltaje se establece una fuente de poder de +5 V. En esta tarjeta se dispone de un conector específico para la conexión del servomotor que mueve el micrófono principal (micrófono móvil); con el objetivo de que este motor no interfiera en el funcionamiento y captura de las

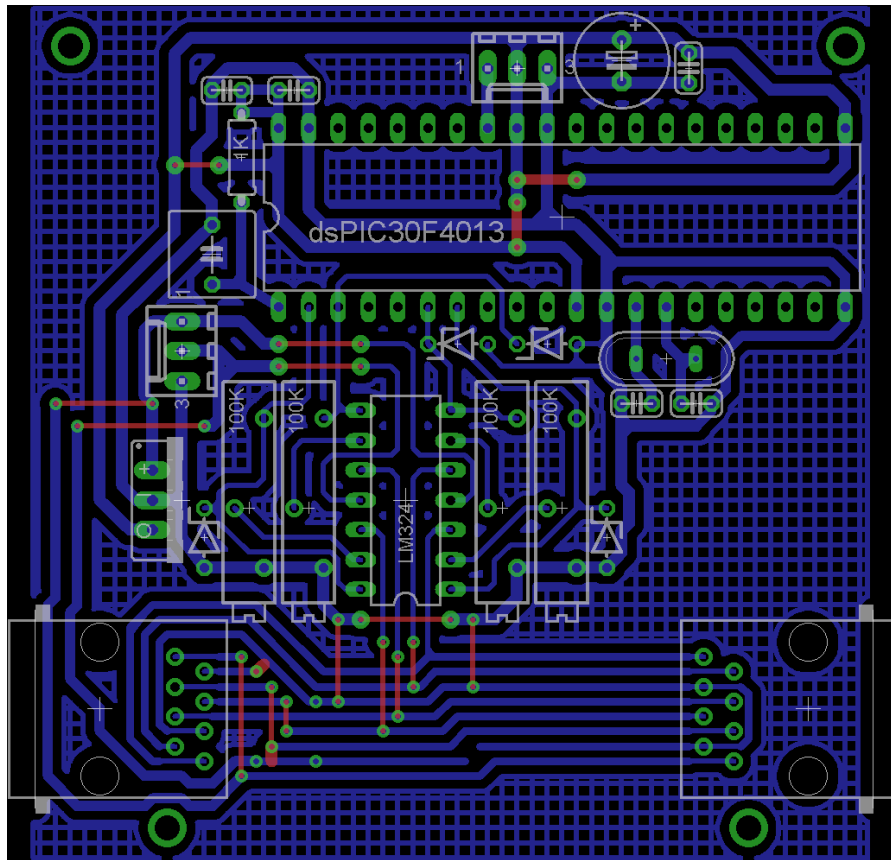
señales provenientes de los micrófonos fue necesario separar su fuente de alimentación; para esto se implementó la tercera batería de 9 V.

Figura 3. Esquemático del Circuito de recepción y procesamiento



Fuente: Autores.

Figura 4. Diseño PCB del Circuito de recepción y procesamiento



Fuente: Autores.

3.2 ACONDICIONAMIENTO MECÁNICO DE LOS MICRÓFONOS ELECTRET

Al realizar las diferentes pruebas en algunos sitios, tales como: laboratorio electrónica, Auditorio menor Jesús Quiroz Crispín, espacios abiertos y sala de música, se observó que la señal captada por el micrófono era pobre o de muy baja intensidad; la solución a este inconveniente no se podía realizar por medio de ajustes en la parte electrónica dado que el micrófono no captaba la señal, por tanto fue necesario anexar un elemento mecánico que permitiese la amplificación y directividad en el micrófono. Al realizar una investigación previa se concluyó que se podían realizar principalmente dos acondicionamientos mecánicos al micrófono, el primero es la implementación de una sección cilíndrica tubular que condujese

las señales sonoras al micrófono y la otra opción es el uso de un cilindro con canal cónico.

Figura 5. Cilindro Hueco.



Fuente Autores.

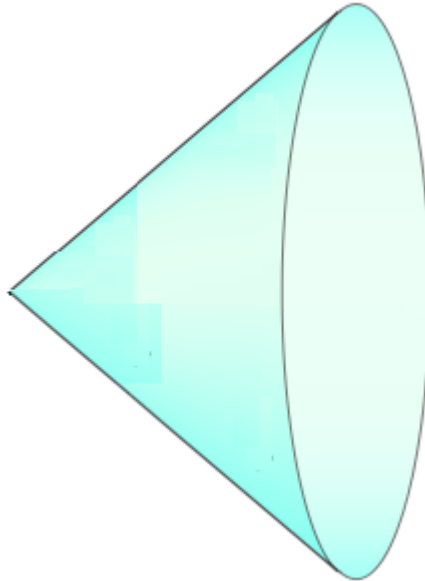
3.2.1 Funcionamiento del acondicionamiento mecánico tipo cilíndrico tubular

Al usar este acondicionamiento se observó que las señales sonoras en espacios abiertos no se captaban de forma adecuada a menos que la fuente sonora estuviese a una distancia cercana no mayor de 1 m al micrófono; caso contrario ocurría en espacios cerrados y con tratamientos acústicos, en los cuales el micrófono tiene un comportamiento bueno en la captura de la señal de información, pero al implementar el sistema (cuatro micrófonos) no generaba un comportamiento adecuado.

3.2.2 Funcionamiento del acondicionamiento mecánico tipo cilindro con canal cónico

Al usar este acondicionamiento se observó que las señales en espacios cerrados no se captaban de forma adecuada, caso contrario ocurría en espacios abiertos o con poca resonancia, al analizar el sistema completo (cuatro micrófonos) el sistema generó un comportamiento adecuado.

Figura 6. Canal Cónico.



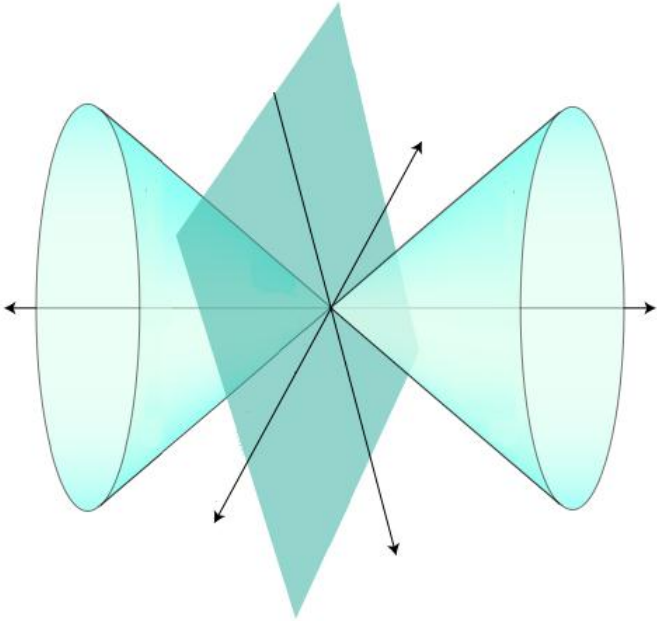
Fuente: Autores.

Es necesario dejar en claro que al realizar las diferentes pruebas con estos dos tipos de acondicionamientos mecánicos se estudiaron las siguientes combinaciones, siendo la primera en la parte delantera y el segundo la parte posterior

- Canal cilíndrico, Canal cilíndrico.
- Canal cilíndrico, Canal cónico.
- Canal cónico, Canal cilíndrico.
- Canal cónico, Canal cónico.

Al aplicar cada una de estas combinaciones al sistema, se determinó que la mejor respuesta se obtuvo al usar la combinación canal cónico, canal cónico, en un espacio abierto o en un espacio cerrado pero con tratamiento contra la resonancia del sonido.

Figura 7. Acondicionamiento Mecánico.



Fuente: Autores.

4 MUESTREO

El sistema implementa una metodología que captura de forma eficiente el voltaje medio de cada uno de los cuatro micrófonos utilizados. Dado que es un sistema discreto es necesario el uso de un convertidor analógico a digital (ADC), como se explica en el ANEXO D. en la página 86, el dsPIC30F4013 cuenta un con ADC de 12 bits de conversión, que fue utilizado para dicha captura.

4.1 LA TÉCNICA UTILIZADA PARA LA CAPTURA SE DESCRIBE A CONTINUACIÓN:

Las señales de información son recibidas por el modulo A/D del dsPIC, estas son capturadas en forma secuencial, y muestreadas a una velocidad de 12 kHz cada grupo de 4 muestras. Estos grupos se capturan 255 veces en una cantidad de tiempo estipulada por el sistema, para luego calcular la posición de la fuente sonora.

Figura 8. Muestreo de los canales de entrada del sistema.

Mic1	Mic2	Mic3	Mic4	Espacio intermedio	Mic1	Mic2	Mic3	Mic4	-----
Tiempo de captura y conversión				-----	Tiempo de captura y conversión				-----

Fuente: Autores.

4.2 UBICACIÓN ESTRATÉGICA DE LOS CUATRO MICRÓFONOS

Fue necesario estipular las coordenadas adecuadas en la sala de música de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, de tal forma que el espacio entre cada uno de los micrófonos fuese equitativo, esto, con el fin de que las señales de audio llegasen de forma similar a cada uno de los puntos (micrófonos), teniendo en cuenta que la velocidad del sonido es constante en el aire.

5 DETECCIÓN DE SONIDO

El ser humano dispone de la capacidad de discernir la ubicación de una fuente sonora, gracias a la ubicación estratégica de sus oídos, dicha capacidad se explica de la siguiente forma, el sonido viaja a una velocidad constante en el aire, que es el medio más común de nuestro entorno, dicha velocidad es de alrededor de los 330 m/s, de tal forma, que si un sonido no llega al mismo instante a los dos oídos se presenta un retraso o desfase de la señal de audio en uno de los dos oídos (el más lejano), este fenómeno es captado por el cerebro y con él puede determinar la posición de una fuente sonora.

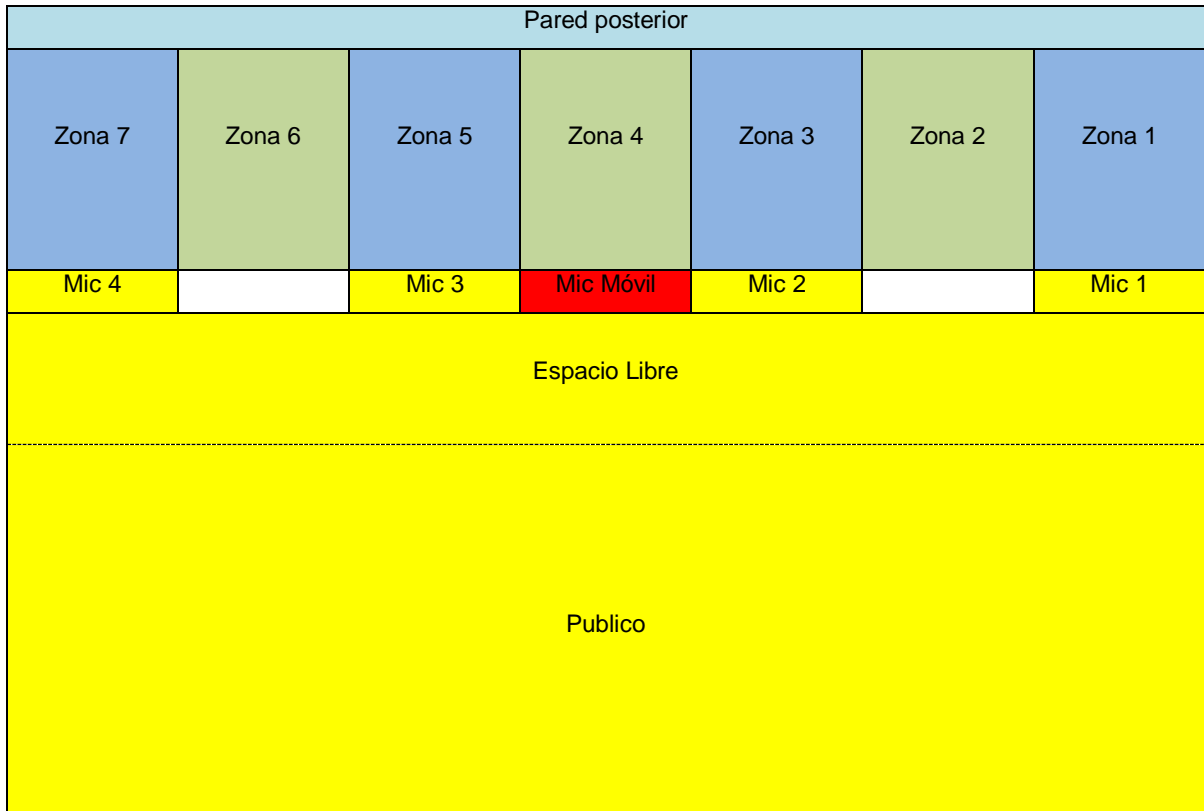
5.1 METODOLOGÍA DE DETECCIÓN

La metodología implementada en el desarrollo de este proyecto, se basa en la captura del nivel medio de una señal de audio, sólo teniendo en cuenta en su parte positiva; este proceso será detallado más adelante.

Para la captura del sonido se dispone de cuatro (4) micrófonos especiales basados principalmente en un arreglo de micrófonos Electret. Cada uno de estos micrófonos genera una señal que es transmitida por medio de una conexión física alamburada, que es realizada implementando cables eléctricamente compensados (UTP) con conectores RJ45. Esta señal es recibida por un circuito de acondicionamiento para su posterior análisis por medio de un microcontrolador (dsPIC30F4013) que realiza un muestreo de la señal capturada por medio de un convertidor analógico a digital (ADC, por sus siglas en inglés).

Teniendo en cuenta los voltajes medios capturados, el sistema determina la zona en donde se encuentra ubicado el expositor. Dichas zonas se estipulan de la siguiente forma:

Figura 9. Distribución del espacio en la Sala de Música.



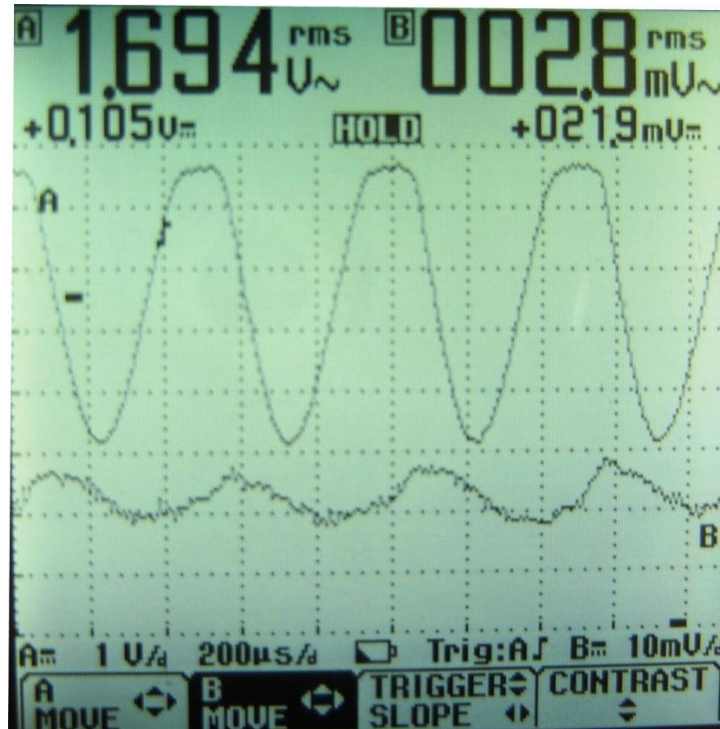
Fuente: Autores.

5.2 CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

Para un funcionamiento adecuado del sistema es necesario que cada una de las señales capturadas por los micrófonos sean equivalentes una respecto a la otra; con el fin de realizar este objetivo se ubicaron estratégicamente los micrófonos y se estableció una fuente sonora constante (parlantes, computador, software de audio) la cual se ubica equidistante a dos micrófonos consecutivos, de tal forma

que primero se realizó el proceso de calibración con los micrófonos uno y dos, luego con los micrófonos dos y tres, y finalmente la micrófonos tres y cuatro, Siendo el primero la referencia del segundo.

Figura 10 Captura de un micrófono respecto a una señal patrón



Fuente: Autores.

5.3 DIAGRAMA FINAL DE CAPTURA DEL MICRÓFONO IMPLEMENTADO

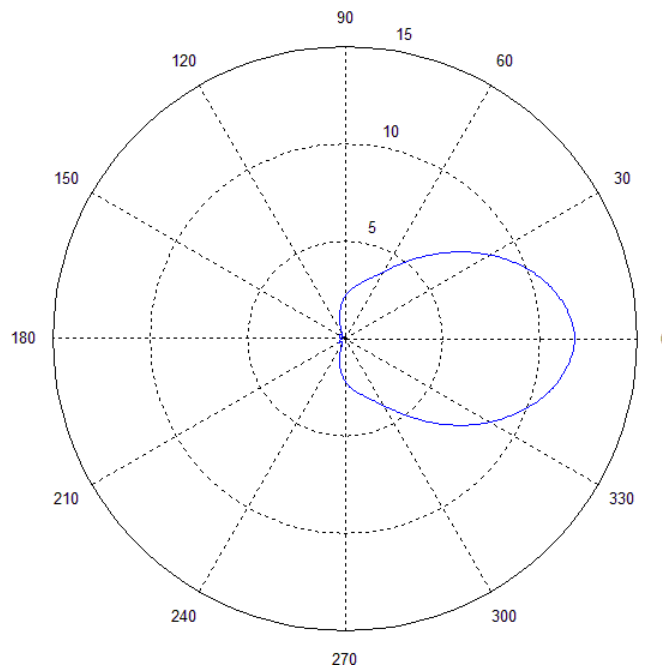
Al caracterizar el micrófono armado, por medio de una prueba de captura de intensidad de sonido, se obtuvieron los resultados de la siguiente tabla, que al ser graficados nos ilustran la directividad del micrófono.

Tabla 3. Patrón polar de directividad del micrófono implementado.

Angulo[°]	Valor [V]
0	9,807
30	8,585
60	3,980
90	2,186
120	0,223
150	0,400
180	0,160
210	0,400
240	0,223
270	2,186
300	3,980
330	8,585
360	9,807

Fuente: Autores.

Figura 11. Directividad del micrófono final.



Fuente: Autores.

5.4 CÁLCULO DE LA POSICIÓN DE LA FUENTE SONORA

El sistema implementado evalúa de forma analógica las señales captadas en cada uno de los micrófonos en su parte frontal y en su parte trasera. Estas señales son conducidas a un amplificador diferencial cuya tarea es la de restar a la señal de entrada la señal de ruido proveniente del público. Esta señal sólo es utilizada en su parte positiva gracias al diodo 1N914. La señal resultante es acondicionada en última instancia por un amplificador seguidor el cual cuenta con la protección de un diodo zener inversamente polarizado.

Las señales de estos cuatro micrófonos son conducidas por medio de un cable UTP (Unshielded Twisted Pair, por sus siglas en inglés), a su vez son conducidas hasta llegar a la tarjeta principal del sistema que se encuentra ubicada debajo del micrófono móvil, en donde son nuevamente acondicionadas con una protección que busca asegurar que las señales introducidas al micro controlador tengan un rango de valores comprendidos entre los 0 V y 5 V.

Una vez las señales son ingresadas al micro controlador, son procesadas por el convertidor analógico digital, el cual cuantifica las señales con 8 bits de resolución. Estas señales, como se mencionó anteriormente, son acumuladas en cuatro registros durante una cantidad de tiempo específico, para luego, ser calculado el nivel DC, y así poder ejecutar el programa de control del sistema.

6 ALGORITMO IMPLEMENTADO EN EL SISTEMA

En este capítulo se dará una explicación acerca del software sintetizado para el desarrollo de la aplicación planteada. El algoritmo se desarrolló en el lenguaje Assembler, por medio del software MPLAB, el cual es suministrado por el fabricante Microchip.

6.1 DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO

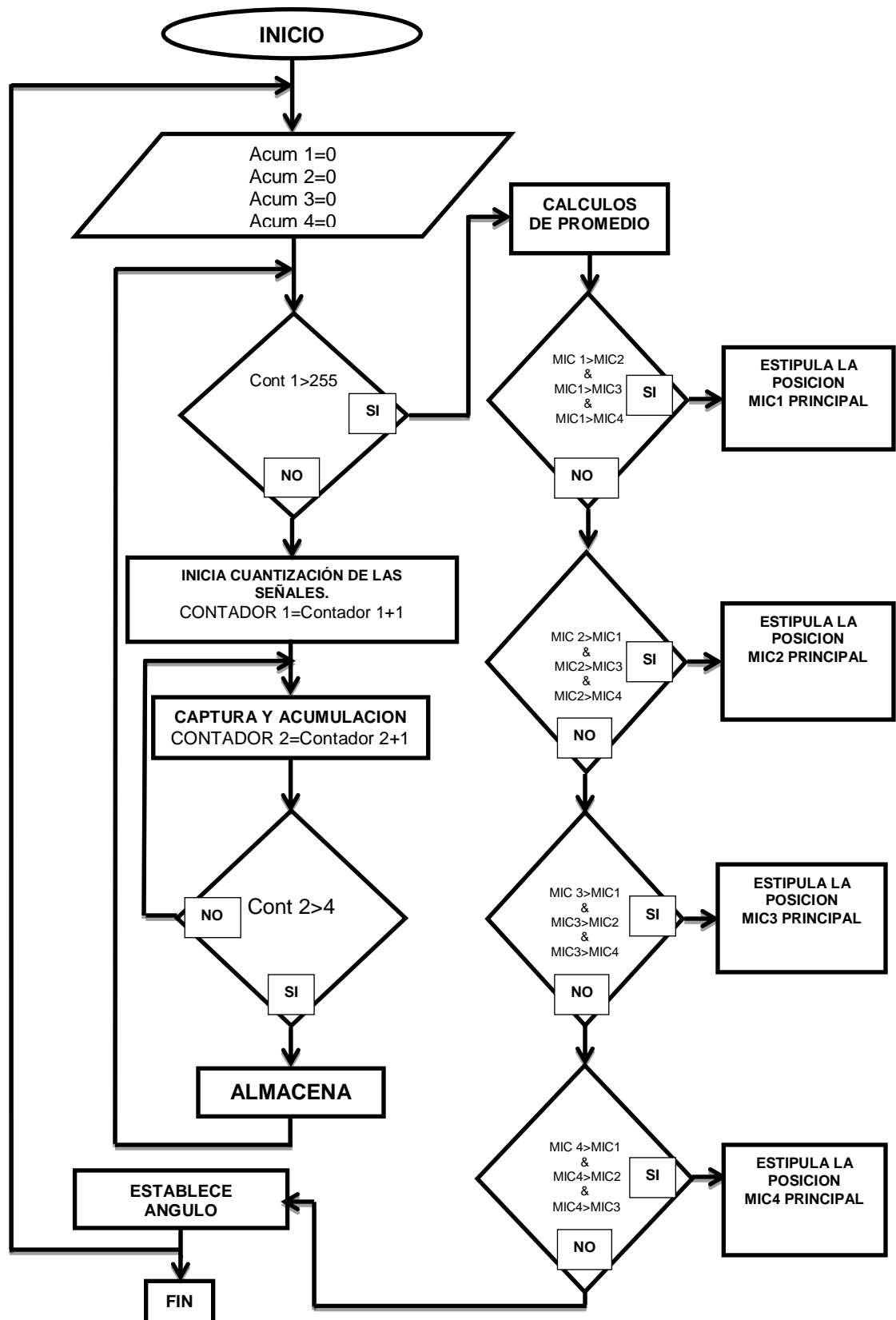
Inicialmente como fue explicado anteriormente, las señales provenientes de los cuatro micrófonos son recibidas por el módulo analógico – digital del microcontrolador. Este último tiene configuradas dos frecuencias de muestreo, la primera de ellas es la frecuencia de captura de muestras (F1), la cual tiene un valor de 364 Hz, y la segunda es la frecuencia de captura de muestra (F2) de 2 KHz. Los cuatro valores son almacenados en cuatro registros o variables respectivamente. Una vez se cumpla el periodo de la frecuencia de captura de muestras (F1) se calcula el valor promedio de cada una de las señales y se procede a la etapa de control.

El proceso de cuantización de las señales se realiza con un convertidor analógico a digital de 10 bits de resolución con una reducción a 8 bits para un mejor análisis, De tal forma que el rango de valores en el cual funciona el sistema es de 0-255. Para el sistema de posicionamiento final (servomotor) se implementó un módulo PWM específico, el cual tiene una resolución aproximadamente 1.5 grados, y tiene un rango de movimiento de los -75 grados hasta los 75 grados, de tal forma que el sistema tiene un rango de movimiento de 150 grados.

La etapa de control está compuesta por una etapa previa de filtrado numérico, de tal forma que el sistema verifica cual es la señal mayor al momento de realizar el control, lo cual indica el sector en el cual se encuentra el locutor, de tal forma el sector 1 está compuesto por la zona 1, el sector 2 por las zonas 2 y 3, y el sector 3 por las zonas 5 y 6, y el sector 4 por la zona 7.

Posterior a este análisis se realiza un nuevo proceso de control con el cual se estipula una de las tres posibles posiciones en las que puede estar el locutor, siendo la zona de la izquierda, la zona del frente o la zona de la derecha. Al finalizar este proceso se procede a modificar el ángulo de posicionamiento, de tal forma que el micrófono móvil se dirija y siga la fuente sonora.

6.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO



6.3 CODIGO IMPLEMENTADO

```
.INCLUDE      "P30F4013.INC"
.EQU         MIC1,#0X800
.EQU         MIC2,#0X802
.EQU         MIC3,#0X804
.EQU         MIC4,#0X806
.GLOBAL     __T1Interrupt
.GLOBAL     __T2Interrupt
.GLOBAL     __T3Interrupt
.GLOBAL     __ADCInterrupt
.TEXT
.GLOBAL     __reset
__reset:    MOV      #0X0808,W15
            MOV      #0X08FE,W0
            MOV      W0,SPLIM
            MOV      #0B110011,W0
            MOV      W0,TRISB
            CLR      TRISA
            CLR      TRISC
            CLR      TRISF
            CLR      TRISD
            MOV      #0X00E0,W0
            MOV      W0,ADCON1
            MOV      #0X0001,W0
            MOV      W0,ADCON2
            MOV      #0X0F2B,W0
            MOV      W0,ADCON3
            MOV      #0X0001,W0
```

```

MOV      W0,ADCHS
MOV      #0X1FC0 ,W0
MOV      W0,ADPCFG
MOV      #0X0001,W0
MOV      W0,ADCSSL
CONF_TIMER: MOV      #0X0020,W0
MOV      W0,T1CON
MOV      #0X8020,W0
MOV      W0,T2CON
MOV      #0X8030,W0
MOV      W0,T3CON
CONF_PR:  MOV      #1,W0
MOV      W0,PR1
MOV      #5,W0
MOV      W0,PR2
MOV      #343,W0;343
MOV      W0,PR3
CONF_IF:  BCLR     IFS0,#T1IF
BCLR     IFS0,#T2IF
BCLR     IFS0,#T3IF
BCLR     IFS0,#ADIF
CONF_IE:  BCLR     IEC0,#T1IE
BSET     IEC0,#T2IE
BSET     IEC0,#T3IE
BCLR     IEC0,#ADIE
INICIO:  CLR      W14
CLR      W13
CLR      W12
CLR      W1
CLR      W0

```

```

        CLR      W3
        CLR      W2
        CLR      W11
        CLR      W10
        MOV      #1,W9
        CLR      W8
        CLR      W7
        CLR      W6
        CLR      W3
        CLR      W4
        CLR      MIC1
        CLR      MIC2
        CLR      MIC3
        CLR      MIC4
        CLR      TMR1
        CLR      TMR2
        CLR      TMR3
        MOV      #124,W5
CONF_CPU:  BCLR      CORCON,#IPL3
           BCLR      SR,#IPL2
           BSET      SR,#IPL1
           BSET      SR,#IPL0
           GOTO      PROG
__T1Interrupt:  PUSH.S
                BCLR      ADCON1,#ADON
                CALL      TABLA1
                MOV      W2,ADPCFG
                CALL      TABLA2
                MOV      W2,ADCSSL
                CALL      TABLA3

```



```

MOV      W2,ADCHS
BSET    ADCON1,#ADON
BSET    ADCON1,#SAMP
BCLR    IFS0,#ADIF
BSET    IEC0,#ADIE
SALIR_T1: BCLR    IFS0,#T1IF
POP.S
RETFIE
TABLA1:  BRA     W9
NOP
RETLW   #0B111110,W2
RETLW   #0B101111,W2
RETLW   #0B111101,W2
RETLW   #0B011111,W2
TABLA2:  BRA     W9
NOP
RETLW   #0B000001,W2
RETLW   #0B010000,W2
RETLW   #0B000010,W2
RETLW   #0B100000,W2
TABLA3:  BRA     W9
NOP
RETLW   #0,W2
RETLW   #4,W2
RETLW   #1,W2
RETLW   #5,W2
__T2Interrupt: PUSH.S
MOV      #2300,W0
INC      W7,W7
CP       W7,W0

```

```

        BRA        Z,SETM1
AUX1:   CP        W7,W5
        BRA        Z,CLRM1
SALIR_T2: BCLR     IFS0,#T2IF
        POP.S
        RETFIE
SETM1:  BSET     PORTD,#1
        CLR      W7
        GOTO     AUX1
CLRM1:  BCLR     PORTD,#1
        GOTO     SALIR_T2
__T3Interrupt: PUSH.S
        CLR      TMR1
        BSET     IFS0,#T1IF
        BSET     IEC0,#T1IE
SALIR_T3: BCLR     IFS0,#T3IF
        POP.S
        RETFIE
__ADCInterrupt: PUSH.S
        BCLR     ADCON1,#DONE
        MOV      ADCBUF0,W2
        LSR      W2,#4,W2
        MOV      #1,W0
        CP       W0,W9
        BRA      Z,CHANEL1
        MOV      #2,W0
        CP       W0,W9
        BRA      Z,CHANEL3
        MOV      #3,W0
        CP       W0,W9

```

```

        BRA        Z,CHANEL2
        MOV        #4,W0
        CP         W0,W9
        BRA        Z,CHANEL4
        GOTO       SALIR_AD
CHANEL1:  ADD      W2,W4,W4
        GOTO       SALIR_AD
CHANEL2:  ADD      W2,W6,W6
        GOTO       SALIR_AD
CHANEL3:  ADD      W2,W8,W8
        GOTO       SALIR_AD
CHANEL4:  ADD      W2,W10,W10
        GOTO       SALIR_AD
SALIR_AD: INC      W9,W9
        MOV        #5,W0
        CP         W0,W9
        BRA        Z,REINICIO
        BCLR       IFS0,#ADIF
        BCLR       IEC0,#ADIE
        BSET       IFS0,#T1IF
        POP.S
        RETFIE
REINICIO: MOV      #1,W9
        INC        W11,W11
        MOV        #255,W0
        CP         W0,W11
        BRA        Z,PROMEDIO
SALIR_AD1: BCLR       IFS0,#T1IF
        BCLR       IEC0,#T1IE
        BCLR       IFS0,#ADIF

```

```

BCLR      IEC0,#ADIE
POP.S
RETFIE
PROMEDIO: CLR      W11
MOV       #255,W2
REPEAT    #17
DIV.U     W4,W2
MOV       W0,W3
MOV       W3,MIC1
MOV       #255,W2
REPEAT    #17
DIV.U     W6,W2
MOV       W0,W3
MOV       W3,MIC2
MOV       #255,W2
REPEAT    #17
DIV.U     W8,W2
MOV       W0,W3
MOV       W3,MIC3
MOV       #255,W2
REPEAT    #17
DIV.U     W10,W2
MOV       W0,W3
MOV       W3,MIC4
CLR       W4
CLR       W6
CLR       W8
CLR       W10
GOTO     SALIR_AD1
PROG:    BSET     CORCON,#IPL3

```

```

BSET      SR,#IPL2
MOV       MIC1,W12
MOV       MIC2,W2
ADD       W2,W12,W12
MOV       MIC3,W2
ADD       W2,W12,W12
MOV       MIC4,W2
ADD       W2,W12,W12
MOV       #100,W2
CP        W2,W12
BRA       NN,PROG1
TEST_1:   MOV       MIC1,W14
          MOV       MIC2,W13
          CP        W14,W13
          BRA       N,TEST_2
          MOV       MIC1,W14
          MOV       MIC3,W13
          CP        W14,W13
          BRA       N,TEST_2
          MOV       MIC1,W14
          MOV       MIC4,W13
          CP        W14,W13
          BRA       N,TEST_2
          GOTO      SECTOR_1
TEST_2:   MOV       MIC2,W14
          MOV       MIC1,W13
          CP        W14,W13
          BRA       N,TEST_3
          MOV       MIC2,W14
          MOV       MIC3,W13

```

	CP	W14,W13
	BRA	N,TEST_3
	MOV	MIC2,W14
	MOV	MIC4,W13
	CP	W14,W13
	BRA	N,TEST_3
	GOTO	SECTOR_2
TEST_3:	MOV	MIC3,W14
	MOV	MIC1,W13
	CP	W14,W13
	BRA	N,TEST_4
	MOV	MIC3,W14
	MOV	MIC2,W13
	CP	W14,W13
	BRA	N,TEST_4
	MOV	MIC3,W14
	MOV	MIC4,W13
	CP	W14,W13
	BRA	N,TEST_4
	GOTO	SECTOR_3
TEST_4:	MOV	MIC4,W14
	MOV	MIC1,W13
	CP	W14,W13
	BRA	N,PROG1
	MOV	MIC4,W14
	MOV	MIC2,W13
	CP	W14,W13
	BRA	N,PROG1
	MOV	MIC4,W14
	MOV	MIC3,W13

```

CP      W14,W13
BRA     N,PROG1
GOTO   SECTOR_4
SECTOR_1: MOV   MIC1,W12
        MOV   MIC2,W2
        ADD   W12,W2,W2
        MOV   #2,W12
        REPEAT #17
        DIV.U W2,W12
        MOV   W0,W14
        MOV   MIC1,W12
        MOV   #6,W2
        REPEAT #17
        DIV.U W12,W2
        MOV   W0,W2
        MUL.UU W2,#5,W2
        CP    W14,W2
        BRA   N,PUNTO_1
        GOTO  PUNTO_2
SECTOR_2: MOV   MIC1,W14
        MOV   MIC3,W13
        CP    W14,W13
        BRA   NN,SECTOR_2A
        GOTO  SECTOR_2B
SECTOR_2A: MOV   MIC2,W12
        MOV   MIC1,W2
        ADD   W12,W2,W2
        MOV   #2,W12
        REPEAT #17
        DIV.U W2,W12

```

```

MOV      W0,W14
MOV      MIC2,W12
MOV      #6,W2
REPEAT  #17
DIV.U    W12,W2
MOV      W0,W2
MUL.UU  W2,#5,W2
CP       W14,W2
BRA      N,PUNTO_3
GOTO     PUNTO_2
SECTOR_2B:
MOV      MIC2,W12
MOV      MIC3,W2
ADD      W12,W2,W2
MOV      #2,W12
REPEAT  #17
DIV.U    W2,W12
MOV      W0,W14
MOV      MIC2,W12
MOV      #6,W2
REPEAT  #17
DIV.U    W12,W2
MOV      W0,W2
MUL.UU  W2,#5,W2
CP       W14,W2
BRA      N,PUNTO_3
GOTO     PUNTO_4
SECTOR_3:
MOV      MIC2,W14
MOV      MIC4,W13
CP       W14,W13
BRA      NN,SECTOR_3A

```



```

                                GOTO    SECTOR_3B

SECTOR_3A:  MOV    MIC3,W12
            MOV    MIC2,W2
            ADD   W12,W2,W2
            MOV   #2,W12
            REPEAT #17
            DIV.U W2,W12
            MOV   W0,W14
            MOV   MIC3,W12
            MOV   #6,W2
            REPEAT #17
            DIV.U W12,W2
            MOV   W0,W2
            MUL.UU W2,#5,W2
            CP    W14,W2
            BRA   N,PUNTO_5
            GOTO  PUNTO_4

SECTOR_3B:  MOV    MIC3,W12
            MOV    MIC4,W2
            ADD   W12,W2,W2
            MOV   #2,W12
            REPEAT #17
            DIV.U W2,W12
            MOV   W0,W14
            MOV   MIC3,W12
            MOV   #6,W2
            REPEAT #17
            DIV.U W12,W2

```

```

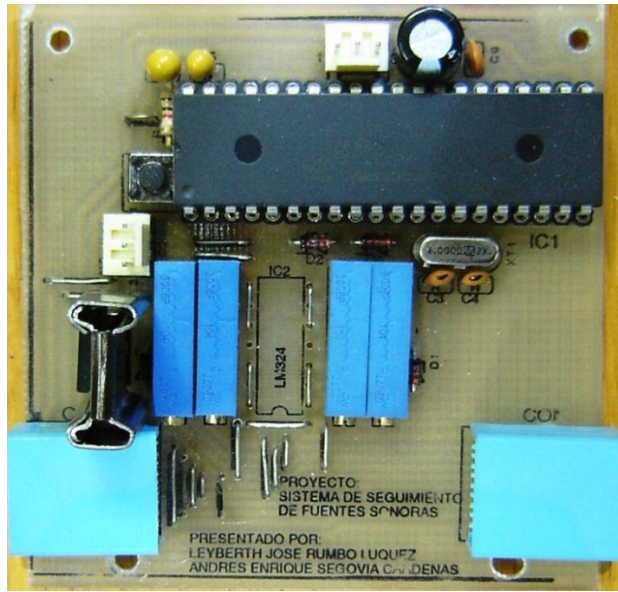
MOV      W0,W2
MUL.UU  W2,#5,W2
CP       W14,W2
BRA      N,PUNTO_5
GOTO     PUNTO_6
SECTOR_4: MOV      MIC4,W12
MOV      MIC3,W2
ADD      W12,W2,W2
MOV      #2,W12
REPEAT   #17
DIV.U    W2,W12
MOV      W0,W14
MOV      MIC4,W12
MOV      #6,W2
REPEAT   #17
DIV.U    W12,W2
MOV      W0,W2
MUL.UU  W2,#5,W2
CP       W14,W2
BRA      N,PUNTO_7
GOTO     PUNTO_6
PROG1:   BCLR     CORCON,#IPL3
BCLR     SR,#IPL2
GOTO     PROG
PUNTO_1: MOV      #182,W5
GOTO     PROG1
PUNTO_2: MOV      #177,W5
GOTO     PROG1
PUNTO_3: MOV      #156,W5
GOTO     PROG1

```

```
PUNTO_4:      MOV      #124,W5
               GOTO     PROG1
PUNTO_5:      MOV      #85,W5
               GOTO     PROG1
PUNTO_6:      MOV      #68,W5
               GOTO     PROG1
PUNTO_7:      MOV      #64,W5
               GOTO     PROG1
.END
```

7 IMÁGENES DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

Figura 12. Circuito de recepción y procesamiento Tarjeta Final



Fuente: Autores.

Figura 13. Circuito de captura y transmisión tarjeta final



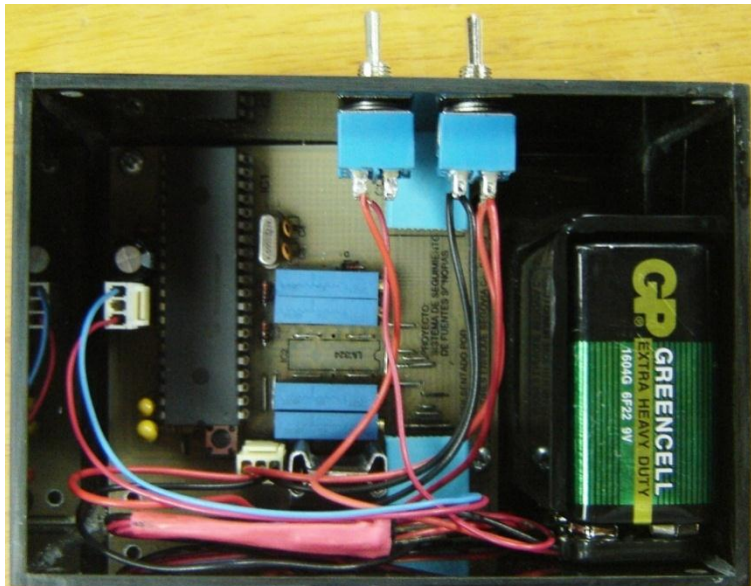
Fuente: Autores.

Figura 14. Cable UTP para la interconexión de los módulos



Fuente: Autores.

Figura 15. Vista interna del módulo principal



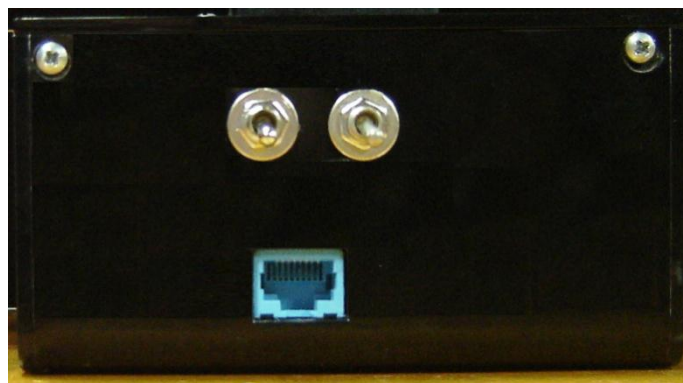
Fuente: Autores.

Figura 16. Modulo principal más micrófono móvil



Fuente: Autores.

Figura 17. Vista lateral del módulo principal



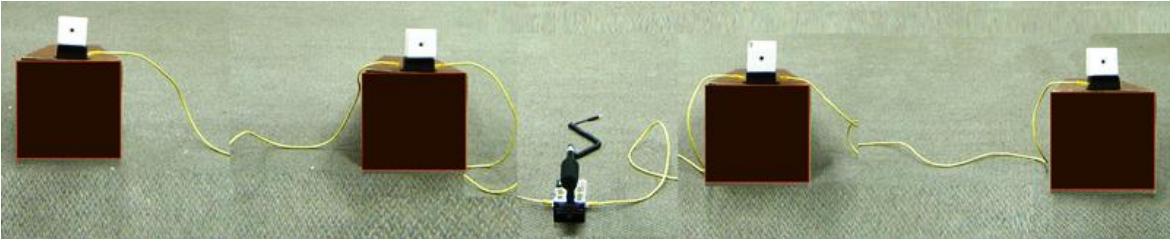
Fuente: Autores.

Figura 18. Sistema Final



Fuente: Autores.

Figura 19. Montaje del sistema final



Fuente: Autores.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema capaz de ubicar la voz de un conferencista dentro de un recinto con características de anti acústica, la ubicación se realiza en zonas determinadas previamente, el sistema permite que el locutor pueda desplazarse en una superficie plana y de forma horizontal en lo posible mirando siempre al público. Así pues el micrófono móvil gira en torno a la posición donde se encuentre el mismo, determinando su respectiva ubicación.

Con los análisis expuestos y realizados se comprobó que este tipo de sistemas funciona con un alto desempeño en sitios anti acústicos, esto se debe a que en estos recintos afecta muy poco la reflexión. Es decir que la señal sonora al ser emitida no haga eco y el sistema pueda mantenerse estable, ya que en sitios con acústica la reflexión hace que los sensores (micrófonos electret) capturen señales de distintos puntos del recinto y hagan desestabilizar completamente el sistema, impidiendo una correcta ubicación.

La captura de la señal sonora se realizó implementando un amplificador diferencial, esto con el fin de que al hablar el locutor y el público a la vez, el sistema pueda ubicar correctamente la voz solamente del conferencista y así tener un sistema más fiable, esto pues teniendo en cuenta de que la voz del público sea de un margen bajo, logrando así de que no desestabilice el sistema.

ANEXO A. EL SONIDO

El sonido es una forma de energía, como la electricidad y la luz, que viaja desplazando las moléculas del aire en forma de onda. Por tanto puede entenderse como vibración. La expresión “sonido” puede tener dos interpretaciones principalmente, la primera para distinguir la sensación que percibe un observador cuando las terminaciones del nervio auditivo reciben un estímulo, la segunda es describe al sonido como las perturbaciones en el aire causadas por las ondas emitidas del mismo.

La acústica es la ciencia que estudia el sonido en toda la amplitud de la palabra, encargándose de conceptos tales como su producción, propagación, registro reproducción, instrumentos y aparatos para la medida. La acústica se desarrolló en el siglo XIX como una rama de la física, gracias sobre todo a los trabajos de Hermann Helmholtz¹ y de Lord Rayleigh. Ahora bien, desde el punto de vista técnico, durante el siglo XX los avances en el tema de la acústica han sido constantes, especialmente en el campo de los sistemas para el registro y la reproducción del sonido.

ORIGEN DEL SONIDO

Al producirse una perturbación periódica en el aire, se da origen a ondas sonoras longitudinales, las cuales generan el sonido. Por ejemplo, si se golpea una copa con un elemento sólido, las paredes de la copa emiten vibraciones que chocan con el aire, generando ondas longitudinales. El oído, actúa como un receptor de estas ondas, las interpreta como sonido. Por tanto el sonido necesita de un medio de propagación. Estos pueden ser los materiales tales como gases, líquidos y

¹ http://www.fen.bilkent.edu.tr/~physics/news/masters/Masters_Helmholtz_hires.pdf

sólidos. Caso contrario ocurre en el vacío. El vacío, no cuenta con la capacidades físicas para la difusión del sonido. Sin embargo, las ondas electromagnéticas se pueden utilizar como medio para conseguir su difusión en el vacío.

Figura 20. Generación del sonido.



Fuente: Autores.

Para la producción del sonido es necesaria la existencia de dos factores. El primero es una fuente de vibración mecánica y el segundo es un medio adecuado por el cual se propague la perturbación. La fuente puede ser cualquier elemento que vibre y el medio para transmitir el sonido generalmente es el aire.

PROPIEDADES DEL SONIDO

Para estudiar el sonido en una dimensión, es necesario analizar los diferentes parámetros que lo rigen, como lo son: la amplitud, frecuencia, timbre, velocidad, y longitud de onda, para ello se implementará el trazado de una forma de onda sinusoidal simple. Donde se puede observar cada una de sus características.

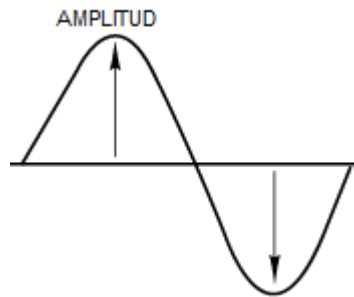
Nota: Los conceptos presentados a continuación están enfocados hacia el sonido.

Amplitud

Dentro de las propiedades de una onda de sonido, se resalta la amplitud como la primera que se debe analizar. Al modificar el volumen de un radio, realmente se

está variando la intensidad del sonido, es decir, la intensidad de un sonido concierne en la capacidad humana de reconocer un sonido como más o menos fuerte. La amplitud es la altura máxima de una onda de sonido, esta se mide desde el eje central hasta el punto más alto o más bajo de la misma. El eje central es la línea horizontal de un gráfico, generalmente representa el tiempo. La flecha vertical en la figura 2 indica la amplitud de la señal. El valor pico nos muestra el volumen del sonido, siendo volumen el término empleado en este tema.

Figura 21. Amplitud de una señal



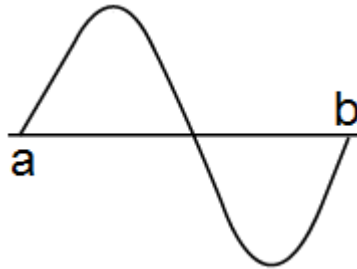
Fuente: Autores.

Frecuencia

La frecuencia es la cantidad ciclos por segundo va una onda. Su unidad de medida es el Hertz (Hz). Un ciclo es el trayecto que debe recorrer una onda desde el eje central (ver figura 3, punto “a”) hasta un punto máximo de amplitud, bajar hasta atravesar el eje central y llegar hasta el punto de amplitud máximo negativo, para luego volver a subir hasta alcanzar el eje central (ver figura 3, punto “b”). Esta distancia medida sobre el eje central, se conoce como longitud de onda. En la figura 4 se puede observar diferentes longitudes de onda.

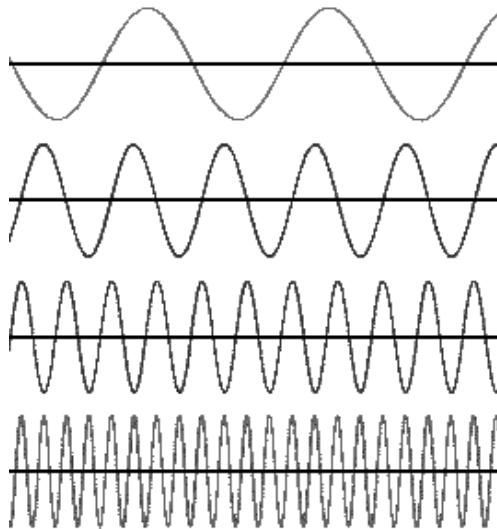
Una característica del sonido que depende de la frecuencia es el tono. Cuanto mayor sea la frecuencia, más agudo será el sonido. Lo que se traduce en un tono más elevado.

Figura 22. Frecuencia de una señal.



Fuente: Autores.

Figura 23. Señales a distintas frecuencias.



Fuente: Autores.

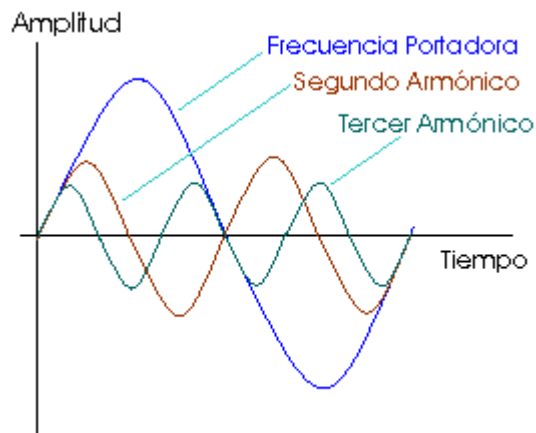
Timbre

El timbre es la propiedad del sonido que permite diferenciar entre dos sonidos de la misma amplitud y tono. De tal forma que se pueda distinguir el origen de una fuente de sonido. Por ejemplo: diferenciar si una nota ha sido tocada por un violín

o por una trompeta. Esto gracias a que todo sonido musical es un sonido complejo que está compuesto por una superposición de sonidos simples.

Los sonidos simples están compuestos de un sonido fundamental de frecuencia ν , que es de mayor intensidad y de varios sonidos de menor intensidad con frecuencias (armónicos) que son múltiplos enteros de ν (2ν , 3ν , 4ν , \dots , $n\nu$). De las intensidades relativas de los armónicos depende el timbre.

Figura 24. Armónicos de una señal de audio.



Fuente. Autores.

Velocidad

La velocidad es el resultado de dividir la distancia recorrida en una unidad de tiempo. En el caso del sonido la velocidad depende del medio por el cual es transmitido y puede medirse con gran precisión. Esta es independiente de la frecuencia y la intensidad del sonido, y depende únicamente de la densidad y la elasticidad del medio. De tal forma que es mayor en los sólidos que en los líquidos y es menor en los gases. En el aire es de alrededor de los 330,7 m/s en condiciones normales.

Longitud De Onda

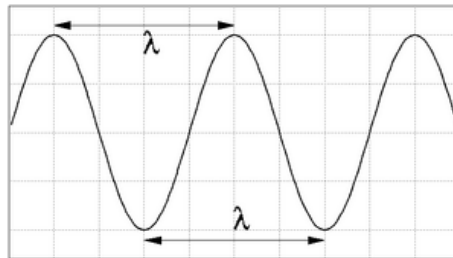
Una onda es una perturbación física que se irradia en un determinado medio. Dicha perturbación radica en la variación local de una magnitud escalar o vectorial determinada. El conjunto de fenómenos físicos que establecen movimientos ondulatorios es muy amplio, ya que aparte del sonido, son ondas la luz, los movimientos sísmicos, las ondas hertzianas etc.

La longitud de onda es el recorrido entre dos puntos consecutivos cualesquiera que se encuentran en concordancia de fase. Se representa por la letra griega λ y equivale a la distancia que avanza la onda en el tiempo T (periodo $T=1/F$). Por lo tanto, y puesto que las ondas se desplazan con velocidad constante será:

$$\lambda = V \cdot T$$

Ecu. 1

Figura 25. Visualización de Longitud de Onda



Fuente: http://enciclopedia.us.es/index.php/Longitud_de_onda

Refracción, Reflexión E Interferencias²

El sonido avanza en línea recta cuando se desplaza en un medio de densidad uniforme. Sin embargo, igual que la luz, el sonido está sometido a la refracción, es decir, la desviación de las ondas de sonido de su trayectoria original. En las

² <http://www.scribd.com/doc/37060518/3-1-El-Sonido-Conceptos-Basicos>

regiones polares, por ejemplo, donde el aire situado cerca del suelo es más frío que el de las capas más altas, una onda de sonido ascendente que entra en la región más caliente, donde el sonido avanza a más velocidad, se desvía hacia abajo por la refracción. La excelente recepción del sonido a favor del viento y la mala recepción en contra del viento también se deben a la refracción. La velocidad del aire suele ser mayor en las alturas que cerca del suelo; una onda de sonido ascendente que avanza a favor del viento se desvía hacia el suelo, mientras que una onda similar que se mueve en contra del viento se desvía hacia arriba, por encima de la persona que escucha.

El sonido también se ve afectado por la reflexión, y cumple la ley fundamental de que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Un eco es el resultado de la reflexión del sonido. El sonar se basa en la reflexión de los sonidos propagados en agua. Una bocina es un tubo cónico que forma un haz de ondas de sonido reflejando algunos de los rayos divergentes en los lados del tubo. Un tubo similar puede recoger ondas de sonido si se dirige el extremo ancho hacia la fuente de sonido.

El sonido también experimenta difracción e interferencia. Si el sonido de una única fuente llega a una oyente por dos trayectorias diferentes por ejemplo, una directa y otra reflejada, los dos sonidos pueden reforzarse; sin embargo, si no están en fase pueden interferir de forma que el sonido resultante sea menos intenso que el sonido directo sin reflexión.

Las trayectorias de interferencia son distintas para sonidos de diferentes frecuencias, con lo que la interferencia produce distorsión en sonidos complejos. Dos sonidos de distintas frecuencias pueden combinarse para producir un tercer sonido cuya frecuencia es igual a la suma o diferencia de las dos frecuencias originales.

MOVIMIENTO ONDULATORIO³

El movimiento ondulatorio es el proceso por el cual se propaga energía de un lugar a otro sin transferencia de materia, mediante ondas. Cuando estas ondas necesitan un medio material, se llaman ondas mecánicas.

Si se produce una vibración en un punto de un medio elástico, esta se transmite a todos los puntos de éste. Las ondas mecánicas son las perturbaciones que se transmiten por este medio. Cuando el movimiento es uniforme, se llama vibración armónica. Cuando una partícula se mueve desde un punto extremo, hasta el otro y vuelve (pasando dos veces por la posición de equilibrio), se dice que ha hecho una oscilación o vibración completa. Si no se aplica ninguna fuerza exterior, la amplitud de este movimiento va decreciendo progresivamente, pero a veces es posible compensar esta pérdida de amplitud con impulsos de forma que cada vibración sea idéntica a la precedente. En este caso se dice que el movimiento es periódico y se llama período (T), al tiempo que tarda en tener lugar una vibración completa. Se llama frecuencia (f) al número de oscilaciones por unidad de tiempo. Por la propia definición, el período es el inverso de la frecuencia:

$$T = 1/f. \quad \text{Ecu. 2}$$

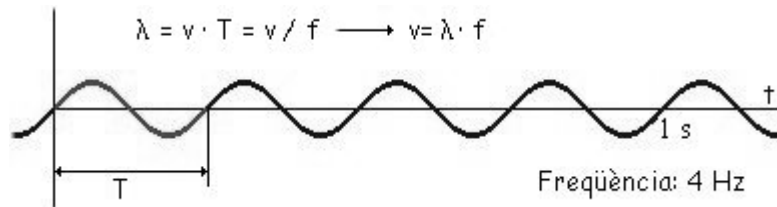
La frecuencia, juntamente con la velocidad de propagación del sonido (v) está relacionada con la longitud de onda (l), que es el espacio que recorre una onda del inicio al final de una oscilación completa.

La longitud de onda se obtiene a partir de la fórmula: $\text{espacio} = \text{velocidad} \cdot \text{tiempo}$. Cuando se habla de una vibración armónica, $\text{longitud de onda} = \text{velocidad de transmisión} \cdot \text{período}$, es decir:

La ecuación que relaciona v, l, y f es: $v = l \cdot f$.

³ <http://www.scribd.com/doc/37060518/3-1-El-Sonido-Conceptos-Basicos>

Figura 26 Función de una onda seno



Fuente: <http://www.scribd.com/doc/37060518/3-1-El-Sonido-Conceptos-Basicos>

La imagen de arriba corresponde a una onda de $f = 4$ Hz. La función que dibujaría esta gráfica sería $g(t) = \sin(2\pi \cdot 4 \cdot t)$, y el período T es igual a $1/f = 1/4$.

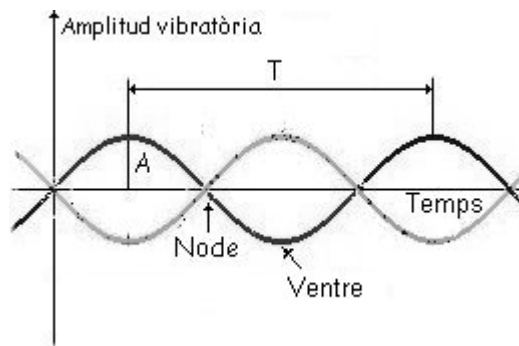
Cuando ha transcurrido un tiempo T , los puntos situados a distancia λ del punto inicial, comienzan a iniciar el movimiento vibratorio, eso también pasa con el punto perturbador, que había vuelto a su posición de equilibrio. Se dice que estos dos puntos están en concordancia de fase.

Según la dirección de propagación, se clasifican las ondas en dos tipos:

- Ondas longitudinales: Donde la vibración de la onda es paralela a la dirección de propagación de la propia onda. Estas ondas se deben a las sucesivas compresiones y enrarecimientos del medio. De este tipo son las ondas sonoras.
- Ondas transversales: Donde la vibración es perpendicular a la dirección de la onda. Por ejemplo, las ondas sobre la superficie del agua.

Cuando el medio de propagación está limitado (una cuerda atada a los extremos, la columna de aire dentro de un tubo), la onda, cuando llega a este límite, se refleja. Esta reflexión se combina con la perturbación inicial dando lugar a lo que se llama onda estacionaria. Estas ondas están caracterizadas por la aparición de puntos en reposo (nodos) y puntos con amplitud vibratoria máxima (vientre). En las cuerdas vibrantes y en los tubos sonoros, se producen fenómenos de esta clase.

Figura 27 Clasificación de una onda



Fuente: <http://www.scribd.com/doc/37060518/3-1-El-Sonido-Conceptos-Bsicos>

ANEXO B. TRANSDUCTORES DE SONIDO⁴

Los micrófonos son transductores electroacústicos que se ocupan de transformar la presión sonora ejercida sobre su cápsula en energía eléctrica. La membrana o diafragma es un elemento fundamental que está presente en cada uno de ellos. Las diferencias que estriban entre los diferentes tipos de micrófonos se basan principalmente en la sensibilidad que son capaces de proporcionar, que están directamente ligadas a la capacidad del micrófono de capturar las oscilaciones mecánicas que provienen de la membrana, y transformar proporcionalmente con éxito dichas oscilaciones en energía eléctrica, intentando conservar la dinámica original de la fuente que se desea capturar. Por tanto no existe un micrófono ideal, debido a que no existe⁵ un único ambiente acústico o un único tipo de música. Es por ello que al momento de implementar un micrófono se tiene a disposición una amplia gama de micrófonos, cada uno de los cuales sirve para ciertos casos particulares.

Los micrófonos se pueden clasificar dependiendo de la forma en cómo se transforma la señal acústica en eléctrica.

TIPOS DE MICRÓFONOS

En este documento se exponen los diferentes tipos de micrófonos, las características que los diferencian, y el tipo de aplicaciones que se ven favorecidas por el uso de uno u otro tipo, todo esto desde un punto de vista técnico.

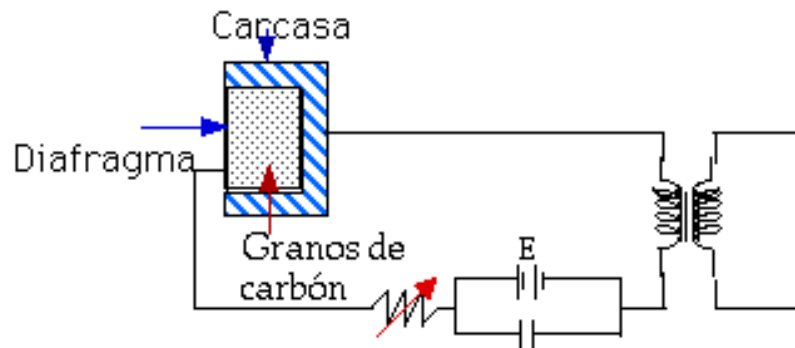
⁴ http://www.sonidoyaudio.com/sya/vp-tid:2-pid:19-tipos_de_microfonos.html

⁵ <http://jesubrik.eresmas.com/microfonos.htm>

Micrófono De Carbón

Este tipo de micrófono se utilizó durante mucho tiempo en los teléfonos fijos. Su arquitectura consta de una carcasa, la cual contiene un conjunto de granos de carbón, que son sellados en la carcasa por medio de un diafragma. El principio de funcionamiento de dicha carcasa que se puede visualizar en la figura 9. se basa en el cambio de resistencia de los granos de carbón al ser comprimidos por el diafragma, al recibir éste las variaciones de presión sonora.

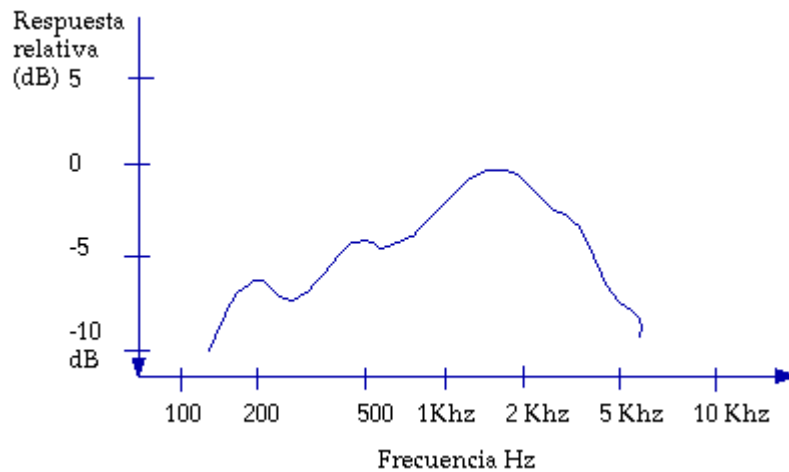
Figura 28 Micrófono de Carbón



Fuente: <http://jesubrik.eresmas.com/microfonos.htm>

En la figura 28 se puede observar la curva de respuesta en frecuencia del micrófono de carbón, con la cual se puede deducir sus pobres características de respuesta. Esto ha hecho que esta tecnología quede obsoleta excepto en aplicaciones económicas.

Figura 29 Respuesta en Frecuencia Micrófono de Carbón

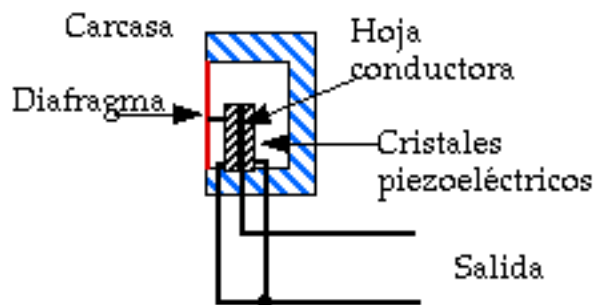


Fuente: <http://jesubrik.eresmas.com/microfonos.htm>

Micrófonos Piezoeléctricos

La funcionalidad de este micrófono se basa en el potencial que contienen los cristales piezoeléctricos para producir cargas eléctricas al estar sometidos a una presión.

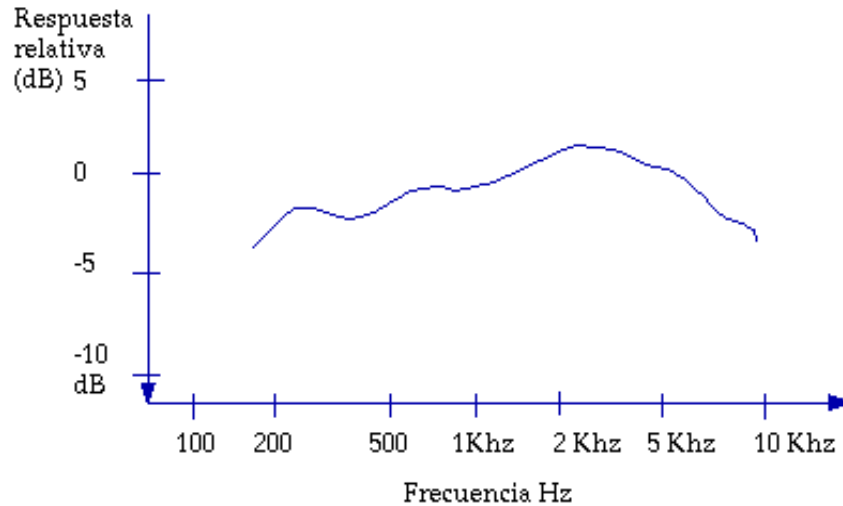
Figura 30 Micrófono piezoeléctrico



Fuente: <http://jesubrik.eresmas.com/microfonos.htm>

Aunque su respuesta es mejor que el micrófono de carbón, no llega a ser suficientemente buena para grabaciones profesionales, por lo que se utiliza solo en micrófonos pequeños para voz.

Figura 31 Respuesta en Frecuencia Micrófono Piezoeléctrico



Fuente: <http://jesubrik.eresmas.com/microfonos.htm>

Micrófonos Dinámicos ⁶

En el magneto-dinámico, comúnmente llamado dinámico, las ondas sonoras generan el movimiento de un delgado diafragma metálico y una bobina de hilo conductor. Un imán produce un campo magnético que rodea la bobina, y el movimiento de ella dentro de ese campo induce un flujo de corriente. El principio es el mismo que la producción de electricidad por las compañías de distribución, pero en una escala miniaturizada. Es importante recordar que la corriente se produce por el movimiento del diafragma, y la cantidad de corriente está determinada por la velocidad de este movimiento. Este tipo de micrófonos es conocido como sensitivos a la velocidad.

En función de la eficacia del micrófono en su conversión de la onda acústica a eléctrica, se pueden distinguir dos grupos:

⁶ http://www.sonidoyaudio.com/sya/vp-tid:2-pid:19-tipos_de_microfonos.html

Micrófonos Dinámicos De Bobina⁷

El micrófono de bobina móvil está formado por una bobina situada junto a la membrana, que se mueve a partir de las variaciones de presión que recibe. Cuando las ondas sonoras excitan el diafragma (de 20-30 mm de diámetro), la bobina solidaria se mueve a su vez (hacia delante y hacia atrás) dentro de la ranura del imán, con lo que se genera un campo magnético cuyas fluctuaciones se transformarán en corriente alterna.

Así se puede obtener en los extremos de la bobina, pequeñas diferencias de potencial, proporcionales a las vibraciones experimentadas por la membrana que actúa como colector de ondas sonoras.

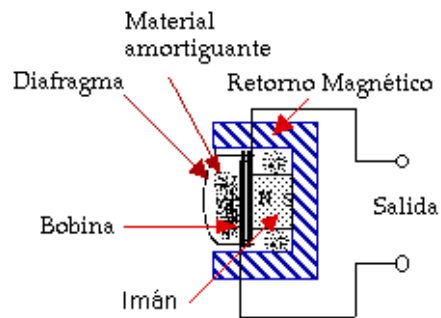
La calidad del micrófono vendrá dada por la construcción física de la bobina. Los micrófonos de bobina se suelen aplicar en medios cuyo nivel acústico sea elevado, ya que los micrófonos de este tipo soportan grandes presiones sonoras sin llegar a saturarse, esto es debido a que el conjunto formado por la membrana y la bobina tiene una gran capacidad de desplazamiento.

La impedancia del micrófono también está marcada por la bobina, los valores típicos de impedancia de un micrófono oscilan entorno a los 600Ω.

La principal desventaja de este tipo de micrófonos es el tamaño del elemento móvil que suele ser bastante grande, lo cual produce resonancia mecánica lo cual hace que la respuesta en frecuencia del micrófono no sea completamente plana ya que a determinadas frecuencias la membrana vibra con mayor intensidad. Los fabricantes de este tipo de micrófonos suelen acomodar este tipo de aparatos al ancho de banda de la voz humana, así, los micrófonos dinámicos de bobina son ampliamente usados como micrófonos de vocalista.

⁷ <http://www.buwaki.org/lorem-ipsum/sistemas-de-radio-y-television-el-sonido-los-microfonos>

Figura 32 Micrófono Dinámico de bobina



Fuente: <http://jesubrik.eresmas.com/microfonos.htm>

Figura 33 Micrófono de Bobina



Fuente: <http://www.ispmusica.com/articulo.asp?id=5>

Micrófonos dinámicos de cinta⁸

La membrana del micrófono de cinta es una cinta corrugada (tira larga y fina de metal conductor plegada en zigzag), que está tensada por dos abrazaderas. Los

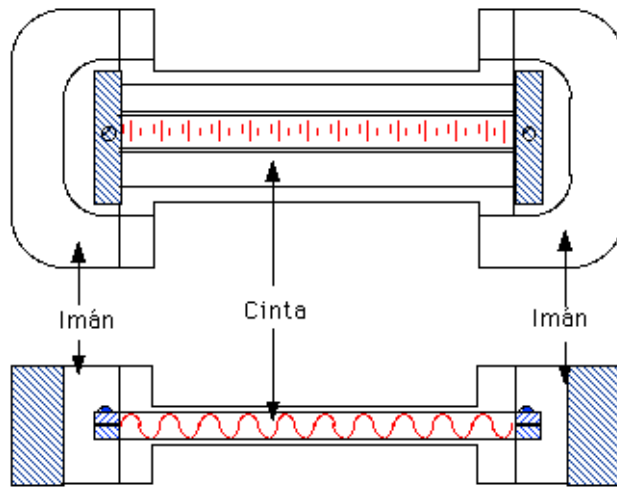
⁸ <http://www.buwaki.org/lorem-ipsuam/sistemas-de-radio-y-television-el-sonido-los-microfonos>

polos de un potente imán permanentemente inducen el magnetismo en la cinta cuando la presión ejercida por las ondas sonoras hacen que la membrana (la cinta) vibre (se mueva hacia adelante y hacia atrás). Las fluctuaciones del campo magnético generado por el movimiento de la cinta, producen una tensión de salida de idéntico valor a la onda sonora incidente.

Los micrófonos de cinta comparten algunas características con los micrófonos de bobina móvil. La impedancia de un micrófono de cinta suele ser algo menor, oscilando en los 200Ω, además en los micrófonos de cinta desaparece el efecto de proximidad ya que el tipo de realce es diferente, el efecto de realce en frecuencias bajas se manifiesta incluso a distancias mayores (de más de medio metro), aunque se incrementa cuanto menor sea la distancia. El sonido captado por un micrófono de cinta suele ser muy suave incluso en alta presión acústica, esto hace que sea muy adecuado para captar sonidos de vocalistas a media distancia (micrófonos de locutores de radio, o micrófonos de mano de TV, por ejemplo), también sirve para obtener sonidos de instrumentos musicales en directo ya que la respuesta en frecuencia es muy buena y acepta sonidos fuertes sin saturarse.

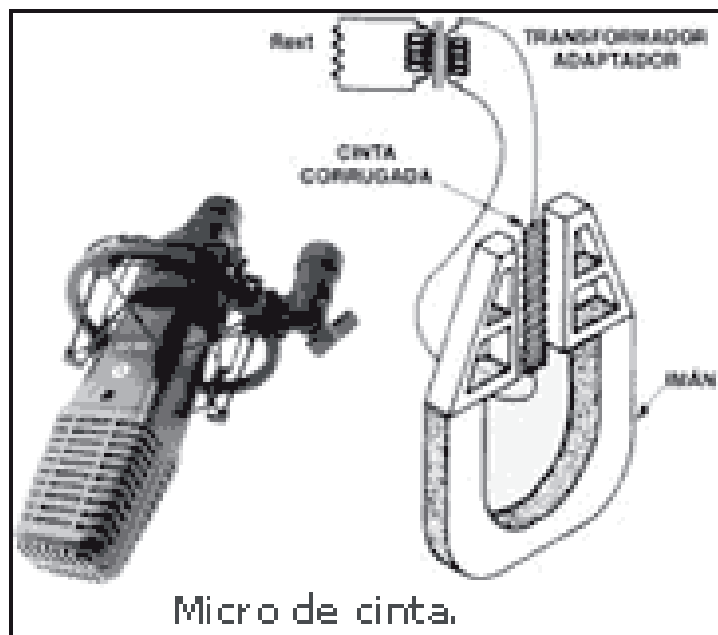
Los inconvenientes que presenta este micrófono es el bajo nivel de la señal que entrega, esto obliga a usar preamplificadores de señal. También se atribuye a estos micrófonos un excesivo ruido de manipulación (Capta demasiado el ruido que parece al mover el micro o cambiarlo de mano, por ejemplo). Por esta última razón, los micrófonos de cinta se suelen usar fijos en un soporte o asociados a sistemas de suspensión elásticos para así neutralizar las vibraciones y ruidos posibles por manipulación.

Figura 34 Micrófono de Cinta



Fuente: <http://jesubrik.eresmas.com/microfonos.htm>

Figura 35 Micrófono de Cinta



Fuente: <http://www.ispmusica.com/articulo.asp?id=5>

Micrófono de condensador⁹

Existen otros micrófonos que, al contrario que los de bobina que usan un principio de generación electrodinámico, son electrostáticos. Los micrófonos de condensador se forman a partir de una placa conductora fija, frente a la cual, se dispone, separada por un pequeño espacio, una membrana móvil de material conductor. Si se busca un equivalente eléctrico, se comprobará que esta estructura es semejante a la de un condensador, la diferencia residirá en que una de las placas se moverá con ondas acústicas.

La capacidad de almacenar energía de un conductor depende sobre todo de la distancia en que se encuentren las placas conductoras, cuanto más cerca estén, mayor capacidad eléctrica presentan, al estar una de las placas asociada a una membrana, al incidir las ondas mecánicas del sonido sobre la membrana esta producirá un ligero desplazamiento de la placa, y se modificará la capacidad de la cápsula.

Pero para garantizar esta variación, el condensador debe estar cargado eléctricamente, así, los micrófonos de condensador necesitan una fuente de alimentación que le suministre corriente continua para funcionar, cosa que con los micrófonos dinámicos no ocurre.

La principal ventaja de los micrófonos de condensador es la respuesta en frecuencia, que es virtualmente plana, así pues, este tipo de micrófonos es ideal para labores de calibración y mediciones de sonido. Dado que la membrana tiene una masa muy inferior a la de un micrófono dinámico, su sensibilidad es mucho más alta, lo que unido a su alta fidelidad, los hace ideales para captar instrumentos musicales, incluso encontrándose estos a cierta distancia del micrófono. Sin embargo, estos micrófonos no están indicados para captar sonidos muy intensos ya que se saturan con mucha facilidad.

⁹ <http://www.buwaki.org/lorem-ipsum/sistemas-de-radio-y-television-el-sonido-los-microfonos>

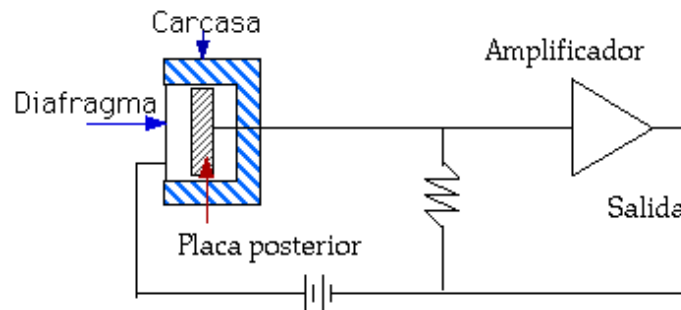
Las cápsulas de condensador de un micrófono de este tipo presentan una impedancia muy elevada, lo cual dificulta la conectividad con equipos de audio. Para disminuir esta impedancia, se incorpora una resistencia en paralelo, que rebaja la impedancia del conjunto a valores cercanos a los $50k\Omega$, además, la señal que entrega un micrófono de este tipo es bastante baja en comparación con uno dinámico, para solucionar esto se asocia en el interior de la carcasa del micrófono un preamplificador de bajo ruido.

El preamplificador, al igual que el condensador del micrófono también necesita ser alimentado de manera externa, existen dos maneras de dar alimentación a los micrófonos de condensador:

Alimentación por batería: Algunos micrófonos traen en su empuñadura un hueco para colocar una pila, que se encarga de proporcionar tensión necesaria para la polarización de la cápsula y para el preamplificador.

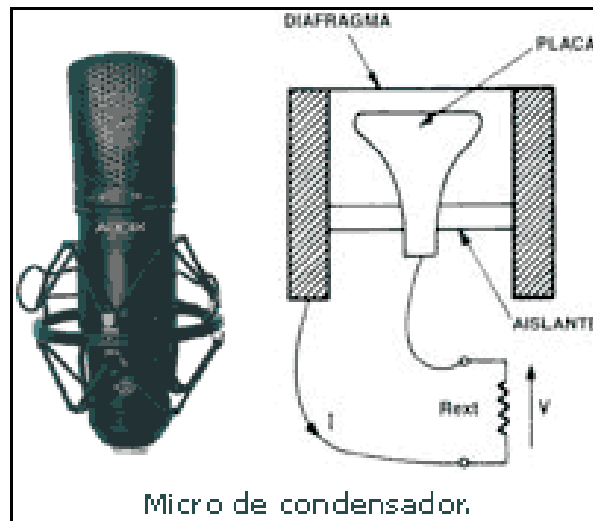
Alimentación phantom: En algunas ocasiones la alimentación viene dada por el equipo al que se conecte el micrófono, como un mezclador de sonido o un emisor de radiofrecuencia, estos equipos tienen la capacidad de generar tensión de alimentación (de unos 48V) a través de la propia línea de sonido de micrófono.

Figura 36 Micrófono de Condensador



Fuente: <http://jesubrik.eresmas.com/microfonos.htm>

Figura 37 Micrófono de Condensador



Fuente: <http://www.ispmusica.com/articulo.asp?id=5>

Micrófono de Electret¹⁰

El llamado micrófono de condensador Electret o, simplemente, Electret, es una variante del micrófono de condensador que utiliza un electrodo (fluorocarbonato o policarbonato de flúor) laminal de plástico que al estar polarizado no necesita alimentación. Que las placas estén polarizadas significa que están cargadas a

¹⁰ <http://www.buwaki.org/lorem-ipsum/sistemas-de-radio-y-television-el-sonido-los-microfonos>

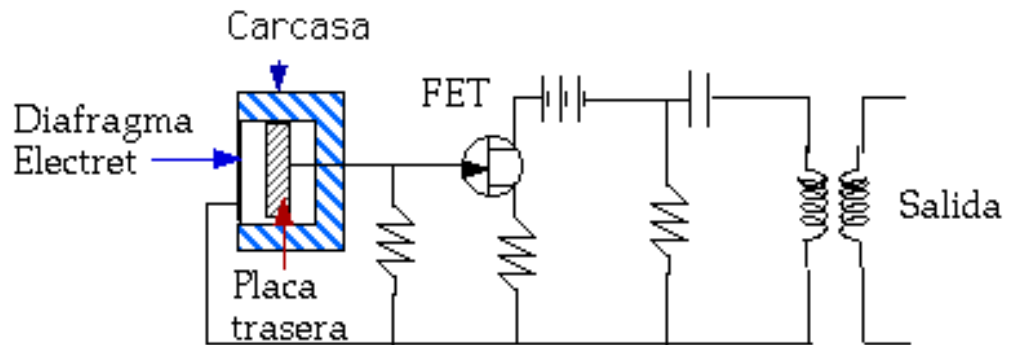
perpetuidad desde el mismo momento de su fabricación (son polarizados una sola vez y pueden durar muchos años). La existencia de esta carga electrostática hace que para alimentar las placas ya no sean necesarias ni pilas ni alimentación phantom para su funcionamiento, sin embargo, sí que se requiere ésta alimentación para proporcionar energía al preamplificador.

Como el diafragma pesa menos (tiene menor masa), la respuesta en frecuencia del micrófono Electret está más cerca de la respuesta que proporciona un micrófono de bobina móvil, que de la que ofrece un micrófono de condensador convencional. Lo habitual es utilizar una pila de 1.5 v, aunque se puede usar la alimentación phantom, no es conveniente, pues sobrealimentar constantemente el micrófono acorta su vida útil.

Los micrófonos Electret tienen una respuesta en frecuencia bastante buena (50 a 15.000 Hz), aunque lejana de la de los micrófonos de condensador que son mucho más sensibles en la zona de los agudos). Además es poco plana.

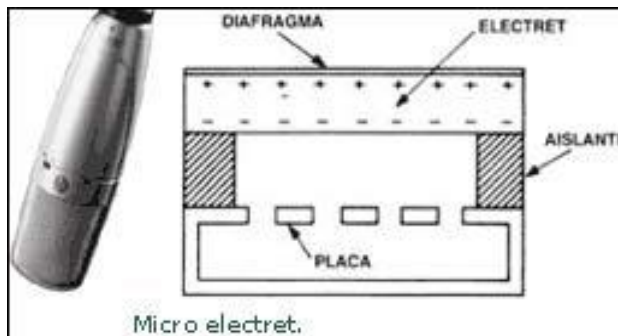
El principal inconveniente que presentan los micrófonos Electret es que son muy sensibles a los cambios de humedad y temperatura, lo que junto con el polvo, deterioran su rendimiento con el uso. Un micrófono Electret empieza a indicar que debe ser retirado (que ha acabado su vida activa) cuando empieza a producir zumbidos (ruidos) inexplicables.

Figura 38 Micrófono Electret



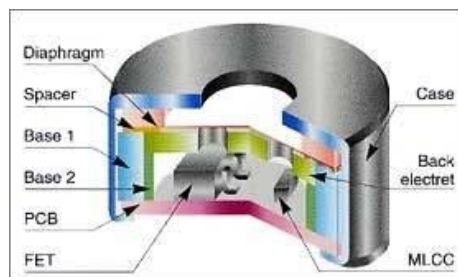
Fuente: <http://jesubrik.eresmas.com/microfonos.htm>

Figura 39 Micrófono Electret



Fuente: <http://www.ispmusica.com/articulo.asp?id=5>

Figura 40. Vista interna micrófono Electret

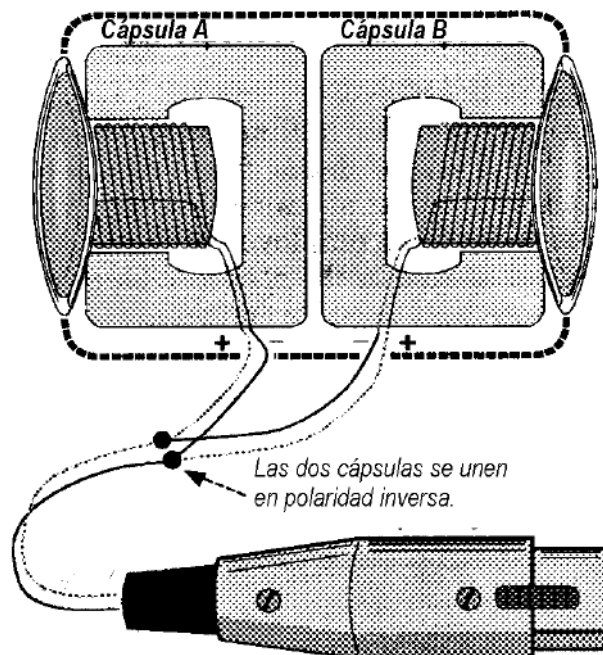


Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-free/electret-condenser-microphone-215983630.html>

Micrófono Diferencial¹¹

Pueden ser contruidos a partir de dos cápsulas conectadas en polaridad invertida o por un solo diafragma abierto en los dos lados. Tienden a discriminar las distancias desde las cuales se producen los sonidos. Se utilizan para locución porque permiten separar la señal del ruido. Por ejemplo en sistemas de comunicaciones.

Figura 41. Micrófono Diferencial



Fuente: <http://emsia.com.ar/downloads/sonido2.pdf>

¹¹ <http://emsia.com.ar/downloads/sonido2.pdf>

ANEXO C. MODELOS DE CAPTACIÓN¹²

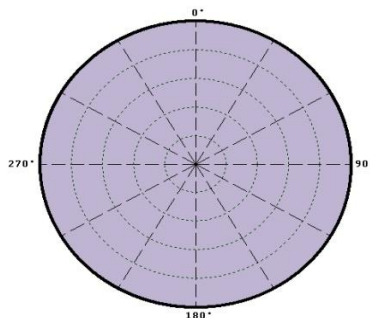
Generalmente se tiene la concepción errónea que los micrófonos sólo captan el sonido de fuentes colocadas frente a ellos, como sucede con las cámaras fotográficas y sus lentes. Esto sería un gran beneficio si fuese cierto, pero la verdad es que lo único que se puede hacer es buscar la manera de tener una aproximación a este ideal.

Los tipos de micrófonos responden a gráficas polares de la salida producidas contra el ángulo de la fuente sonora. La salida se representa por el radio de curvatura en el ángulo de incidencia.

OMNIDIRECCIONAL (DE PRESIÓN)

Este es el diseño más simple de micrófono el cual capta todos los sonidos, sin tener en cuenta el punto de origen. Son fáciles de usar y tienen excepcionales respuestas de frecuencia.

Figura 42. Patrón De Micrófono Omnidireccional



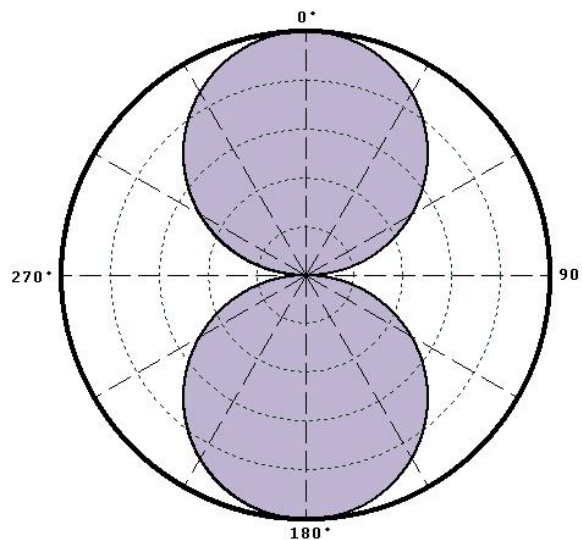
Fuente: <http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/audio/advice/microphone-guide/>

¹² http://www.sonidoyaudio.com/sya/vp-tid:2-pid:19-tipos_de_microfonos.html

BIDIRECCIONAL (DE GRADIENTE)

No es difícil producir un tipo de captación que acepte sonidos provenientes frontalmente o desde la parte de atrás del diafragma, pero que no recoja nada proveniente de los laterales. Esta es la manera en que cualquier diafragma se comportará si el sonido lo golpea anterior y posteriormente de igual modo. El rechazo de sonido indeseado es la característica más factible de cualquier diseño, pero el hecho que el micrófono capte sonido desde ambos extremos complica su uso en algunas situaciones. A menudo se coloca por encima del instrumento. La frecuencia de respuesta es tan buena como en un omnidireccional, incluso para sonidos que no están demasiado cerca del micrófono, aunque presentan efecto proximidad, que dificulta su uso en tomas de poca distancia.

Figura 43. Patrón De Micrófono Bidireccional



Fuente: <http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/audio/advice/microphone-guide/>

Cardioid (concentrador de haz)

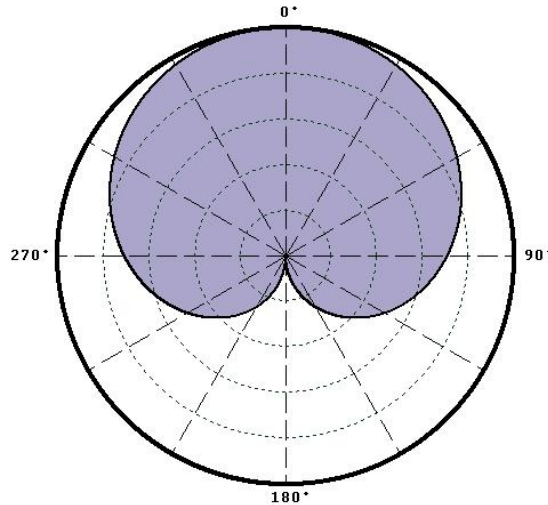
Este tipo es muy implementado para reforzar el sonido de conciertos donde el ruido de la audiencia es un problema presente. El concepto es muy bueno, un micrófono que capta los sonidos hacia los que está enfocado. La realidad, lamentablemente es distinta, el primer problema es que esos sonidos que llegan desde detrás no están completamente anulados, sino simplemente atenuados entre 10 y 30 dBs; y esto puede sorprender a usuarios descuidados. El segundo problema (muy importante) es que este tipo de captación varía con la frecuencia. Para bajas frecuencias, se comporta como un omnidireccional. Un micrófono direccional en el rango de las bajas frecuencias será equitativamente grande y caro. Además, la respuesta de frecuencia para señales que lleguen desde la parte anterior y laterales, será distinta; añade una coloración indeseada a los instrumentos ubicados en los extremos de la orquesta, o a la reverberación de la sala.

Una tercera circunstancia, que puede ser un problema o un efecto deseado, es que el micrófono enfatizará las los componentes de bajas frecuencias provenientes de cualquier fuente situada cerca del diafragma (efecto proximidad). Muchos cantantes y locutores se aprovechan de este efecto para añadir algo más de cuerpo a una voz poco potente.

También hay que destacar el tamaño del micrófono, de manera que los diseños largos son más precisos en el equilibrio de la respuesta de frecuencia anterior y lateral pero también son los más enfatizadores del efecto proximidad. Muchos micrófonos cardioides llevan incorporado un interruptor que activa un filtro pasa bajo muy abierto, para compensar el efecto proximidad. Esto se debe tener en cuenta al utilizarlo. Los micrófonos bidireccionales también presentan este fenómeno.

A mayor radio del diafragma, menor es el efecto amplificador de las bajas frecuencias debido al efecto proximidad.

Figura 44. Patrón De Micrófono tipo Cardioide.

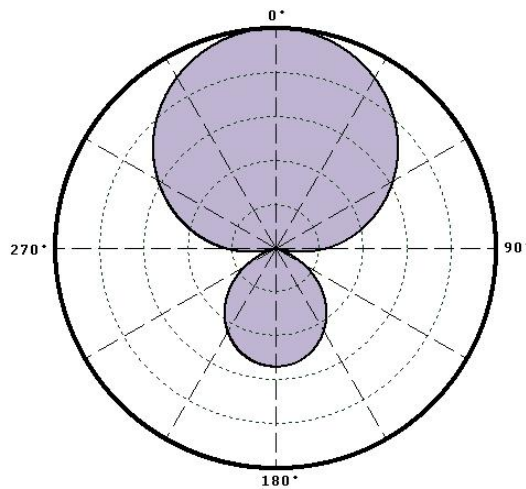


Fuente: <http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/audio/advice/microphone-guide/>

Hipercardioide

El tipo hipercardioide es muy utilizado porque ofrece una respuesta de frecuencia más plana y mejor rechazo global a costa de un pequeño lóbulo trasero de captación. Este es, a menudo, un buen compromiso entre el cardioide y los micrófonos bidireccionales. Un micrófono del tipo "escopeta" lleva esas técnicas a extremos montando un diafragma en mitad del tubo (bastidor). Es extremadamente sensible a lo largo del eje principal, pero posee lóbulos extras que varían drásticamente con la frecuencia. De hecho, la respuesta de frecuencia de este tipo es tan mala que, normalmente, está electrónicamente restringido al rango de la voz humana, donde se usa para grabar diálogos y narraciones en cine y video.

Figura 45. Patrón De Micrófono Tipo Hipercardioide.

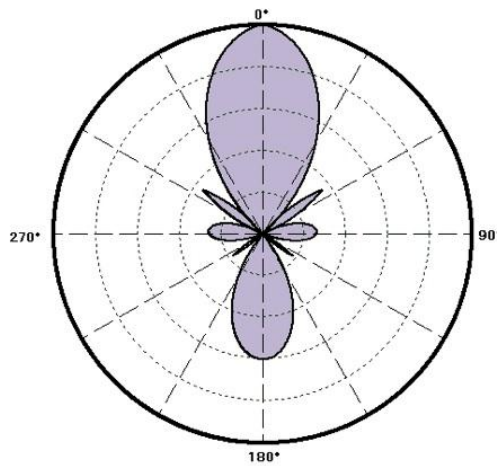


Fuente: <http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/audio/advice/microphone-guide/>

Escopeta (o cañón)

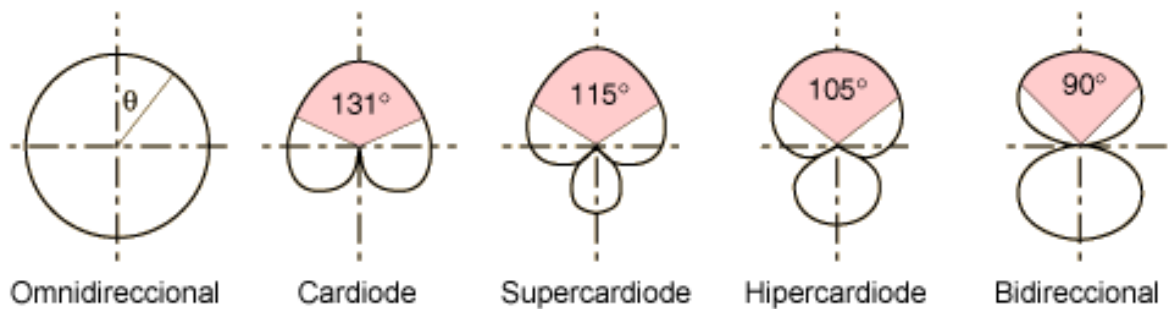
Caracterizados por una alta directividad. La diferencia de caminos de la onda que provoca el desfase se produce en un largo tubo situado frente al diafragma. Este tubo dispone de unas ranuras por las que recibirá la señal, de modo que finalmente el diafragma recibirá señales cortas por el frente, señales medias laterales a medio tubo y señales laterales largas al final del mismo. Son especialmente útiles para exteriores o lugares de escasa reverberación.

Figura 46. Patrón De Micrófono Tipo Escopeta.



Fuente: <http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/audio/advice/microphone-guide/>

Figura 47. Comparación Entre Algunos Tipos De Respuesta.



Fuente: <http://www.matutonplanet.com.ar/Los%20Microfonos.htm>

PREAMPLIFICADOR MICRÓFONO ELECTRET¹³

Siempre que se necesite captar una señal sonora se debe de cuidar todo el recorrido desde su origen hasta que se registra. Particularmente hablando se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

Acondicionamiento de las señales

Es necesario aportar las condiciones más ideales con el objeto de generar la señal con el mínimo ruido posible. Esto incluye por ejemplo una cámara anecoica, o una habitación silenciosa, aislar el sistema de vibraciones mecánicas, etc. Cuando sea posible, utilizando un micrófono direccional se puede impedir que se capten señales de ruido ambiental.

Micrófono

Es un ítem particularmente esencial, dado que es el elemento de captura de la señal sonora. Por tanto se debe buscar uno que se acople adecuadamente a las necesidades.

Conductores blindados

Se debe poner especial atención a no captar ruido a través de los cables que conectan el micrófono con el preamplificador, y las distintas etapas entre sí.

Preamplificador de bajo ruido

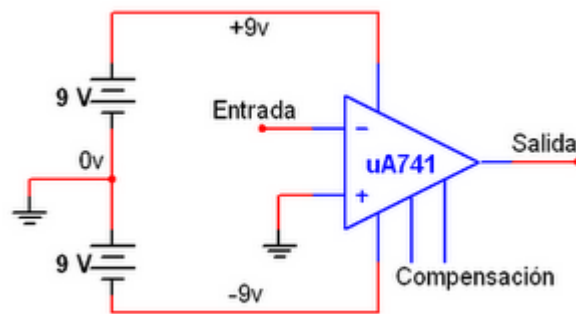
Dado el origen de la señal sonora, puede que esta sea muy débil y se haga necesario el uso de varias etapas amplificadoras en cascada. Es importante

¹³ <http://electronicayciencia.blogspot.com/2010/05/preamplificador-microfono-electret.html>

minimizar el ruido sobre todo en las primeras etapas para no amplificarlo junto a la señal de información.

Fuentes de alimentación

Los amplificadores operacionales en general funcionan con tensión dual. Es decir, para alimentarlos se debe suministrar los siguientes voltajes de polarización: 0V, +V y -V.

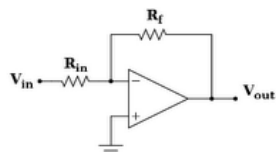


Fuente:<http://electronicayciencia.blogspot.com/2010/05/preamplificador-microfono-electret.html>

Amplificador inversor

Este tipo de preamplificador es el más utilizado para conectar un micrófono Electret. Dado que es muy fácil de construir.

Figura 48. Amplificador Inversor

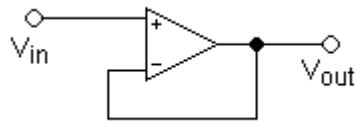


Fuente:<http://electronicayciencia.blogspot.com/2010/05/preamplificador-microfono-electret.html>

En este esquema se puede visualizar un típico amplificador inversor de ganancia R_f / R_{in} .

En algunos casos se utiliza un buffer, el cual es un amplificador no inversor de ganancia 1. Su misión es adaptar la impedancia, pues presenta una alta impedancia de entrada, útil para tomar la señal del micrófono; y una baja impedancia de salida, que puede aplicarse a las siguientes etapas.

Figura 49. Amplificador no inversor.



Fuente: <http://electronicayciencia.blogspot.com/2010/05/preamplificador-microfono-electret.html>

ANEXO D. MICROCONTROLADOR

GENERALIDADES DEL MICROCONTROLADOR¹⁴

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico apto para llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos o acciones son programados en diferentes tipos de lenguaje entre los cuales están el lenguaje ensamblador y el lenguaje en C, estos programas son realizados por el usuario, y son introducidos al microcontrolador a través de un circuito de programación, el cual es específico para cada dispositivo.

Más específicamente los dsPIC (Peripheral Interface Controller, Controlador de Interfaz Periférico) nacen después de que los DSP (Digital Signal Processing, Procesador Digital de Señales) hayan sido desarrollados durante años por otras empresas. En su diseño han participado expertos y especialistas de muchas áreas. Los dsPIC se han aprovechado de la experiencia acumulada por otros fabricantes.

Microchip, fabricante de los dsPIC, los ha bautizado con el nombre de DSC (Digital Signal Controller), que puede ser traducido como Controlador Digital de Señal.

Un DSC es un potente microcontrolador de 16 bits al que se le han añadido las principales capacidades de los DSP. Es decir, los DSC poseen todos los recursos de los mejores microcontroladores embebidos de 16 bits conjuntamente con las principales características de los DSP, permitiendo su aplicación en el extraordinario campo del procesamiento de las señales analógicas y digitalizadas.

Uniendo adecuadamente las capacidades de un DSP con un potente microcontrolador de 16 bits, los DSC reúnen las mejores características de los dos

¹⁴ La información de este capítulo está basada en la hoja de datos de la familia dsPIC30F <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>

campos. De esta forma y por las funciones que tienen los DSC, estos ocupan el nivel intermedio entre los MCU (Multipoint Control Unit, Unidad de Control Multipunto) y los DSP.

FAMILIA dsPIC30F

Más explícitamente el módulo de CPU de la familia dsPIC30F maneja datos de 16 bits además de un apoyo significativo para el módulo DSP. La CPU trabaja con palabras de instrucción de 24 bits, con un campo de código de operación de longitud variable. Cuenta con una memoria de 4 M x 24 bits de espacio para el programa de usuario. Todas las instrucciones se ejecutan en un ciclo único, con excepción de las instrucciones que cambian el flujo del programa. Además anexa un registro de interrupciones, cada una de ellas con su propia prioridad. Los dispositivos de la familia dsPIC30F tienen dieciséis registros de trabajo de 16 bits [W0-W15]. Cada uno de estos registros de trabajo se puede usar para guardar datos o una dirección. El registro de trabajo W15 funciona como un puntero de pila de software para las interrupciones y llamadas.

El conjunto de instrucciones dsPIC30F tiene dos clases de instrucciones: la clase de instrucciones MCU y la clase de instrucciones DSP. Estas dos clases de instrucciones están integradas en la arquitectura del dispositivo permitiendo que se ejecuten tareas desde una unidad de ejecución única. El conjunto de instrucciones incluye muchos modos de direccionamiento.

El conjunto de instrucciones dsPIC30F tiene dos clases de instrucciones: la clase de instrucciones MCU y la clase de instrucciones DSP. Estas dos clases de instrucciones están integradas en la arquitectura del dispositivo permitiendo que se ejecuten tareas desde una unidad de ejecución única. El conjunto de instrucciones incluye muchos modos de direccionamiento.

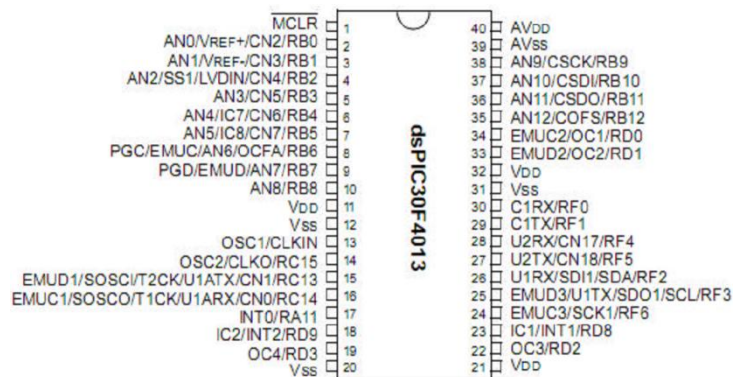
El módulo DSP es de alta velocidad, usa un multiplicador de 17 bit por 17 bit, además de una ALU (Arithmetic Logic Unit; Unidad Aritmético Lógica) de 40 bits, dos acumuladores de saturación de 40 bits y un registro bidireccional de 40 bits para cambios.

El dsPIC30F tiene 54 de fuentes de interrupción y a cada fuente de interrupción se le puede dividir entre siete niveles de prioridad.

MODELO dsPIC30F4013

Algunas de las características del microcontrolador, son: cuenta con una arquitectura Harvard modificada, 84 instrucciones básicas, ancho de instrucciones de 24 bits, y un ancho de datos de 16 bits. Puede almacenar 48 kbytes en su memoria de programa, tiene una RAM de 2 kbytes y una EEPROM de 1 Kbyte, una velocidad de operación de 30 MIPS, 33 fuentes de interrupción, 16 registros de trabajo de 16 bits y 2 acumuladores de 40 bits.

Figura 50. Diagrama de Pines del dsPIC30F4013.



Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>

CONVERTIDOR ANÁLOGO A DIGITAL DE 12 BITS (CAD)

Algunos de los modelos de la familia dsPIC30F cuentan con un convertidor. El convertidor A/D de 12-bits permite la conversión de señales analógicas de entrada a números digitales de 12 bits. Provee una velocidad de muestreo hasta de 200.000 muestras por segundo (200-ksps). Tiene hasta 13 canales análogos multiplexados en un amplificador de muestreo y retención (sample & hold). La salida al amplificador es la entrada al convertidor, que genera la conversión.

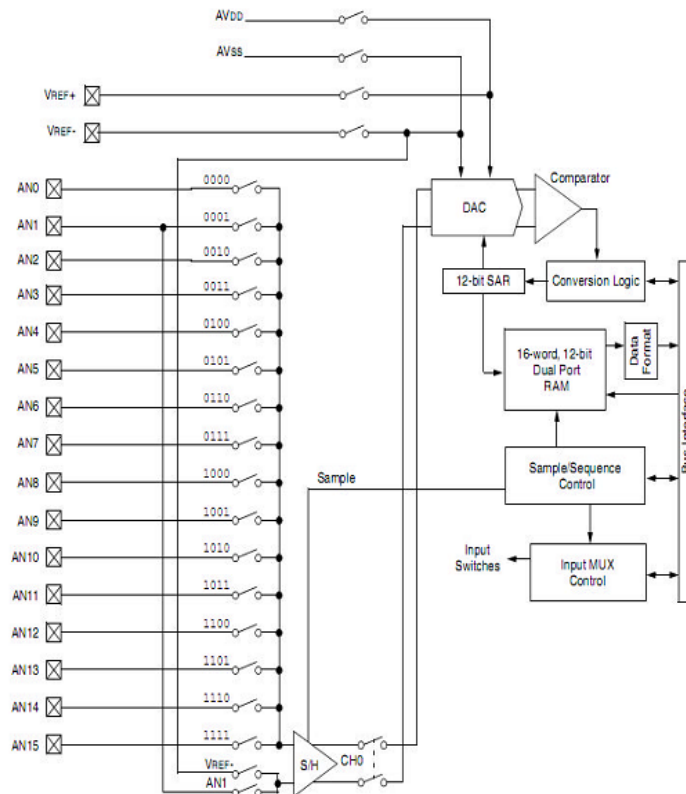
El convertidor A/D de 12 bits del dsPIC30F, posee las siguientes características:

- ❖ Registro de conversión por aproximación sucesiva (SAR)
- ❖ Hasta una velocidad de conversión de 200 kbps
- ❖ 16 entradas analógicas
- ❖ Pines de entrada para voltaje externo de referencia
- ❖ Amplificador muestreo y retención (sample/hold, (S/H)) con entrada diferencial
- ❖ Modo de auto-detección de canal
- ❖ Selección de fuente de disparo para la conversión
- ❖ Búfer de conversión de 16 palabras
- ❖ Selección del modo de llenado del búfer de conversión
- ❖ Cuatro opciones de alineación del resultado
- ❖ Operación de la CPU durante los modos IDLE y SLEEP

El convertidor A/D de 12 bits puede tener hasta 16 pines de entradas analógicas, designadas AN0-AN15. Además, hay dos pines de entradas analógicas para las conexiones de voltaje de referencia externo. Las entradas analógicas están conectadas a través de mezcladores analógicos y este con amplificador de S/H, designado CH0. Las entradas analógicas conectadas al multiplexor pueden activarse entre dos conjuntos de entradas analógicas durante las conversiones.

Una forma de escaneo de entradas analógicas puede estar habilitada en el amplificador de S/H. El registro de control especifica qué canales de entrada analógicas se incluirán en la secuencia de detección. El convertidor A/D está conectado a un búfer de 16 palabras en el cual se guarda el resultado de cada conversión. Cada resultado de 12 bits se puede guardar en uno de cuatro formatos de salida de 16 bits y es almacenado en el búfer de conversión.

Figura 51. Convertidor A/D de 12 Bits.



Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>

Registros de Control del Módulo A/D

El módulo A/D tiene seis registros de control y estado. Estos registros son:

- ❖ ADCON1: Registro de control 1
- ❖ ADCON2: Registro de control 2
- ❖ ADCON3: Registro de control 3
- ❖ ADCHS: Registro selector de canal de entrada
- ❖ ADPCFG: Registro de configuración del puerto análogo
- ❖ ADCSSL: Registro de selección de escaneo de entradas

Los registros de control ADCON1, ADCON2 y ADCON3 configuran el funcionamiento del módulo A/D. El registro ADCHS selecciona la entrada que va estar conectada al amplificador S/H. El Registro ADPCFG configura los puertos de entrada para que trabajen como entradas análogas o como puertos digitales de E/S. El registro ADCSSL selecciona las entradas a examinarse secuencialmente.

Búfer de Almacenamiento

El resultado de la conversión A/D es almacenado en un búfer del módulo, el cual contiene 16 palabras y es del tipo RAM, llamado ADCBUF. Las ubicaciones en el búfer se conocen como ADCBUF0, ADCBUF1, ADCBUF2,..., ADCBUFE, ADCBUFF.

CONFIGURACIÓN DE LOS REGISTROS DE CONTROL Y ESTADO

Registro ADCON1

Tabla 4. ADCON1: Registro de Control 1.

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9-8	
ADON	----	ADSIL	----	----	----	FORM<1:0>	
Bit 7-5			Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
SSRC<2:0>			----	----	ASAM	SAMP	DONE

Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>

- Bit 15 - ADON: Bit para habilitar el módulo A/D
 - 1 = módulo está funcionando
 - 0 = módulo está desactivado
- Bit 14 - No implementado: se lee como 0
- Bit 13 - ADSIDL: Bit de parada en el modo IDLE
 - 1 = módulo parado durante el modo IDLE
 - 0 = módulo en operación durante el modo IDLE
- Bit [12-10] - No implementados: se leen como 0
- Bit [9-8] - FORM <1:0>: formato de los bits salida
 - 11 = Fraccionario con signo DOUT = sddd dddd dddd 0000
 - 10 = Fraccionario DOUT = dddd dddd dddd 0000
 - 01 = Entero con signo DOUT = ssss sddd dddd dddd
 - 00 = Entero DOUT = 0000 dddd dddd dddd
- Bit [7-5] - SSRC<2:0>: bits de selección de fuente de conversión
 - 111 = Finaliza el contador interno de muestreo y se inicia la conversión (auto convertir)
 - 110 = Reservado

101 = Reservado

100 = Reservado

011 = Muestrea e inicia la conversión con los extremos del Control de Motor por PWM

010 = Muestrea e inicia la conversión con los extremos del Timer 3 de propósito general

001 = Muestrea e inicia la conversión con una transición en la entrada INT0

000 = Al borrar el bit SAMP finaliza el muestreo e inicia la conversión

- Bit [4-3] - No implementados: se leen como 0
 - Bit 2 - ASAM: Auto inicio de conversión
 - 1 = comienza el muestreo inmediatamente después de última conversión completa. El bit SAMP es automático
 - 0 = El muestreo comienza cuando se habilita el bit de SAMP
 - Bit 1 - SAMP: habilita el muestreo
 - 1 = Es activado es muestro usando el S/H
 - 0 = desactivado el muestreo
- Bit 0 - DONE: Estado de la conversión
- 1 = El módulo A/D está convirtiendo
 - 0 = El módulo A/D finalizo la conversión

Registro ADCON2

Tabla 5. ADCON2: Registro de Control 2.

Bit 15-13		Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
VCFG<2:0>		----	----	CSCNA	----	----
Bit 7	Bit 6	Bit 5-2			Bit 1	Bit 0
BUFS	----	SMPI<3:0>			BUFM	ALTS

Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>

- Bit [15-13] - VCFG<2:0>: bits de configuración para la referencia de voltaje

Tabla 6. Pines de Referencia A/D.

	A/D VRef-H	A/D VRef-L
000	AVDD	AVSS
001	Pin externo VREF+	AVSS
010	AVDD	Pin externo VREF-
011	Pin externo VREF+	Pin externo VREF-
1xx	AVDD	AVSS

Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>

- Bit 12 – Bit reservado el usuario debe escribir 0
- Bit 11 - No implementado: se lee como 0
- Bit 10 - CSCNA: configuración del escaneo de entradas en el S/H CH0 a través del MUX A
 - 1 = Escanea las entradas
 - 0 = No escanea las entradas
- Bit [9-8] - No implementados: se leen como 0
- Bit 7 - BUFS: bit para la configuración llenado del búfer A/D. Sólo es válido cuando BUFM=1
 - 1 = El búfer se llena en las direcciones 0x8-0xF, usuario puede acceder a las direcciones 0x0-0x7
 - 0 = El búfer se llena en las direcciones 0x0-0x7, usuario puede acceder a las direcciones 0x8-0xF
- Bit 6 - No implementado: se lee como 0
- Bit [5-2] - SMPI<3:0>: bits de configuración de la cantidad de muestras que generen una interrupción
 - 1111 = Genera una interrupción después de 16 muestreo/conversión
 - 1110 = Genera una interrupción después de 15 muestreo/conversión

.....

0001 = Genera una interrupción después de 2 muestreo/conversión

0000 = Genera una interrupción después de 1 muestreo/conversión

- Bit 1 - BUFM: configuración del búfer A/D
 - 1 = Configuración del búfer en dos bloques de 8 palabras ADCBUF (15...8), ADCBUF (7...0)
 - 0 = Configuración del búfer en un bloque de 16 palabras ADCBUF (15...0)
- Bit 0 - ALTS: selección del MUX de entrada
 - 1 = Se usa el MUX A par la primera muestra y luego el MUX B, estos se alternan entres muestreos
 - 0 = Siempre se usa el MUX A

Registro ADCON3

Tabla 7. ADCON3: Registro de Control 3.

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12-8
----	----	----	SAMC<4:0>
Bit 7	Bit 6	Bit 5-0	
ADRC	----	ADCS<5:0>	

Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>

- Bit [15-13] - No implementados: se leen como 0
- Bit [12-8] – SAMC<4:0>: tiempo de muestra automático
 - 11111 = 31 TAD
 -
 - 00001 = 1 TAD
 - 00000 = 0 TAD

- Bit 7 - ADRC: fuente de reloj de conversión
 1 = Reloj RC interno
 0 = Reloj derivado del reloj del sistema
- Bit 6 - No implementado: se lee como 0
- Bit [5-0]- ADCS<5:0>: selección del reloj de conversión
 111111 = $TCY/2 * (ADCS<5:0>+1) = 32 * TCY$

 000001 = $TCY/2 * (ADCS<5:0>+1) = TCY$
 000000 = $TCY/2 * (ADCS<5:0>+1) = TCY/2$

Registro ADCHS

Tabla 8. ADCHS: Registro Selector de Canal de Entrada.

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11-8
----	----	----	CH0NB	CH0SB<3:0>
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3-0
----	----	----	CH0NA	CH0SA<3:0>

Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>

- Bit [15-13] - No implementados: se leen como 0
- Bit 12 - CH0NB: El canal 0 es la entrada negativa para el MUX B
 1 = El canal 0 es la entrada negativa con AN1
 0 = El canal 0 es la entrada negativa con VREF-
- Bit [11-8] - CH0SB<3:0>: El canal 0 es la entrada positiva para el MUX B
- Bit [7-5] - No implementados: se leen como 0
- Bit 4 - CH0NA: El canal 0 es la entrada negativa para el MUX A
 1 = El canal 0 es la entrada negativa con AN1

- 0 = El canal 0 es la entrada negativa con VREF-
- Bit [3-0] - CH0SA<3-0>: El canal 0 es la entrada positiva para el MUX A
 - 1111 = El canal 0 es la entrada positiva con AN15
 - 1110 = El canal 0 es la entrada positiva con AN14
 - 1101 = El canal 0 es la entrada positiva con AN13
 -
 - 0001 = El canal 0 es la entrada positiva con AN1
 - 0000 = El canal 0 es la entrada positiva con AN0

Registro ADPCFG

Tabla 9. ADPCFG: Registro de Configuración del Puerto Análogo.

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
PCFG15	PCFG14	PCFG13	PCFG12	PCFG11	PCFG10	PCFG9	PCFG8

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
PCFG7	PCFG6	PCFG5	PCFG4	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0

Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>

- Bit [15-0] – PCFG<15:0>: configuración de la entrada
 - 1 = Pin en operación digital E/S
 - 0 = Pin en operación análoga

Registro ADCSSL

Tabla 10. ADCSSL: Registro de Selección de Escaneo de Entradas.

Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
CSSL15	CSSL14	CSSL13	CSSL12	CSSL11	CSSL10	CSSL9	CSSL8

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
CSSL7	CSSL6	CSSL5	CSSL4	CSSL3	CSSL2	CSSL1	CSSL0

Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>

- Bit [15-0] - CSSL<15:0>: entrada a ser escaneada
 - 1 = Selección de ANx para la detección de entrada
 - 0 = No selección de ANx para la detección de entrada

TERMINOLOGÍA A/D Y PROCESO DE CONVERSIÓN

El muestreo de la tensión comienza al conectar alguna de las entradas análogas ANx con el amplificador de S/H. El amplificador de S/H está conectado con los pines de entrada analógica a través de un multiplexor análogo. Esta entrada ANx es configurada en el multiplexor por medio del registro ADCHS. Hay dos multiplexores el MUX A y el MUX B estos dos se controlan por medio del registro de control ADCHS y ambos funcionan de forma idéntica. El convertidor A/D opcionalmente puede cambiar entre el uso del MUX A y el MUX B dependiendo de su respectiva configuración entre las conversiones. El convertidor A/D también contiene la opción de poder escanear una serie de entradas analógicas.

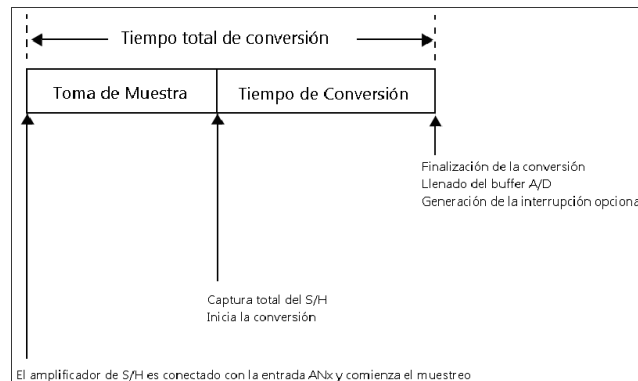
Tiempo de Muestreo

Comienza cuando el amplificador de S/H del módulo A/D es conectado con una entrada analógica. El tiempo de muestreo se puede iniciar manualmente configurando el bit SAMP (ADCON1) o de forma automática. El tiempo de muestreo se puede finalizar manualmente desactivando el bit de control SAMP por software o automáticamente por el módulo.

Tiempo de Conversión

Es el tiempo necesario para que el convertidor A/D logre leer el voltaje aplicado al amplificador de S/H. El convertidor A/D se desconecta de la entrada analógica al final del proceso. El convertidor A/D requiere un ciclo de reloj A/D (TAD) para convertir cada bit del resultado más un ciclo de reloj adicional. En total son necesarios 14 ciclos de TAD para realizar la conversión completa.

Figura 52. Proceso de Conversión



Fuente: Hoja de datos dsPIC30F

Una vez finalizado el tiempo de conversión, el resultado es cargado en uno de los 16 registros A/D (ADCBUF0... ADCBUFF), y luego de esto opcionalmente se puede generar una interrupción. La suma del tiempo de muestreo y el tiempo de

conversión proporcionan el tiempo total de conversión. Existe un tiempo de muestreo mínimo para garantizar que el amplificador de S/H capture con precisión la muestra, el cual debe tenerse en cuenta a la hora de configurar el módulo A/D. Además, existen varias opciones de reloj de entrada para el convertidor A/D. El usuario debe seleccionar una opción de reloj de entrada que no quebrante la especificación de TAD mínima. El inicio del tiempo de muestreo puede ser controlado por software configurando el bit de control SAMP. Cuando el convertidor A/D funciona en el modo de muestreo automático, el amplificador de S/H es conectado a la entrada analógica para así entrar a la etapa de muestreo/conversión. La función de muestreo automático es controlada por el bit ASAM.

La fuente de reloj o trigger de conversión termina el tiempo de muestreo y comienza la conversión Análogo/Digital. Esta fuente de reloj de conversión es seleccionada por los bits de control SSRC.

Existen diversas formas de configuración del módulo de conversión A/D que son explicadas con mayor detalle en la hoja de datos del microcontrolador.

Al final de cada secuencia de muestreo/conversión o de múltiples secuencias de muestreo/conversión, se puede generar una interrupción la cual es determinada por el valor de los bits de control SMPI. El número de secuencias de muestreo/conversión entre las interrupciones puede variar entre 1 y 16.

CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO A/D

Se deben seguir los siguientes pasos para realizar una conversión A/D:

Configurar el módulo de A/D

- Seleccione la fuente de voltaje de referencia para coincidir con el rango esperado sobre entradas analógicas.
- Seleccione el reloj de conversión analógica para coincidir con la velocidad de datos deseada
- Determine cómo se producirán la toma de muestras
- Determine cómo se asignarán las entradas al amplificador de S/H
- Seleccione cómo serán guardados los resultados de conversión en el búfer
- Seleccione el número de muestras por interrupción (opcional)
- Activar A/D módulo

Configurar la interrupción A/D (si es necesario)

- Clarear el bit ADIF
- Seleccionar la prioridad de la interrupción del módulo A/D

Las opciones para cada paso de configuración se describen a continuación.

Selección de la fuente de voltaje de referencia:

Hace referencia a la tensión para las conversiones del módulo A/D; se seleccionan mediante los bits de control VCFG (ADCON2 [15:13]). La referencia de tensión superior (VREFH) y la referencia de voltaje inferior (VREFL) pueden ser los pines de voltaje AVDD y AVSS o los pines externos VREF+ y VREF-.

Los pines de referencia de voltaje externo pueden ser compartidos con las entradas AN0 y AN1. El convertidor A/D todavía puede realizar conversiones en estos pines cuando se comparten con las entradas de VREF+ y VREF-. Las tensiones aplicadas a los pines de referencia externos deben cumplir determinadas especificaciones, que es específicas para cada dispositivo. Seleccionar el reloj de conversión A/D: el convertidor A/D tiene una tasa máxima

en la que se pueden completar las conversiones. Un reloj de conversión TAD, controla el tiempo de conversión. La conversión A/D requiere 14 períodos de reloj (14 TAD). El reloj A/D se deriva del reloj de funcionamiento de la CPU.

El período del reloj de conversión A/D es seleccionado por software utilizando un contador de seis bits. Hay 64 opciones posibles para TAD, especificados por los bits ADCS (ADCON3 [5:0]). Esta ecuación da el valor de TAD en función de los bits de control ADCS y reloj de funcionamiento de la CPU, TCY.

$$T_{AD} = \frac{T_{CY}(ADCS + 1)}{2}$$
$$ADCS = \frac{2T_{AD}}{T_{CY}} - 1$$

Para la correcta conversión del módulo A/D, se debe seleccionar el reloj de conversión A/D (TAD) para garantizar un tiempo de TAD mínimo de 333.33 nanosegundos. El convertidor A/D tiene una fuente de reloj dedicado (RC) interno que puede utilizarse para realizar conversiones. La fuente de reloj RC interno debe utilizarse cuando se realizan las conversiones A/D mientras el dsPIC30F está en modo Sleep. Para seleccionar el oscilador RC interno, se debe configurar el bit de ADRC (ADCON3 [7]). Cuando se establece el bit ADRC, la configuración de los bits ADCS [5:0] no tienen ningún efecto sobre la operación del módulo A/D.

Selección de las entradas analógicas de muestreo:

El amplificador de S/H recibe las entradas analógicas a través de un par de mezcladores (MUX A y MUX B) estos deben ser configurados para seleccionar el orden en que cada entrada analógica va ser muestreada. Una vez que se especifica la secuencia de muestreo/conversión, los bits ADCHS determinan qué entradas analógicas son seleccionadas para cada muestra.

Configurar las entradas análogas en el puerto:

El registro ADPCFG especifica la condición de entrada de los pines del dispositivo que están asociados a un puerto para así configurar si serán utilizadas como entradas analógicas. Un pin está configurado como entrada analógica cuando el bit PCFGn (ADPCFG[n]) correspondiente es clareada. El registro ADPCFG está clareado al comienzo de operación, causando que los pines de entrada de A/D se configuren como entradas analógicas de forma predeterminada a la hora de restablecer el sistema.

Si se desea usar estos pines para que trabajen de forma digital se debe establecer su respectivo bit en el registro ADPCFG [n]. El registro ADPCFG y el TRISB registran el control del funcionamiento de los pines del puerto que usa el módulo A/D.

Los pines del puerto que se desean usar como entradas analógicas deben tener su correspondiente conjunto de bits TRIS, para que se especifiquen como puertos de entrada.

Selección de entrada de canal 0:

Se puede seleccionar cualquiera de las 16 entradas analógicas para conectarse a la entrada positiva de los canales. Los bits CH0SA [3:0] (ADCHS [3:0]) normalmente seleccionan la entrada analógica para la entrada positiva de canal 0. El usuario puede seleccionar VREF- o AN1 como la entrada negativa del canal.

Escaneo de varias entradas:

El canal 0 tiene la capacidad para examinar a través de un registro con el cual va seleccionando las entradas. El bit CSCNA (ADCON2 [10]) permite el escaneo a través del canal de CH0 de las entradas análogas. Cuando se selecciona CSCNA,

los bits CH0SA [3:0] se ignoran. El registro ADCSSL especifica qué entradas serán escaneadas. Cada bit en el registro ADCSSL corresponde a una entrada analógica. El bit 0 corresponde a la entrada AN0, bit 1 corresponde a la entrada AN1 y así sucesivamente. Si un determinado grupo de bits en el registro ADCSSL está en alto ('1'), la entrada correspondiente es parte de la secuencia de detección. Las entradas se escanean siempre desde la entrada inferior a la entrada más alta, empezando en el primer canal seleccionado después de cada interrupción.

Habilitar el módulo A/D:

Cuando el bit ADON (ADCON1 [15]) se pone en alto, el módulo entra al modo activo y es totalmente alimentado y funcional. Cuando se pone en bajo ('0') el bit ADON, el módulo queda deshabilitado. Las partes digitales y analógicas del circuito están desactivadas para el máximo ahorro de energía.

Para regresar al modo de activo, el usuario debe esperar el establecimiento de las etapas analógicas.

Iniciar el muestreo

- Manual: Configurar el bit SAMP (ADCON1 [1]). Esto hace que el módulo A/D comience la toma de muestras. Una de varias opciones puede utilizarse para poner fin a toma de muestras y completar las conversiones. El muestreo no se reanuda hasta que el bit SAMP se establece una vez más.

- Automático: Configurar el bit ASAM (ADCON1 [2]). Esto hace que el módulo A/D comience automáticamente el muestreo de un canal, siempre que una conversión no esté activa en ese canal. Una de varias opciones puede utilizarse para poner fin a toma de muestras y completar las conversiones.

El muestreo de un canal se reanuda una vez completada la conversión de ese canal.

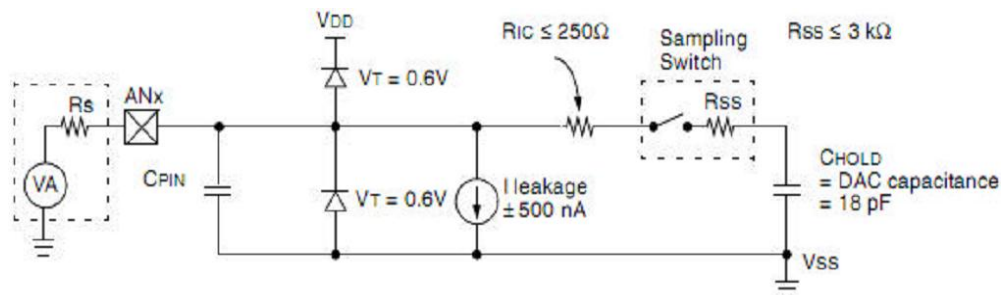
Detener el muestreo e iniciar la conversión:

La fuente de disparo de conversión va a terminar el muestreo e iniciar una secuencia seleccionada de las conversiones. Para esto es necesario configurar un grupo de bits y este proceso es manual. Y se logra cuando se establece los valores de los bits SSRC [2:0], si se ponen en bajo (000), el disparo de conversión está bajo el control por software. Al borrar el bit SAMP (ADCON1 [1]) se inicia la secuencia de conversión.

REQUISITOS DE MUESTREO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO A/D

El modelo de entrada del convertidor A/D 12 bits se muestra en la Figura 8. El tiempo de muestreo total para el convertidor A/D es una función del amplificador interno de asentamiento, es necesario un tiempo mínimo para que el condensador se cargue completamente.

Figura 53. Modelo de Entrada del Convertidor A/D 12 de bits.



Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>

Para que el convertidor A/D logre una exactitud específica, se debe permitir que el condensador (CHOLD) se cargue completamente logrando así igualar el nivel de tensión sobre el pin de entrada analógica. La impedancia de la fuente (R_S), la impedancia de interconexión (R_{IC}) y la impedancia de interruptor (R_{SS}) de muestreo interna se combinan e inciden directamente en el tiempo necesario para lograr cargar el condensador CHOLD. La impedancia de la fuente análoga, debe ser lo suficientemente pequeña para lograr llenar plenamente el condensador C-HOLD dentro del tiempo de toma de muestra.

AVANCES FUTUROS

En los posibles avances se sugiere implementar un sistema que permita además de ubicar y realizar el seguimiento de la fuente sonora, ésta señal a su vez pueda ser amplificada

Mejorar el sistema buscando que el seguimiento se realice de forma más continua en la detección, y así se evite establecer zonas de detección.

Agregarle una fuente de alimentación externa, para evitar depender de las baterías.

BIBLIOGRAFIA

- **FAULKENBERRY, LUCES M.** Introducción a los Amplificadores Operacionales con Aplicaciones a CI Lineales. Editorial Limusa, 1996.
- **WILLIAMS, ARTHUR B.** Amplificadores Operacionales. Teoría y Aplicaciones. Editorial McGraw-Hill, 1988.
- **ANGULO MARTÍNEZ, JOSÉ MARÍA ANGULO USATEGUI, GARCÍA ZAPIRAIN, BEGOÑA.** Microcontroladores Avanzados dsPIC: Controladores Digitales de Señales. Arquitectura, Programación y Aplicaciones. Editorial Thompson, 2006.
- <http://electronicayciencia.blogspot.com/2010/05/preamplificador-microfono-electret.html>
- <http://emsia.com.ar/downloads/sonido2.pdf>
- <http://jesubrik.eresmas.com/microfonos.htm>
- <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>
- <http://www.buwaki.org/lorem-ipsuam/sistemas-de-radio-y-television-el-sonido-los-microfonos>
- http://www.fen.bilkent.edu.tr/~physics/news/masters/Masters_Helmholtz_hires.pdf

- <http://www.scribd.com/doc/37060518/3-1-El-Sonido-Conceptos-Bsicos>
- http://www.sonidoyaudio.com/sya/vp-tid:2-pid:19-tipos_de_microfonos.html