

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**OBTENCION DEL PATRON DE RADIACION DE ALTAVOCES MEDIANTE
UN POSICIONADOR AUTOMATIZADO**

Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Samuel Alejandro Portocarrero Sotomayor

ASESOR: Jorge Néstor Moreno Ruiz

Lima, Abril del 2015

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la obtención del patrón de radiación de un altavoz convencional a partir de un posicionador automatizado. El mismo presenta el camino investigativo tomado, desde la identificación y definición del marco problemático, siguiendo con la investigación del estado del arte, la cual nos brinda la información necesaria para plantear una hipótesis de solución; hasta las pruebas del sistema prototipo diseñado y el análisis de los resultados obtenidos. A continuación se detalla mejor cada etapa del documento.

La primera parte del documento presenta el análisis de la problemática, la cual resalta la importancia y gran utilidad del patrón de radiación en las diversas aplicaciones de la industria de altavoces, planteando así la necesidad por definir propiamente este parámetro acústico y declarar el marco problemático que supone la obtención del mismo, analizando para ello todos los factores y complejidades que se deben tomar en cuenta durante la medición del patrón de radiación.

Tras el análisis realizado en el capítulo anterior, se plantea la necesidad de diseñar un sistema capaz de solucionar los problemas y complejidades en la obtención de este parámetro; para ello se estudia el estado del arte, investigando los métodos y técnicas para la caracterización y medición de la respuesta del altavoz, para el procesamiento y sincronización, así como para el posicionamiento y medición angular.

Con la información y conocimientos obtenidos hasta el momento se plantea, en el tercer capítulo, un sistema prototipo automatizado capaz de realizar barridos angulares y que obtenga la respuesta en frecuencia de un parlante convencional mediante el auto espectro de la respuesta impulsiva promedio del sistema. En detalle se presentan los aspectos técnicos y teóricos del diseño del sistema mencionado.

Finalmente en el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados, los problemas encontrados durante los mismos y un análisis de los resultados confrontándolos con los datos teóricos y las hipótesis planteadas inicialmente; es a partir de estas conclusiones que se podrán plantear recomendaciones de uso y eventuales mejoras a futuro.

Este trabajo se lo dedico a mis padres y hermana, Enoé Sotomayor, Samuel Portocarrero y Mariela Portocarrero por apoyarme a lo largo de mi carrera incondicionalmente hasta verme realizado como ingeniero, cumplieron su misión.

Al amor de mi vida, compañera, novia y futura esposa, Rosa Castro, por motivarme siempre a ser mejor, a dar siempre más de mí para completar mis metas.

A mi otro amor, mi bebe, mi hijita Alejandra. Por darme tantas alegrías y ser siempre mí fuerza, espero que este trabajo te inspire a siempre esforzarte por tus objetivos.

A mis profesores y asesores Jorge Moreno R. y Richard Rivera C. Por darme tantos conocimientos, su apoyo, su tiempo, su amistad y un jalón de orejas cuando lo necesite.

Y a mí mismo
Pues esto es el inicio de una carrera sin freno en el conocimiento, la investigación y el desarrollo.
Esto marca un antes y después en mi vida.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO 1: EL PATRON DE RADIACION: UNA NECESIDAD ACTUAL

- 1.1 Uso del patrón de radiación en la industria del audio.
 - 1.1.1 Modelamiento de recintos por software.
 - 1.1.2 Predicción de la interacción de altavoces.
 - 1.1.3 CLF: Common Loudspeaker Format
 - 1.1.4 Auralización.
 - 1.1.5 Directividad
 - 1.1.6 Nivel de Presión Sonora (SPL)
- 1.2 Definición del patrón de radiación.
- 1.3 Análisis de la complejidad en la obtención del patrón de radiación.
- 1.4 Declaración del marco problemático.

CAPITULO 2: METODOS DE OBTENCION DEL PATRON DE RADIACION

- 2.1 Estado del arte.
 - 2.1.1 Presentación del asunto de estudio.
 - 2.1.2 Estado de la investigación
 - I. Técnicas de caracterización de altavoces.
 - a. Respuesta impulsiva.
 - b. Señal Tone Burst
 - c. Sweep Tones
 - d. TDS: Time Delay Spectrometry
 - e. MLS: Maximum Length Sequences
 - f. SSR: Steady State Response
 - II. Entorno de medición
 - a. Medición en campo libre
 - b. Medición en cámara anecoica.
 - c. Medición en cuarto cerrado
 - III. Procesamiento y sincronización
 - a. MatLab.
 - b. B&K Pulse
 - c. CLIO

- IV. Técnicas de posicionamiento y medición angular
 - a. Tornamesa.
 - b. Brazo robótico
 - c. Arreglo de micrófonos.
- 2.1.3 Síntesis sobre el asunto de estudio
- 2.2 Modelo Teórico
- 2.3 Indicadores del proceso

CAPITULO 3: DISEÑO DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE POSICIONAMIENTO AUTOMATIZADO

- 3.1 Hipótesis
 - 3.1.1 Hipótesis principal
 - 3.1.2 Hipótesis secundarias
- 3.2 Objetivos
 - 3.2.1 Objetivo General
 - 3.2.2 Objetivos específicos
- 3.3 Sistema prototipo automatizado de obtención del patrón de radiación.
- 3.4 Área electrónica
 - 3.4.1 Fuente regulada de voltaje
 - 3.4.2 Etapa de acondicionamiento USB - RS232 - TTL
 - 3.4.3 Etapa de controlador digital
- 3.5 Área mecánica
 - 3.5.1 Servomotor y Acople Mecánico.
 - 3.5.2 Rueda angular de precisión.
 - 3.5.3 Prototipo de Posicionador Mecánico.
- 3.6 Área de Programación
 - 3.6.1 Controlador digital (ATmega8)
 - 3.6.2 Programación B&K PULSE
 - 3.6.3 Sincronización MATLAB
 - 3.6.4 Interfaz Gráfica GUI
 - 3.6.5 Comunicación Cliente - Servidor OLE 2.0
 - 3.6.6 Comunicación USB - RS232 Handshaking

CAPITULO 4: PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

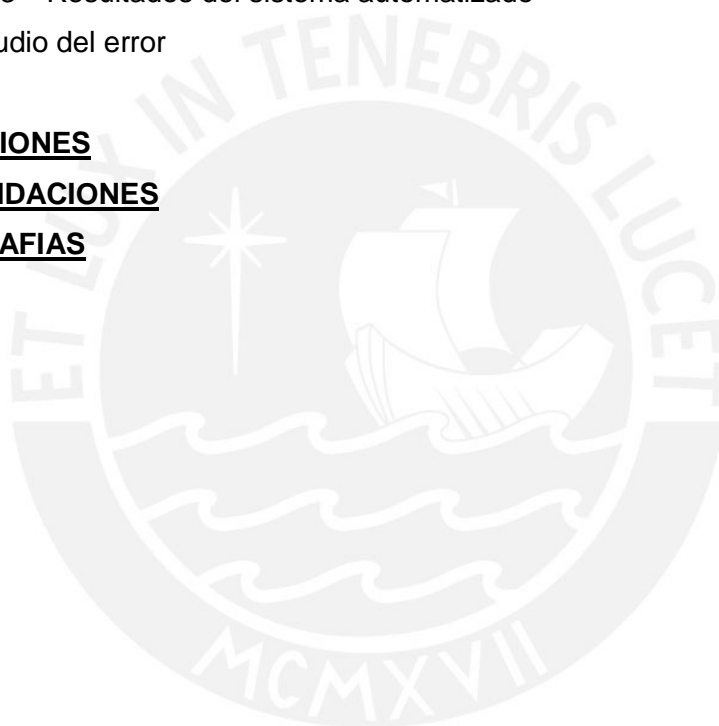
- 4.1 Preparación de la medición
- 4.2 Pruebas de sistema prototipo
 - 4.2.1 Pruebas de posicionador angular
 - 4.2.2 Pruebas de respuesta en frecuencia
 - 4.2.3 Pruebas de sistema automatizado
- 4.3 Análisis de resultados
 - 4.3.1 Resultados del posicionador angular
 - 4.3.2 Resultados de la respuesta en frecuencia
 - 4.3.3 Resultados del sistema automatizado
- 4.4 Estudio del error

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIAS

ANEXOS



INTRODUCCION

Una gran necesidad en la industria de altavoces es la implementación de nuevas técnicas de evaluación de los parámetros electro-mecano-acústicos de altavoces y sistemas de altavoces, uno de estos es la dispersión de la energía sonora en el ambiente; el cual generalmente se evalúa y analiza a través del patrón de radiación.

Para evaluar y obtener estos parámetros se requieren mecanismos de posicionamiento, sincronizados y controlados por software de computadora. Si bien es cierto, muchos fabricantes actualmente proporcionan el patrón de radiación de sus dispositivos, en el Perú aun no se dispone de un método automatizado para la obtención de este parámetro.

El presente trabajo tiene por objetivo demostrar la obtención el patrón de radiación de un altavoz convencional mediante un sistema prototipo automatizado que realice barridos angulares; la respuesta en frecuencia del altavoz se obtendrá empleando la respuesta impulsiva del sistema. A partir de la información almacenada se obtiene el valor en decibeles para una misma frecuencia en todos los ángulos medidos, estos valores graficados en coordenadas polares constituyen el patrón de radiación para una frecuencia determinada.

El diseño del sistema propuesto involucra el desarrollo de un prototipo de sistema de posicionamiento angular, además del software de MatLab que será capaz de sincronizar la tarjeta electrónica de control de motor con el equipo de generación y análisis de señales, y de procesar la información recopilada para graficar el patrón de radiación.

CAPÍTULO 1:

EL PATRON DE RADIACION: UNA NECESIDAD ACTUAL

En la industria del audio, la predicción y simulación del comportamiento de altavoces o sistemas acústicos es una actividad constante y de gran importancia que representa un alto porcentaje dentro de este rubro industrial, años atrás se utilizaban métodos tentativos y poco precisos. Es con el avance tecnológico que se desarrollan softwares y sistemas computarizados capaces de realizar dichas simulaciones, sin duda esto resulta siendo más exacto que el método predecesor.

Para lograr dichas simulaciones se necesita conocer el comportamiento exacto de los altavoces, de cómo irradian a determinadas bandas de frecuencias y en direcciones angulares concretas, es bajo este marco que cobra gran importancia el concepto de Patrón de Radiación. En el presente capítulo se estudiará el importante rol que desempeña el patrón de radiación en la industria moderna del audio, así como también se analizará la problemática y complejidad que supone la obtención del mismo de una manera exacta y precisa, para así garantizar una simulación exitosa.

1.1 El patrón de radiación en la industria del audio.

La industria del audio y la acústica ha venido mejorando e implementando sus técnicas de medición de los parámetros acústicos de altavoces o sistemas de audio mediante softwares predictivos y la informática, durante este proceso el patrón de radiación ha sido un parámetro fundamental en el análisis del comportamiento de los altavoces. A continuación se verán sus aplicaciones en la industria del audio actual.

1.1.1 Modelamiento de recintos por software.

El modelamiento computarizado de recintos fue propuesto durante los años 60's por Schroeder y hasta el día de hoy sigue siendo un poderoso método de experimentación; estos softwares han ido evolucionando con el tiempo, siendo más amigables, exactos y económicos en comparación a otras técnicas de medición. Tan pronto como el plano arquitectónico del recinto es introducido al software de

simulación, se definen las características de la fuente sonora (parlante) y la propagación del sonido puede ser simulada rápidamente para un posterior análisis. [11]

Para la implementación del algoritmo se deben describir datos tales como la geometría del recinto, las fuentes sonoras y los receptores; la caracterización acústica de las superficies está basada en la absorción, dispersión y los principios físicos de las ondas sonoras. [15] La fuente sonora es definida mediante el Patrón de Radiación, este parámetro contiene información acerca de la presión sonora y la directividad del altavoz, las cuales son necesarias para la simulación de las trayectorias.

Entre los softwares más populares tenemos el ODEON, EASE y MAPP ONLINE. En la Figura 1.1 se puede ver la interfaz grafica del ODEON, donde se presenta el campo sonoro de un arreglo de altavoces en el campo cercano (izquierda), el campo lejano esférico (medio) y la interacción del mismo en el recinto analizado.

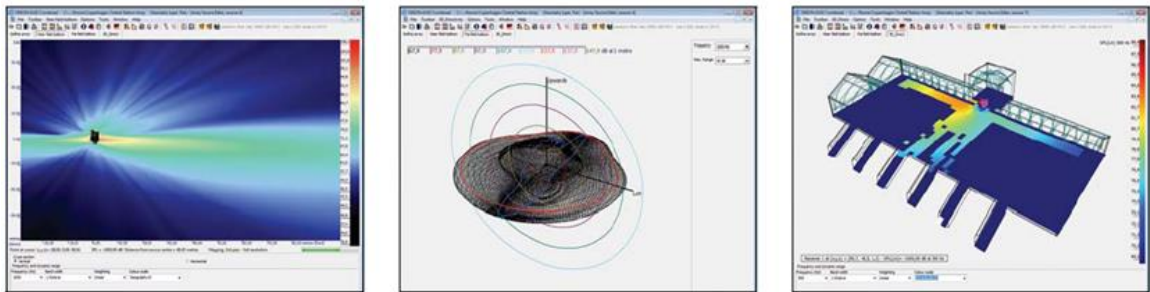


Fig. 1.1 Entorno de simulación del ODEON [10]

1.1.2 Predicción de la interacción de altavoces.

Se conoce así a la simulación de la directividad resultante de la combinación de dos o más altavoces formando arreglos entre sí, esta simulación puede ser realizada de forma matemática [16] e implementada en softwares de simulación como el realizado por David G. Mayer [17], o mediante los softwares vistos anteriormente como es el caso del ODEON, los cuales son capaces de realizar esta clase de simulaciones [15]. Para estos procedimientos son necesarios los datos de la configuración geométrica de los altavoces y el patrón polar de cada uno de ellos.

A continuación se presenta el resultado de una simulación realizada en ODEON de dos altavoces iguales en diferentes posiciones como en la Figura 1.2. El

ODEON predice la SPL resultante sumando en el plano real-imaginario los Patrones de Radiación (PR) individuales. Cabe resaltar que en esta simulación no se consideró los efectos constructivos y destructivos de fase.

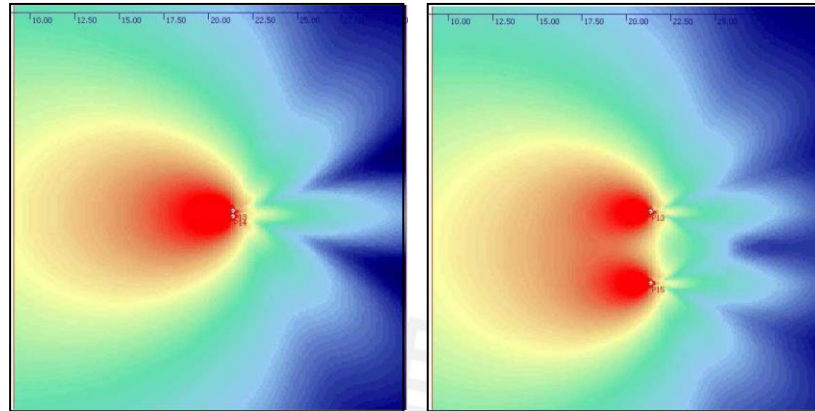


Fig. 1.2 PR de dos altavoces cercanos (I) y lejanos (D)

1.1.3 CLF: Common Loudspeaker File Format

Un grupo formado por los autores de los softwares de predicción CATT-Acoustic, ODEON, LARA, ULYSSES y SYNAUDCON; creó un formato delimitado para el ingreso de data de forma segura e identificable a los sistemas de simulación acústica, este formato es el CLF [18]. Se trata de un formato libre y estándar para la creación y presentación de las características de los altavoces. El CLF busca establecer un formato común que permita un uso y distribución ordenado de la data; entre ellos el patrón de radiación.

El formato CLF se compone de una serie de valores en formato texto que son creados a partir de las mediciones, actualmente los formatos 10 °, 1/1-octave (CLF1) y 5 °, 1/3-octave (CLF2) son compatibles. El software lector de CLF (CLF Viewer) analiza el archivo de texto, muestra el resultado para su verificación, y guarda los datos en un archivo de distribución binaria (CF1 o CF2).

1.1.4 Auralización

Auralización es la técnica de crear y reproducir archivos de sonido audible a partir de data numérica (simulada, medida y sintetizada) [11]. Mediante esta técnica es posible predecir y analizar las señales de sonido que son generadas desde la fuente

sonora las cuales son modificadas por la propagación y la transmisión a través de los sistemas acústicos tales como recintos, edificios, vehículos, etc.

Mediante la auralización se simulan las condiciones actuales de diseño en el recinto de tal manera que el sonido adquiriera las características acústicas nuevas. El resultado es la sensación de estar en el lugar mismo bajo las condiciones establecidas.

1.1.5 Directividad

Es la propiedad o capacidad de direccionamiento de la energía que se expande o distribuye; es el conjunto de características de cómo una fuente irradia energía (Nivel de presión) en diferentes direcciones. Para nuestro objeto de estudio la directividad representa el comportamiento de la radiación de un altavoz (SPL) en función de la dirección angular (Coordenadas Polares), y es representada en un conjunto de patrones de radiación tomados para diferentes valores de frecuencia. A continuación se presentan esquemas de set up para obtener la directividad de diferentes tipos de fuentes, este tipo de esquemas también es aplicado para obtener la directividad de las antenas:

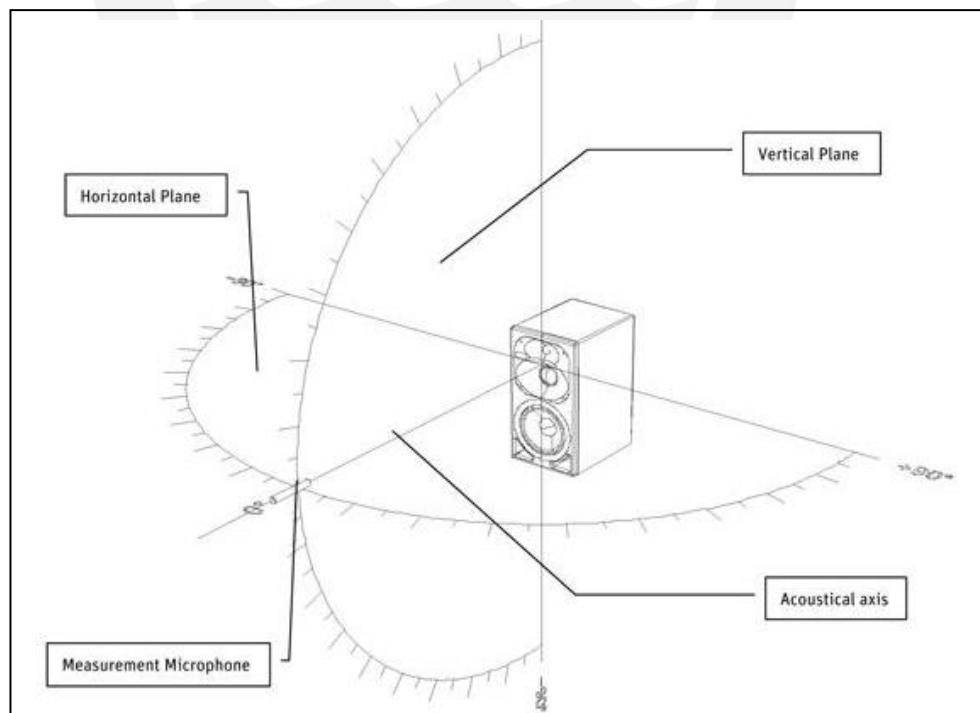


Fig. 1.3 Esquema de medición de directividad de un parlante

1.1.6 Nivel de Presión Sonora (SPL)

El nivel de presión sonora determina la intensidad del sonido que genera una presión sonora, se mide en decibelios (dB) y varía entre 0 dB umbral de audición y 140 dB umbral de dolor. Para medir el nivel de presión sonora no se suele utilizar el pascal, debido al amplio margen que hay entre la sonoridad más intensa y la más débil (entre 200 Pa y 20 μ Pa), normalmente se adopta una escala logarítmica y se utiliza como unidad el decibelio. Como el decibelio es adimensional y relativo, para medir valores absolutos se necesita especificar a qué unidades está referida, en el caso del nivel de presión sonora en aire se toma como referencia 20 μ Pa mientras que en agua se utiliza 1 μ Pa. Las siglas SPL hacen referencia al nivel de presión sonora en inglés *sound pressure level*. En la figura 1.4 se presenta un esquema de medición del nivel de presión sonora en las condiciones de campo libre:

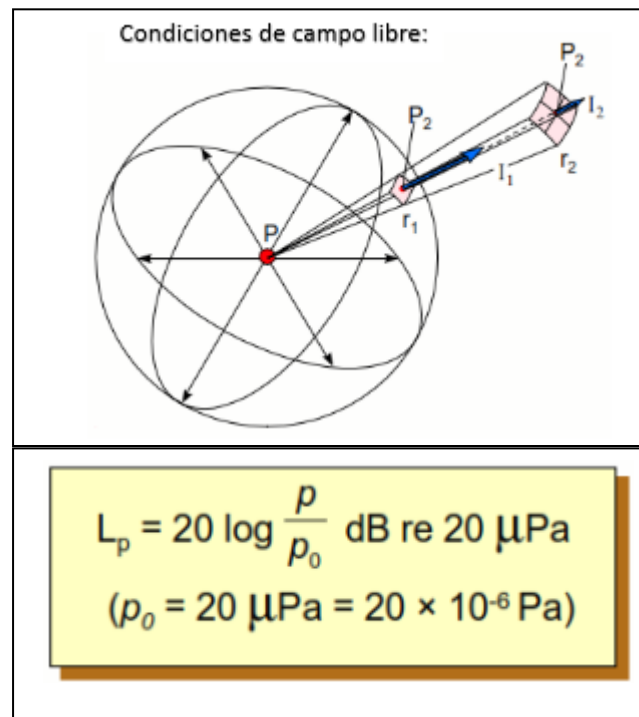


Fig. 1.4 Esquema de campo libre (Arriba) y cálculo del SPL (Abajo)

1.2 Definición del patrón de radiación

El patrón polar, directividad o patrón radiante, es una representación gráfica del nivel de presión relativa (SPL) del campo sonoro en todas direcciones de la fuente

sonora a distancias constantes, para la presente tesis la fuente sonora será un altavoz. La directividad se presenta en una grafica polar con una escala de presión en dB. Estos parámetros están normalizados en el valor máximo del gráfico, en 0 dB.

El patrón de radiación teóricamente es tridimensional (Figura 1.6), es decir una esfera compuesta a partir de capas bidimensionales, cada una de estas capas es una grafica en coordenadas polares donde cada ubicación del nivel de presión sonora es una medición a determinado ángulo y radio (r, θ) desde la fuente sonora.

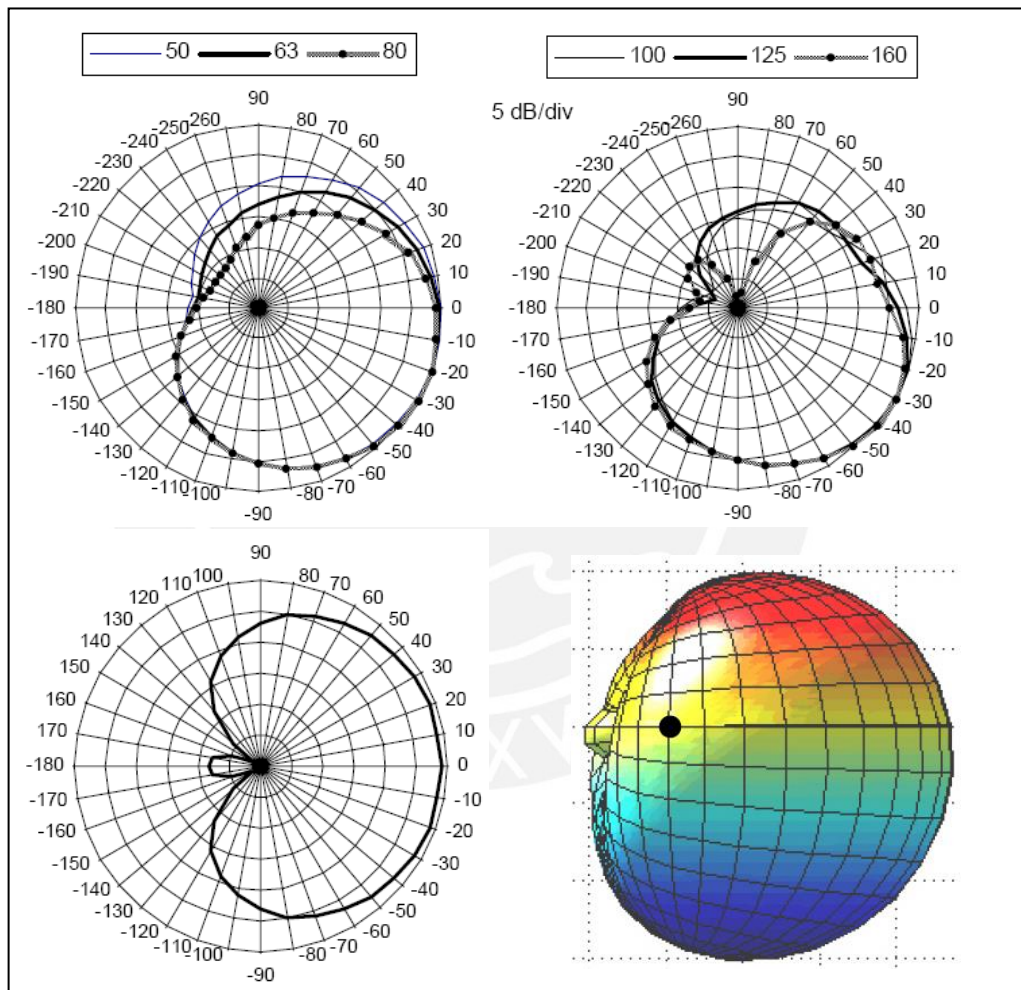


Fig. 1.5 PR: Respuesta vertical (Arriba), horizontal y 3D a 80 Hz (Abajo) [20]

1.3 Análisis de la complejidad

Ahora que se sabe del patrón de radiación, de su importancia y de cómo puede repercutir en la industria del audio; la pregunta pertinente sería: ¿Qué se debe tener en cuenta en el proceso de obtención del patrón de radiación?

Un aspecto a considerar es que, dada la diversidad de aplicaciones y de su importancia para el modelamiento y simulación de sistemas acústicos, se ha visto la necesidad de la obtención del mismo de una manera precisa y que abarque todos los requerimientos que la industria demanda.

- Se debe mantener una distancia uniforme entre el emisor (altavoz) y receptor (micrófono).
- La geometría de la fuente sonora repercute en la uniformidad de la distancia, con respecto al receptor, durante el posicionamiento angular.
- El desplazamiento angular ($\Delta\theta$) debe ser constante para garantizar una descripción uniforme del patrón de radiación.
- Es necesaria la reconstrucción de los vacíos en las señales medidas mediante algoritmos matemáticos, enventanamientos y filtrado de la señal medida.
- Enviar siempre la misma señal al emisor para mantener constante la medición.
- Considerar el aislamiento del ruido y la reverberación inherente del recinto.
- El desfase en la medición debido al tiempo de propagación [20] en altavoces de 2 o más vías.
- La velocidad del sonido se ve afectada por la temperatura del medio.

Otro punto a considerar es la distorsión y pérdida de la señal por el paso de la misma a través de componentes, circuitos y cables, además de las perturbaciones, realimentaciones e interferencias a las que la señal está expuesta; y si a esto se le suma el hecho de que en el campo de las ciencias se trabaja sobre aproximaciones en las ecuaciones matemáticas, nos da como resultado un error acumulado inherente.

1.4 Declaración del marco problemático

La problemática del asunto de estudio viene dada por la necesidad de representar la realidad acústica del altavoz, de tal manera que las simulaciones y aplicaciones posteriores tengan resultados coherentes y fiables; a esto se le suma tres errores significativos que supone la obtención del patrón de radiación [20]:

- La distancia asumida entre el micrófono y el altavoz no se mantiene constante para cada medición, esto genera error en la salida medida.

- Los pasos angulares que ejecuta el tornamesa durante la rotación no se mantienen constantes. Esto genera error en los ángulos ploteados en el patrón de radiación.
- La combinación de los efectos antes mencionados genera un error de fase acumulado en la señal medida.

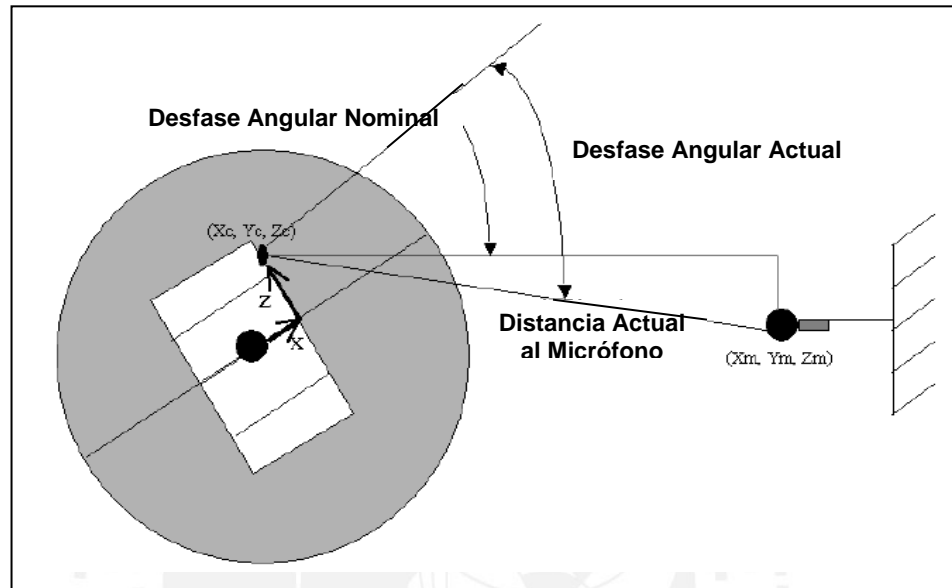


Fig. 1.6 Errores en la geometría física de la medición [21]

En conclusión, la necesidad de obtener la directividad del parlante de una manera exacta, obliga a la industria del audio a reducir al mínimo los errores antes mencionados, implementando sistemas y mecanismos de medición de alta precisión.

CAPITULO 2:

METODOS DE OBTENCION DEL PATRON DE RADIACION DE ALTAVOCES

El proceso de obtención del patrón de radiación es un trabajo acústico integral, muy elaborado, que involucra una serie de etapas y conceptos que garanticen el buen funcionamiento del sistema implementado; en tal sentido la industria del audio ha venido implementando técnicas y métodos involucrados en este proceso con el propósito de mejorar la performance, exactitud y precisión del patrón de radiación medido caracterizando así la respuesta del parlante de la forma más real posible.

El segundo capítulo presenta, de una manera sistemática, el análisis de las técnicas y métodos más importantes de la industria en la actualidad involucrados en cada etapa del proceso de obtención del patrón de radiación, revisando los pros y contras que supone la eventual implementación de alguno de ellos. A partir esta investigación del estado del arte se plantea el modelo teórico, involucrando los métodos antes presentados y relacionando todos los conceptos; finalmente se presenta los indicadores cualitativos y cuantitativos del progreso y alcance de los objetivos planteados.

2.1 Estado del Arte

El poder obtener el patrón de radiación de una manera exacta y efectiva resulta siendo una necesidad para la industria de altavoces, es por tal motivo que, haciendo uso de la herramienta tecnológica, ha desarrollado una serie de técnicas y metodologías para la medición de la directividad radiante. A continuación se estudiará el nivel de desarrollo actual alcanzado.

2.1.1 Presentación del asunto de estudio

Para poder evaluar los métodos involucrados de una manera más ordenada, se definen las etapas involucradas que interesan en el diseño del [22]:

- Caracterización del altavoz.
- Acondicionamiento y entorno de medición.

- Rotación y posicionamiento.
- Manejo de la data.
- Sincronización de medición y posicionamiento.

El estudio de estas etapas, y el análisis de las ventajas y limitaciones en cada una de ellas permitirá desarrollar un modelo teórico que será implementado eventualmente en el diseño del sistema de obtención del patrón de radiación.

2.1.2 Estado de la investigación

I. Técnicas de caracterización de altavoces

Existe una gran variedad de técnicas de caracterización de altavoces, para el objeto de estudio, la mayor parte de parámetros necesarios se encuentra en la respuesta en frecuencia. A continuación se presentaran las principales técnicas empleadas en la industria:

a. Respuesta impulsiva

Es la respuesta del sistema ante la excitación de una señal pulso de Dirac, este tipo de señal es conocida como Impulso. El impulso es una señal cuyo valor, en términos temporales, es cero para todo instante excepto en $t=0$, la integral de la función en el dominio del tiempo es igual a la unidad [23]. El empleo de esta técnica es una tarea común en la industria del audio y sirve como base de las tres principales técnicas de medición: MLS, TDS y Swept Sine [30].

A la respuesta impulsiva captada por el micrófono se le aplica un desplazamiento temporal con el propósito de compensar el tiempo de arribo desde el altavoz al micrófono, además se le aplica una ventana temporal para así aislar la respuesta buscada de las reverberaciones. Para mejorar la SNR, la respuesta final es obtenida a partir del promedio de la emisión de pulsos periódicos [24].

Entre las desventajas de este método se encuentran la baja inmunidad al ruido externo a altas frecuencias, la incapacidad de remover los componentes de distorsión

en la respuesta medida y la necesidad de mantener un bajo ruido de fondo para lograr resultados aceptables. En la figura 2.1 se puede ver la disposición básica para esta técnica.

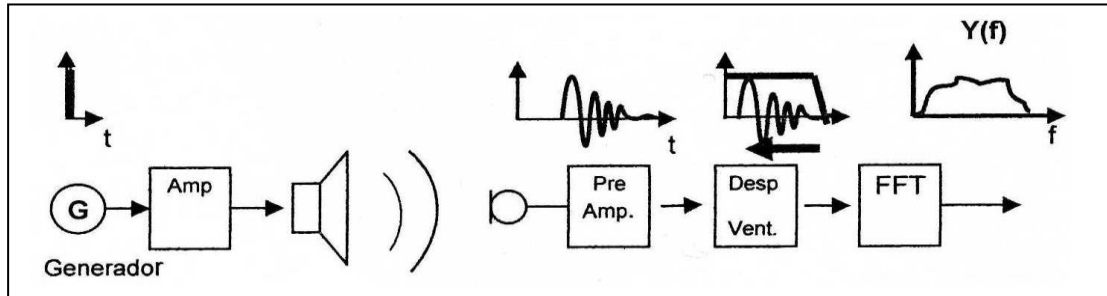
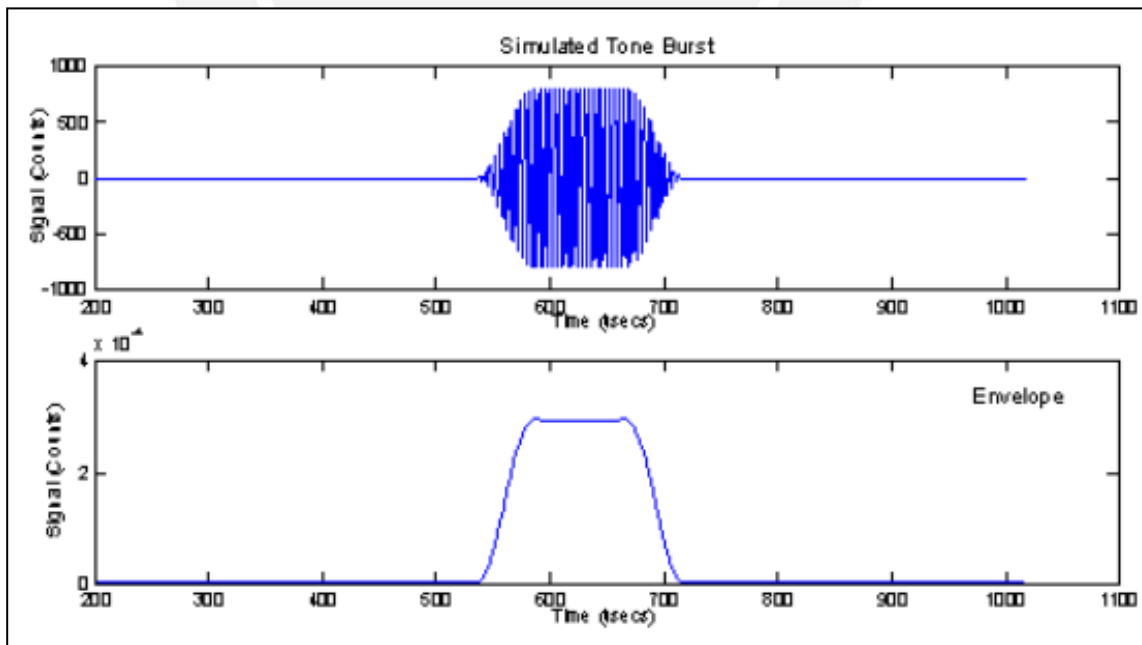


Fig. 2.1 Medición de la respuesta impulsiva. [14]

b. Señal Tone Burst

Consiste en tonos empaquetados de corta duración a una determinada frecuencia. Esta técnica es útil cuando se realizan mediciones a frecuencias específicas. En pocas palabras un Tone Burst es un tono enventanado que en el dominio de la frecuencia se comporta como una función impulsiva [26].



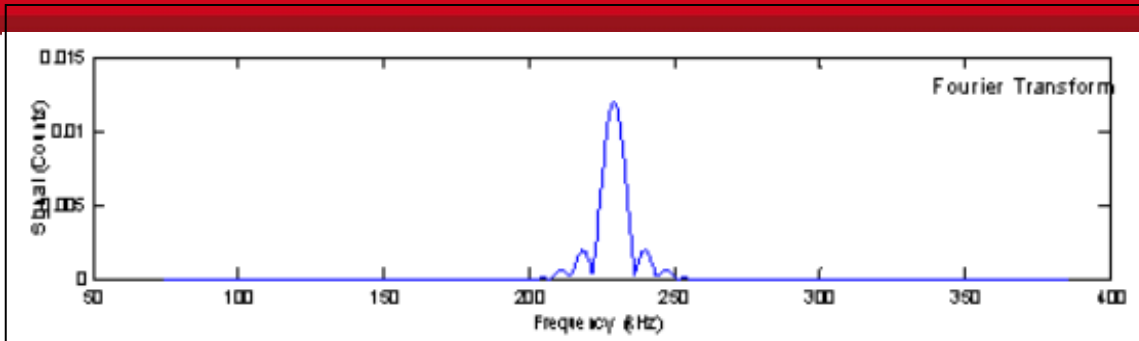


Fig. 2.2 Tone Burst en el tiempo, envolvente y en el dominio de la frecuencia

En la Figura 2.2 se puede apreciar una señal Tone Burst como una sinusoidal empaquetada en el tiempo. La respectiva señal en frecuencia viene dada como una señal impulso centrada a 230kHz que es la frecuencia del tone Burst enviado. Aquí podemos obtener la respuesta del sistema a la frecuencia de la señal enviada.

c. Sweep Tones (Barrido Sinusoidal)

Un Sweep tone es una sucesión de impulsos, de fases cambiadas, distribuidos en el tiempo; el resultado es una señal senoidal de frecuencia variable en el tiempo. Esta es una herramienta que combina las ventajas del envío de impulsos y señales tone Burst, es una señal fácilmente enventanada en el tiempo y además mantiene una alta SNR.

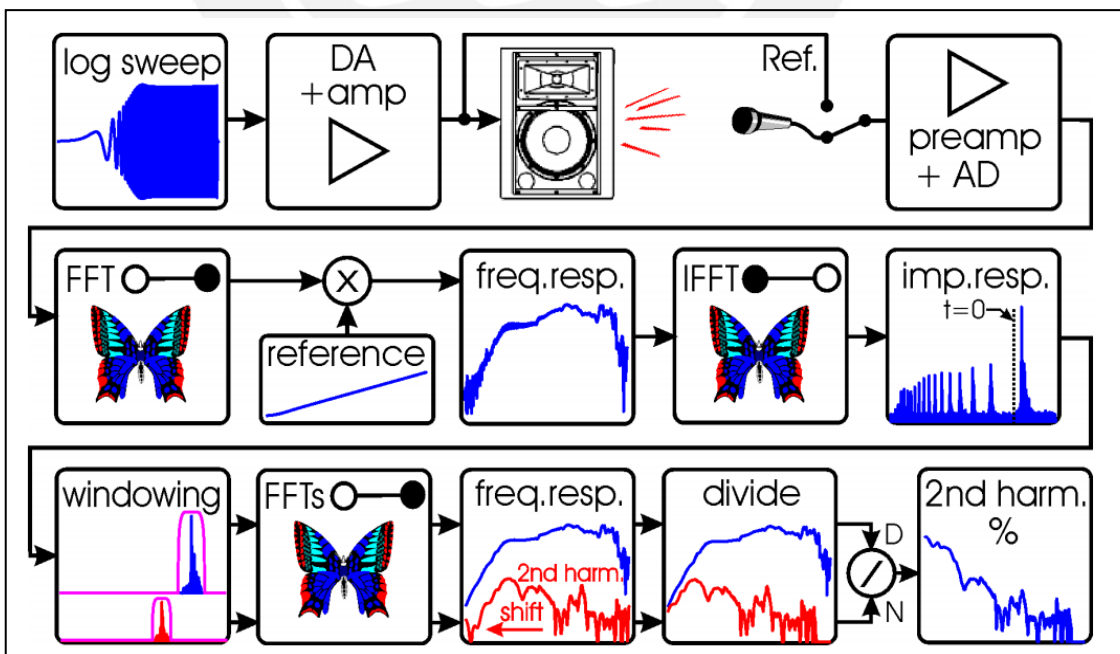


Fig. 2.3 Medición de 2do armónico y función de transferencia con Sweep Tone [29]

Una desventaja de este método es que, debido a la alta velocidad de la señal enviada, se presentan problemas en la SNR a bajas frecuencias por lo general entre los 20 y 100 Hz. Una solución será realizar barridos que incrementen la velocidad proporcional a la variación de frecuencia (Stepped Sine).

d. TDS: Time Delay Spectrometry

TDS, o en español Espectrometría de Retardo de Tiempo, es un método de medición de la respuesta en frecuencia de altavoces basado en barridos sinusoidales (Sweep tones), este método diseñado originalmente por Richard Heyser también es aplicable en mediciones acústicas de salas o cualquier sistema LTI en general.

[31] Ante la problemática de la medición en ambientes reverberantes, el método TDS propone la implementación de un filtro de banda angosta sintonizada a la frecuencia de la señal captada por el micrófono, que varíe a la misma tasa de cambio que el Sweep tone emitido. La frecuencia del pasabanda debe comenzar con un off-set que relaciona tanto la distancia entre emisor y receptor (X), así como la velocidad del sonido y en menor medida la temperatura del ambiente.

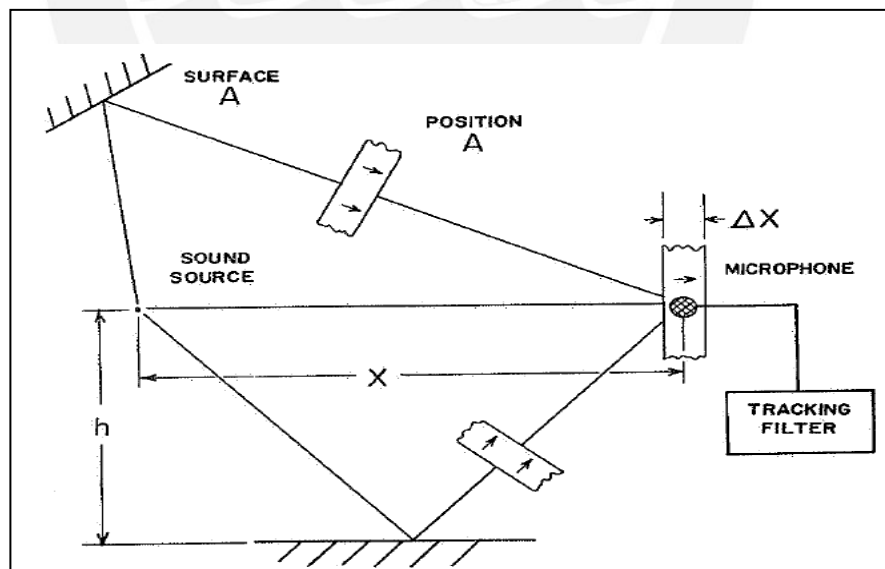


Fig. 2.4 Representación posicional de la onda de presión directa y reflejada [27]

Para asegurar una medición pseudo anecoica, incluso en ambientes reverberantes, la frecuencia de la Sweep emitida debe variar, por lo menos, el equivalente al ancho de banda del filtro sintonizado antes de que la primera reflexión

sea captada por el micrófono [32]. En la figura 2.5 se presenta el esquema de medición mediante TDS.

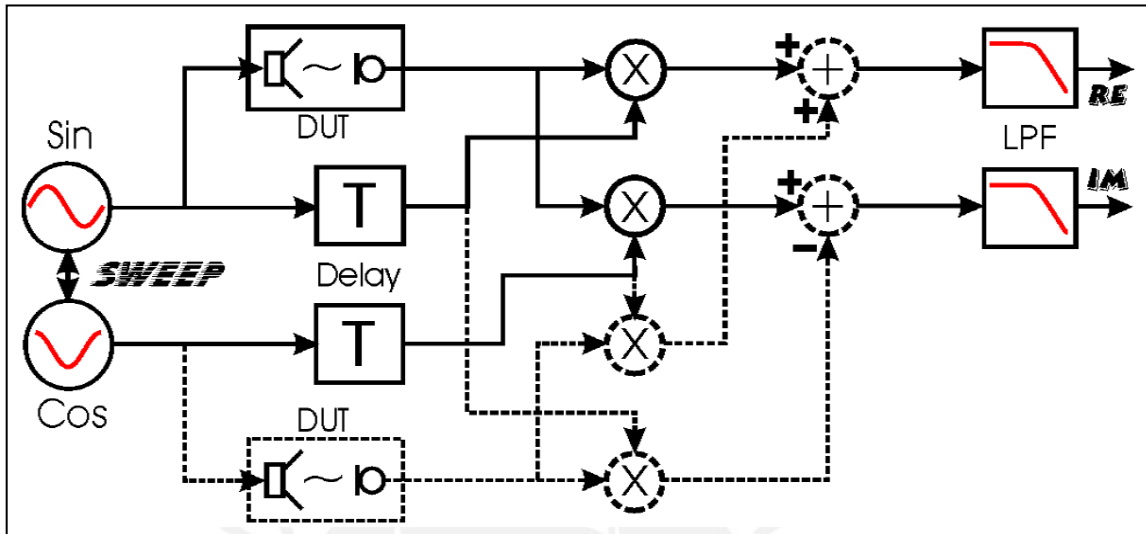


Fig. 2.5 Esquema de procesamiento de la señal mediante TDS [29]

f. **MLS: Maximum Length Sequence**

MLS, que en español es Secuencia de Máxima Longitud, fue originalmente propuesto por Manfred Schroeder en 1979 y consiste básicamente en una secuencia pseudo aleatoria de pulsos binarios digitales enviados según una secuencia MLS, la auto correlación de esta secuencia resulta en un Impulso Dirac. La Figura 2.6 presenta un esquema de generación de la secuencia de pulsos.

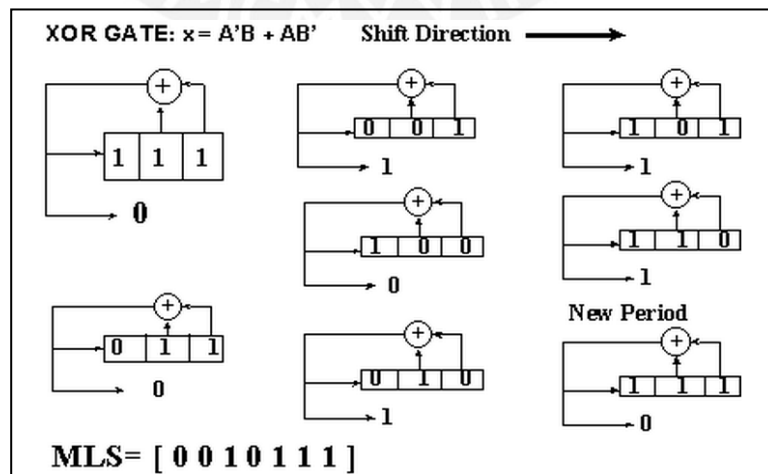


Fig. 2.6 Generación de secuencia de pulsos MLS

En la figura se presenta una secuencia de $L=7$, donde $L = 2^m - 1$ y m viene siendo el número de bits del registro de generación (orden de la secuencia), los valores 0 son reemplazados por (-1) para la secuencia de pulsos MLS. La respuesta impulsiva del sistema es calculada mediante la cros correlación de la entrada con la señal captada por el micrófono, para esto se utiliza la Transformada Rápida de Hadamard (FHT). Todos los elementos y señales que viajan con el frente de onda quedan reducidos pues no presentan correlación con la señal enviada [33].

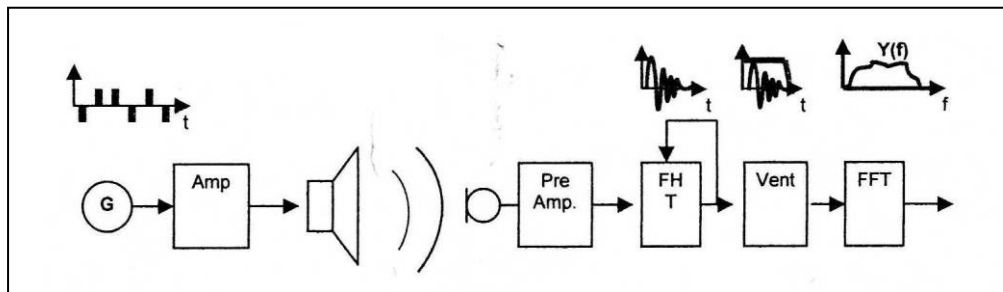


Fig. 2.7 Medición mediante MLS [14]

g. SSR: Steady State Response:

La respuesta en estado estable es un tipo de análisis que utiliza señales escalonadas sinusoidales para excitar el sistema y obtener respuesta de estado estable. La respuesta puede ser medida como una función de frecuencia de excitación o nivel de excitación, además la medición puede usar un algoritmo adaptativo o promediador lineal; dicho algoritmo asegura que la respuesta estado estable obtenida sea medida con una exactitud específica en el mínimo tiempo posible.

II. Entorno de medición.

a. Medición en campo libre

Esta técnica teóricamente se debe realizar en campo abierto, donde no existen superficies o entornos que produzcan rebotes y reverberaciones indeseadas. Como se puede ver en la figura 2.8, el micrófono y el altavoz se ubican a 1 metro de distancia y considerablemente alejados del suelo (15 metros aproximadamente) para evitar lo que se conoce como “efecto tierra”, es decir rebotes en el suelo a bajas frecuencias.

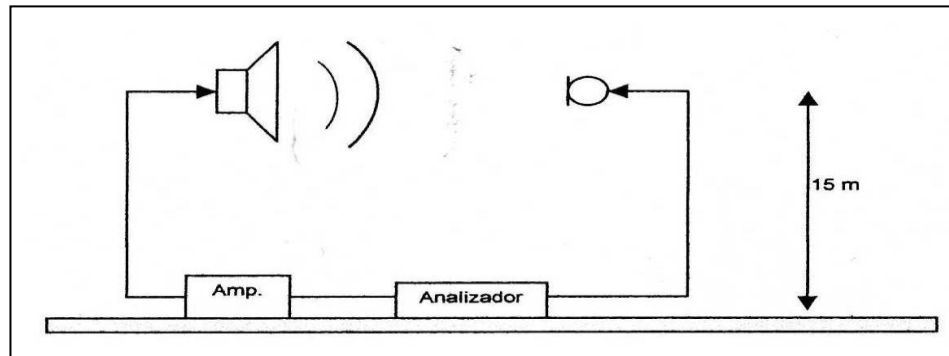


Fig 2.8 Medida en Campo Abierto [14]

b. Medición en cámara anecoica.

Este es un tipo de medición muy especial pues se realiza dentro de una cámara anecoica, cuyas superficies absorben vibraciones, reflexiones, y además crean un ambiente totalmente aislado acústicamente. La estructura y composición de la cámara determinan las bandas de frecuencias que es capaz de neutralizar reflexiones.

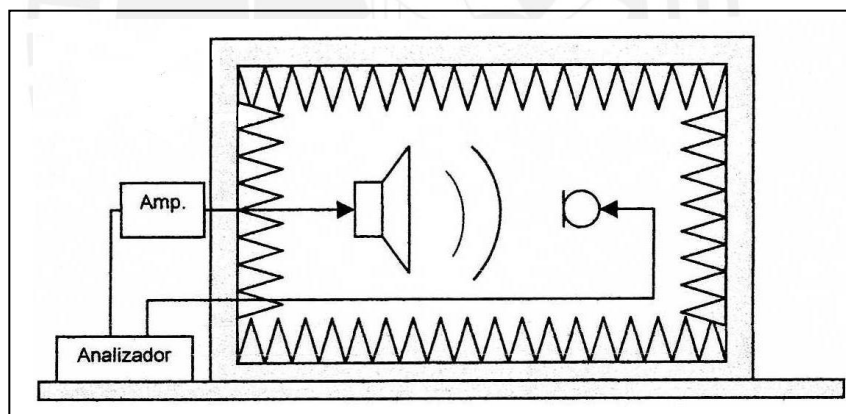


Fig. 2.9 Medición en cámara anecoica [14]

c. Medición en cuarto cerrado.

Las mediciones se realizan dentro de un recinto cerrado, donde las frecuencias de resonancia y reverberaciones vienen dadas por la estructura y dimensiones propias del ambiente.

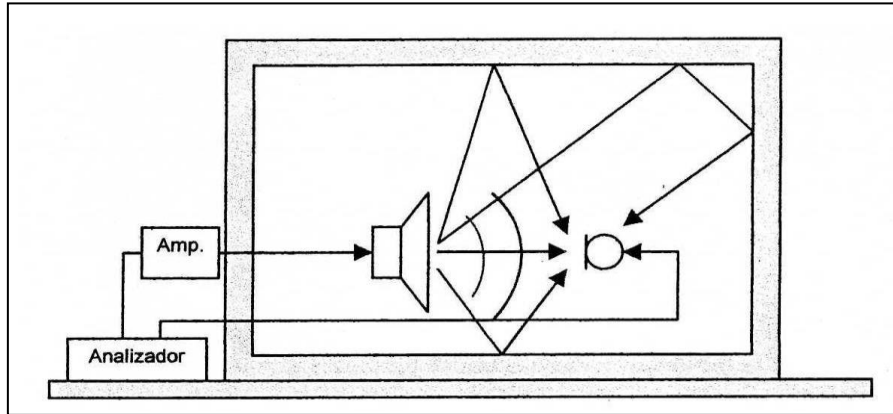


Fig. 2.10 Medición en cuarto cerrado [14]

III. Procesamiento y análisis

A continuación se realizará el estudio de las principales técnicas y herramientas usadas en la industria actualmente en la generación, procesamiento y análisis de las señales para la medición del patrón de radiación:

a. MATLAB

O en español Laboratorio de Matrices, es un lenguaje de computación técnico de alto nivel y de entorno interactivo para el desarrollo de algoritmos, visualización de data, análisis y computación numérica, es un software matemático que ofrece un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) con un lenguaje de programación de alto nivel propio basado en C. MATLAB puede ser usado en diversas aplicaciones tales como procesamiento de imágenes y señales, comunicaciones, sistemas de control, mediciones y pruebas, modelamiento financiero, entre otras cosas, gracias a su gran variedad de “toolboxes” especializados para diversas aplicaciones [35].

Entre sus principales características se encuentran:

- Lenguaje de alto nivel
- Desarrollo de entornos para manejo de código, archivos y data
- Herramientas interactivas
- Gráficas en 2D y 3D para visualizar la información.
- Herramientas para desarrollo de interfaces gráficas GUI (HMI)

- Compatibilidad con tecnologías de modelo objeto componente (COM)

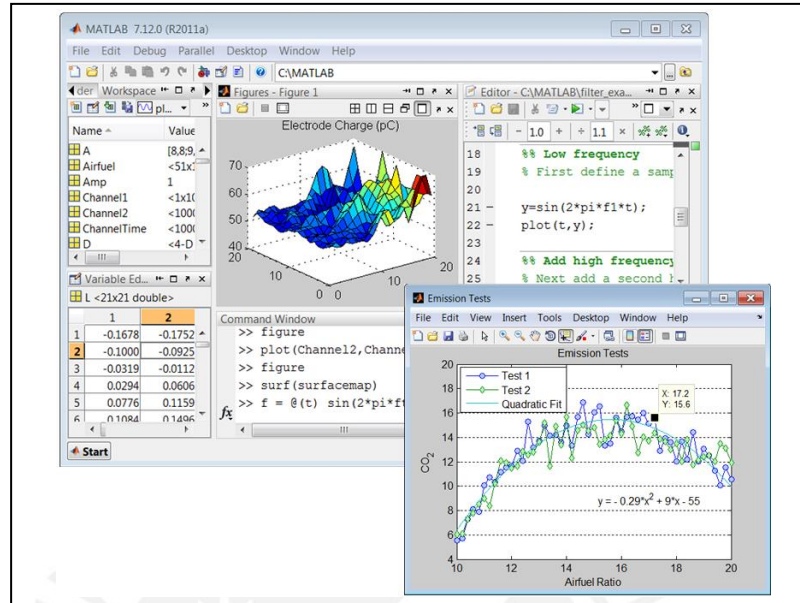


Fig. 2.11 Entorno grafico en MatLab de un patrón de radiación.

b. B&K PULSE

Es una plataforma de medición, desarrollada por la compañía B&K para el análisis de sonido y vibraciones orientada a tareas; que presenta una solución avanzada para el análisis de audio y vibración. Esta plataforma consiste de un hardware y un software, así como también de una interfase de red LAN y un hardware de adquisición de datos capaz de recibir más de 300 canales como entrada [37].



Fig. 2.12 Plataforma de adquisición de datos B&K PULSE

El análisis de señales y sistemas usando PULSE involucra:

- Adquisición de información en el tiempo
- Medición del ruido y vibración
- Acústica básica y avanzada
- Análisis estructural
- Pruebas electroacústicas

c. CLIO Measurement System

El sistema CLIO de la compañía AUDIOMATICA consta de una solución completa de hardware y software para la medición y procesamiento de la señal. El hardware interface es el FireWare Audio FW-01 que ha sido diseñado para ser un analizador de audio de doble canal, se conecta por interfaz IEEE-1394 con la PC para darle al usuario un alto rendimiento. Este sistema es una de las tecnologías más avanzadas en equipos de audio y mediciones acústicas. Entre sus características se encuentran:

- 2 Channel de 24bit sigma-delta. Conversor D/A
- Rango de frecuencia: 1Hz-90KHz
- Impedancia de salida: 660 Ohm
- Salida digital: SPDIF
- Compatible con el software de control CLIO 10



Fig. 2.13 Plataforma de adquisición de datos CLIO fw

IV. Técnicas de posicionamiento y medición angular

Esta es una de las secciones más importantes dentro del estudio del estado del arte, pues se analizarán los mecanismos y sistemas de posicionamiento de los parlantes con el propósito de medir la respuesta del mismo para cada posición espacial. A continuación se estudiara las principales técnicas actuales en este campo:

a. Tornamesa

Es la herramienta mecánica más utilizada en la industria y el procedimiento estandarizado para la medición polar de las características de altavoces, esta técnica permite realizar posicionamientos angulares con el propósito de medir la respuesta del altavoz en cada ángulo del plano bidimensional para eventualmente formar una respuesta esférica.

[21] La técnica consiste en sujetar el altavoz al tornamesa, lo más cercano al eje, de tal manera que pueda rotar en un plano bidimensional; luego un micrófono es ubicado, en el campo cercano o lejano (dependiendo del tipo de medición), de manera fija, en 0 grados con respecto al altavoz o algún punto referencial, para captar la respuesta durante su rotación. La información es normalizada y almacenada en una tabla frecuencia y ángulo vs. respuesta en magnitud. La figura 2.14 presenta un esquema del altavoz en un tornamesa para medición.

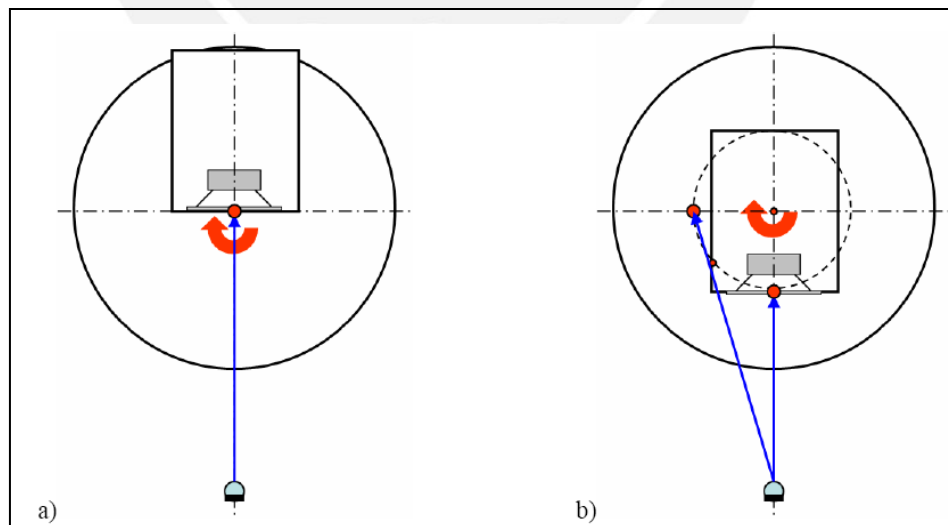


Fig. 2.14 Posicionamiento del altavoz en el tornamesa con diferentes referencias.

Entre los principales fabricantes y modelos de tornamesas actualmente usados en la industria se tiene el OUTLINE ET250-3D, LINEARX LT360 EX y el B&K TURNTABLE SYSTEM 9640



Fig. 2.15 Tornamesa OUTLINE ET250 y configuración 3D

b. Arreglo de micrófonos

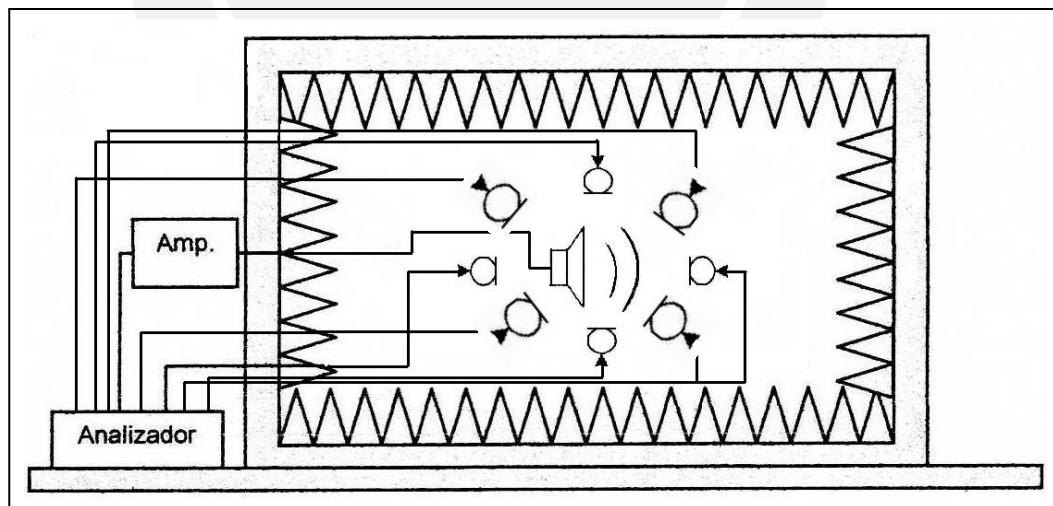


Fig. 2.16 Arreglo de micrófonos alrededor de un altavoz

Esta técnica consiste en desarrollar una arquitectura de micrófonos, posicionados alrededor de la fuente sonora, de tal manera que cada uno capte la respuesta del parlante para cada coordenada esférica (x,y,z) donde se encuentre ubicado dicho micrófono. [38] Mientras más micrófonos sean posicionados alrededor,

aumentara la resolución y por tanto la precisión de la respuesta polar graficada. El laboratorio NWAA implementó un sistema similar para la medición del altavoz. La figura 2.16 muestra un esquema básico de un arreglo de micrófonos.

Este método es bastante rápido a comparación del método del tornamesa, sin embargo presenta los siguientes limitantes:

- Se necesita un analizador con un gran número de entradas, para cada micrófono.
- Un gran número de micrófonos.
- Realizar la medición en cámara anecoica.
- Reconstrucción matemática de las posiciones no medidas por los micrófonos en base a la expansión Fourier Bessel.
- Precisión y distribución simétrica de cada micrófono con respecto a la fuente sonora y entre micrófonos.

2.5.2 Micrófono rotatorio

Este método poco común es el proceso inverso del método del tornamesa; es decir, se hace rotar un micrófono, alrededor de un parlante estático, en posiciones angulares concretas manteniendo una distancia uniforme para cada movimiento entre el parlante y el micrófono. En este caso no solo se debe monitorear los movimientos angulares, sino también que el micrófono describa una circunferencia perfecta teniendo como centro de la misma la fuente sonora. La figura 2.17 nos ilustra un esquema de cómo realizar este método.

El micrófono capta, en cada posición de la circunferencia, la respuesta del parlante con el propósito de graficar el patrón polar del mismo. Debido a que el micrófono describe un movimiento circular con radio diferente de cero (a diferencia del método del tornamesa), es posible incrementar la resolución de barrido angular a valores menores a 5° , lo cual aumenta la precisión de la gráfica polar; sin embargo, la técnica debe realizarse en cámara anecoica para evitar reverberaciones y oscilaciones mecánicas que pueden traer problemas, además, se requiere una mayor precisión debido a la relación $L=\theta*r$ que aumenta la sensibilidad de los pasos angulares

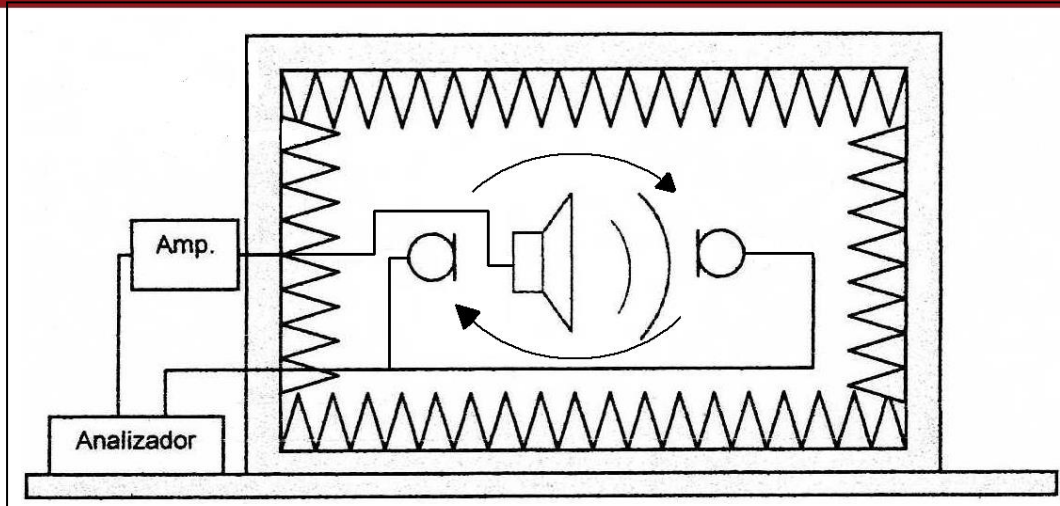


Fig. 2.17 Micrófono rotatorio alrededor de un parlante.

Un método desarrollado por la compañía OUTLINE para obtener la respuesta esférica del altavoz, combina el manejo de tornamesas y la técnica del micrófono rotatorio para de esa manera abarcar todas las coordenadas esféricas. La figura 2.18 presenta el esquema de medición usando un tornamesa para rotar el altavoz, y otro tornamesa adicional para orbitar un micrófono alrededor del altavoz.

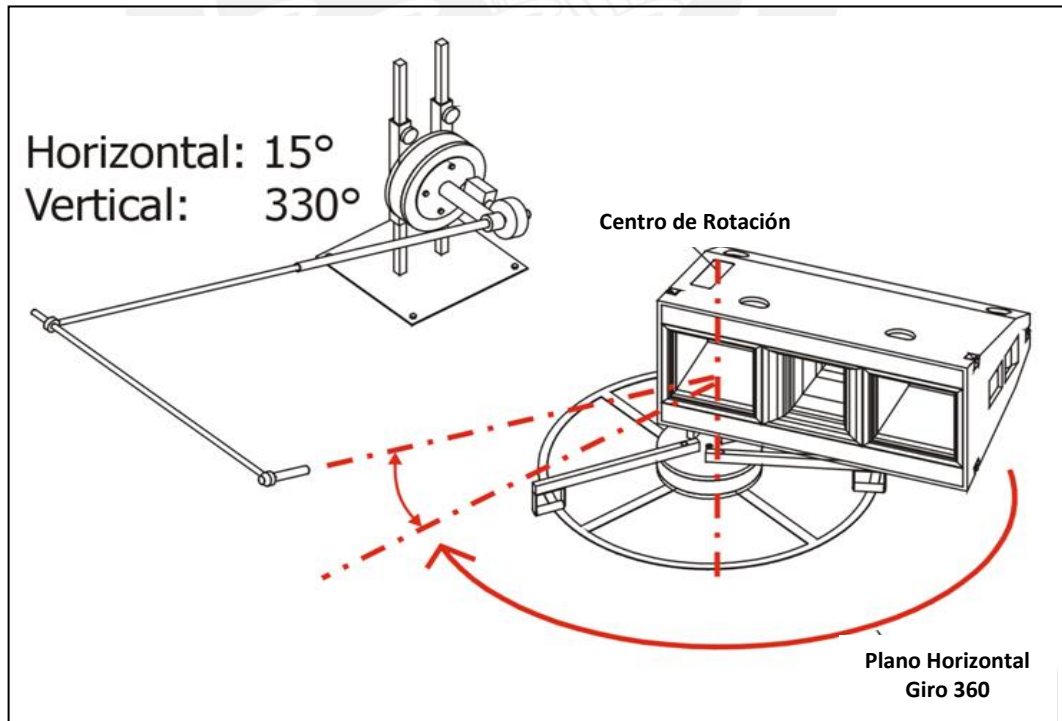


Fig. 2.18 Esquema de medición con dos tornamesas.

2.1.3 Síntesis sobre el asunto de estudio

Luego de realizar un estudio ordenado y metodológico de las diversas tecnologías involucradas en la obtención del patrón de radiación, se desprenden algunas conclusiones sobre el asunto de estudio que servirán de pautas en el planteamiento del modelo teórico. A continuación se detallan dichos conceptos:

- Se manejan técnicas que buscan recuperar la respuesta impulsiva del sistema altavoz y el comportamiento espectral de la señal medida.
- La correlación y la FFT son herramientas matemáticas muy importantes en el procesamiento de señales de audio.
- Existe una gran preocupación por el aislamiento de la señal medida de las reverberaciones del ambiente. La cámara anecoica es una solución viable.
- Las interfaces gráficas y de manejo de los equipos de medición están siendo cada vez más amigables, con mejores características y capacidades.
- Las plataformas de procesamiento y análisis deben manejar lenguajes computacionales de alto nivel con herramientas diseñadas para el procesamiento de señales, algoritmos matemáticos, adquisición de datos e interfaces gráficas.
- Los mecanismos y sistemas de posicionamiento angular están basados en tornamesa o arreglos de estos.
- Existe una serie de normas y consideraciones, al momento de realizar el posicionamiento angular, que involucran la geometría de los equipos, los pasos angulares e incluso la temperatura a la que se realiza la medición.

Como se puede apreciar, la industria del audio viene desarrollando más y mejores técnicas con el propósito de simplificar y mejorar la performance del proceso de obtención del patrón de radiación. A partir esta información obtenida se analizarán los pros y contras, y así proponer la mejor solución a la problemática, utilizando las técnicas y metodologías apropiadas.

2.2 Conceptos y definiciones generales

- **Altavoz**

Transductor electrónico por el cual las ondas acústicas son obtenidas a partir de las señales eléctricas de excitación, además de tener la capacidad de irradiar las ondas de presión sonora en el medio.

- **Punto de rotación (PR)**

Punto en el eje de referencia del altavoz que es usado como punto en común de todas las direcciones angulares de medición en el sistema de medición.

- **Eje de referencia (RA)**

Es la línea que pasa a través del PR en una dirección definida. El eje de referencia debe ser usado como el eje de referencia cero para mediciones de la respuesta polar

- **Eje de medición (MA)**

Es la línea imaginaria que pasa a través del PR y el micrófono de la medición. La dirección del eje viene dada por las coordenadas angulares Theta (θ) y Phi (Φ).

- **Plano de medición**

Plano definido por el Eje de referencia y el Eje de medición.

- **Theta (θ)**

Es el ángulo formado por el Eje de referencia y el Eje de medición sobre el Plano de medición e indica la posición angular actual sobre el Plano de medición.

- **Phi (Φ)**

Es el ángulo formado por el Plano de medición con respecto al Eje de referencia. Toma el valor 0 cuando el Plano de medición se encuentra en paralelo con la base horizontal del altavoz

- **Respuesta al impulso (IR)**

Es la respuesta lineal temporal del dispositivo bajo prueba ante un impulso unitario a la entrada del altavoz. En la práctica esta respuesta es obtenida de la data medida.

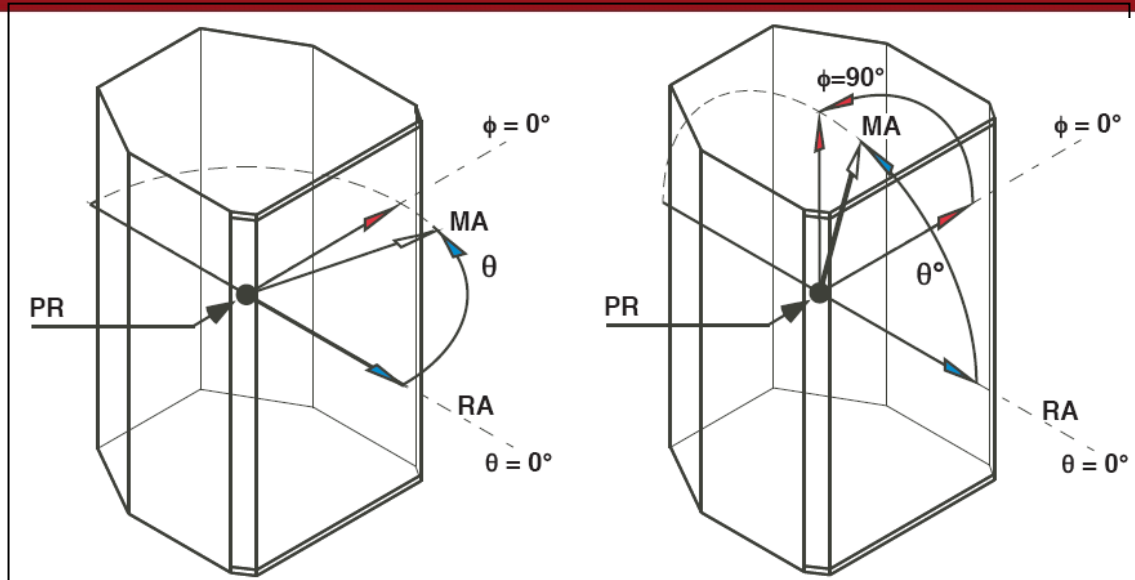


Fig. 2.19 Esquema de coordenadas angulares y ejes de trabajo [39].

2.3 Modelo Teórico

El desarrollo de un sistema prototipo, capaz de obtener el patrón de radiación convencional a partir de un posicionador automatizado supone una serie de conceptos y etapas que están ligados entre sí y que de fallar o ausentarse alguna de ellas, alteraría directamente el resultado de la medición. A continuación se explica en detalle.

Lo primero a tomar en cuenta para cualquier medición o ensayo acústico, es el ambiente de trabajo, el entorno que rodeará las partes involucradas en el procedimiento. Como se vio en el punto anterior lo ideal es ubicar un lugar amplio y acústicamente aislado y que además impida los rebotes internos o reverberaciones, es decir una Cámara Anecoica; con esto se reduce casi en su totalidad los factores ajenos a la medición (ruido). Esta clase de infraestructura es muy elaborada y costosa y por lo general solo se encuentra en los grandes centros de investigación a nivel mundial; sin embargo, es posible compensar las eventuales falencias arquitectónicas del ambiente utilizando técnicas de procesamiento de audio, filtros y aislamiento de ruido.

La señal captada por el micrófono, si no se mide con cámara anecoica, llega a su destino combinada con una serie de señales parásitas y ruidos que se introducen inevitablemente, en mayor o menor medida durante la medición. Para poder evitar o reducir dichos efectos se implementan técnicas que buscan obtener la respuesta

impulsiva del altavoz y con esto el comportamiento espectral del mismo, aislando así la información deseada de lo remanente. Una de las técnicas más eficientes es la TDS, la cual utiliza un filtro de ventana, desplazado temporalmente (Time Delay) y sintonizado con la frecuencia portadora del barrido sinusoidal emitido. Otro método efectivo y sencillo es la SSR, la cual se caracteriza por el envío de tonos escalonados o Stepped Sine, además de presentar un alto SNR. Luego de esta etapa de acondicionamiento se obtiene la respuesta en frecuencia empleando la FFT, para finalmente ser almacenada.

Para realizar el procesamiento de la señal y el análisis de audio, se utilizan sofisticados equipos que permiten implementar las técnicas antes mencionadas, de una manera sencilla y eficiente. Uno de los más poderosos procesadores es el PULSE de la compañía Brüel & Kjær, el cual permite implementar una gran variedad de generadores de señal, analizadores y visualizadores gráficos; además de manejar periféricos y equipos externos gracias a su arquitectura basada en organizadores, lo cual facilita el trabajo del usuario.

En lo que respecta al posicionamiento mecánico del altavoz se necesita un sistema que permita obtener la respuesta impulsiva del parlante para cada coordenada, alrededor de él mismo. Es por ello que se utilizan los tornamesas mecánicos, controlados electrónicamente, los cuales permiten la rotación del altavoz para un mapeo 2D, o en el mejor de los casos en 3D. Dicho sistema mecánico debe ser capaz de ubicarse en cualquier posición angular, alcanzando resoluciones de hasta 5 grados como mínimo y manteniendo una estabilidad dinámica de tal manera que reduzca, lo más posible, errores acumulados por posicionamiento angular.

Finalmente, con el propósito de poder automatizar todo el proceso de posicionamiento – medición – almacenamiento – ploteo del patrón de radiación, se implementa un algoritmo de control desarrollado en el entorno MATLAB el cual es capaz de sincronizar y automatizar el proceso, controlando tanto el Tornamesa como el analizador PULSE, esto se verá en detalle en el siguiente capítulo del documento.

2.4 Definiciones Operativas

Con el propósito de visualizar el progreso y el cumplimiento de los objetivos planteados, se presentan los siguientes indicadores cualitativos y cuantitativos:

2.4.1 Indicadores Cualitativos

- Resolución angular: Grado de precisión con la que se puede ubicar en una coordenada angular.
- Graficas del patrón de radiación: La resolución de las graficas polares obtenidas a partir de la medición del altavoz es un indicador cualitativo.
- Relación señal a ruido (SNR): Margen que existe entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe.
- Coherencia de la señal: Grado de similitud entre la señal enviada al parlante y la captada por el micrófono.

2.4.2 Indicadores Cuantitativos

- Tiempo de medición: Hace referencia al tiempo que toma el proceso de obtención del patrón de radiación usando el sistema automatizado.
- Presupuesto del proyecto: Indicador del monto a invertir para la implementación del sistema diseñado.
- Rendimiento del sistema: Es la eficiencia del sistema, en qué tanto por ciento se realizan las funciones para las que fue diseñado el sistema.
- Tiempo de desarrollo del proyecto: Este indicador resulta siendo un tanto relativo, sin embargo proporciona información acerca de la calidad del trabajo y del tiempo invertido en el proyecto.

CAPITULO 3:

DISEÑO DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE POSICIONAMIENTO AUTOMATIZADO

La automatización es el proceso por el cual se implementan sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias y/o equipos industriales sustituyendo a operadores humanos y controlar así la secuencia de las operaciones. El elemento principal en el proceso de automatización es el principio de la realimentación, lo cual permite dotar al sistema de la capacidad de autocorrección.

En el presente capítulo se aborda el diseño de la automatización del proceso de obtención del patrón de radiación de un parlante convencional mediante un software sincronizador y una interfaz GUI, ambas desarrolladas sobre el entorno MATLAB. Para el análisis de la información plateada se realiza un enfoque en base a las tres áreas principales en el proyecto: Electrónica, Mecánica y Programación, definiendo las técnicas y conceptos empleados según el análisis previo del capítulo 2.

3.1 Hipótesis

Luego de conocer la importancia del patrón de radiación y de realizar las investigaciones sobre los métodos y técnicas existentes para la obtención del mismo, se está en la capacidad de poder emitir una hipótesis de solución empleando las herramientas y conceptos aprendidos en el camino.

3.1.1 Hipótesis principal

Es posible diseñar un sistema automatizado que sea capaz de obtener las características polares de un parlante convencional, con el propósito de obtener el patrón de radiación bidimensional mediante el control y la sincronización de un tornamesa mecánico y un analizador de audio; optimizando así el proceso, mejorando la precisión, le eficiencia y reduciendo los tiempos de procesamiento.

3.1.2 Hipótesis secundarias

- ¿Es posible alcanzar una alta precisión empleando un posicionador angular bidimensional automatizado, basado en un servomotor?

- ¿Se puede mejorar la SNR de la señal medida, obteniendo la respuesta promedio a partir de una serie de impulsos emitidos?
- ¿El desarrollo de un sistema secuencial automatizado de posicionamiento y medición reducirá los tiempos de procesamiento y mejorará el performance?
- ¿La integración del proceso en un único sistema de posicionamiento/medición, minimizará las fuentes de error por intervención humana en la medición?
- ¿Se puede reducir el ruido y las reverberaciones del recinto en la respuesta impulsiva, aplicando desplazamientos temporales, enventanamientos y correlaciones de la señal captada?

3.2 Objetivos

3.2.1 Objetivo General

El presente trabajo tiene por objetivo obtener el patrón de radiación de un altavoz convencional mediante un sistema prototipo automatizado que realice barridos angulares; la respuesta en frecuencia del altavoz será obtenida para cada posición angular. A partir de la información almacenada se obtiene el valor en decibeles para una misma frecuencia en todos los ángulos medidos; estos valores graficados en coordenadas polares constituyen el patrón de radiación para una frecuencia determinada.

El diseño del sistema propuesto involucra el desarrollo de un prototipo de mecanismo de posicionamiento angular, además de una aplicación en MatLab capaz de sincronizar el posicionamiento y medición del sistema medido, además de procesar la información recopilada y presentar el patrón de radiación en una interfaz gráfica amigable.

3.2.2 Objetivos específicos

- Obtener el espectro en frecuencia del parlante para cada posición angular.
- Controlar el desplazamiento angular de un parlante en coordenadas polares concretas.
- Optimizar el proceso de medición y obtención del patrón de radiación empleando técnicas de robótica y automatización.

finalmente para la sincronización del sistema y HMI se utilizara el software MATLAB. La figura 3.2 muestra el esquema básico de este sistema prototipo.

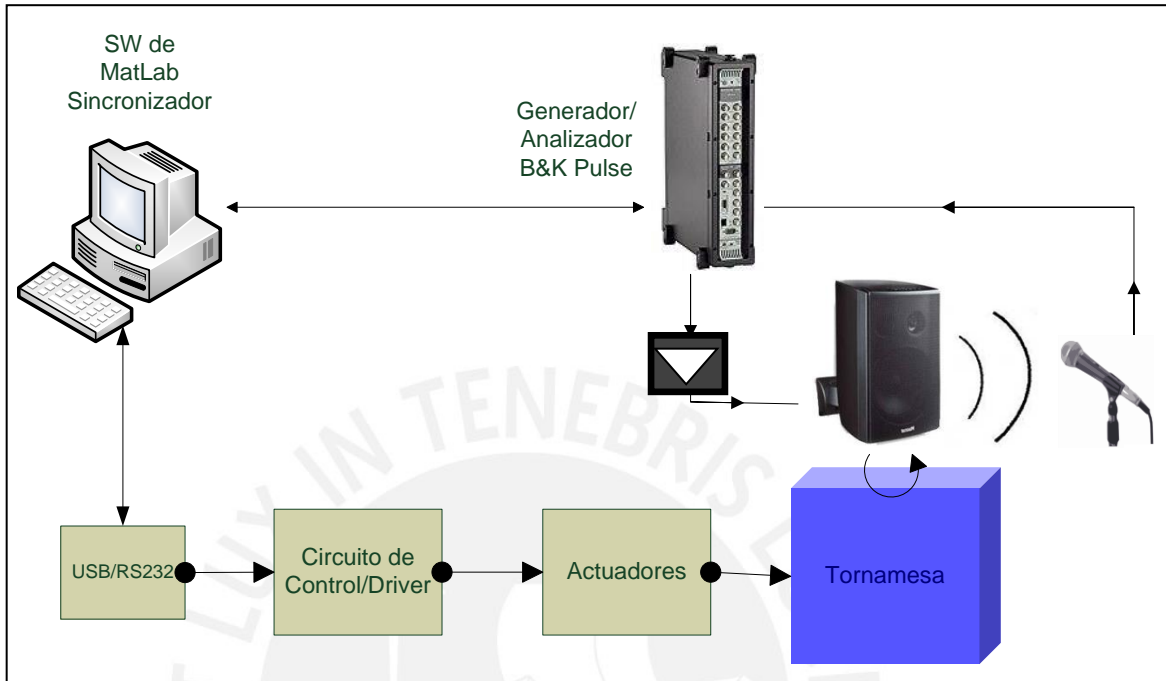


Fig. 3.2 Esquema básico de interconexiones del Sistema prototipo

Dicho sistema constara de:

- Un posicionador angular bidimensional tipo tornamesa, basado en un servomotor, capaz de ubicarse en coordenadas angulares concretas (θ) entre -90° a $+90^\circ$.
- Un circuito de control/driver, cuya función principal será la de conversar con el sincronizador principal y controlar el motor del posicionador según los requerimientos del sincronizador.
- Un sistema de generación y análisis de señal implementado en una plataforma B&K PULSE Type 3560 - C.
- Un software de sincronización desarrollado en entorno MATLAB cuya función es automatizar el proceso de medición del patrón de radiación, controlando el posicionamiento angular y, la generación y análisis de la señal medida por medio del PULSE.

- Una interfaz gráfica (HMI) desarrollada en entorno GUIDE MATLAB para la configuración de los parámetros de la medición y la presentación de la respuesta en frecuencia y el patrón de radiación a diferentes bandas de frecuencia.

3.4 Área Electrónica

Esta es el área del proyecto dedicada al desarrollo de los circuitos y dispositivos electrónicos encargados de la alimentación, comunicación, control y manejo del sistema prototipo mecánico. En esta sección se explicará el diseño de los circuitos, los componentes escogidos y los medios de comunicación empleados entre las etapas del sistema. A continuación se expone en detalle.

3.4.1 Fuente regulada de voltaje

Es un dispositivo electrónico de gran utilidad para cualquier aplicación electrónica la cual, como su nombre lo indica, entrega en sus bornes de salida un voltaje constante (DC) regulado independiente de las variaciones o fluctuaciones que pudieran aparecer, como por ejemplo armónicos en la red de alimentación o el ruido inducido por el arranque de motores. La importancia del diseño y manejo de este equipo electrónico radica justamente en el hecho de que la salida de voltaje permanece independiente ante cualquier perturbación externa, de esta manera se evitarán problemas de ruido inducido en las mediciones o malfuncionamiento de los circuitos integrados TTL debido a rizados de voltaje [41].

- Etapa de transformación

Esta es la etapa en la que se emplea un transformador para reducir el voltaje de la red eléctrica general (220VAC) a un voltaje más trabajable (16VAC). La ventaja del uso de un transformador es que el circuito queda aislado físicamente de la red eléctrica externa, es decir solo existe una conexión magnética a diferencia de un autotransformador. En este caso se usará un transformador 220/16 VAC.

- 1º Etapa de protección (A)

En la primera etapa de protección de la fuente se utilizara una Bobina de choque la cual se encarga de proteger los equipos electrónicos de las sobretensiones debido a que estos equipos son susceptibles a las perturbaciones en alta frecuencia. Las bobinas de choque ofrecen una baja impedancia (casi cero) en bajas frecuencias y una alta impedancia ($X_L=2\pi fL$) ante impulsos de alta frecuencia que pueden circular en la red eléctrica. En el presente diseño están representados con L1 y L6.

- Etapa de rectificación (B)

Para el presente trabajo se usará el modelo de Rectificador Puente de Onda Completa, esto debido a que se trabajará con control de carga y motores, lo cual eventualmente puede exigir sobre impulsos de corriente (en el arranque o ha rotor bloqueado) los cuales no deben filtrarse a la red eléctrica ni introducir ruido en el sistema [41]. En el diseño se usa un puente formado por diodos 1N5400.

- Etapa de rizado (C)

En esta etapa se diseñan los componentes que se encargan de reducir el rizado y entregar la potencia deseada a la carga de salida (RL). Este circuito está compuesto básicamente por una resistencia R_s y un condensador en paralelo que cuya acción de carga y descarga suavizan el rizado producto de la rectificación en la etapa anterior [41]. Los niveles de rizado y cálculo de componentes se realizan con el siguiente cálculo. Usando las tablas 8-3 y 8-5 del anexo se calcula $R_s = 0.5 \text{ ohms}$ y $C = 3481,5 \text{ uF}$ (Aprox.)

- 2º Etapa de protección (D)

Luego de que la señal ha sido transformada, filtrada, rectificada y con el rizado reducido, la señal está lista para alimentar la electrónica; sin embargo, debido a que se usan motores que pueden trabajar con carga o rotor bloqueado existe la posibilidad de que este induzca sobre-impulsos en el sistema. Es por tal motivo que esta etapa se encarga de proteger el sistema de alimentación usando un Diodo Schottky VISHAY 1N5711 que impide el flujo de corriente en sentido opuesto.

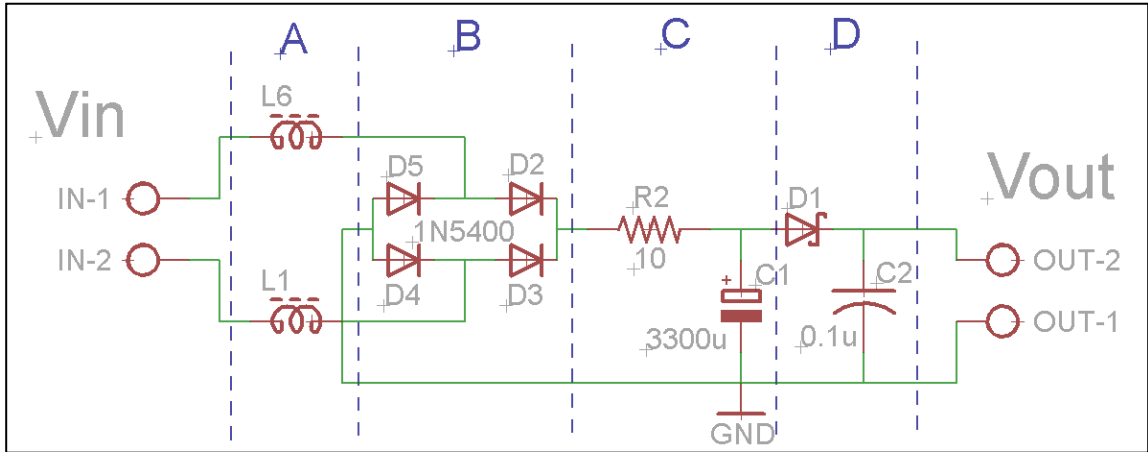


Fig. 3.3 Diagrama esquemático de la Fuente de Alimentación

3.4.2 Etapa de acondicionamiento USB - RS232 – TTL

El acondicionamiento de las señales de información es una tarea fundamental en el proceso de la comunicación. Es el proceso encargado de establecer los lineamientos o Protocolos que regirán la comunicación entre dos o más equipos, de tal manera que estos puedan intercambiar data, señales de control o simplemente “conversar” basándose en el mismo “lenguaje” o protocolo de comunicación. En el presente diseño se utilizarán dos etapas de acondicionamiento para poder lograr la comunicación entre el sincronizador en MATLAB y el microcontrolador ATmega8 el cual tendrá cargado el controlador digital del sistema.

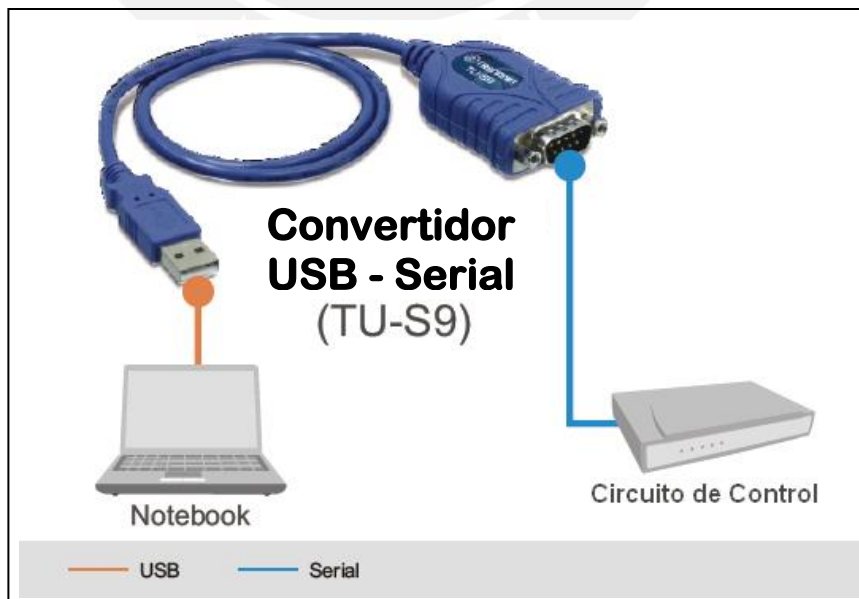
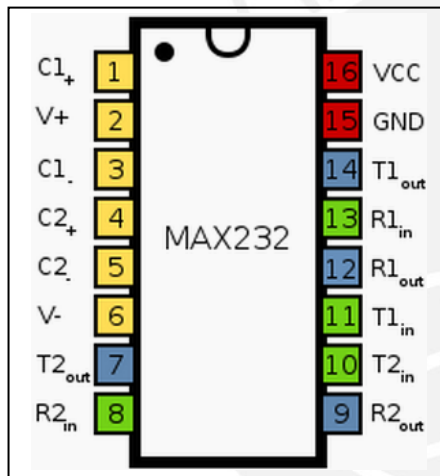


Fig. 3.4 Esquema de conexión USB-RS232

La primera etapa es el acondicionamiento USB - RS232 la cual permite la comunicación entre el puerto USB del computador y la tarjeta electrónica del controlador digital, para lograr dicha comunicación se utiliza un cable TRENDnet USB Serial Converter TU-S9. A continuación se presenta el esquema de conexión:

Para la segunda etapa de acondicionamiento se utiliza el circuito integrado MAX232 el cual tiene la función de convertir las señales recibidas por el puerto serial RS-232 a señales compatibles con los niveles TTL de los circuitos lógicos como el ATmega8. El MAX232 sirve como interfaz de transmisión y recepción para las señales RX, TX, CTS y RTS; posee salidas para manejar niveles de voltaje del RS-232 (aprox. $\pm 7.5 V$) que las produce a partir de un voltaje de alimentación de + 5 V utilizando multiplicadores de voltaje internamente en el MAX232 con la adición de condensadores externos.



MAX232 Pin Nbr.	MAX232 Pin Name	Signal	Voltage	DB9 Pin
7	T2out	RTS	RS-232	8
8	R2in	CTS	RS-232	7
9	R2out	CTS	TTL	n/a
10	T2in	RTS	TTL	n/a
11	T1in	TX	TTL	n/a
12	R1out	RX	TTL	n/a
13	R1in	TX	RS-232	3
14	T1out	RX	RS-232	2
15	GND	GND	0	5

Fig. 3.5 MAX232

Tabla 3.1 Conexión MAX232-RS232 DB9

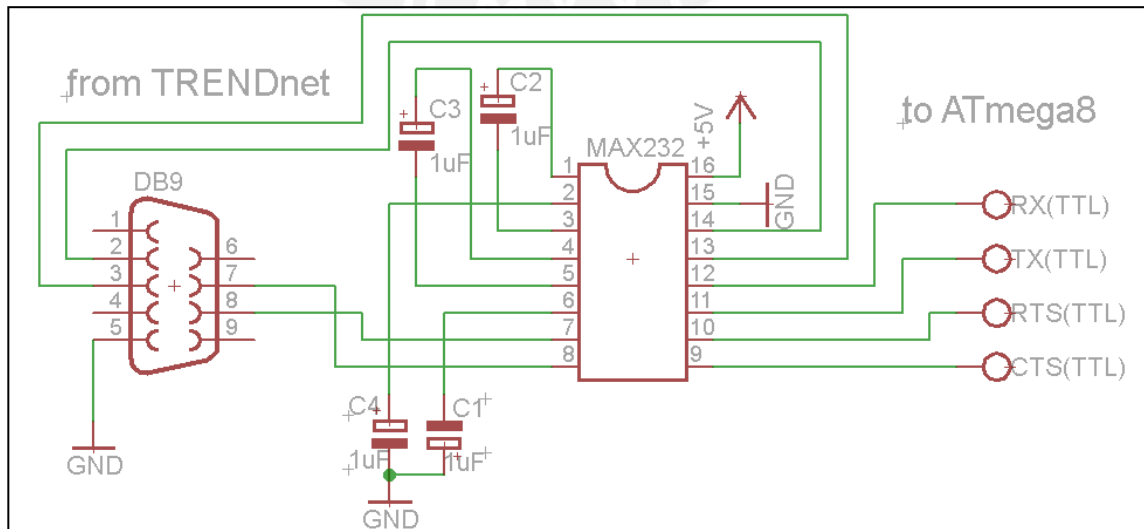


Fig. 3.6 Diagrama esquemático de circuito MAX232

Las entradas de recepción de RS-232 (las cuales pueden llegar a ± 25 V), se convierten al nivel estándar de 5 V de la lógica TTL. Estos receptores tienen un umbral típico de 1.3 V, y una histéresis de 0.5 V [42]. La figura 3.5 presenta un esquema los pines del MAX232 para las conexiones RX/TX y el protocolo Handshaking según el cableado presentado en la tabla 3.1

3.4.3 Etapa de controlador digital

Esta es la etapa principal de la electrónica del proyecto pues es el circuito que alberga el controlador digital implementado en un microcontrolador ATmega8. Este etapa es un circuito de control “On-Off” de lazo abierto que se encarga del control del servomotor para el posicionamiento angular; el algoritmo de control será visto en detalle en el análisis del área de programación.

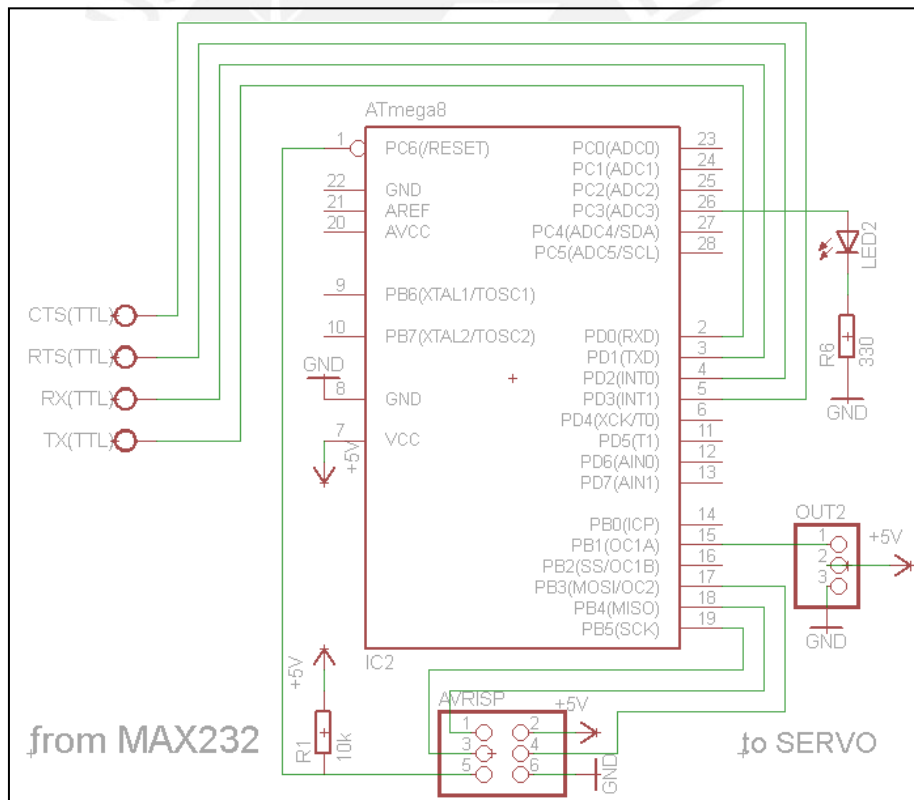


Fig. 3.7 Diagrama esquemático de circuito ATmega8

En la figura 3.7 se muestra el circuito en detalle donde se presenta el ATmega8 el cual realiza las funciones de establecer la comunicación RS232 a través de los pines RXD y TXD (PD0 y PD1), alimentar un LED de encendido asegurando la máxima

intensidad luminosa (12mA) mediante una resistencia de 330 ohm en serie y enviar la señal PWM para el control del SERVOMOTOR por el pin generador de onda OC1A (PB1). Adicionalmente el pin de Reset se encuentra deshabilitado mediante un circuito “pull-up”.

3.5 Área Mecánica

En esta etapa del proyecto se explica el diseño y selección de los equipos y materiales involucrados en el desarrollo del prototipo de posicionador angular tipo tornamesa teniendo como pieza principal el actuador. Para el presente trabajo se utiliza un Servomotor analógico el cual, ayudado por acoples y soportes mecánicos, es el encargado de realizar el posicionamiento angular del parlante para la medición del patrón de radiación. A continuación se presenta en detalle:

3.5.1 Servomotor y Acople Mecánico.

Un Servo es un dispositivo mecánico-electrónico que tiene un eje de rendimiento controlado que puede ser llevado a posiciones angulares específicas dentro de su rango de acción al enviar una señal codificada (PWM), la susceptibilidad ante variaciones de PWM viene dada gracias a su sistema realimentado interno. La figura 3.8 presenta un esquema de funcionamiento interno del servomotor.

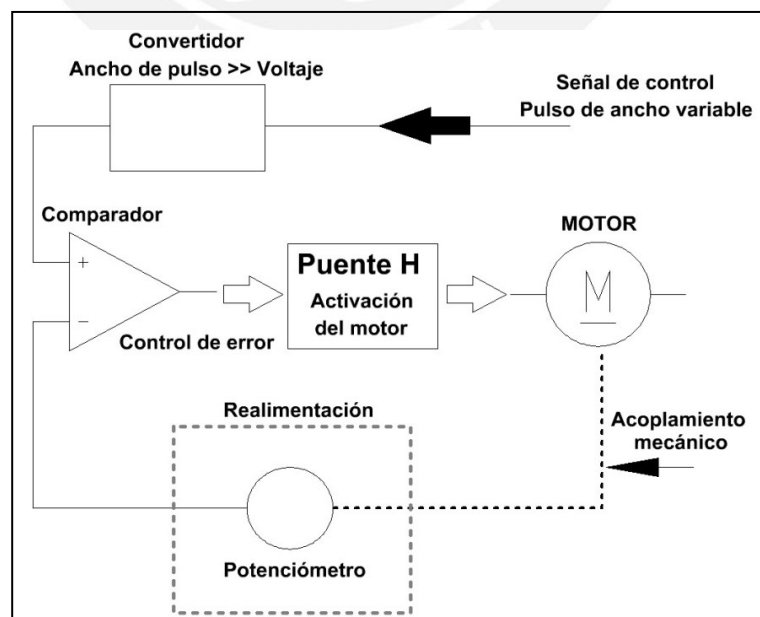


Fig. 3.8 Diagrama de bloques funcionamiento interno servomotor

Un servomotor normalmente está conformado por un motor DC, una caja reductora de engranes, para convertir la velocidad del motor en torque y un circuito de control para la posición angular. La figura 3.9 ilustra mejor las partes del servo.

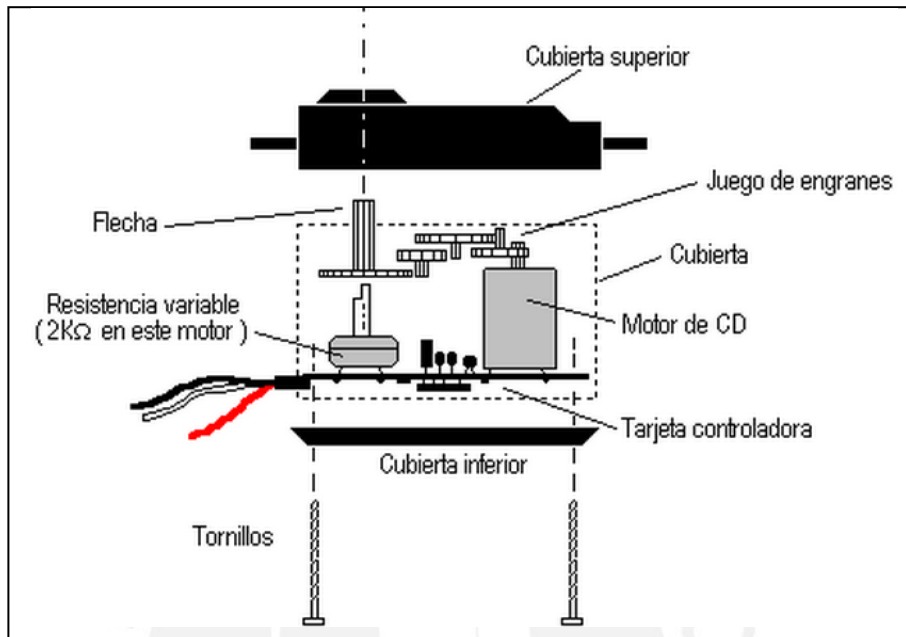


Fig. 3.9 Estructura mecánica del servomotor

Un servo normalmente posee un torque de 3kg/cm. lo cual es bastante fuerte para su tamaño además de potencia proporcional para cargas mecánicas. Un servo, por consiguiente, no consume mucha energía. Para el presente proyecto de tesis se utiliza el servomotor Tower Pro SG-5010 cuyas características se presentan a continuación.

Basic Information	
Modulation:	Analog
Torque:	4.8V: 111.1 oz-in (8.00 kg-cm) 6.0V: 152.8 oz-in (11.00 kg-cm)
Speed:	4.8V: 0.17 sec/60° 6.0V: 0.14 sec/60°
Weight:	1.34 oz (38.0 g)
Dimensions:	Length: 1.58 in (40.1 mm) Width: 0.80 in (20.3 mm) Height: 1.70 in (43.2 mm)
Motor Type:	3-pole
Gear Type:	Plastic
Rotation/Support:	Dual Bearings




Fig. 3.10 Tabla datos técnicos del TowerPro SG-5010

3.5.2 Rueda angular de precisión (Goneómetro).

Este aditamento mecánico es un círculo graduado en de medición que va acoplado al chasis del servomotor y tiene la función importante de indicar la posición angular en la que se encuentra la plataforma giratoria del posicionador, es decir la rueda angular permite medir el valor de Theta (θ). Complementario a esto se ha acondicionado en el eje del motor una aguja como una manecilla, de tal manera que va apuntando sobre la rueda el ángulo en el que se encuentra el parlante y por lo tanto el valor de theta (θ); y además una plataforma sobre la que se ubica el parlante para la medición. La figura 3.11 muestra la rueda angular de precisión.

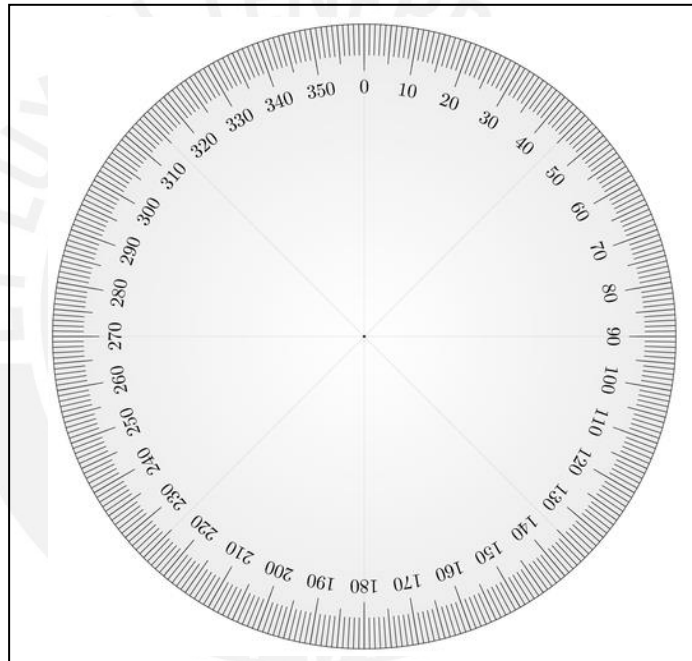


Fig. 3.11 Rueda Angular de Precisión

3.5.3 Prototipo de Posicionador Mecánico.

Es el diseño del sistema mecánico que alberga al actuador y que será encargado de posicionar el parlante en pasos angulares de 5° según el estándar de medición polar de la AES [39]. Este posicionador está conformado básicamente por el motor, el acople del rotor, el disco angular, la plataforma de giro y las ruedas de apoyo. En la figura 3.12 se puede observar un diagrama del posicionador automatizado.

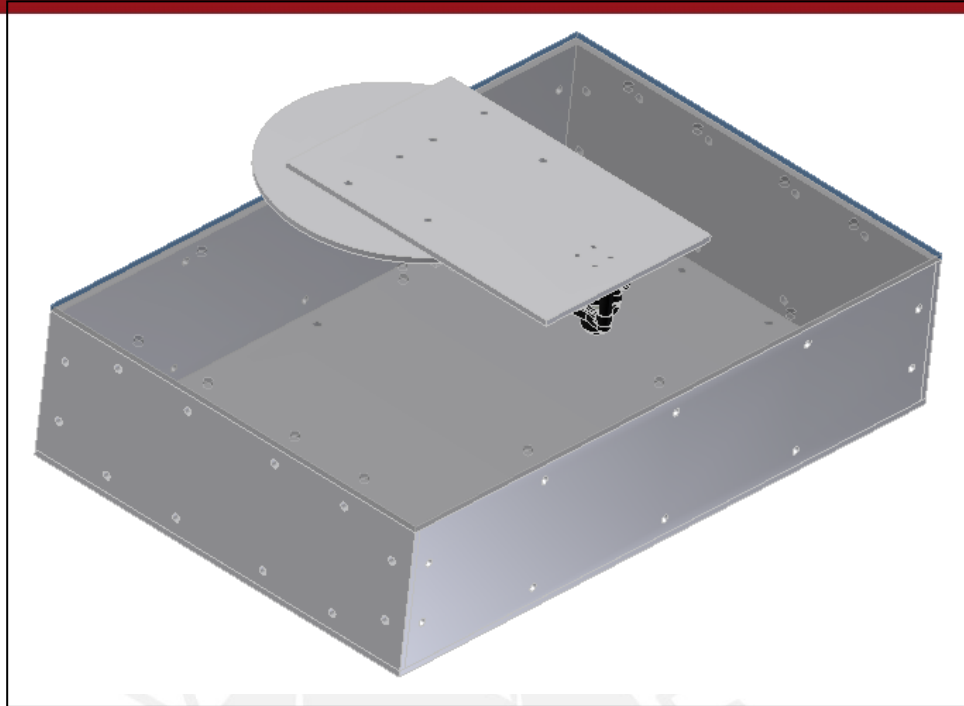


Fig. 3.12 Estructura básica del Posicionador

3.6 Área de Programación

La programación es la parte pensante de todo proyecto y que permite implementar la lógica que gobierna tanto la parte mecánica como electrónica, esta lógica se puede implementar en diferentes lenguajes, de alto o bajo nivel, y en diversas plataformas o entornos de programación dependiendo de la aplicación y periféricos que se deseen manejar. Para el presente trabajo de tesis se realiza programación de bajo nivel assembler para el ATmega8, de alto nivel para el sincronizador de MATLAB y lenguaje gráfico LabShop para la programación del analizador PULSE. A continuación se explica en detalle las diversas lógicas y algoritmos implementados.

3.6.1 Controlador digital (ATmega8)

Se trata de un algoritmo de control implementado en lenguaje ensamblador para el microcontrolador ATmega8. La lógica del controlador está basada en un sistema "On/Off" de lazo abierto el cual se encarga de generar una onda PWM y variar el Duty Cycle para controlar la posición de un servomotor, esto lo realiza según lo indique el sincronizador a través del dato enviado desde el computador de forma serial.

La modulación por ancho de pulsos, también conocida como PWM, de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo (Duty Cycle) de una señal periódica, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga. El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho positivo de la onda en relación con el periodo completo de la señal. Este es el sistema más usado para el control de servos y puede ser eficientemente generado por el microcontrolador.

El control de la posición angular del servomotor se realiza mediante una PWM, tal que la duración del pulso positivo es proporcional al ángulo de giro del motor. Cada servo tiene sus márgenes de operación que se corresponden con el ancho del pulso máximo y mínimo que el servo entiende. Los valores más generales se corresponden con pulsos de entre 1 ms y 2 ms de anchura, que dejan al motor en ambos extremos (0° y 180°). El valor 1.5 ms indicaría la posición central o neutra (90°), mientras que otros valores del pulso lo dejan en posiciones intermedias. El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos constructivos. La figura 3.13 ilustra mejor el tema.

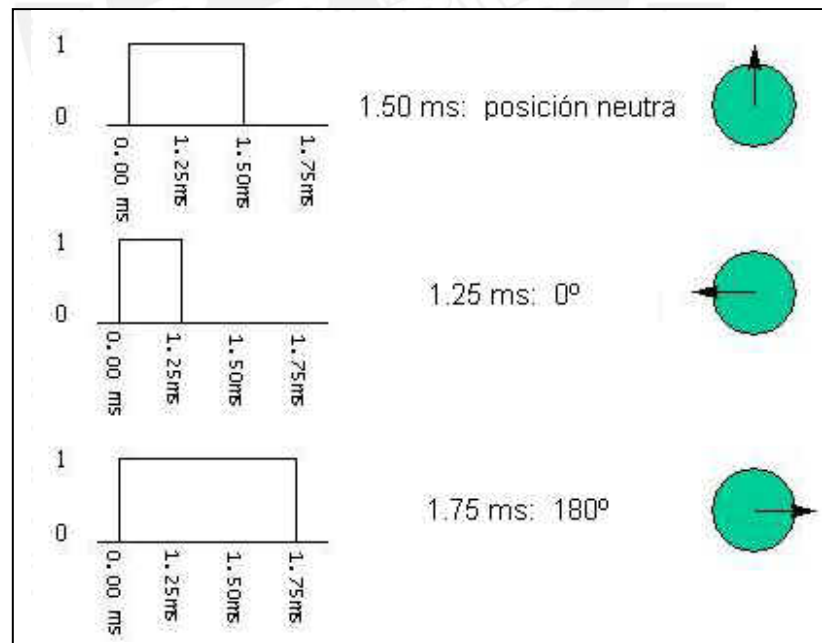


Fig. 3.13 Ejemplo de pulso de control de servomotor

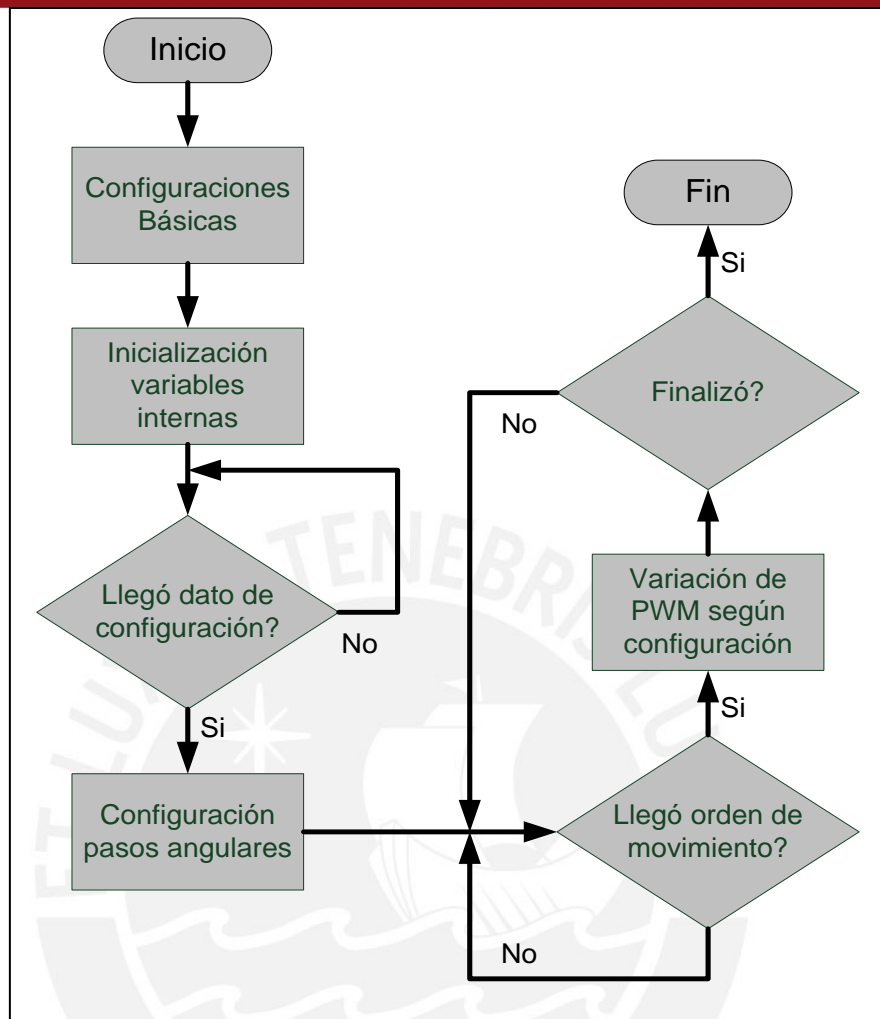


Fig. 3.14 Diagrama de Flujo del controlador digital

A continuación se explica paso a paso el algoritmo de control implementado:

- Configuración de la pila para almacenamientos en RAM
- Configuración del timer:
 - Modo PWM: Frecuencia de oscilación de 20kHz
 - Duty Cycle: 3.5%
 - Sin pre escalamiento interno: Frec. Micro Controlador = 1MHz
- Configuración de la comunicación serial USART del ATmega8
 - Tasa de transmisión: 9600 baudios
 - Velocidad normal asíncrona.
 - Habilitamos mecanismo de interrupción por recepción serial completa.
 - Tramas de 8 bits, sin paridad y 1 bit de parada.

- Inicialización de variables internas
- Se espera un dato desde el sincronizador que indique la resolución angular que tendrá la presente medición del patrón de radiación, es decir si es de 5°, 10°, 15° o 20°.
- Una vez realizada la configuración de los pasos angulares, el programa secuencial entra en un bucle en el que el microcontrolador varia el Dutty Cycle de la onda enviada para mover al servo, esto lo realiza cada vez que reciba un dato via serial desde el sincronizador. Este procedimiento se repite tantas veces como lo indique la variable 'Movimientos' y así completar 180 °.
- Finalmente se deshabilitan las comunicaciones y termina el proceso.

3.6.2 Programación B&K PULSE

Esta sección explica el algoritmo implementado en la plataforma PULSE 3560, de la compañía Brüel & Kjær, que hace posible la medición acústica del sistema mediante la generación de la señal de excitación, la captura de la respuesta del parlante ante dicha señal y el procesamiento de la información, obteniendo así el comportamiento espectral del altavoz. Antes de entrar en detalle a la programación implementada, se explicará la arquitectura y funcionamiento del PULSE y el entorno de programación LabShop.

Como se revisó en el capítulo 2, PULSE es una plataforma de medición desarrollada por la compañía B&K para el análisis del sonido y vibraciones orientada a tareas. Esta plataforma consiste de un software PULSE LabShop, una computadora con interfase de red LAN para la comunicación externa y un hardware de adquisición de datos, basado en IDA, capaz de recibir más de 300 canales como entrada. Entre las principales características se encuentran [37]:

- 4 canales de entrada analógica y 2 canales de salida de 25.6 KHz
- Frecuencia de muestreo de 65536 Hz.
- Entradas con ADC de 16 bits y salidas con ADC de 24 bits.
- Filtros anti-aliasing.
- Ancho de banda total desde 1mHz hasta 25.6 KHz
- Rangos de voltaje de E/S entre 7.071 mV - 7.071 V

El software encargado del control de la plataforma de adquisición de datos PULSE es el LabShop; es sobre este sistema que se configuran los generadores, analizadores, equipos periféricos y visualizadores gráficos que se utilizarán.

Para la presente tesis se implementará una medición basada en la respuesta impulsiva del sistema: se envía un tren de 10 impulsos y se obtiene la respuesta promedio (average), a dicha respuesta se le aplica un Delay temporal para compensar el tiempo de arribo del frente de onda al micrófono, luego es enventanada para aislar la respuesta impulsiva deseada de las reflexiones del recinto que se introducen en la medición; finalmente se realiza una correlación entre la señal medida y la señal original enviada desde el generador y obtenemos así el H1 ó función de transferencia del sistema altavoz, dicha función de transferencia espectral es la que nos interesa.

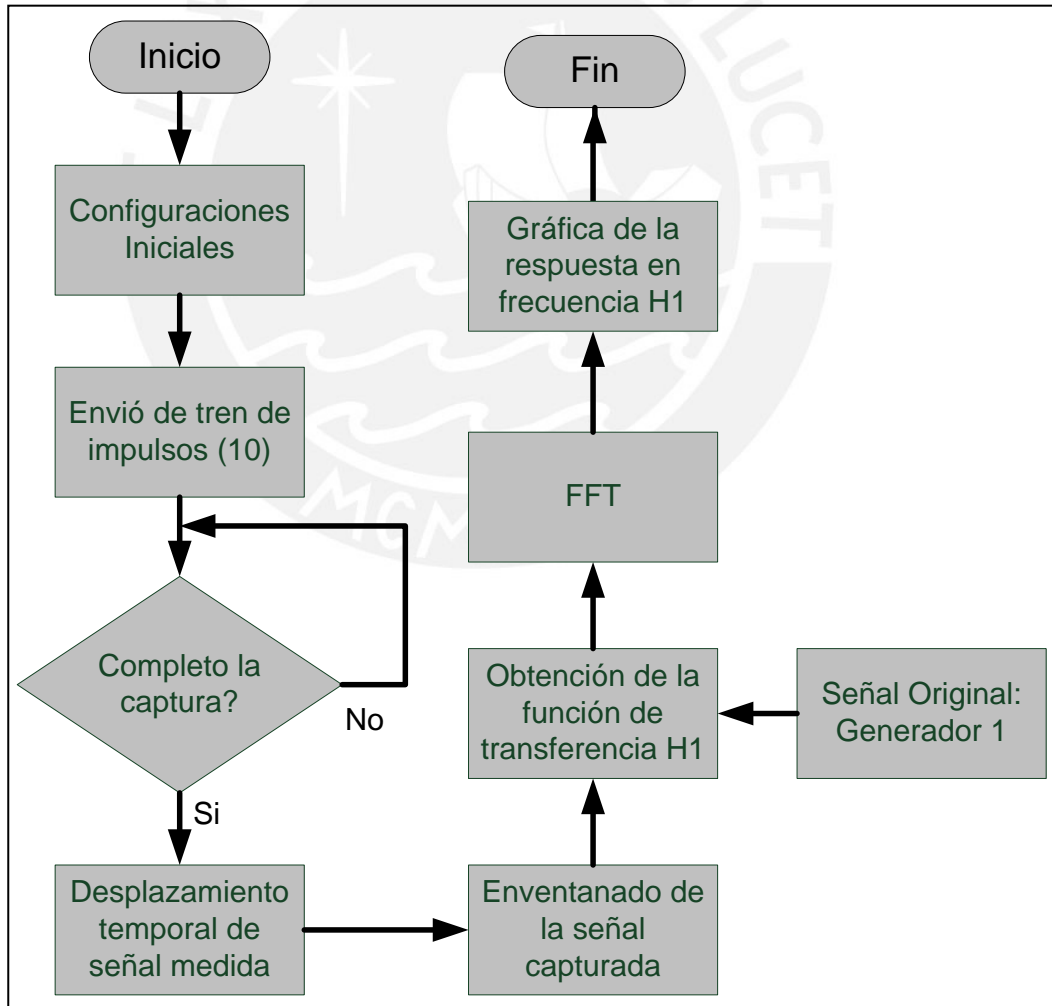


Fig. 3.15 Diagrama de Flujo del B&K PULSE

- **Organizador de Configuración:**

Es el organizador sobre el que se configuran las entradas y salidas del sistema, definiendo los transductores y micrófonos que se usaran como entrada y el/los canales por donde se enviará la señal generada. Adicionalmente se puede organizar la sensibilidad, el rango dinámico del canal, entre otros parámetros. Se configura como parámetro de entrada en Input 1 un micrófono B&K 4189 con una trama IDA (Intelligent Data Acquisition) tipo 3560c para captar la respuesta del altavoz, y como un Input 2 el Generador que proviene del Output 1 para ser comparado con la señal captada por el micrófono, realizar la correlación y obtener la función de transferencia.

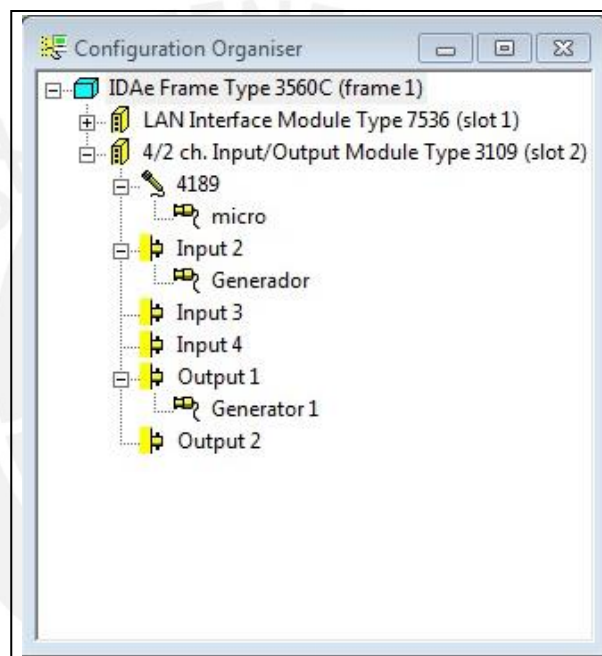


Fig. 3.16 Ventana de configuración

- **Organizador de Medida:**

Es el organizador sobre el cual se configuran los tipos señales de entrada y de salida en grupos de trabajo. En este entorno se crean los diferentes analizadores que procesarán las señales recibidas por los transductores, por ejemplo analizadores FFT, SSR o TDS configurando sus respectivos parámetros; y también se crean los generadores de señal para excitar el sistema acústico. Para efectos de prueba del prototipo se configura un análisis basado en Impulse Response para lo cual se genera una señal Tren de Impulsos, un Analizador FFT y un Time Capture Analyzer para analizar la respuesta y data temporal

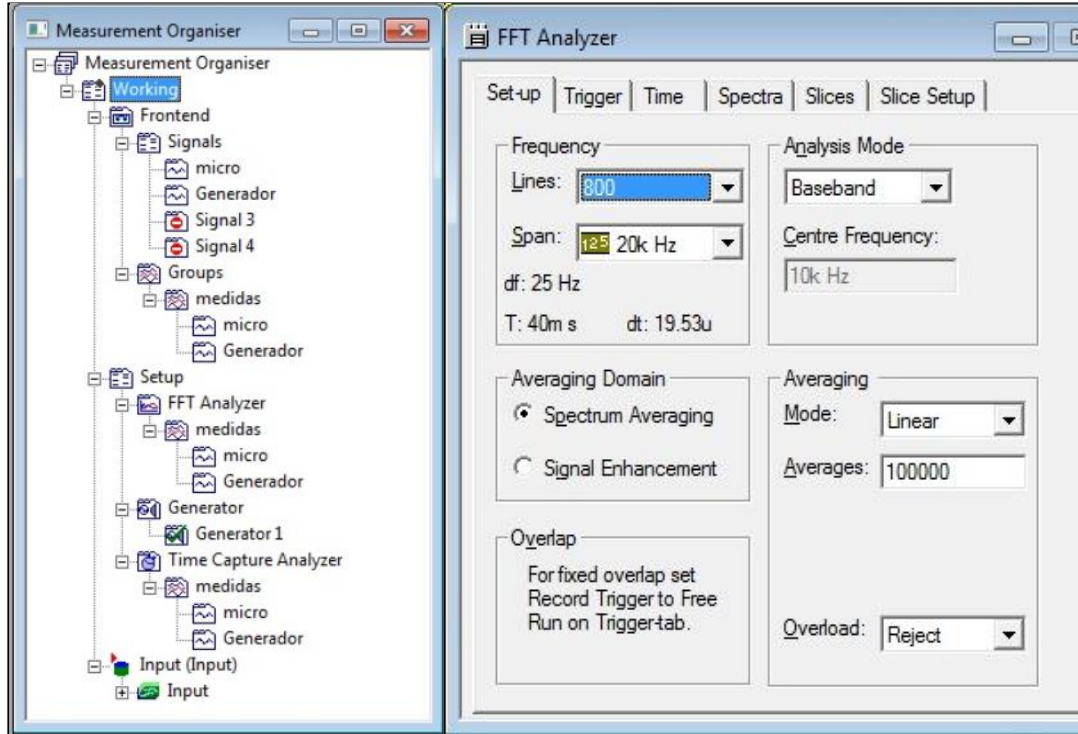


Fig. 3.17 Organizador de medición y configuración de analizador FFT

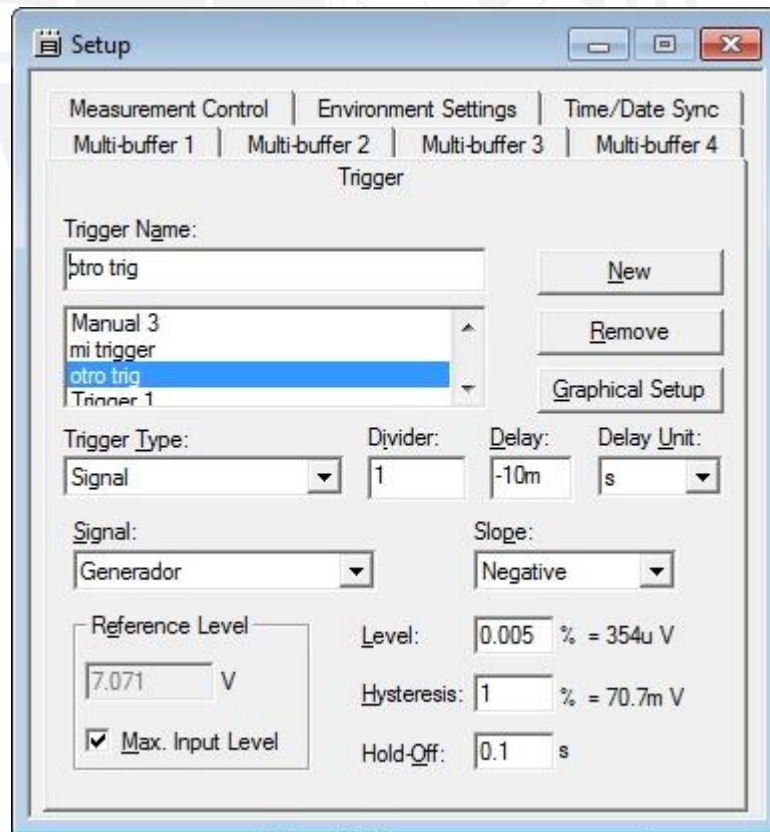


Fig. 3.18 Pantalla de configuración del trigger

Con el objetivo de evitar falsas capturas y que se filtre el ruido de fondo del recinto, configuramos un disparador (trigger) que filtrara los impulsos que nos importa registrar del ruido de fondo de bajo nivel. Este trigger resulta siendo muy importante para un análisis de respuesta impulsiva ya que es muy vulnerable al ruido externo de fondo y a las reverberaciones si es que no se realiza en una cámara anecoica o al menos que esté debidamente aislada. Usaremos un trigger de $0.005\% = 354 \mu\text{V}$.

Adicional a este trigger se configura una ventana temporal (Time Weighting), se trata de una ventana transitoria Zeropad que nos permite filtrar el frente de onda que nos importa de las reverberaciones con tiempos de arribo mayores a la respuesta impulsiva; al estar trabajando en un cuarto que presenta reverberancias y difracciones aleatorias, resulta muy importante implementar esta ventana que mejorara los resultados finales de la medición. La figura 3.19 nos presenta los parámetros usados para la configuración de este post procesamiento.

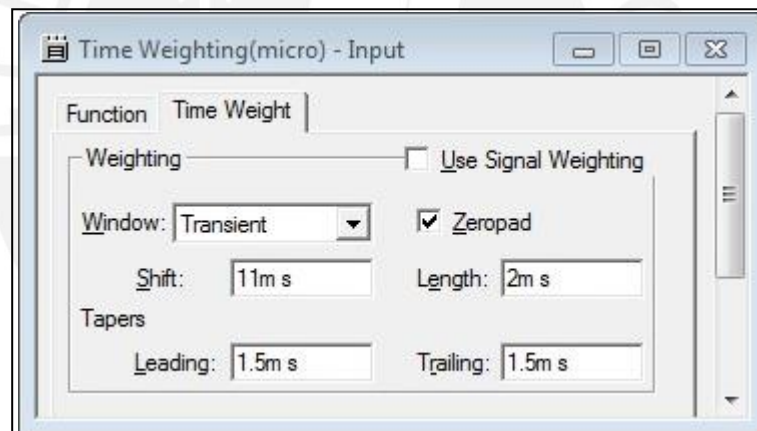


Fig. 3.19 Configuración de la ventana transitoria

Finalmente para tener una medición de calidad y obtener una función de transferencia H1 que nos permita caracterizar correctamente el parlante, aplicamos un desplazamiento temporal (Time Delay) a la señal de entrada en el micrófono para compensar el tiempo de arribo del frente de onda desde el parlante hasta el micrófono, este tiempo es de 3ms aproximadamente. A continuación la ventana donde configuramos el desplazamiento:

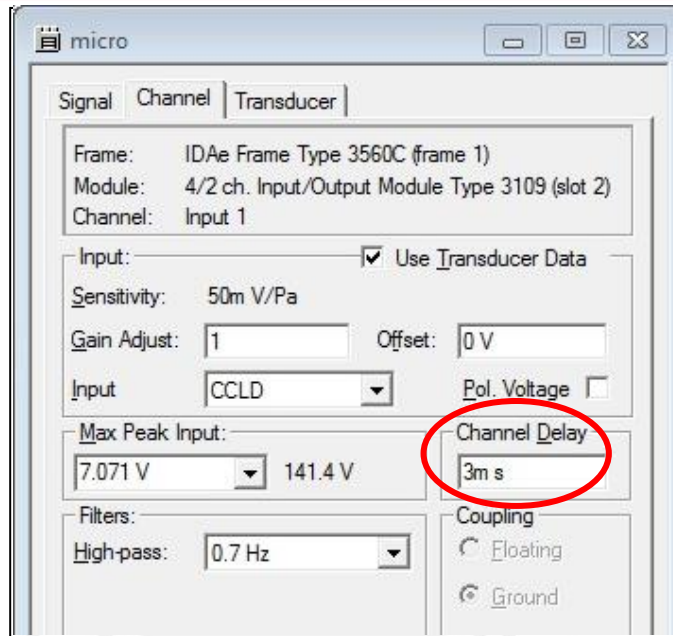


Fig. 3.20 Configuración del desplazamiento temporal

- **Organizador de Funciones:**

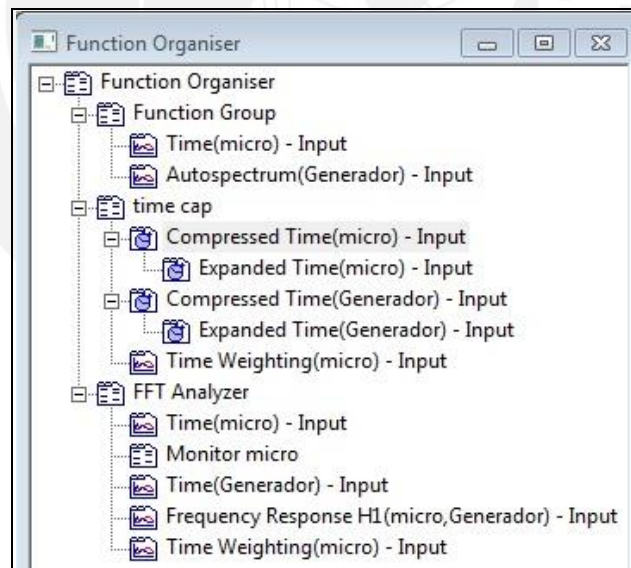


Fig. 3.21 Ventana de Organizador de Funciones

En esta sección se definen los tipos de cálculos matemáticos que deberán realizar los analizadores como por ejemplo Correlación o el Auto espectro. Para el presente objeto de estudio se configuran las funciones del time capture, donde se agrupan las ventanas de captura de la señal de entrada del micrófono, del Generador y

del Time Weighting; y las señales asociadas al analizador FFT: Entrada de micrófono, Entrada de generador y la Función de transferencia de la respuesta en frecuencia H1. En conclusión este organizador nos permite agrupar las funciones ya creadas y asociarlas a las señales pertinentes para poder analizar las gráficas y compararlas entre sí.

Organizador de Visualizaciones:

Esta sección permite configurar los visualizadores de los resultados, mediante este organizador se preparan las ventanas donde podremos analizar la señal de entrada del Microfono, del Generador y una tercera ventana de la función de transferencia. También se configuran parámetros tales como detalles de origen, escalas de medición, “grid size”, entre otros. Para el presente trabajo utilizaremos 3 ventanas principales: Time Weighting (Micro) Input, Time (Generador) Input y Frequency Response H1 (micro, Generador) Input.

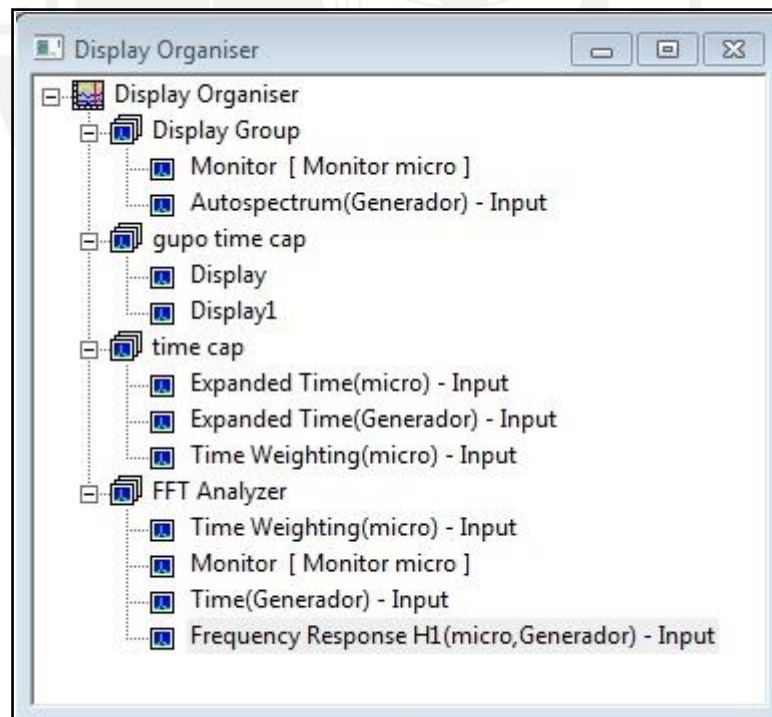


Fig. 3.22 Ventana de Organizador de Visualizadores

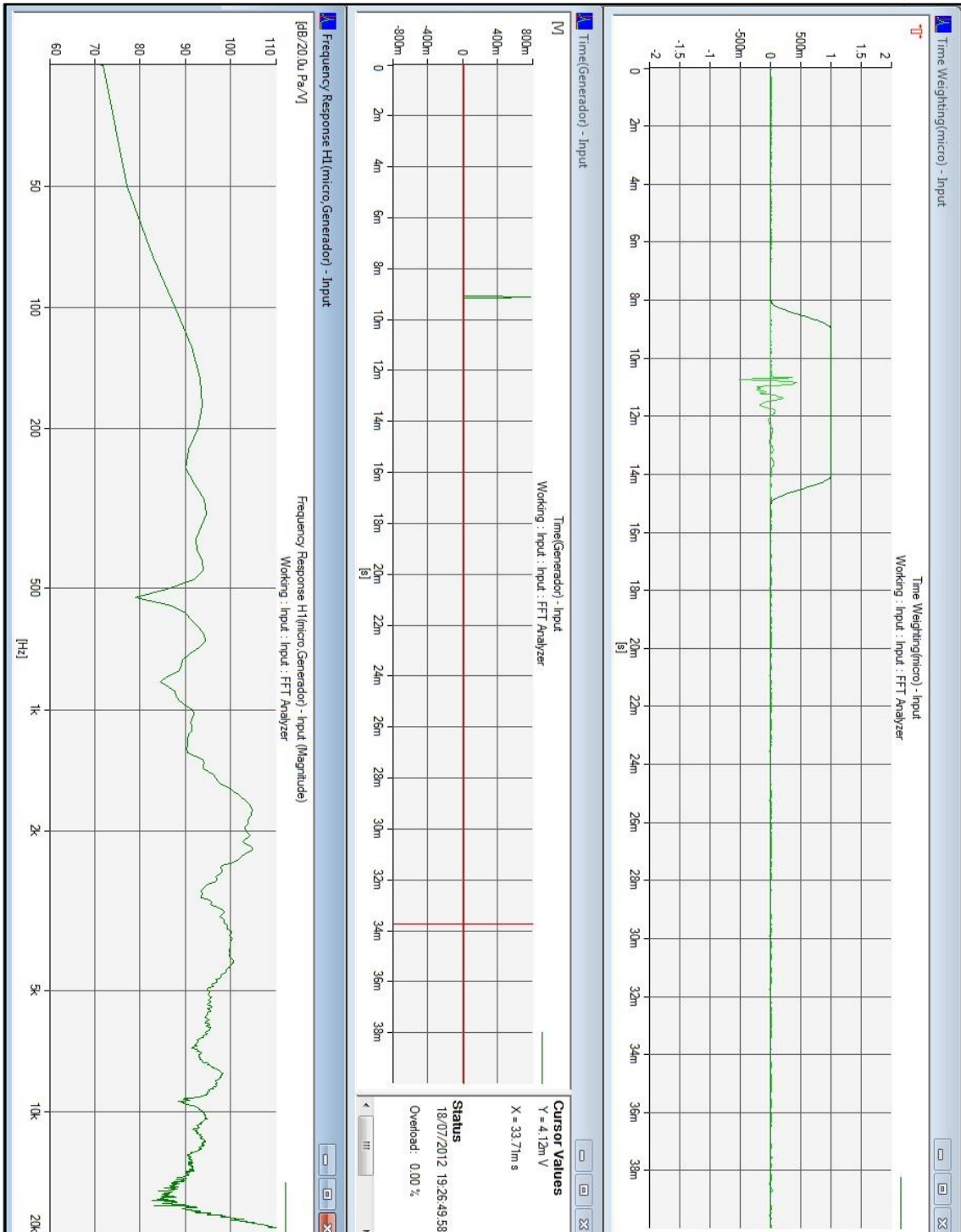


Fig. 3.23 Ventana de Organizador de Visualizadores

3.6.3 Sincronización MATLAB

En las secciones anteriores se ha podido ver los algoritmos y configuraciones que gobiernan tanto el control del servomotor en el ATmega8 así como la medición de la respuesta en frecuencia del altavoz en el PULSE LabShop, ambos sistemas son programas independientes, con funciones diferentes pero complementarias para el objetivo común de obtener el patrón de radiación. Es en este punto que el algoritmo implementado en el entorno MATLAB resulta siendo el sincronizador y principal artífice de la automatización del proceso

El objetivo principal del sincronizador MATLAB es automatizar el proceso de obtención del patrón de radiación, estableciendo un orden secuencial entre los procesos de medición de la respuesta en frecuencia del PULSE y el posicionamiento angular del altavoz. Para lograr la comunicación con cada uno de ellos, el sincronizador se vale de dos protocolos o tecnologías: el Handshaking de comunicación RS232 y el OLE 2.0, estos puntos serán revisados posteriormente. La figura 3.24 presenta un esquema de funcionamiento y comunicación del sincronizador MATLAB.

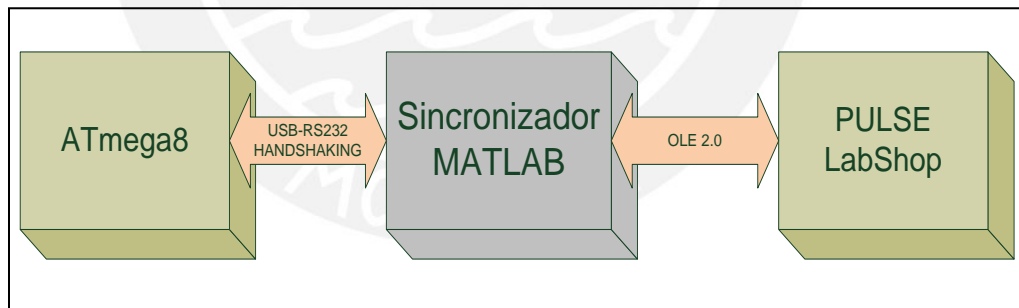


Fig. 3.24 Esquema de comunicación del Sincronizador MATLAB

Cabe aclarar que el sincronizador es presentado como parte de una interfaz gráfica desarrollada en el entorno GUI del MATLAB, donde además se encuentra otras opciones de configuración de la medición del patrón de radiación que fácilmente el operario podrá manejarlas, esto se revisará en detalle en el punto 3.6.4. La lógica del programa implementado se explica en detalle a continuación.

- Se genera la matriz de almacenamiento de la respuesta medida para cada posición según la configuración de pasos angulares (5° según norma AES)

- Se toma control del analizador FFT del LabShop para posteriormente analizar el estado de la medición.
- Envía la orden al LabShop para que emita el tren de impulsos a partir de los cuales se obtendrá el promedio de la respuesta impulsiva.
- Monitorea la variable 'Analyzer State' que indica el estado de la medición.
- Cuando ya obtuvo la respuesta impulsiva, envía la orden para que detenga la medición y se acceda a los datos obtenidos de la misma.
- Se obtiene la información y se almacena en la matriz creada.
- En este momento se inicia el bucle de sincronización que se encarga de enviar la orden de movimiento al ATmega8, esperar a que el protocolo Handshaking confirme que finalizo el posicionamiento angular y finalmente ordenar al PULSE que realice nuevamente la medición de la respuesta impulsiva del altavoz.
- Este bucle de sincronización se repite tantas veces como lo indique el desplazamiento angular pre-seteado de cada paso hasta completar 180°
- Luego de finalizado este procedimiento se tiene almacenado en la variable 'Medición' todos los valores de magnitud para posteriormente graficar el patrón de radiación. Este último paso lo realiza la interfaz gráfica GUI.

La figura 3.25 presenta el diagrama de flujo explicado del algoritmo del sincronizador.

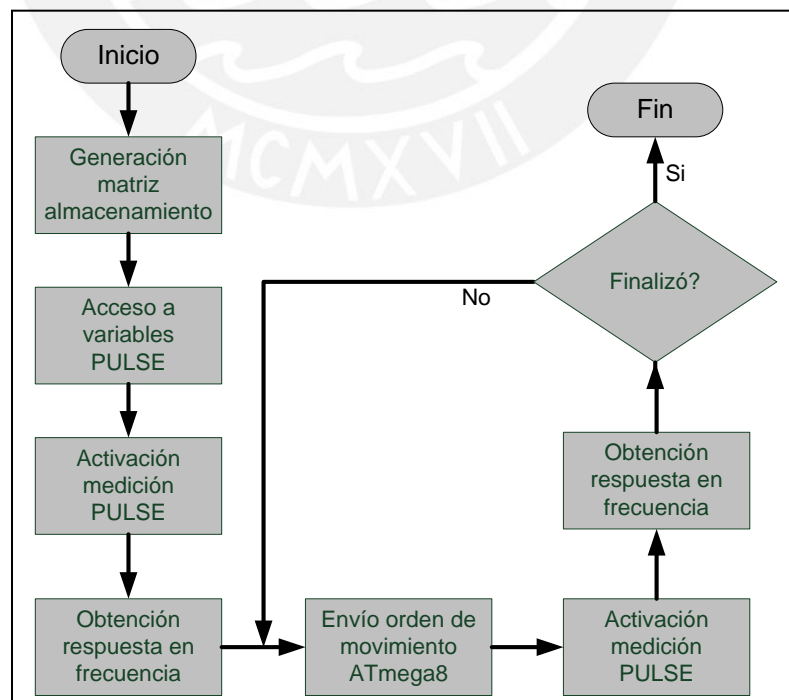


Fig. 3.25 Diagrama de flujo del Sincronizador

3.6.4 Interfaz gráfica GUI

Una interfaz gráfica usuario, conocida también como Graphical User Interface (GUI) es un programa informático que utiliza un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles de un algoritmo o lógica funcional. Su principal uso consiste en proporcionar un entorno visual sencillo que permitir la comunicación del usuario con el sistema operativo de una máquina o computador.

La plataforma MATLAB presenta una aplicación GUI sobre la cual se pueden desarrollar interfaces gráficas de fácil manejo para el usuario final, sin la necesidad de que este sepa cómo funciona el programa internamente o tener quizás nociones de programación informática, este entorno es el GUIDE de Matlab.

Para el presente trabajo de tesis se ha desarrollado una interfaz gráfica amigable, intuitiva y de fácil manejo, en la cual el usuario, con tan solo presionar un par de botones, podrá obtener el patrón de radiación del parlante que desee en cuestión de minutos. Este es uno de los objetivos principales de la tesis, de desarrollar un entorno de fácil uso, que simplifique los procesos y optimice recursos en la obtención del patrón de radiación. La figura 3.26 que veremos nos presenta la interfaz gráfica que usaremos en nuestras mediciones y una explicación detallada de la misma.

- A. En este pequeño cuadro de diálogo se ingresa el número de puerto USB donde se conectará el cable TRENDnet para la comunicación con el microcontrolador.
- B. Una vez que se coloca el número de puerto, se presiona el botón “Conectar” con lo cual se establece la comunicación serial con el ATmega8 y el sistema Cliente-Servidor con el PULSE.
- C. En estas opciones se configura la gradiente y resolución angular que tendrá la medición del patrón de radiación.
- D. En esta barra podemos seleccionar la posición angular a la que deseamos ver el diagrama de Bode. Los valores van de 0 a 180°
- E. Esta barra de menú permite seleccionar la frecuencia a la que se quiere visualizar el patrón de radiación. Los valores van de 800 hasta 20KHz
- F. Botonera clásica para el control de la medición.

- G. Plantilla donde se presenta la respuesta en frecuencia.
- H. Plantilla donde se presenta el patrón de radiación del altavoz medido.

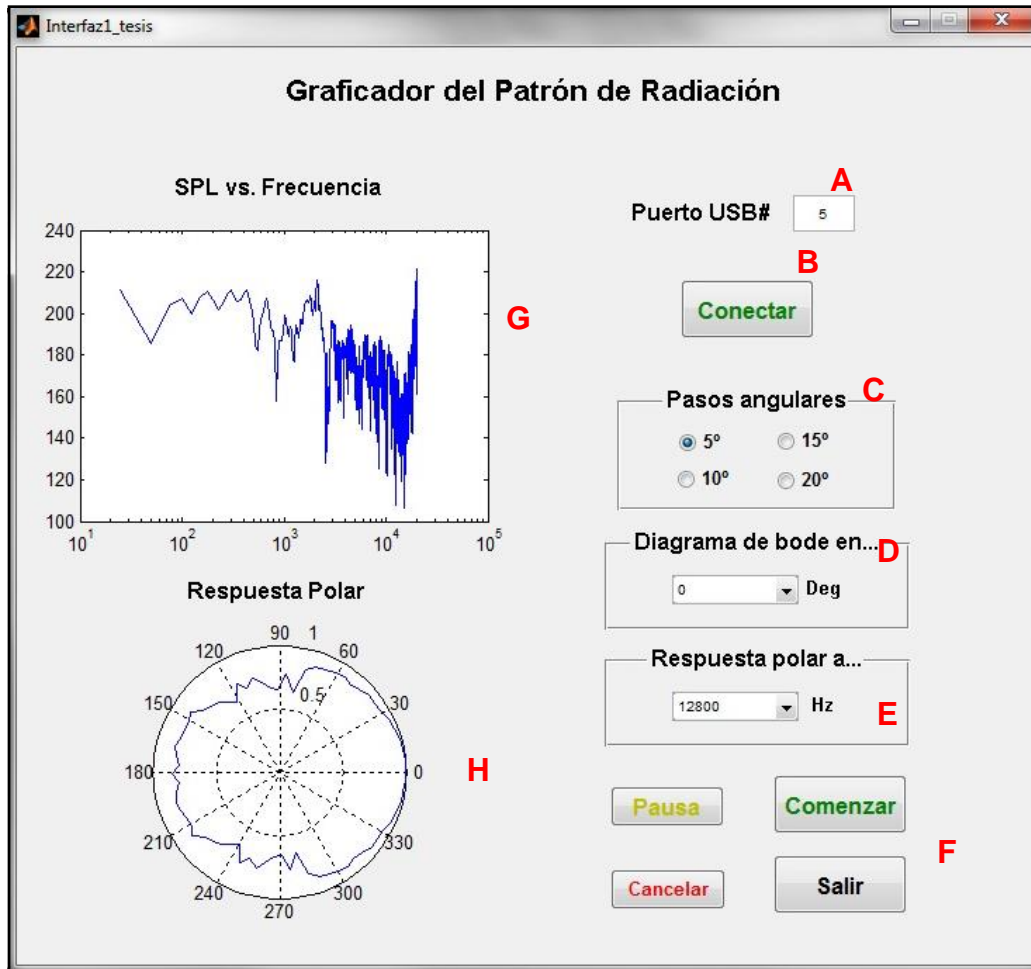


Fig. 3.26 GUI graficador del patrón de radiación

3.6.5 Comunicación Cliente - Servidor OLE 2.0

El modelo Cliente - Servidor es un modelo de desarrollo de aplicaciones de software que describe la relación entre dos programas, la cual se basa en un requerimiento por parte del “cliente” hacia otra aplicación “servidor” quien atiende el requerimiento. Este modelo es de gran importancia entre aplicaciones que residen en un mismo computador.

Con el avance tecnológico se han desarrollado nuevos métodos de implementar dicho modelo, uno de los más populares es la tecnología COM, la cual hace referencia

a las tecnologías OLE, OLE Automation, Active X, COM++, DCOM. Los programas escritos y desarrollados en lenguaje C++ son programas orientado a objetos y por lo tanto compatibles con las tecnologías de objeto componente. Una de estas tecnologías es la OLE 2.0 la cual permite que, programas desarrollados en lenguajes compatibles con OLE (como el caso de C++), puedan controlar y manipular funciones de otros programas también compatible con OLE, en una suerte de comunicación objeto Servidor / Cliente.

Para el presente caso de estudio, el PULSE LabShop es compatible con la tecnología OLE 2.0, lo cual permite que un objeto dentro de Pulse pueda ser manipulado por un programa externo basado en C++, como es el caso del MATLAB, es mediante esta tecnología que se logra establecer la comunicación entre MatLab (Cliente) y Pulse (Objeto Servidor).

3.6.6 Comunicación USB – RS232 Handshaking

Para el presente trabajo se implementa un protocolo de comunicación basado en el Handshaking de comunicación, el cual es utilizado en las industrias de redes y telecomunicaciones para asegurar una comunicación segura y confiable. En la figura 3.27 se presenta un esquema de este tipo de comunicación.

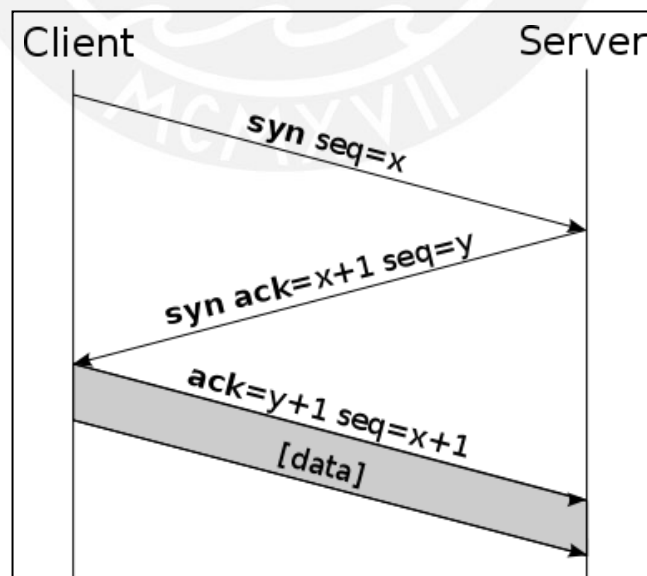


Fig. 3.27 Protocolo de comunicación Handshaking

Como se vio anteriormente, este protocolo es usado para la comunicación entre el Sincronizador MatLab y el ATmega8, manteniendo una estructura Cliente – Servidor. Este mecanismo de comunicación estaba basado en el envío de señales de “Acknowledge” o “ack” como también se le conoce, las cuales son enviadas de receptor a emisor para confirmar una recepción satisfactoria de tal manera que la comunicación se realice de forma satisfactoria y con la seguridad de que se ha recepcionado la información completamente.



CAPITULO 4:

PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

La culminación de todo proceso investigativo es la comprobación o experimentación, que consiste en el estudio de un fenómeno, reproducido generalmente en un laboratorio repetidas veces en las condiciones particulares de estudio que interesan, eliminando o introduciendo aquellas variables que pueden influir en él. La experimentación aparece como una necesidad ante una hipótesis planteada de solución.

En este capítulo final de la tesis se presentan las pruebas y análisis realizados al sistema prototipo diseñado en el capítulo III, presentando en la primera parte la preparación y set-up para las mediciones, seguido de una explicación de las pruebas propiamente dichas que se realizan en el sistema, presentando los resultados finales y un estudio analítico de estos. Sin duda esta investigación final resulta siendo concluyente en cuanto a las hipótesis y objetivos planteados a inicios del documento.

4.1 Preparación de la medición

La preparación de la medición del patrón de radiación implica la implementación e integración de las tres áreas principales del proyecto presentadas anteriormente, con elementos complementarios al sistema tales como transductores, parlantes y cableado para la interconexión de los equipos. A continuación se explica la preparación del sistema para la medición.

- El primer paso es ubicar los equipos en posiciones fijas y estables para poder realizar la medición. Se debe prestar especial atención al posicionador angular, ubicándolo sobre una plataforma horizontal estable de tal manera que no tambalee ni mueva el parlante durante la medición. Fijar el parlante
- Una vez ubicado el PULSE, la computadora y el posicionador; el siguiente paso es realizar las interconexiones y cableado de dichos equipos. Para la interconexión de la PC con el posicionador se utiliza el cable TRENDnet convertidor USB-Serial, mientras que para la interconexión de la PC con el PULSE se utiliza un cable de red LAN. La figura 4.1 ilustra esta interconexión.

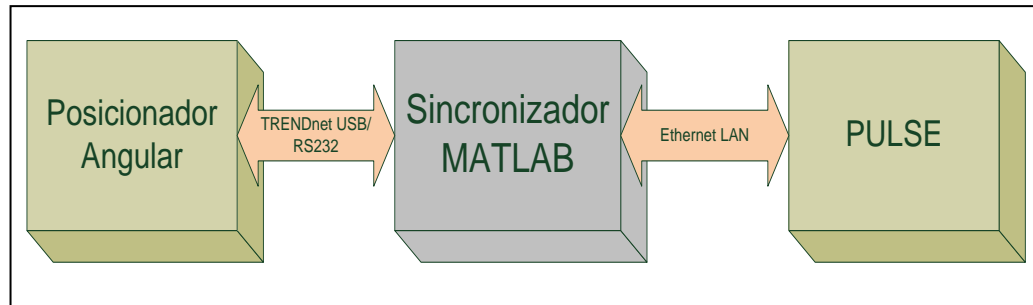


Fig. 4.1 Interconexión de PC con PULSE y Posicionador.

- Lo siguiente será energizar los equipos con la red eléctrica 220 VAC 60Hz, para tal propósito cada equipo cuenta con su propia fuente regulada de voltaje según las especificaciones de cada una.
- El siguiente paso es ubicar el emisor y receptor de la medición según las especificaciones del AES [39]. El parlante utilizado es el Creative GigaWorks T20, mientras que para la recepción se utiliza el transductor Brüel & Kjær 4189. La figura 4.2 presenta los equipos descritos.



Fig. 4.2 Parlantes Creative y Micrófono Brüel & Kjær 4189

- A continuación debemos colocar la llave maestra USB del PULSE en la PC para tener la licencia de usar los simuladores y analizadores de audio, encendemos el analizador PULSE y el software LabShop debería reconocerlo, la mejor manera de verificar ello es escuchando unos “clicks” internos al PULSE, eso quiere decir que ya se estableció la comunicación entre el analizador y la PC.

- Ahora en la PC debemos abrir el interfaz gráfico GUI desde donde se configurarán los parámetros de la medición y se dará inicio al proceso. Al momento de conectar el posicionador en la PC, se debe verificar el puerto COM al cual se está conectando el cable TrendNet, ese mismo número de puerto debe colocarse en la interfaz en el recuadro *Puerto USB#* y darle click al botón conectar, debe esperar unos momentos (Al hacer click en conectar, debería abrir el programa PULSE LabShop automáticamente sin necesidad de abrirlo manualmente, esto gracias al protocolo de comunicación OLE 2.0).
- Ya está casi listo para realizar la medición, pero aún falta un tema muy importante: el aislamiento acústico. Debe recordar que tanto el posicionador como la mesa sobre la que se encuentra son superficies reverberantes por lo que contribuyen y generan reflexiones no deseadas; para esto se debe cubrir estas áreas con material absorbente y difusor.



Fig. 4.3 Sistema listo para la medición

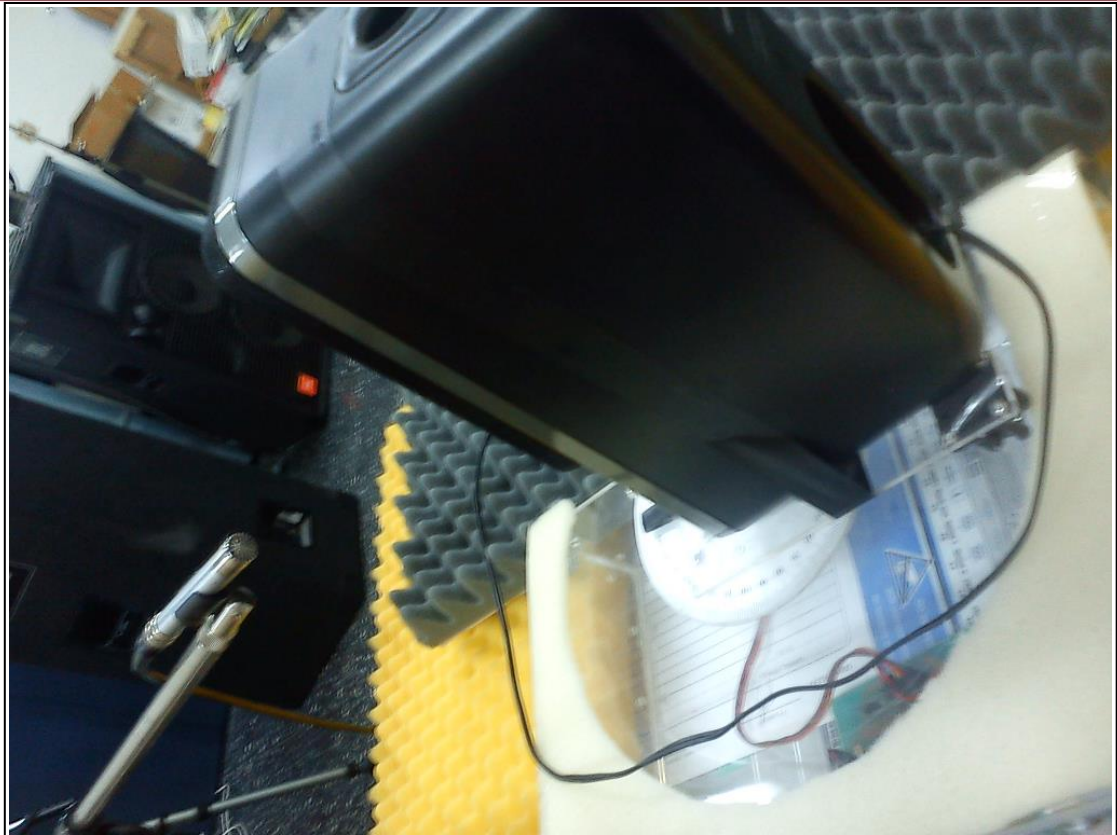


Fig. 4.3 Sistema listo para la medición

4.2 Pruebas de sistema prototipo

A continuación se presenta una descripción de las principales pruebas realizadas sobre el sistema prototipo automatizado.

4.2.1 Prueba de posicionador angular

El objetivo de esta prueba es verificar el control del posicionador angular desde un software desarrollado en el entorno MATLAB, para la comunicación se utiliza el cable TRENDnet USB/RS232. En esta prueba el software desarrollado envía mediante el cable especial señales de control de dos tipos al ATmega8 (Posicionador): Señales de Configuración de Rotación y de Orden de Rotación

Las señales de Configuración son las que llevan los parámetros de la medición al ATmega8, tales como desplazamiento angular, dicho desplazamiento está determinada según el estándar del AES [39], el cual presenta el tipo de medición

tradicional de pasos angulares de 5° cada uno. Por otro lado, las señales de Orden son las encargadas, como su nombre lo indica, de dar la orden al ATmega8 de que mueva el servomotor según la configuración previamente realizada, esto se logra mediante el envío de un dato que el microcontrolador interprete como una señal de movimiento; para este caso se envía el carácter 'M'.

El resultado esperado de esta prueba es conseguir un control automático de la configuración de los parámetros de medición y de los posicionamientos angulares para cada captura de respuesta impulsiva.

4.2.2 Prueba de respuesta en frecuencia

Estas pruebas tienen por objetivo verificar si es posible obtener la respuesta en frecuencia y la función de transferencia de un altavoz, utilizando para ello las técnicas de caracterización seleccionadas del capítulo II. Para el presente trabajo se utilizará la técnica de la Respuesta Impulsiva (Impulse Response)

La prueba consiste básicamente en realizar una medición manual, desde la pantalla principal del LabShop, y obtener la función de transferencia del altavoz, manteniéndose este inmóvil y con el posicionador apagado. Para la prueba se debe verificar que el altavoz emita 10 impulsos consecutivos, en analizador captura dichos impulsos (siempre y cuando superen el nivel de disparo del trigger), les aplica el desplazamiento temporal (Time Delay) a cada uno, enventana la señal deseada (Time Weighting) y aplicándoles la correlación con la señal del Generador obtiene las funciones de transferencia H_1 del altavoz para cada uno de los 10 impulsos emitidos, la respuesta en frecuencia presentada en el display será el resultado del promedio (average) de las respuestas producto de cada impulso emitido.

Esta técnica de obtener una respuesta promedio de varias mediciones sucesivas resulta siendo muy beneficioso ya que permite un autoajuste de la medición, un perfeccionamiento de la curva y como consecuencia un resultado más fiable. En la figura 3.25 se puede apreciar un ejemplo de lo que se obtiene como resultado de esta prueba.

4.2.3 Prueba de sistema automatizado

Esta es la prueba definitiva y principal del proyecto que busca corroborar las hipótesis y los objetivos centrales planteados al comienzo del capítulo III, obteniendo el patrón de radiación de un altavoz convencional mediante un sistema automatizado controlado desde en una interfaz gráfica desarrollada en MATLAB.

Para esta prueba se integran las etapas de medición y posicionamiento del altavoz, teniendo como sistema administrador y sincronizador al software desarrollado en MATLAB; este se presenta en una interfaz gráfica de fácil manejo para el usuario. Para esta prueba se utiliza un parlante convencional, se realiza la interconexión de los equipos, se prepara la medición con pasos angulares de 5° (Medición tipo A), se da click al botón “Start” y simplemente queda esperar a que el sistema realice la medición del patrón de radiación.

4.3 Análisis de resultados

Culminadas las pruebas antes mencionadas se obtienen los resultados del posicionamiento angular, de la respuesta en frecuencia y del patrón de radiación obtenido utilizando el sistema prototipo automatizado implementado; estos resultados proveen de la información para emitir una conclusión final del proyecto y, si fuese el caso, unas recomendaciones a futuro. Para un mejor análisis, los resultados obtenidos serán divididos según el tipo de prueba q le corresponde, a continuación se presenta en detalle:

4.3.1 Resultados del posicionador angular

Tras las pruebas realizadas se pudo observar lo siguiente:

- El sistema se configura correctamente según las Señales de Configuración enviadas, varía su desplazamiento angular entre 5, 10, 15 y 20 según se requiera.
- El posicionador responde a las Señales de Orden enviadas por el sincronizador, efectúa el movimiento y posicionamiento angular cada vez que se le envía el caracter “M” pero la ubicación del posicionador en el

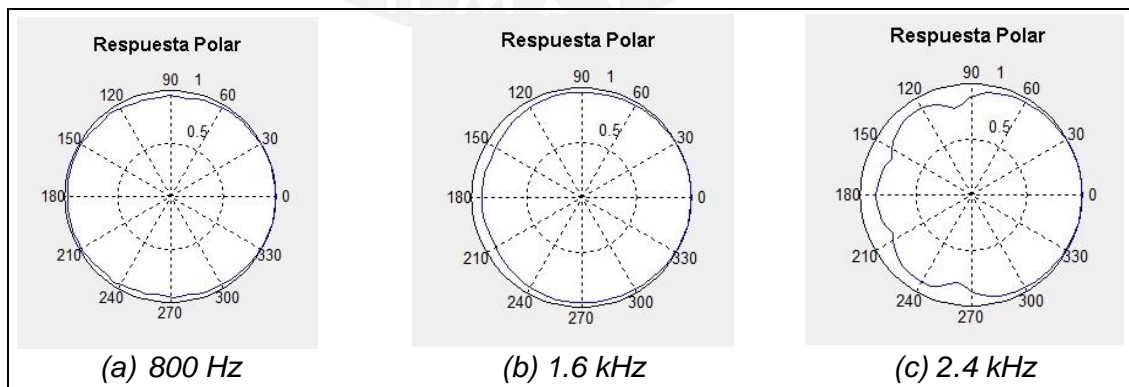
goniómetro no es 100%, esto genera un error que se acumula y que repercute para el posicionamiento de las siguientes ubicaciones angulares.

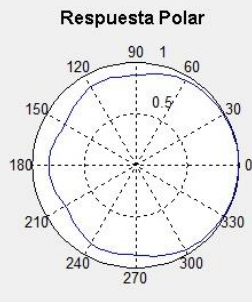
4.3.2 Resultados de la respuesta en frecuencia

Luego de realizar las pruebas pertinentes, se comprueba que efectivamente se obtiene la respuesta en frecuencia y la función de transferencia del altavoz, resultado de un promedio de 10 respuestas impulsivas consecutivas; y que la implementación de un trigger, un Time Delay y un Time Weighting, contribuyen en gran medida para aislar la señal deseada del ruido de fondo y las reverberaciones propias del recinto. La respuesta en frecuencia final sin embargo presenta ciertas imperfecciones, pequeños sobre impulsos inesperados y alguna señal ruidosa montada sobre la señal deseada.

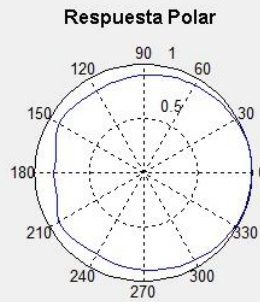
4.3.3 Resultados del sistema automatizado

Se realizó un ensayo a pasos angulares de 5 grados, usando análisis de respuesta impulsiva promediado de 10 impulsos emitidos. Se mantuvieron todos los parámetros mencionados anteriormente y con los equipos presentados en el punto 4.1; se obtuvo los siguientes patrones de radiación desde 800 a 19.2 kHz.

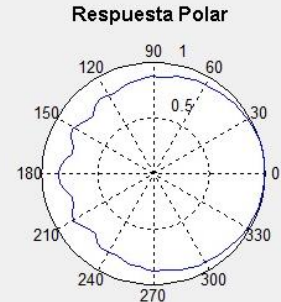




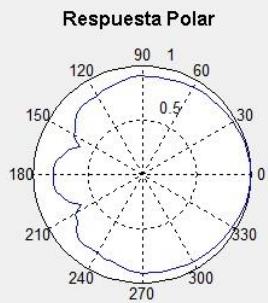
(d) 3.2 kHz



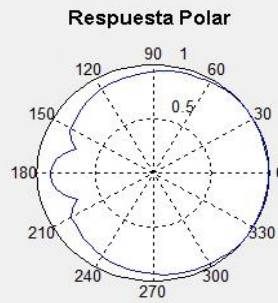
(e) 4 kHz



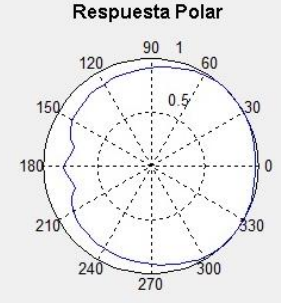
(f) 4.8 kHz



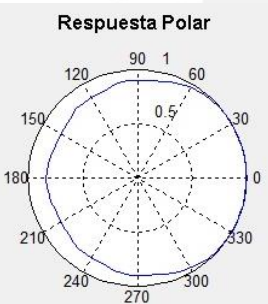
(g) 5.6 kHz



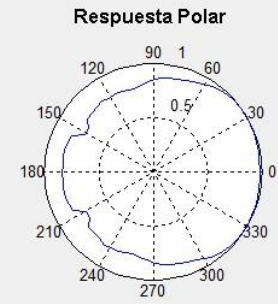
(h) 6.4 kHz



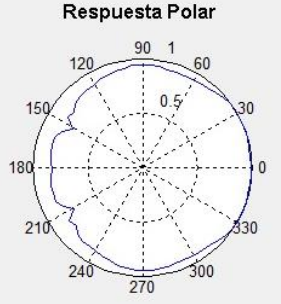
(i) 7.2 kHz



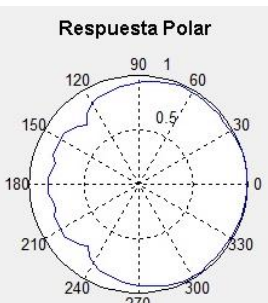
(j) 8 kHz



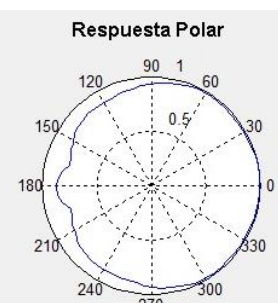
(k) 8.8 kHz



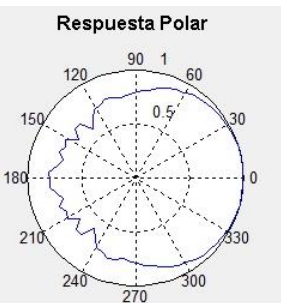
(l) 9.6 kHz



(m) 10.4 kHz



(n) 11.2 kHz



(ñ) 12 kHz

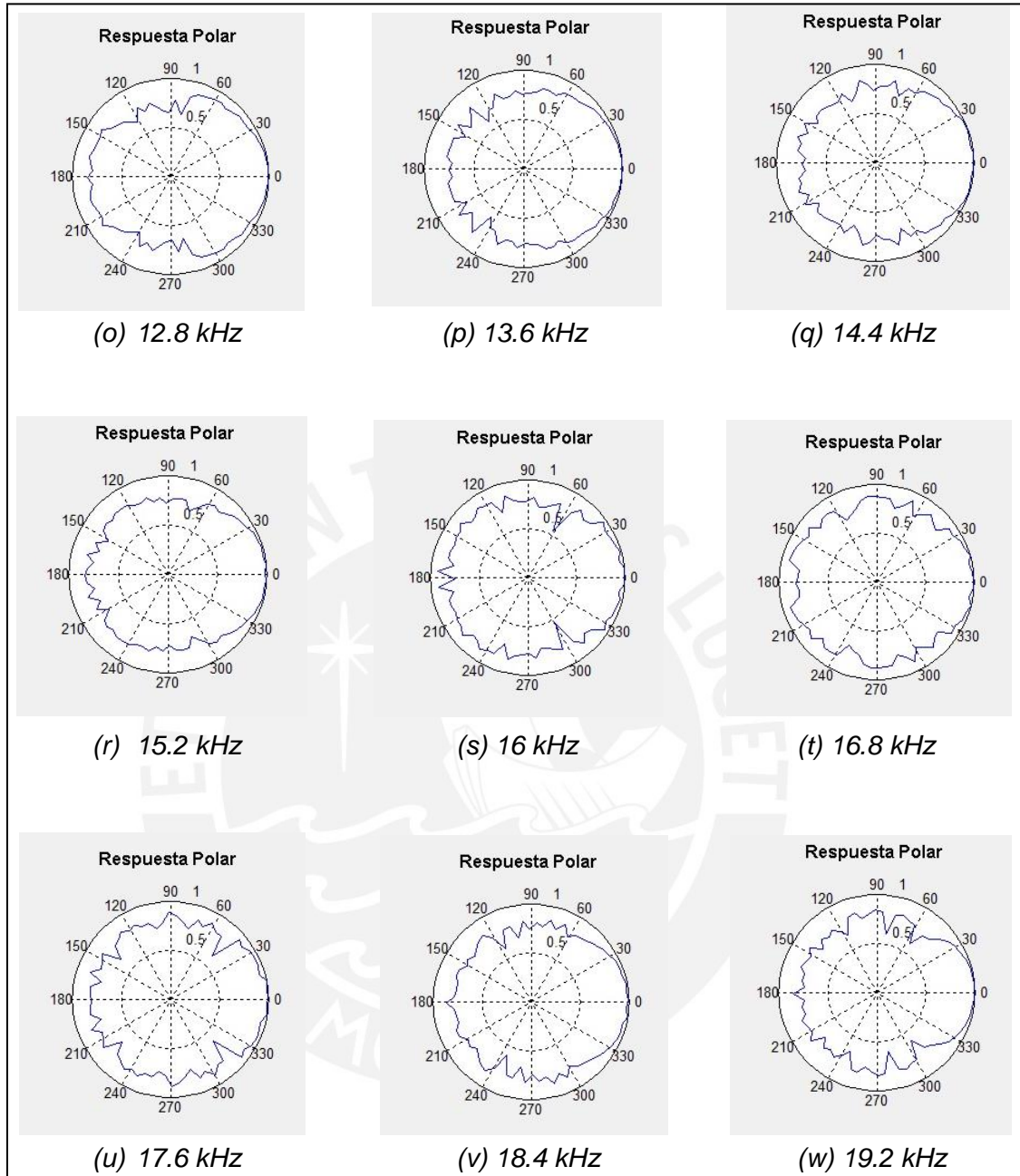


Fig. 4.4 Patrones de radiación obtenidos mediante el posicionador automatizado, a pasos angulares de 5 y graficados para las frecuencias desde 800 hasta 19.2 kHz tomados cada 800 Hz.

4.4 Estudio del error

Finalmente, con los resultados expuestos y debidamente analizados, se presenta el estudio del error existente en la medición, identificando las causas y

características principales del mismo. A continuación se explican los principales errores identificados de las mediciones realizadas.

- Aplicando este método no es posible aislar en totalidad el ruido externo, esto se ve reflejado en las mediciones pues los lóbulos en la respuesta polar presentan picos debido al ruido filtrado del recinto de la medición.
- Los errores en el posicionamiento angular generan errores al momento de graficar y obtener el patrón de radiación, pues estas presentan abruptos cambios en el contorno de los lóbulos.
- La reverberación externa influye en las mediciones realizadas ya que estas se filtran durante las mediciones.
- Se presentan algunos patrones polares extraños y sin coherencia, esto debido al ruido que se filtra en las bandas donde el parlante no tiene respuesta.
- Para obtener una respuesta real y fiel, la medición debería realizarse en una cámara anecoica.

CONCLUSIONES:

En un primer momento se propuso obtener el patrón de radiación de un altavoz convencional mediante un sistema prototipo automatizado que realice barridos angulares; la respuesta en frecuencia del altavoz sería obtenida para cada posición angular. A partir de la información almacenada se obtendría el valor en decibeles para una misma frecuencia en todos los ángulos medidos, estos valores graficados en coordenadas polares formarían el patrón de radiación para una frecuencia determinada. Tras las implementaciones y pruebas realizadas, finalmente se puede concluir lo siguiente:

Se logró diseñar y desarrollar un sistema prototipo automatizado, capaz de obtener el patrón de radiación de un altavoz convencional, valiéndose para ello de un posicionador angular bidimensional tipo tornamesa, un analizador B&K PULSE y un sincronizador desarrollado en entorno MATLAB. El desarrollo de dicho sistema prototipo facilita en gran forma la obtención de este importante parámetro acústico pues solo con apretar un botón, y en cuestión de minutos, se obtiene la directividad de

un altavoz convencional, reduciendo las fallas por intervención humana y mejorando los tiempos del proceso.

Analizando los resultados obtenidos se grafica claramente la gran importancia de la precisión en el posicionamiento angular. En un sistema electrónico de lazo abierto como el propuesto, dicho posicionamiento está expuesto a la buena fé de que realmente alcance la posición deseada, pero no existe la certeza de que realmente lo hara, por lo tanto se presenta la necesidad de implementar algún sensor que permita establecer un sistema de lazo cerrado en el posicionamiento angular.

Los motores seleccionados para el posicionamiento angular no son de los mejores, se requiere un motor con más fuerza y precisión milimétrica, se concluye que es mejor desarrollar un posicionador con un motor a pasos (Stepped motor) cuya cantidad de dientes sea proporcional las posiciones o barridos angulares que realizara el sistema. Con este arreglo mecánico se conseguirían mejores resultado

Adicionalmente, se concluye que el automatizar un proceso tedioso y secuencial como el presentado resulta siendo beneficioso en el sentido de que se logra mejorar los tiempos y alcanzar una secuencialidad que evita errores u omisiones en el proceso.

RECOMENDACIONES:

Durante el desarrollo de la presente tesis se presentaron problemas y situaciones, algunas pudieron ser resueltas en la medida de las posibilidades y otras solo han sido reportadas para ser presentadas como recomendaciones a futuro. A continuación se presentan las recomendaciones y mejoras que pueden ser aplicadas al presente proyecto:

- Considerando que el sistema mecánico desarrollado es un prototipo, se debe diseñar un nuevo posicionador angular, utilizando herramientas CAD y criterios de mecánica que permitan una mayor versatilidad para todo tipo de tamaño y peso de parlante.
- Utilizar motores a pasos de gran torque con cajas reductoras o servomotores con arreglos mecánicos que permitan distribuir la fuerza radialmente para de esa manera poder realizar mediciones con parlantes de mayor envergadura.
- Implementar un sistema de control de lazo cerrado, con un sensor angular θ , que permita mejorar la exactitud en el posicionamiento angular y cumplir con la Redundancia de medición [39].
- Realizar las mediciones en ambientes aislados o cámaras anecoicas para evitar las reflexiones del ambiente, alcanzando altos niveles de rendimiento y precisión en la medición.
- Implementar la medición utilizando el TDS propuesto por Heyser para controlar así el ruido externo y las reverberaciones.
- Implementar una solución que nos permita obtener una respuesta de directividad esférica del parlante, elaborando para ello una mecánica de 2 grados de libertad.
- Presentar los patrones de radiación obtenidos en formatos CLF u otros que puedan ser utilizados fácilmente para alimentar otras herramientas computacionales de simulación.

BIBLIOGRAFIA

- [1] SEMICONDUCTOR COMPONENTS INDUSTRIES LLC.
2002 Linear & Switching Voltage Regulator Handbook. Rev. 4 *Denver, Colorado, EE.UU.*
- [2] PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
2005 Manual de Laboratorio de Sistemas Digitales. Lima, Perú.
- [3] BRÜEL & KJAER SOUND & VIBRATION MEASUREMENT
1998 PULSE: Getting Started. Nærun, Dinamarca: *Brüel & Kjaer – Product Data*
- [4] ATMEL CORPORATION.
2009 ATmega8 (L). Orchard Parkway, San Jose, CA EE.UU.
- [5] THE MATHWORKS INC.
2007 Matlab's User Guide. Natick, MA EE.UU.
- [6] COOK, Gareth. y ZAKNICH, Anthony.
1996 Extensions to the Theory of Time Delay Spectrometry. Nedlands, WA, Australia: *TENCON'96. Proceedings., 1996 IEEE TENCON. Digital Signal Processing Applications. IEEE, 1996. p. 763-768*
- [7] COOK, Gareth. y ZAKNICH, Anthony.
1997 Theory and Implementation of Extensions to Time Delay Spectrometry. Nedlands, WA, Australia: *Journal Audio Engineering Society Convention 6r - Paper Number: 4299*
- [8] PERMAN, André.
1989 Scale model measurements with Time Delay Spectrometry Using a Microphone as a Sound Source. Nærun, Dinamarca: *Brüel & Kjaer - Application Notes*

- [9] HARRIS, Neil.
2003 Modelling Room Interaction Effects for Pistonic and Distributed Mode Loudspeakers in Both the Frequency and Time Domains.
Centre for Audio Research and Engineering, University of Essex,
Colchester UK: *Journal Audio Engineering Society Paper Number: 5732*
- [10] BRÜEL & KJÆR.
2009 ODEON Room Acoustics Modelling Software-Types 7835, 7836 and 7837. Nærun, Denmark: *Brüel & Kjaer Product Data*
- [11] VORLÄNDER, Michael. y SUMMERS, Jason.
2007 Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modeling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality. Washington, USA.
- [12] LEMMON, John.
2005 Radiation Pattern Analysis of a Four-Element Linear Array. Department Of Commerce. Department of Commerce. USA
- [13] WAMOLA, Davis.
2002 Characterization of a Robot Arm for use in Acoustic Experiments. Massachusetts Institute of Technology. USA: *Department of Electrical Engineering and Computer Science*
- [14] RIVERA, Richard.
2005 Implementación de la Espectrometría de Retardo de Tiempo en el desarrollo de una Aplicación para la Extracción de la Respuesta en Frecuencia de Altavoces, utilizando un Analizador PULSE controlado con MATLAB. Lima, Perú: *Tesis Doctoral. Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela de Graduados. Mención: Física Aplicada.*
- [15] BJORK, Helga Magnúsdóttir.
2006 Array Loudspeakers and Their Applications in Room Acoustics. The Danish Technical University. Lyngby, Dinamarca: *Tesis Doctoral. Technical University of Denmark, DTU, DK-2800 Kgs.*

- [16] HORBACH, Ulrich, et al.
1999 Numerical Simulation of Wave Fields Created by Loudspeaker Arrays. Regensdorf, Suiza. Erlangen, Alemania: *Audio Engineering Society Convention 107 – Paper: 5021*.
- [17] MEYER, David G.
1984 Computer Simulation of Loudspeaker Directivity. Purdue University, School of Electrical Engineering, West Lafayette, IN: *Journal Audio Engineering Society*, vol. 32, no. 5, pp. 294 - 315.
- [18] CLF Group.
2004 A Common Loudspeaker File Format. *Syn-Aud-Con Newsletter v32, No 4 Fall 2004*
- [19] CLF Group
2014 Trial Authoring Kit. Reads V1 and V2 text-format, Views v1 and V2 distribution files. http://www.clfgroup.org/CLF_Authoring_v2.0c.exe
- [20] EASTERN ACOUSTICS WORKS
2006 EAW Polar Measurements. Whitinsville, MA EE.UU. http://eaw.com/docs/6_Technical_Information/S3_Information/s3_polar_measurement.pdf
- [21] HOY, William R. y MCGREGOR, Charles
2001 Loudspeaker Complex Directional Response Characterization. Whitinsville, MA EE.UU. *Audio Engineering Society Convention 111 Paper Number: 5439*
- [22] PONTEGGIA, Daniele.
2009 Automated Balloon Measurements with CLIO 10. *Audiomatica Application Note AN-002/1009*
- [23] MERIMAA, Juha, et al.

- 2005 Concert Hall Impulse Response. Pori, Finlandia: Reference. *Available online at: <http://www.acoustics.hut.fi/projects/poririrs> [Last viewed 25-Jul-2008]*
- [24] HSU, Hwei P.
1995 Schaum's outline series, Signals and Systems: *McGraw Hill*
- [25] LI, Y. T. y WONG, R.
2013 Integral and Series Representations of the Dirac Delta Function: *arXiv preprint arXiv: 1303 - 1943*
- [26] YONG-SHENG, Ding
1985 A Tone-Burst Method for Measuring Loudspeakers Harmonic Distortion at High Power Level. Research Institute of TV and Electroacoustic, Beijing, China: *Journal Audio Engineering Society Volume 33 Issue 3 pp.145 – 147*
- [27] POLETTI, Mark A.
1988 Linearly Swept Frequency Measurements, Time-Delay Spectrometry, and The Wigner Distribution. Acoustics Research Centre, The University of Auckland, Auckland, Nueva Zelanda: *JAES vol. 36, n. 6, 1988 June, pp. 457-468.*
- [28] VANDERKOOY, John.
1994 Aspects of MLS Measuring Systems. Department of Physics, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada: *JAES vol. 42, n. 4, 1994 April, pp. 219-231.*
- [29] MÜLLER, Swen y MASSARINI, Paulo
2001 Transfer Function Measurement with Sweeps. Acoustic Testing Laboratory, INMETRO, Xerdm, Duque de Caxias (RJ), Brasil: *Journal of the Audio Engineering Society, 2001, vol. 49, no 6, p. 443-471.*
- [30] HOLTERS, Martin, et al.

- 2009 Impulse Response Measurement Techniques and their Applicability in the Real World. Dept. of Signal Processing and Communications, Helmut Schmidt University, Hamburg, Germany: *En Proc. 12th Int. Conference on Digital Audio Effects, DAFx*.
- [31] HEYSER, Richard C.
1967 Acoustical Measurement by Time Delay Spectrometry. California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA: *Journal of the Audio Engineering Society*, 1967, vol. 15, no 4, p. 370 - 382.
- [32] HEYSER, Richard C.
1973 Time Delay Spectrometry. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 53, no 1, p. 319-320.
- [33] RIFE, Douglas D. y VANDERKOOY, John.
1989 Transfer-Function Measurement with Maximum-Length Sequences. DRA Laboratories, Sterling, VA; Audio Research Group, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada: *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 37, no 6, p. 419-444.
- [34] PAULO, J.V.C.P. et al.
2000 Room Impulse Response Using Segmented MLS for Annoyance Minimization. Madrid: *Proceedings of the tecni-acustica-EAA symposium on architectural acoustics*
- [35] THE MATHWORKS, INC.
2010 Matlab Get Start. 3 Apple Hill Drive Natick, MA EE.UU.
- [36] BRÜEL & KJAER SOUND & VIBRATION MEASUREMENT
1998 Getting Started: An introduction to PULSE software: Nærun, Dinamarca: *Brüel & Kjaer – Product Data*

- [37] BRÜEL & KJAER SOUND & VIBRATION MEASUREMENT
2008 PULSE Hardware System Data: IDA Hardware Configuration for PULSE
– Types 3560-B, 3560-C, 3560-D, 3560-E. Nærun, Dinamarca: *BU 0228*
- [38] HUGHES, Charles
2005 How Accurate is Your Directivity Data? Technical white paper published
by www.excelsior-audio.com
- [39] AUDIO ENGINEERING SOCIETY, INC.,
2008 AES Standard on Acoustics – Sound source modeling – Loudspeaker
Polar Radiation Measurements. *AES56-2008*
- [40] BRÜEL & KJAER SOUND & VIBRATION MEASUREMENT
2009 Product Data PULSE Electroacoustics – Type 7907 – S1. Nærun,
Dinamarca: *Brüel & Kjaer – Product Data*
- [41] MOTORLA INC.
1989 Linear/Switching Mode Voltage Regulator Handbook. EE.UU: *4th Edition.*
- [42] TEXAS INSTRUMENTS INC.
1989 MAX232x Dual EIA-232 Drivers/Receivers. Dallas, TX, EE.UU:
SLLS047M
- [43] TRENDnet
2007 USB to Serial Converter TU-S9. Torrance, CA, EE.UU: *Datasheet Rev.:
08.14.2007*
- [44] ATMEL CORPORATION
2013 ATmega8 Datasheet. San Jose, CA, EE.UU: *Rev.: 2486AA-AVR-
02/2013*
- [45] ATMEL CORPORATION
2014 AVR ISP MKII User Guide. San Jose, CA, EE.UU: *Rev.: 42093AX-MCU-
10/2014*