

CAPÍTULO 1



INTRODUCCIÓN

En el estudio y análisis de la detección de dirección de arribo de una señal en un arreglo de micrófonos, es necesario conocer conceptos como el de formador de haz (beamforming), así como de arreglo de sensores. Para estudiar el comportamiento de un arreglo lineal de micrófonos, se parte de la teoría que existe sobre arreglos de antenas, ya que es el mismo principio de operación, diferenciándose en la naturaleza de la onda y el tipo de transductor. Esto es, en vez de utilizar una onda electromagnética y antenas, se utiliza una onda mecánica de presión y micrófonos que capten este tipo de ondas.

El origen de los arreglos de antenas se remonta a la década de 1930 con la construcción de un arreglo circular, el cual fue analizado por *Chireix*. En Alemania, durante la Segunda Guerra Mundial, los arreglos circulares de alta frecuencia fueron utilizados para captar señales de radio, así como para determinar su origen, los cuales fueron llamados *wullenweber* [15].

Un arreglo lineal uniforme se diseña con un número de sensores igualmente orientados e igualmente espaciados a lo largo de una línea recta, estos arreglos se encuentran en algunas aplicaciones tales como:

- Localizar una fuente, orientación o dirección (ángulo) y distancia.
- Extraer una señal de voz que ha sido distorsionada por ruido o por otras fuentes de sonido.
- Recibir un mensaje desde una fuente distante [17].

1.1 OBJETIVO

Desarrollar un sistema a partir de un arreglo lineal de micrófonos, que sea capaz de detectar una señal acústica a una cierta frecuencia, y que determine el ángulo (dirección) entre la fuente del sonido y el arreglo de micrófonos.

A continuación se mostrarán como ejemplo, cuatro sistemas que hacen uso de la detección de dirección de arribo, los dos primeros son biológicos, la audición biaural humana y el biosonar utilizado por el murciélago, los otros dos restantes son sintéticos el radar y el sonar. Se presentan estos ejemplos de forma descriptiva, con el objeto de mostrar el alcance del proyecto de tesis, y de alguna forma relacionar los conceptos teóricos a algo físico para facilitar la comprensión de los mismos.

1.2 AUDICIÓN BIAURAL HUMANA

La habilidad de los humanos y animales de localizar fuentes de sonido es de importancia considerable. La audición del hombre evolucionó mucho antes que el habla, y fue de gran valor para localizar presas y evitar depredadores. El término “localización” se refiere a calcular la dirección de una fuente de sonido, y en algunos casos su distancia, esta idea se muestra en la Figura 1.1.

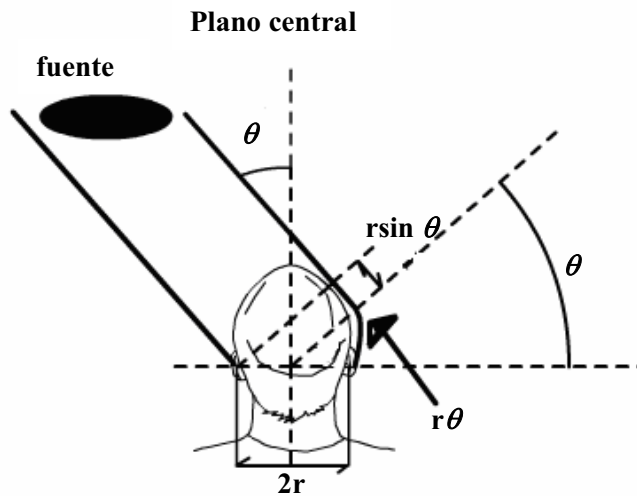


Figura 1.1 Audición biaural.

Cuando un sonido es captado por un escucha, él sólo recibe información auditiva similar en ambos oídos si la fuente de sonido está en algún lugar sobre el plano vertical a través de su cabeza, esto es directamente enfrente, atrás o sobre la cabeza. En la Figura 1.2 se muestra que cuando la fuente de sonido está a un lado, entonces el efecto de sombra de la cabeza reducirá la intensidad del sonido en el lado más alejado de la fuente. Además, la distancia extra significa que el sonido llegará ligeramente después al oído más distante.

Tanto la intensidad como la diferencia en tiempo de arribo entre los oídos contribuirán a la habilidad de localizar la dirección del sonido.

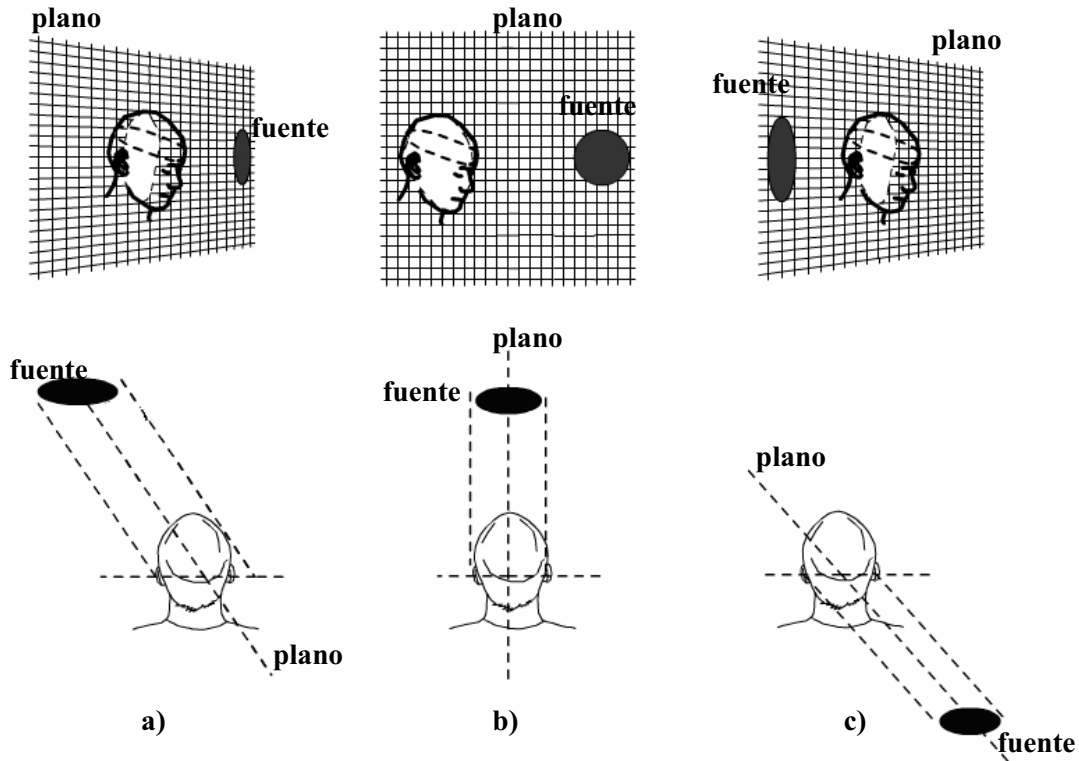


Figura 1.2 Localización de una fuente de sonido con audición biaural.

Al detectar la ubicación de una fuente de sonido de la manera como se describe, el cerebro interpreta la ubicación de la fuente sobre diferentes planos tal como se muestra en la Figura 1.2, por lo que existe confusión sobre si la fuente de sonido está enfrente, atrás o arriba, la forma en que se resuelve esto es mediante el movimiento de la cabeza. Así, las fuentes que se ubiquen en el mismo plano pero unas ubicadas enfrente y otras atrás de la cabeza, al girar resultarán en un cambio en el tiempo de arribo con lo que es posible ubicar la fuente.

El tiempo máximo de retraso ocurrirá cuando la fuente de sonido está directamente a un lado de la cabeza, y es de cerca de $700 \mu s$. Los retrasos mayores que este valor causan una diferencia en la fase del sonido en los dos oídos. El sistema de audición humana es capaz de detectar diferencias de fase tan pequeños como $6 \mu s$ [19].

1.3 BIOSONAR DEL MURCIÉLAGO

Los murciélagos cazan con la ayuda del sistema llamado biosonar por medio de una señal "CF-FM". Un llamado CF-FM consiste en una onda sinusoidal (componente de

frecuencia constante, CF por sus siglas en ingles) la cual es seguida por un barrido de frecuencia descendente FM (componente de frecuencia modulada, FM por sus siglas en ingles) en la Figura 1.3 se muestra el comportamiento de la señal.

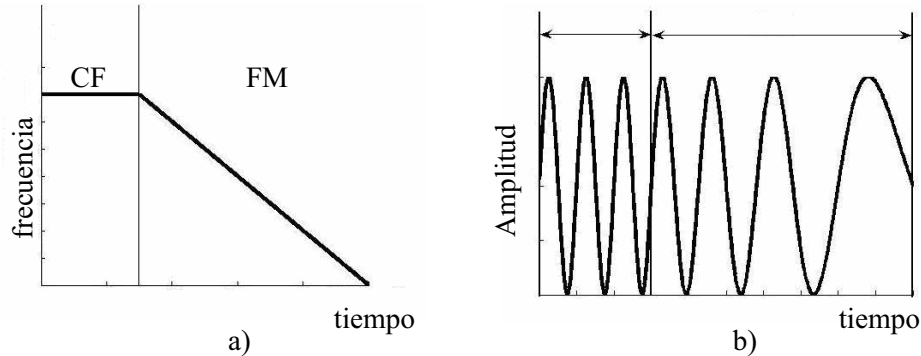


Figura 1.3 Señal CF-FM.

En (a) se muestra el cambio de la frecuencia con respecto al tiempo y en (b) el cambio de la amplitud de la señal con respecto al tiempo.

El llamado CF-FM es producido en la laringe del murciélago, un músculo llamado epiglotis es comprimido hacia arriba de la laringe y el aire es forzado a pasar a través de la epiglotis causando la vibración a altas frecuencias. Su vibración no produce un tono puro, sino produce un sonido con una componente fundamental y una serie de armónicas. La frecuencia fundamental del biosonar puede estar entre 20 kHz a 40 kHz. Ya que el humano es incapaz de escuchar sonidos por arriba de los 20 kHz, los llamados CF-FM son inaudibles para el hombre, aunque casi tienen la potencia del sonido de un jet aeroplano antes de aterrizar. Entre mayor sea la potencia del llamado del murciélago, será mayor la distancia efectiva a la cual el sistema biosonar funciona. El sistema biosonar de los murciélagos es capaz de funcionar hasta una distancia de 23 m [13].

En la Figura 1.4 se muestra cómo la señal llamado CF-FM cambia mientras el murciélago la utiliza en su biosonar para cazar sus presas. En (a) se muestra como se inicia en modo búsqueda durante la cual el llamado consiste de la componente de frecuencia constante, la componente FM está ausente. Una vez detectado el insecto, el murciélago añade la componente de FM al final del llamado. Conforme el murciélago se acerca al objetivo, la componente de CF se reduce y el intervalo de barrido de la componente de FM es aumentado, como se puede ver en (b).

Como se observa, el murciélago produce una señal periódica; cada periodo de la señal CF-FM proporciona una imagen del objetivo. Cuando el insecto es detectado, al principio es suficiente tomar imágenes del objetivo a intervalos largos de tiempo. Conforme el murciélago se acerca, los pequeños cambios en el comportamiento del insecto se hacen más importantes. El murciélago debe ser capaz de ajustar con rapidez cualquier error o cambio que ocurra desde la última imagen. Así que las imágenes se hacen más frecuentes, el llamado se hace más corto, hasta que el murciélago captura a su presa, tal y como se observa en (c).

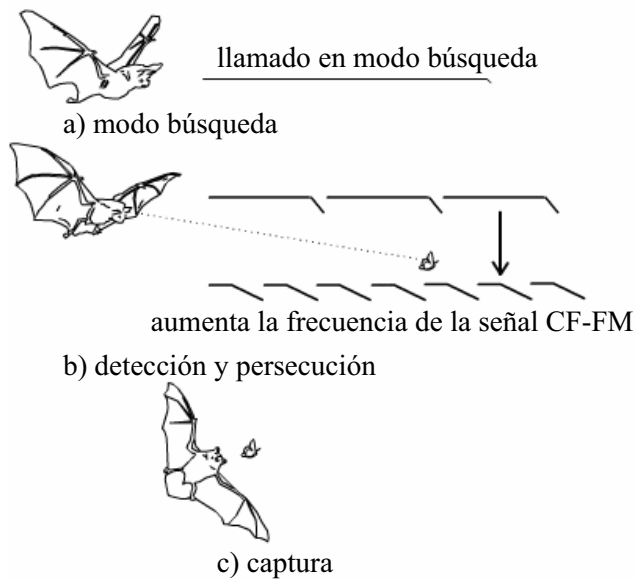


Figura 1.4 Señal CF-FM utilizada por el murciélago para cazar.

Al igual que el hombre, el murciélago hace uso de la audición biaural para localizar a su presa a través de los ecos de la señal CF-FM que refleja la presa. Con el eco recibido en cada oído se compara su intensidad y ángulo de desfase. Si el objeto está directamente enfrente del murciélago, la intensidad del eco recibido es la misma en cada oído. Si la intensidad del eco recibido en el oído izquierdo es mayor que la del oído derecho, se detecta que la presa está a la izquierda, lo mismo sucede si la intensidad del eco es mayor en el oído derecho que en el izquierdo, se detecta que la presa está del lado derecho de la cabeza del murciélago. Este proceso toma en cuenta el efecto de sombra que produce la cabeza en el oído mas alejado de la fuente del eco al igual que el humano [13].

1.4 RADAR Y SONAR

Radar (*Radio Detecting And Ranging*) es un dispositivo que detecta la presencia de objetos o blancos, y es capaz de reconocer su ubicación, dirección y distancia total o de forma parcial. Esto lo realiza mediante una antena de gran tamaño que emite ondas electromagnéticas concentradas en una zona angular reducida, lo cual servirá para poder medir la dirección del objetivo. Las ondas emitidas son reflejadas por el objeto y son recibidas nuevamente por la antena, como se observa en la Figura 1.5 (a) y (b). La antena no sólo capta la onda reflejada sino también ruido ambiental y la misma onda emitida antes, por lo que se filtra la señal para obtener únicamente la onda reflejada. Una vez hecho lo anterior, la onda recibida es comparada con la onda emitida, con el defasamiento temporal se obtiene la distancia del objetivo, y del cambio de frecuencia que puede llegar a presentarse si el objetivo se encuentra en movimiento, además se puede obtener la velocidad del blanco haciendo uso del efecto *Doppler*, como se indica en la Figura 1.5 (c).

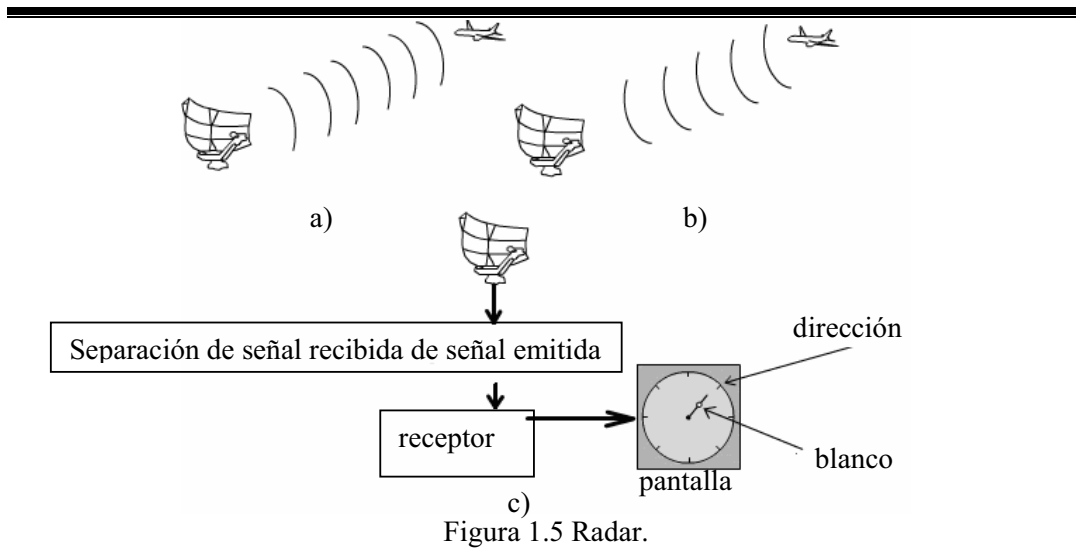


Figura 1.5 Radar.

Para realizar la localización de blancos en diferentes direcciones, la antena se mueve en forma circular sobre un eje con ayuda de un motor, el cual puede agregar un ruido mecánico a la onda recibida, aunque gracias a la técnica de barrido electrónico, es posible modificar la dirección y forma del haz emitido sin mover la antena, lo que trae como ventaja prescindir del motor que mueve la antena eliminando el ruido mecánico [7].

Existen varios tipos de radares, pero existen dos familias que sobresalen, los cuales son: los radares de vigilancia panorámica que sirven para el control de navegación aérea, y los radares de seguimiento que se utilizan para apuntar a un blanco y seguirlo.

Sonar (*SOund Navigation And Ranging*) es un dispositivo que funciona con el mismo principio que el radar aunque utiliza ultrasonido en lugar de ondas electromagnéticas. Una sonda de ultrasonido contiene un emisor de ondas (a), un receptor de ondas reflejadas (b), un amplificador y un aparato de registro que permite leer la profundidad, esto se ilustra en la Figura 1.6 [7].

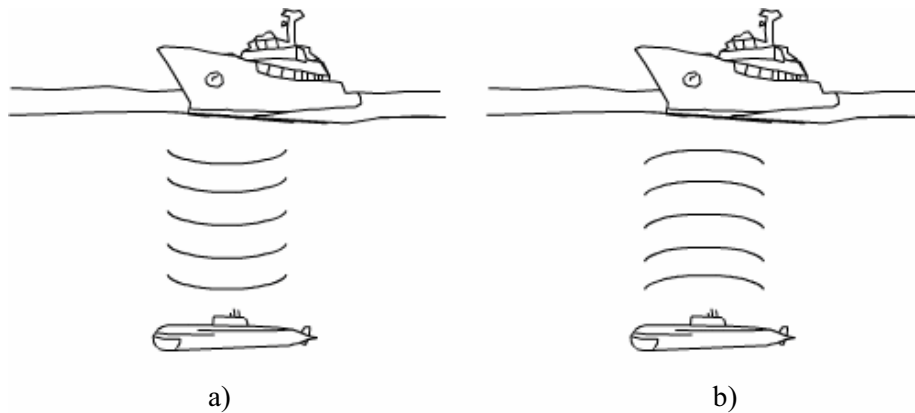


Figura 1.6 Sonar.

De los ejemplos anteriores, tanto en la audición humana biaural como en el biosonar del murciélago, los sensores son los oídos que se ubican a cada lado de la cabeza.

Por otro lado, un conjunto de sensores o micrófonos puede distribuirse en distintos arreglos:

- Lineales: sobre una línea recta.
- Planares: sobre un plano, su distribución puede ser rectangular o circular.
- Colocados sobre superficies, como paraboloides, semiesferas, cilindros, etc.

Dependiendo del arreglo, éste tendrá distintas propiedades. En este trabajo se diseñará y construirá un arreglo lineal, el cual consistirá en colocar sobre una línea recta 16 micrófonos equidistantes.

El formador de haz fijo o simple, consiste en sumar todas las señales entrantes al arreglo de micrófonos, tal como se muestra en la Figura 1.7, donde $x_i(t)$ tal que $i = 1, 2, 3, \dots, M$, son las M entradas al sistema, y $g(t)$ es la salida del mismo.

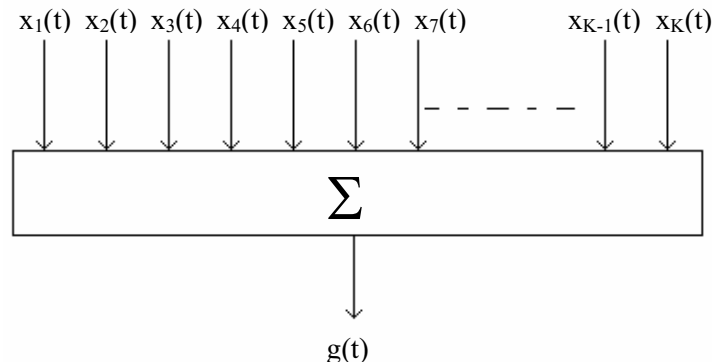


Figura 1.7 Formador de haz simple.

Su modelo matemático está dado por la ecuación (1.1).

$$g(t) = \sum_{n=1}^K x_n(t) \quad (1.1)$$

Con esta sumatoria se logra hacer que la señal deseada se vea reforzada tal y como sucede al sumar dos señales sinusoidales en fase, como se muestra en la Figura 1.8.

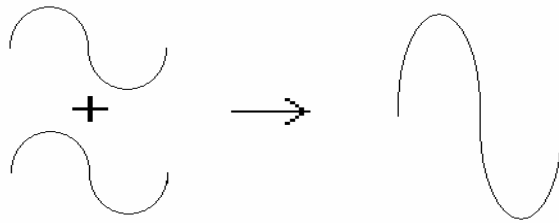


Figura 1.8 Suma de dos señales en fase.

Por otro lado al tener un desfase de 180° las señales sinusoidales, teóricamente se anulan como en la Figura 1.9.

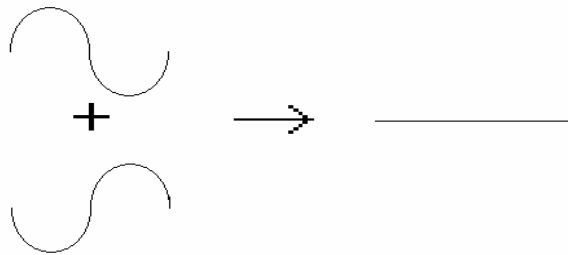


Figura 1.9 Suma de dos señales con desfase de 180° .

Al formador de haz también se le conoce como filtrado espacial, ya que dependiendo de la dirección de las señales que inciden sobre el arreglo, el formador de haz amplifica o atenúa la señal resultado $g(t)$ del arreglo. En la Figura 1.10 se observa un arreglo de micrófonos, y cómo incide una señal con una dirección o ángulo θ , ángulo formado entre la línea perpendicular al arreglo y la señal que incide sobre el arreglo.

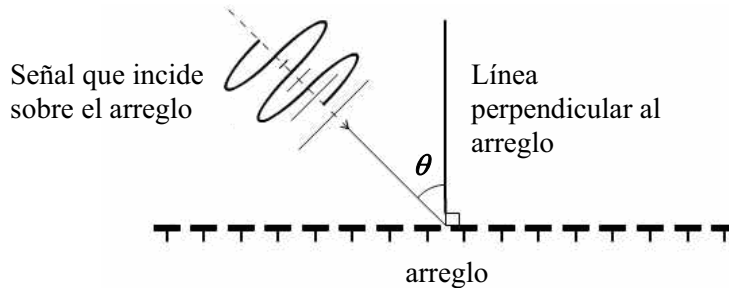


Figura 1.10 Dirección o ángulo de arribo de la señal.

Si las señales del arreglo de la Figura 1.10 se suman y se obtiene la señal resultado $g(t)$ conforme a la ecuación (1.1), la máxima potencia de la señal $g(t)$ se obtiene cuando el ángulo θ es igual a cero.

La detección de Dirección de Arribo (*Direction Of Arrive*, DOA) es una aplicación del formador de haz y a su vez sirve de base para sistemas más complicados como el sonar y el radar, ya que con ello se puede saber la dirección de una fuente de sonido y por medio de otros procesos es posible determinar la distancia de la fuente hacia el arreglo, o si la fuente de sonido se mueve y en qué dirección. Lo anterior tiene aplicaciones tanto en

robótica, robots capaces utilizar sonar y radar para exploración, e incluso en generación de energía, ya que se utiliza en arreglos de espejos para aprovechar la energía solar.

En este trabajo se diseñó e implementó un formador de haz, que utiliza como recurso la tarjeta de desarrollo eZdsp TMS320F2812 y principalmente el DSP TMS320F2812 aprovechando su arquitectura cuyas características más importantes son [25]:

- 150 Millones de instrucciones por segundo (Mips).
- Convertidor Analógico Digital (*Analog to Digital Converter*, ADC), capaz de realizar conversiones a una frecuencia máxima de 20 MHz, con 16 canales, voltajes de 0 a 3 V.
- Opera datos de tipo entero de 16 bits, 32 bits y tipo flotante de 32 bits.

Para la realización del diseño del arreglo de micrófonos, es necesario decidir la distancia entre cada micrófono del arreglo lineal; esta distancia “d” dependerá de la frecuencia de la señal de prueba que se utilizará, ya que:

$$d = \frac{\lambda}{2} \quad (1.2)$$

donde λ es la longitud de onda de la señal de prueba, partiendo de la teoría y la experiencia, ésta es la distancia óptima. Dependiendo de la frecuencia de la señal de prueba se obtiene el valor de d.

Este trabajo está dividido en los siguientes capítulos

En el Capítulo 2 “Conceptos básicos análisis de señales” se describe cómo se clasifican los distintos tipos de señales que existen, así como la transformada de Fourier que sirve de apoyo para el desarrollo del trabajo. Además, se incluye una descripción del fenómeno del sonido y algunas de sus características, y se incluye una descripción del sensor que se utiliza para convertir el sonido en una señal eléctrica: el micrófono.

En el Capítulo 3 “Arreglos de sensores y formador de haz” se presenta la teoría relacionada a un arreglo lineal de sensores y el formador de haz fijo y su utilización como un filtro espacial. Además se explica el filtrado adaptable, en específico el método *Least Mean Square* (LMS) para el filtrado espacial.

En el Capítulo 4 “Diseño del sistema”, se describe cómo se realizó el diseño del arreglo tomando en cuenta la teoría presentada en el Capítulo 3, así como el diseño del algoritmo formador de haz y su implementación en la tarjeta de desarrollo TMS320F2812.

En el Capítulo 5 “Resultados y conclusiones” se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el sistema y las conclusiones establecidas de las mismas pruebas.

- Página dejada en blanco intencionalmente -