

**DISEÑO DE AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO PARA LOS  
ESTUDIOS DE EMISIÓN Y GRABACIÓN DE LA NUEVA SEDE DE LA  
EMISORA KENNEDY**

**YURI ROCIO IGUA PORRAS**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE SONIDO  
BOGOTA D.C.  
2005**

**DISEÑO DE AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO PARA LOS  
ESTUDIOS DE EMISIÓN Y GRABACIÓN DE LA NUEVA SEDE DE LA  
EMISORA KENNEDY**

**YURI ROCIO IGUA PORRAS**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniera de  
Sonido

Físico. Luis Jorge Herrera  
**Asesor Temático**

Lic. Olga Lucía Mora  
**Asesora Metodológica**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE SONIDO  
BOGOTA D.C.  
2005**

## **DEDICATORIA**

A Dios que siempre me sostuvo en sus brazos brindándome Paz y tranquilidad, a mis padres, María del Carmen y Jorge Gustavo por enseñarme que antes del Triunfo esta la constancia y el sacrificio, a mis hermanos Freddy y Natalia que me aguantaron mis momentos duros, a mi cuñada y mi sobrina que con su ternura me hacían sentir dulzura, a mi Novio Fabian por ser paciente y perseverar, en fin gracias a la vida por darme la oportunidad de brillar con luz propia.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad de San Buenaventura Bogotá por haberme brindado las herramientas y los medios necesarios para llegar a la cima, a los asesores durante el proyecto: Olga Lucía Mora, Luis Jorge Herrera, por su paciencia y apoyo, a la Ingeniera Alexandra Reyeros Directora del programa, a los docentes que a lo largo de la carrera influyeron decisivamente en mi formación como Ingeniera.

A la Emisora Kennedy por haberme permitido desarrollar este proyecto y demostrar las competencias y calidad profesional de los ingenieros de Sonido de la U.S.B.

## **RAE**

**Título:** DISEÑO DE AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO PARA LOS ESTUDIOS DE EMISIÓN Y GRABACIÓN DE LA NUEVA SEDE DE LA EMISORA KENNEDY

**Autor o Autores:** Yuri Rocío Igua Porras

**Publicación:** Enero de 2006

**Lugar:** Universidad de San Buenaventura Bogotá - Colombia

Páginas: 73

Figuras:13

Tablas:4

Fotografías: 14

**Palabras Clave:** Tiempo de Reverberación, aislamiento, acondicionamiento, absorción, inteligibilidad, perdida por transmisión, ruido, modos de resonancia, criterios, materiales acústicos, acústica arquitectónica, medición.

**Formulación y descripción del problema:** ¿Cuál será el diseño de aislamiento y acondicionamiento acústico adecuado para los estudios de emisión y grabación de la nueva sede de la emisora Kennedy ubicada en Bogotá D.C.?

**Línea de investigación:** Acústica

**Tipo de Investigación:** Empírico analítica

## Contenido

En este proyecto se diseñó un aislamiento y acondicionamiento acústico de la Emisora Kennedy, para la realización se hicieron mediciones de parámetros como el ruido, inteligibilidad, tiempo de reverberación, pérdida por transmisión, modos de resonancia.

Se realizaron dos mediciones una antes de la implementación de los materiales y otra después para tener así un punto de comparación para saber que tan efectivo había resultado el diseño. Como última fase de este proyecto se encuentra consignado el procedimiento, mediciones, y análisis de los resultados que se realizó para determinar el grado de eficiencia del diseño del aislamiento y acondicionamiento y las mediciones realizadas dentro de este. Teniendo todo este proceso listo lo último que se plantea en este documento son una serie de recomendaciones y conclusiones finales.

Metodología:

**HIPÓTESIS:** En la actualidad las instalaciones de la emisora no cuentan con la infraestructura acústica adecuada para realizar emisiones y grabaciones de alta calidad, al diseñar un tratamiento acústico que tenga en cuenta los parámetros como ruido, Inteligibilidad, modos y Tiempo de reverberación, se obtendrá una mejora significativa en producción, emisión y desarrollo de la programación.

## VARIABLES

Variables Independientes

- Los materiales con los que se construye el recinto.
- Geometría del recinto
- Fuentes de ruido externas
- Temperatura
- Absorción acústica de las personas directamente involucrado en el trabajo en producción, emisión y dirección.

Variables Dependientes

- Absorción
- Pérdida por transmisión.
- Inteligibilidad
- Modos de resonancia
- Aire acondicionado.
- Materiales

Instrumentos de recolección de información: Bibliográficos, mediciones hechas en el estudio de radio.

### **Alcances y limitaciones.**

#### Alcances

- Una vez el proyecto se ejecute, la emisora tendrá un acondicionamiento acústico necesario para emitir programas de radio sin interferencia de señales no deseadas que distorsionen la señal.
- La infraestructura instalada permitirá el desarrollo de actividades con mejora en la emisión y grabación de la emisora Kennedy.
- Optimización del sonido en el estudio.
- Propuesta de materiales acústicos adecuados en los estudios, de una forma profesional y ética, teniendo muy presente la parte de aislamiento acústico.
- Para la Universidad de San Buenaventura fortalecerá la credibilidad e imagen en el programa al demostrar que ha formado personas profesionales competentes de alto perfil ingenieril.

#### Limitaciones

- Debido al presupuesto asignado se hicieron ajustes respecto a la calidad de los materiales seleccionados para este trabajo.
- Falta de software, programas como el Dirac, Odeon, Qualifier o Noise Explorer, y falta de instrumental para realizar mediciones de vibración, para que el análisis sea altamente confiable.

#### Conclusiones:

- El parámetro de tiempo de reverberación notó mejoría con el diseño del aislamiento y acondicionamiento con un promedio de 19.1% a como se encontraba inicialmente.

- La inteligibilidad depende de la frecuencia y mejora el tiempo de reverberación, mejoró en 38.46% a como se encontraba inicialmente.
- El ruido disminuyó en el interior del recinto en 25% de acuerdo al aislamiento realizado.
- La mejoría fue más notoria en el cuarto de control que en los otros cuartos con un porcentaje de 28.5% en tiempo de reverberación, de inteligibilidad en un 100%, en ruido 31.4%, 68.9 en el porcentaje de pérdida por transmisión, debido a que el tratamiento de nivel alto que se implemento.
- Los pequeños recintos adolecen de un *espaciamiento excesivo* de los modos, es decir hay un *apilamiento* de los mismos(*degeneraciones*).
- El parámetro de los modos normales no disminuyó sustancialmente, ya que era mayor el costo económico lo cual no era posible y no podía ser asumido por el contratista.
- 

#### **Principales fuentes:**

- ARAU, HIGINI, ABC de la acústica arquitectónica. España. Ceac. S.A, 1999. 336p.
- CARRION, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Barcelona: Politecnos, 1998. 434 p.
- GOMEZ VILLA, Oscar. Acústica y Arquitectura. Bogotá: Cenac, 1986.20.p
- RECUERO LÓPEZ, Manuel. Acondicionamiento acústico. Madrid : Thomson, 2001.268p.
- SOMMERHOFF, Jorge. Acústica de salas: acondicionamiento acústico interior de salas. Santiago: s.n. 1987
- [HTTP://WWW.EHU.ES/ACUSTICA/ESPANOL/RUIDO/AIACES.HTML](http://WWW.EHU.ES/ACUSTICA/ESPANOL/RUIDO/AIACES.HTML)
- [WWW.COFIS.ES/ODF/FYS11\\_11.PDF](http://WWW.COFIS.ES/ODF/FYS11_11.PDF)
- [WWW.IA.CSIC.ES/AMBIENTAL/GRANZA/MATERIALESWEB.HTM](http://WWW.IA.CSIC.ES/AMBIENTAL/GRANZA/MATERIALESWEB.HTM)
- [WWW.AECOR.ES/FRSET/LEGISLACION/NORMASS\\_TECNICAS/ACÚSTICA%20EN%20LA%20EDIFICACION](http://WWW.AECOR.ES/FRSET/LEGISLACION/NORMASS_TECNICAS/ACÚSTICA%20EN%20LA%20EDIFICACION)

## INTRODUCCION

La calidad de la audición sonora o el ambiente acústico necesario para facilitar una escucha determinada depende de las exigencias y Normas empleadas en un recinto. Los problemas más importantes que se presentan al tratar de diseñar los diferentes tipos de recintos son principalmente los referidos a la protección en un recinto contra la penetración de ruido o sonidos en un nivel alto, que se pueden encontrar en el exterior o interior del edificio (Aislamiento) y, elegir los materiales más adecuados para utilizar como revestimientos del sitio, con el objeto de obtener un sonido óptimo (Acondicionamiento acústico).

El proyecto busca dar solución a la problemática en el área de producción a la que se enfrenta diariamente la Radio Nacional Colombiana a través del acondicionamiento de los estudios de emisión y grabación de Emisora Kennedy. Para este estudio se tuvo en cuenta un diagnóstico inicial sobre las condiciones de funcionamiento actual de dicha emisora.

Se pretende mejorar la calidad del sonido en estos estudios utilizando materiales acústicos, aprovechando los espacios del recinto para que exista uniformidad en lo percibido por el oyente. Para obtener un excelente acondicionamiento acústico, se deberá tener en cuenta los parámetros y criterios acústicos existentes. Por este motivo se tratarán internamente las paredes, puertas, ventanas, techo y suelos, llegando así a proponer un diseño para aislar y acondicionar acústicamente los estudios de la Emisora Kennedy, logrando así el aumento de la calidad del registro sonoro.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 ANTECEDENTES

La Emisora Kennedy se creó en 1953 por iniciativa de un grupo de laicos que incursionaron de manera novedosa en el campo de la radio, con un ánimo evangelista. Este proceso creativo demandó de esta iniciativa la creación de la persona jurídica que se denomina *Asociación La Voz de María*. En su época y en los siguientes 50 años ha representado una novedad; no es comunitaria ya que llega a más de 14.900 oyentes en Bogotá y el centro del país, no tiene ánimo de lucro y su principal objetivo es estar al “Servicio de la Vida”. La segunda durante su larga trayectoria, se propuso realizar un balance de las condiciones y posibilidades de la emisora para emprender las modificaciones necesarias en sus instalaciones, en sus equipos de producción y emisión; en su administración y en la renovación de su Programación.

En un principio los estudios no estaban diseñados para emitir radio solo que con el paso del tiempo fueron acomodando los materiales a su criterio. Las actuales instalaciones de la emisora no cuentan con un soporte técnico, no hay ningún documento escrito, ni mediciones, solamente el aislamiento y acondicionamiento acústico empírico que intentaron desarrollar, el cual posee pocas bases profesionales, el cual consiste en superponer en las paredes, techo y piso alfombra para tráfico pesado, las ventanas se sellaron con un adhesivo y las puertas se hicieron de doble lámina, sin tener un soporte para analizar y saber cual era el material adecuado para instalar. Con tan bajo resultado que no existe ningún aislamiento entre recintos contiguos, teniendo por consiguiente ruido, y una temperatura elevada por el tipo de material utilizado. Los ingenieros que usaron esta solución lo hicieron sin parámetros acústicos ni normas existentes en el país. Estas características así como el particular momento de renovación en el que se encuentra la Emisora, dan cuenta de las ventajas y oportunidades que representa, dando especial sentido a la realización de un diseño de aislamiento y acondicionamiento acústico para los estudios de emisión y grabación de la nueva sede de la emisora Kennedy.

En la realización de este proyecto se tuvo en cuenta también trabajos ya realizados como el de Achury Torres, María Dolly et al, que tiene como título Acondicionamiento Acústico de la Emisora 95.9 FM Clásica de Inravisión, este tipo de información permite establecer un punto de partida para el desarrollo de este trabajo.

## 1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad las instalaciones de la emisora no cuentan con la infraestructura acústica adecuada, como se puede observar en la fotografía 1. Los materiales sobrepuestos que usan en los estudios son de poca absorción y están ubicados inadecuadamente desde el punto de vista estético y acústicamente no cumplen con la función requerida. La alfombra y la espuma son los materiales que predominan en los estudios, sin tener en cuenta la parte de aislamiento acústico.

Las anteriores razones permiten cuestionar:

¿Cuál será el diseño de aislamiento y acondicionamiento acústico adecuado para los estudios de emisión y grabación de la nueva sede de la emisora Kennedy ubicada en Bogotá D.C.?

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

Se hace necesario diseñar un aislamiento y acondicionamiento acústico adecuado para los estudios de emisión y grabación de la nueva sede de la Emisora Kennedy debido que la realización de este diseño será muy útil ya que se propondrán materiales acústicos adecuados para optimizar el comportamiento del sonido dentro del recinto, esto traerá como consecuencia producir una mejor señal de emisión, demanda comercial y bienestar tanto para los oyentes como para los trabajadores de la emisora Kennedy, creando un ambiente auditivamente sano y una infraestructura en condiciones favorables, para emitir un registro de sonido de alta calidad. Este diseño persigue evitar la propagación de ruido hacia las construcciones aledañas.

## 1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.4.1 Objetivo General.

Diseñar un aislamiento y acondicionamiento acústico para los estudios de emisión y grabación de la nueva sede de la emisora Kennedy.

### 1.4.2 Objetivos específicos.

- Analizar acústicamente los estudios actuales de la emisora.

- Medir los parámetros acústicos (Tiempo de reverberación, pérdida por transmisión, modos de resonancia, Ruido e Inteligibilidad) de la nueva sede de la emisora.
- Realizar un diseño de acústica arquitectónica que reconozca los requerimientos adecuados para la nueva sede de la emisora.
- Plantear la propuesta económica e ingenieril, en lo referente a los materiales a utilizar para este trabajo.

## 1.5. LIMITACIONES Y ALCANCES

### 1.5.1 Alcances.

- Una vez el proyecto se ejecute, la emisora tendrá un acondicionamiento acústico necesario para emitir programas de radio sin interferencia de señales no deseadas que distorsionen la señal.
- La infraestructura instalada permitirá el desarrollo de actividades con mejora en la emisión y grabación de la emisora Kennedy.
- Optimización del sonido en el estudio.
- Propuesta de materiales acústicos adecuados en los estudios, de una forma profesional y ética, teniendo muy presente la parte de aislamiento acústico.
- Para la Universidad de San Buenaventura fortalecerá la credibilidad e imagen en el programa al demostrar que ha formado personas profesionales competentes de alto perfil ingenieril.

### 1.5.2 Limitaciones

- El monto para la inversión fue relativamente bajo y la propuesta debió limitarse al mismo impidiendo la posibilidad de adquirir ciertos materiales óptimos y recomendaciones que mejoraría de alguna manera los resultados.
- Falta de software y equipamiento en la parte técnica para que el análisis sea altamente confiable.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO CONCEPTUAL

En la acústica existen cuatro tipos de representaciones:

- **Acústica geométrica.** Se asocia a una onda sonora que se propaga un rayo. Cuando las longitudes de onda son pequeñas en comparación con las dimensiones de la sala y los obstáculos interiores (no hay difracción) y el coeficiente de absorción de las paredes es bajo, se cumple la ley de reflexión. Una fuente sonora puntual colocada delante de una plano reflector producirá una fuente imagen a igual distancia del plano, en su posición simétrica. La potencia efectiva de la fuente imagen dependerá de la absorción de la pared.
- **Acústica estadística.** Imaginemos una fuente acústica que irradia energía en el interior de una sala. Al principio las ondas sonoras se propagan libremente en el interior del recinto. A partir de cierto instante, las ondas comienzan a reflejarse en las paredes, de modo que las ondas reflejadas y las incidentes se superponen. Si en un determinado instante la fuente deja de emitir, el sonido no desaparece inmediatamente, sino que persiste hasta que es absorbido por las paredes. Esto es lo que se denomina reverberación. Para estudiar este fenómeno no basta con examinar el camino seguido por los rayos sonoros emitidos por la fuente, sino que hay que realizar un estudio estadístico de todos los rayos presentes en el recinto.
- **Acústica ondulatoria.** Tiene en cuenta el carácter ondulatorio del sonido. Aborda el problema de la resolución de la ecuación de ondas con sus correspondientes condiciones de contorno. Permite conocer las resonancias de una sala y cuando tienen importancia.
- **Acústica arquitectónica.** La acústica arquitectónica deriva del desarrollo de siglos de la acústica y la necesidad de una calidad adecuada de música y palabra, pero recién en el siglo XX se constituye en ciencia. Su mayor expresión se manifiesta en la elaborada y compleja arquitectura de las grandes salas, pero es de aplicación en recintos más simples para los que se requiere inteligibilidad, privacidad y confort acústico. La Acústica Arquitectónica estudia

los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto, ya sea una sala de concierto o un estudio de grabación. Esto involucra también el problema de Aislación acústica. Las habitaciones o salas dedicadas a una aplicación determinada (por ejemplo para la grabación de música, para conferencias o para conciertos) deben tener cualidades acústicas adecuadas para dicha aplicación. Por cualidades acústicas de un recinto entendemos una serie de propiedades relacionadas con el comportamiento del sonido en el recinto, entre las cuales se encuentran las reflexiones tempranas, la reverberación, la existencia o no de ecos y resonancias, la cobertura sonora de las fuentes, etc. Esta última es la requerida para realizar este proyecto.

Para experimentar el fenómeno Acústico se requiere de tres elementos: Fuente del sonido deseable o indeseable. Camino de transmisión. Receptor deseoso de oír o no la fuente.

Los fenómenos físicos a tener en cuenta son:

- Reflexión del Sonido: Las superficies duras, rígidas, pesadas y planas (ladrillo, concreto, agua, vidrios, etc.) tienden a reflejar casi toda la energía sonora que las golpea.
- Absorción del Sonido: Es el cambio en la energía sonora en otro tipo de energía (generalmente calor) al pasar a través de un material o golpear una superficie. Las superficies reflejantes tienen una absorción muy baja, mientras que los materiales blandos, porosos, fibrosos, como las telas, las personas, fibra de vidrio etc., absorben altos porcentajes de energía de las sondas sonoras que las golpean. Una medida de este cambio de energía es por medio del Coeficiente de Absorción de Sonido el cual es el porcentaje de energía sonora incidente sobre la superficie del material que es absorbido.

$$\alpha = \frac{E_{\text{absorbida}}}{E_{\text{incidente}}}$$

- Difusión del Sonido: Si los niveles de presión acústica son constantes en todos los sitios de un recinto, y las ondas sonoras viajan en todas las direcciones, se puede decir que el sonido es homogéneo, o sea que prevalece una condición de difusión en la habitación.

- Difracción del Sonido: Es el fenómeno acústico que causa que las ondas sonoras se doblen o rodeen obstáculos como esquinas, columnas, paredes, etc.
- Reverberación: Es la permanencia de un sonido en el espacio una vez éste se ha cortado abruptamente.
- Modos Propios de Resonancia: Todo espacio con acabados reflejantes acentúan ciertas frecuencias que se llaman modos propios de resonancia dependiendo de sus dimensiones y formas; son más notorios en las bajas frecuencias.
- Por otra parte, los recintos tienen unos comportamientos que afectan la acústica a continuación se describen los más relevantes:
  - El Eco: Es el más serio de los defectos acústicos. Un eco es la repetición de un sonido original suficientemente alto para ser escuchado claramente por encima de la reverberación y el ruido de fondo. Para la palabra hablada, los ecos pueden ser percibidos cuando los intervalos de tiempo entre el sonido directo y reflejado son mayores de 60 ms. Las superficies potenciales productoras de ecos deben ser tratadas con materiales absorbentes o conformadas de forma para reducir las reflexiones tardías y reorientada para proporcionar reflexiones útiles a la parte trasera de la audiencia<sup>1</sup>.
  - Reflexión de alto retardo: Es un defecto similar al del eco, pero el retardo del sonido reflejado con respecto al directo es un poco menor.
  - Eco Pulsatorio: Consiste en una rápida sucesión de pequeños ecos, producida generalmente por dos superficies paralelas altamente reflejadas.

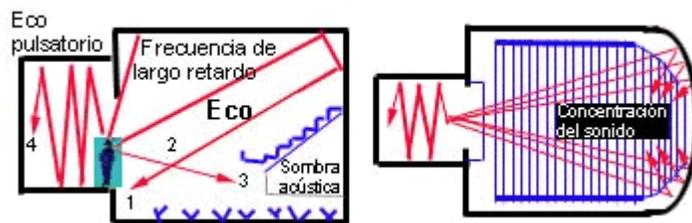


Figura1. Eco en un recinto

<sup>1</sup> Criterios acústicos en el diseño de centros docentes Pág. 17 de 62

- **Concentración de Sonido:** Este se produce por reflexiones ocasionadas por superficies cóncavas que se concentran en algunos puntos del auditorio, en detrimento de otros puntos que no se benefician de reflexiones, creando puntos muertos, donde las condiciones de audición son pobres.
- **Espacios Acoplados:** Si un auditorio está conectado con un espacio bastante reverberado, (puntos fijos, escaleras de tramoya etc.) a través de puntos o aberturas, los recintos formarán espacios acústicamente acoplados, y sonidos entrando al auditorio provenientes del espacio reverberado serán notorios y destructivos para los escuchas cercanos a las aberturas.
- **Distorsión:** Se crea cuando se aplican tratamientos absorbentes excesivos o con características de absorción muy dispares entre frecuencias. Esto se percibe como un cambio en la calidad musical.
- **Sombras Acústicas:** Típicas de las áreas bajo balcones de poca altura y gran profundidad.
- **Galerías Susurrantes:** Sonidos de alta frecuencia tienden a desplazarse pegados a grandes superficies cóncavas como domos, de tal forma que un susurro suave producido cercano al domo puede ser fácilmente escuchado al lado opuesto del mismo.

Algunos parámetros acústicos que se deben tener en cuenta para su descripción acústica son:

- **Clase de Transmisión de Sonido (STC, Sound Transmission Class):** Clasificación numérica en decibeles basada en las medidas de pérdida de transmisión de una división entre salones encerrados adyacentes.
- **Coeficiente de Reducción del Sonido (NRC, Noise Reduction Criterion):** Clasificación numérica individual en decibeles, que es el promedio aritmético de los coeficientes de absorción a 250, 500, 1000, 2000, y 4000 Hz.

Algunos valores de niveles típicos de sonido de varias fuentes de ruido y ambientes están mostrados en la tabla 1.

<b>ORIGEN DE MEDIO AMBIENTE</b>	<b>dB</b>	<b>PERCEPCION DEL OYENTE</b>
Avión Jet al despegar	120	Comienzo del dolor
Fabrica de Calderas	110	Ensordecidor
Fabrica ruidosa,ruido alto en la calle.	90	Muy alto, ruidoso.
Oficina ruidosa,fábrica término medio.	70	Alto.
Oficina común, casa ruidosa.	50	Moderada.
Oficina Privada, conversación libre.	30	Tenue, débil.
Murmullos.	10	Muy Tenue.

Tabla1. Niveles típicos de sonido de varios orígenes de ruido y ambientes:

## 2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO

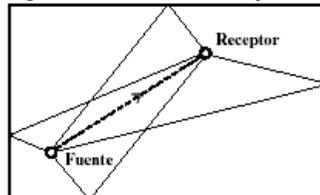
Para el desarrollo de este proyecto se tomaron en cuenta las siguientes normas:

- Para realizar cualquier diseño acústico, resulta imprescindible disponer de los coeficientes de absorción obtenidos mediante ensayos de laboratorio, según un procedimiento homologado (norma ISO 354 / UNE-EN 20354). Dichos coeficientes deberán ser solicitados, en cada caso, al correspondiente proveedor, que tendrá que acreditar su validez mediante el pertinente certificado.
- UNE-EN ISO 3382:2001 Acústica. Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos. (ISO 3382:1997).
- El índice usado se define en la norma IRAM 4043 o ISO 717, valores globales de atenuación de varios elementos de aislamiento.
- Norma IRAM 4062 denominada “Ruidos molestos al vecindario”
- ASME 413-73 “Determination of Sound Transmission Class”).

## 2.3 MARCO TEÓRICO

Cuando la fuente sonora está rodeada por varias superficies (piso, paredes, techo) un oyente recibirá el sonido directo, y además el sonido reflejado en cada pared. Las primeras reflexiones recibidas, que se encuentran bastante separadas en el tiempo, se denominan **reflexiones tempranas**. Esta situación se ilustra a la figura 2..

Figura 2. reflexiones tempranas.



En salas no demasiado grandes, las primeras reflexiones están bastante cerca en él tiempo unas de otras, de manera que no se llegan a percibir como eco.

En un recinto cuando una fuente sonora emite una señal de una gran duración, el sonido directo y las numerosas reflexiones de las ondas sonoras llegan simultáneamente al oyente, habiendo recorrido diferentes trayectorias y teniendo diferentes amplitudes y se genera sonido directo y campo reverberante.

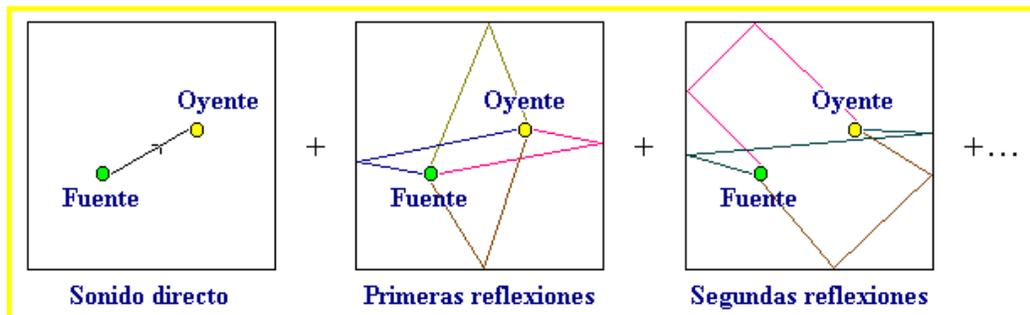


Figura3. Sonido directo y reflexiones

Dependiendo de los materiales que recubren las superficies se tendrá una forma característica de absorción. El coeficiente de absorción tiene una gran importancia para el comportamiento acústico de un ambiente, y por esa razón se han medido y tabulado los coeficientes de absorción para varios materiales y objetos. En general, los materiales duros, como el hormigón o el mármol, son muy reflectores y por lo tanto poco absorbentes del sonido y en cambio los materiales blandos y porosos, como la lana de vidrio, son poco reflectores y por consiguiente

muy absorbentes. En la Tabla 2. se dan los valores de  $\alpha$  para varios materiales típicos de construcción, objetos y personas (ya que las personas también absorben el sonido). Se proporcionan para varias frecuencias, ya que  $\alpha$  depende bastante de la frecuencia. En general la absorción aumenta con la frecuencia, debido a que para frecuencias altas la longitud de onda es pequeña y entonces las irregularidades de la superficie o el propio espesor del material son más comparables con la longitud de onda. En algunos casos, sin embargo, algún fenómeno de resonancia entre el material y la pared puede mejorar la absorción en bajas frecuencias.

Un parámetro importante para tener en cuenta en un recinto cualquiera es el Tiempo de Reverberación (RT). Después del periodo de las reflexiones tempranas, comienzan a aparecer las reflexiones de las reflexiones, y las reflexiones de las reflexiones de las reflexiones, y así sucesivamente, dando origen a una situación muy compleja en la cual las reflexiones se densifican cada vez más. Esta permanencia del sonido aún después de interrumpida la fuente se denomina **reverberación**. Ahora bien; en cada reflexión, una parte del sonido es absorbido por la superficie, y otra parte es reflejada. La parte absorbida puede transformarse en minúsculas cantidades de calor, o propagarse a otra habitación vecina, o ambas cosas.<sup>2</sup>

**Tabla 2.** Coeficientes de absorción de diversos materiales  
En función de la frecuencia (según varias fuentes).

Material	Coeficiente de absorción $\alpha$ a la frecuencia					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Hormigón sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Ladrillo visto pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Revoque de cal y arena	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Placa de yeso (Darlack) 12 mm a 10 cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Yeso sobre metal desplegado	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03
Mármol o azulejo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Madera en paneles (a 5 cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Madera aglomerada en panel	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22
Parquet sobre listones	0,20	0,15	0,12	0,10	0,10	0,07
Alfombra de goma 0,5 cm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Alfombra de lana 1,2 kg/m <sup>2</sup>	0,10	0,16	0,11	0,30	0,50	0,47
Alfombra de lana 2,3 kg/m <sup>2</sup>	0,17	0,18	0,21	0,50	0,63	0,83
Cortina 338 g/m <sup>2</sup>	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina 475 g/m <sup>2</sup> fruncida al 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Espuma de poliuretano (Fonac) 35 mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
Espuma de poliuretano (Fonac) 50 mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,99
Espuma de poliuretano (Fonac) 75 mm	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35 mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
Espuma de poliuretano (Sonex) 50 mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
Espuma de poliuretano (Sonex) 75 mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m <sup>3</sup> ) 25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m <sup>3</sup> ) 50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
Lana de vidrio (panel 35 kg/m <sup>3</sup> ) 25 mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
Lana de vidrio (panel 35 kg/m <sup>3</sup> ) 50 mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vidrio	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04
Panel ciclorsaco Spanacustic (Manville) 19 mm	–	0,80	0,71	0,86	0,68	–
Panel ciclorsaco Acustidom (Manville) 4 mm	–	0,72	0,61	0,68	0,79	–
Panel ciclorsaco Prismatic (Manville) 4 mm	–	0,70	0,61	0,70	0,78	–
Panel ciclorsaco Profil (Manville) 4 mm	–	0,72	0,62	0,69	0,78	–
Panel ciclorsaco fisurado Auratone (USG) 5/8"	0,34	0,36	0,71	0,85	0,68	0,64
Panel ciclorsaco fisurado Cortega (AWD) 5/8"	0,31	0,32	0,51	0,72	0,74	0,77
Asiento de madera (0,8 m <sup>2</sup> /asiento)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Asiento tapizado grueso (0,8 m <sup>2</sup> /asiento)	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Personas en asiento de madera (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,34	0,39	0,44	0,54	0,56	0,56
Personas en asiento tapizado (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,53	0,51	0,51	0,56	0,56	0,59
Personas de pie (0,8 m <sup>2</sup> /persona)	0,25	0,44	0,59	0,56	0,62	0,50

<sup>2</sup> Determ  
Cano, C

N y T60. M. Ortega

La parte reflejada mantiene su carácter de sonido, y viajará dentro del recinto hasta encontrarse con otra superficie, en la cual nuevamente una parte se absorberá y otra parte se reflejará. El proceso continúa así hasta que la mayor parte del sonido sea absorbido, y el sonido reflejado sea ya demasiado débil para ser audible, es decir, se extinga. Para medir cuánto demora este proceso de extinción del sonido se introduce el concepto de tiempo de reverberación, **T**, técnicamente definido como *el tiempo que demora el sonido en bajar 60 dB por debajo de su nivel inicial* (se ha elegido 60 dB porque con esa caída se tiene la sensación de que el sonido se ha extinguido completamente. El tiempo de reverberación depende de cuán absorbentes sean las superficies de la sala. Así, si las paredes son muy reflectivas, es decir que reflejan la mayor parte del sonido que llega a ellas, se necesitarán *muchas reflexiones* para que se extinga el sonido, y entonces **T** será grande. Si, en cambio, son muy absorbentes, en cada reflexión se perderá una proporción muy alta del sonido, por lo tanto en unas pocas reflexiones el sonido será prácticamente inaudible, por lo cual **T** será pequeño. Dado que los materiales duros, como el hormigón o los azulejos, son poco absorbentes del sonido, un ambiente con paredes de este tipo tendrá un tiempo de reverberación largo. Una sala cubierta con materiales absorbentes como cortinados, alfombras, etc., por el contrario, tendrá un tiempo de reverberación corto.<sup>3</sup>

La propiedad anterior se puede expresar por medio de una fórmula, denominada **fórmula de Sabine**, en honor al físico norteamericano que la obtuvo a principios de este siglo. Según dicha fórmula el tiempo de reverberación **T** puede calcularse como:

$$T = 0,161 \cdot \frac{V}{\alpha \cdot S}$$

Donde **V** es el volumen de la habitación en **m<sup>3</sup>**, **S** es el área de su superficie interior total en **m<sup>2</sup>**, y  $\alpha$  es el coeficiente de absorción sonora, ya definido como la fracción de la energía sonora incidente que es absorbida por las superficies de la habitación. c

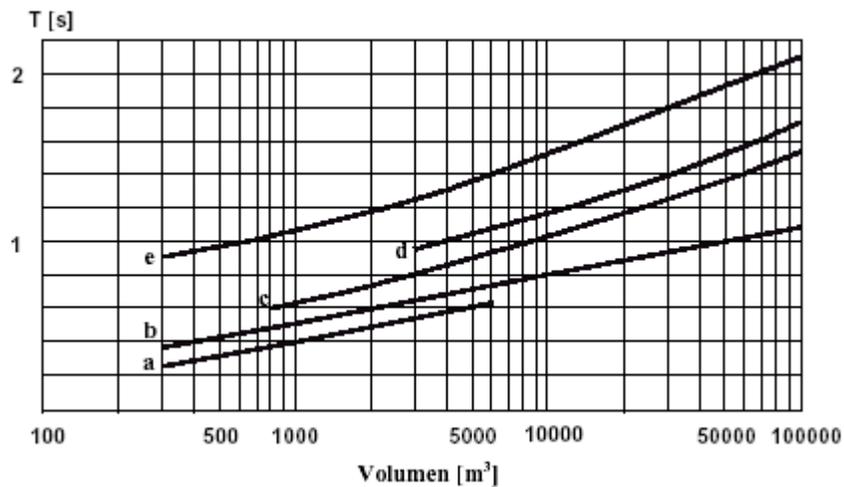
Los coeficientes de absorción dependen de la frecuencia y el tiempo de reverberación depende de la frecuencia. En general, los recintos están formados por diversos materiales, cuyos coeficientes de absorción no tienen por qué ser iguales. Si una sala tiene una parte **S<sub>1</sub>** de su superficie con coeficiente  $\alpha_1$ , otra parte **S<sub>2</sub>** con coeficiente  $\alpha_2$ , ... y por último una parte **S<sub>n</sub>** con coeficiente  $\alpha_n$ , entonces

---

<sup>3</sup> Aislamiento en la Edificación ISOVER.

$$T = 0,161 \cdot \frac{V}{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n}$$

Varias investigaciones realizadas evaluando las acústicas de las mejores salas del mundo (según la opinión de las audiencias o usuarios y de expertos) han revelado que para cada finalidad existe *un tiempo de reverberación óptimo*, que aumenta al aumentar el volumen en m<sup>3</sup> de la sala. En la Figura 4 se muestra el resultado de uno de estos estudios. Debe aclararse que *no hay coincidencia* entre los resultados presentados por diversos investigadores, aunque cualitativamente son similares.



**Figura 4.** Tiempo de reverberación óptimo en función del volumen de una sala (según L. L. Beranek). (a) Estudios de radiodifusión para voz. (b) Salas de conferencias. (c) Estudios de radiodifusión para música. (d) Salas de conciertos. (e) Iglesias.

En general, se observa que la palabra requiere menores tiempos de reverberación que la música, debido a que la parte más significativa de la palabra son las consonantes, que son a la vez débiles y más cortas que las vocales. En consecuencia, con un tiempo de reverberación alto las vocales se prolongan demasiado, enmascarando a las consonantes que les siguen, lo que reduce la inteligibilidad de la palabra. La música, por el contrario, *se beneficia* con un tiempo de reverberación considerable, ya que éste permite empalmar mejor los sonidos y disimular pequeñas imperfecciones de ejecución, a la vez que aporta una espacialidad que es deseable en la música.

Un segundo elemento que interviene en la acústica de un ambiente es cómo se distribuye en él el campo sonoro. Por **campo sonoro** se entiende el valor que adquiere la presión sonora en cada punto del espacio. A los efectos del análisis, el campo sonoro se divide en dos componentes: el campo directo y el campo

reverberante. El **campo directo** contiene la parte del sonido que acaba de ser emitido por la fuente, y que por lo tanto *aún no experimentó ninguna reflexión*, y el **campo reverberante**, en cambio, incluye el sonido *después de la primera reflexión*.

Estas dos componentes tienen comportamientos muy diferentes. El campo directo disminuye con la distancia a la fuente, y lo hace a razón de **6 dB** por cada duplicación de la distancia. Así, si a 1 m de una fuente sonora se mide un nivel de presión sonora de 80 dB, a 2 m (el doble de 1 m) tendremos 74 dB; a 4 m (el doble de 2 m) habrá 68 dB; a 8 m (el doble de 4 m) existirá un campo directo de 62 dB, y así sucesivamente. El campo reverberante, en cambio, es *constante* en los ambientes cerrados, como habitaciones, salas y otros recintos. Esto se debe a que el sonido sufre multitud de reflexiones, y todas ellas se superponen entre sí, resultando una *distribución prácticamente uniforme* del sonido.

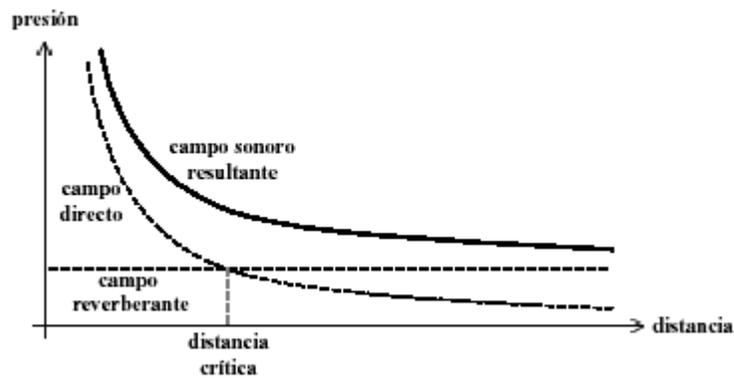
Donde el sonido puede propagarse libremente sin que se produzcan reflexiones, *sólo existe la componente de campo directo*. Por esta razón, el nivel de presión sonora disminuye rápidamente con la distancia. Así, una persona hablando normalmente a 50 m se escuchará sólo muy débilmente. En un ambiente cerrado, en cambio, si bien muy cerca de la fuente predomina el campo directo, a cierta distancia predomina el campo reverberante. En la Figura 5 se ilustran ambas componentes de la presión sonora y el campo sonoro resultante de la superposición de ambas. Existe una distancia denominada distancia crítica que limita las regiones en las que predomina uno u otro campo. Para distancias menores que la distancia crítica, predomina el campo directo, y para distancias mayores, predomina el campo reverberante. Por esta razón se suele denominar también campo cercano y campo lejano a las componentes directa y reverberante. Una característica del campo directo es que es bastante **direccional**, mientras que el campo reverberante es **difuso**. Por esta razón, en un teatro, cerca del escenario se percibe claramente la procedencia de los sonidos, pero más lejos no tanto (aunque por efecto Haas, el sonido directo, que llega siempre primero, permite percibir la dirección del sonido aún con un importante campo reverberante).<sup>4</sup>

El campo reverberante permite explicar por qué dentro de una habitación los sonidos se perciben con mayor sonoridad que en un ámbito abierto. En éste último sólo existe el campo directo. En una habitación el sonido se ve *reforzado* por el campo reverberante, que *acumula la energía sonora que no es absorbida en las reflexiones*.

---

<sup>4</sup> Acústica Arquitectónica Ing. Francisco Ruffa

Al aire libre al no haber reflexiones, la energía sonora simplemente se aleja continuamente de la fuente, *sin posibilidad de acumularse*. De la discusión anterior se desprende que el campo reverberante será tanto mayor cuanto más reflectoras del sonido sean las superficies de un ambiente (o, lo que es lo mismo, cuanto menor sea el coeficiente de absorción), ya que en ese caso será mayor la energía acumulada. Como también el tiempo de reverberación aumenta cuando aumenta la reflexión, resulta que *a mayor tiempo de reverberación, mayor campo reverberante*.



**Figura 5.** Campo directo y campo reverberante. Se indica también la distancia crítica, que limita las regiones donde predomina una u otra componente del campo sonoro.

Esto explica por qué en los ambientes con paredes duras, como los gimnasios, a igualdad de la fuente el nivel sonoro es tan alto. A esto se agrega el hecho de que el campo reverberante tiende a enmascarar el habla, por lo que la gente inconscientemente sube la voz para aumentar el campo directo, y poder comunicarse por lo menos con las personas más próximas. Esto a su vez incrementa el campo reverberante, significa más energía sonora para acumular en el ambiente.

En las salas pequeñas, aparece un tercer elemento que incide en la calidad acústica, que son las **resonancias** o **modos normales de vibración**. Esto sucede como consecuencia de las reflexiones sucesivas en paredes opuestas. Si en una habitación se genera una onda sonora que viaja perpendicularmente a dos paredes enfrentadas, al reflejarse en una de ellas lo hará también perpendicularmente, de modo que volverá sobre sí misma y posteriormente se reflejará en la pared opuesta. Así, se generará lo que se denomina una **onda estacionaria**, es decir una onda que va y vuelve una y otra vez entre las dos paredes. Esta onda es, de hecho, una onda sonora que se escuchará precisamente como un sonido. Si la distancia entre las dos paredes es **L**, la longitud de tal onda es **2L**, y por consiguiente deberá cumplirse que:

$$2 \cdot L = \frac{c}{f}$$

donde **c** es la velocidad del sonido (**345 m/s**) y **f** la frecuencia del sonido resultante. De aquí se puede obtener la frecuencia, que resulta ser

$$f = \frac{c}{2 \cdot L} .$$

Este fenómeno puede traer consecuencias para las condiciones acústicas del recinto. Las resonancias se ponen de manifiesto cuando aparece un sonido de igual o similar frecuencia. Por ejemplo, si un bajo ejecuta esta nota, la acústica de la habitación parecerá amplificar dicho sonido, en desmedro de los otros sonidos. A esto se agrega que para las frecuencias de resonancia el tiempo de reverberación es mucho más prolongado, por lo cual dicha nota se prolongará más que las otras. Esto se considera un defecto acústico importante. Entre las posibles soluciones, están: a) evitar las superficies paralelas, que favorecen las resonancias, b) agregar absorción acústica que reduzca el tiempo de reverberación, c) ecualizar el sistema de sonido de modo de atenuar las frecuencias próximas a la resonancia o resaltar las otras frecuencias.

Las resonancias rellenan el espectro musical, lo cual favorece el canto solista, es decir las melodías sencillas y no demasiado rápidas. Por ese motivo resulta agradable cantar en el baño (especialmente para la voz masculina). Es un ambiente pequeño, y por lo tanto con resonancias notorias. Sin embargo, desde el punto de vista de la escucha de la música, no resulta tan agradable, porque distorsiona lo que se quiere escuchar. Otra consecuencia de las resonancias es que la **difusión** del sonido no es satisfactoria, la distribución espacial del mismo no es uniforme: en algunos puntos el nivel sonoro es mucho mayor que en otros, siendo la diferencia mayor que la atribuible al campo directo. A medida que crece el tamaño de una habitación, las resonancias tienden a estar cada vez más próximas entre sí, y se transforman en reverberación, mejorando también la difusión. Lo mismo sucede cuando la forma de la sala es irregular.

Sólo los modos de vibración cuyos números  $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$  sean pares no tendrán presión cero en el centro del recinto. Las **7/8** partes de los modos normales tienen un *contorno de presión nula* que pasa por el centro del recinto. Ningún modo normal de vibración puede ser excitado a pleno si no es por una fuente situada en un punto de máxima presión del modo considerado. El criterio de evaluación de modos mas utilizado es el de Bonello por eso aquí se explica.

Criterio de Bonello. Contempla todos los modos presentes, fijando el análisis sobre la base de porcentajes de la frecuencia modal y no a distancias fijas, Este

criterio, llamado Criterio de densidad de modos, parte de considerar que el número total de modos posibles ( $N_t$ ), para valores  $p, q, r$ , enteros y positivos 0 a  $n$ , será:

$$N_t = (n+1)^3$$

La densidad de modos crece con el cuadrado de la frecuencia. A partir de los 200 Hz, la densidad es tan grande que el oído no alcanza a percibir diferencias, no posee habilidad para discriminarlos. Por debajo de los 200 Hz, cada modo puede llegar a ser escuchado en forma individual, produciendo una sensación desagradable. Un recinto puede tener buena o mala distribución, con intervalos sin modos, se logrará una contribución de energía de determinado ancho de banda, mas uniforme.

El acondicionamiento acústico de un local mediante el tratamiento de algunas de sus superficies con materiales absorbentes puede tener algunas de las siguientes causas:

- Aumentar el confort acústico interno, disminuyendo el ruido de fondo y mejorando la intimidad.
- Mejorar las condiciones acústicas de sonoridad de un local, a fin de adecuarlo a unas necesidades específicas según su utilización.
- Proyectar un local donde las condiciones acústicas sean fundamentales y definitorias de la actividad, como el caso de un teatro, auditorio, estudio de TV, etc.

Como se puede comprender, el alcance del tratamiento será distinto así como el número de parámetros y consideraciones técnicas que deban ser apreciadas en su desarrollo.

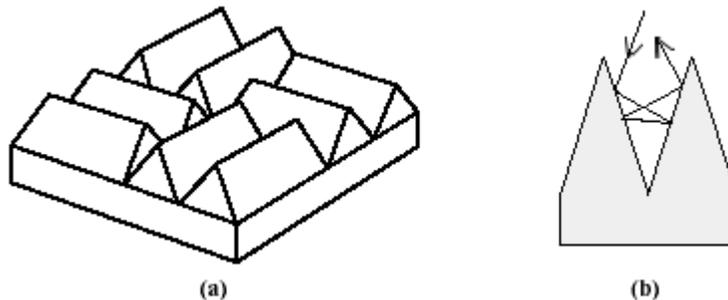
Para un buen acondicionamiento es necesario utilizar materiales acústicos. Los materiales de construcción y los revestimientos tienen propiedades absorbentes muy variables. A menudo es necesario, tanto en salas de espectáculo como en estudios de grabación y monitoreo realizar tratamientos específicos para optimizar las condiciones acústicas. Ello se logra con materiales absorbentes acústicos, es decir materiales especialmente formulados para tener una elevada absorción sonora.<sup>5</sup>

Existen varios tipos de materiales de esta clase. El más económico es la lana de vidrio, que se presenta en dos formas: como fieltro, y como panel rígido. La absorción aumenta con el espesor, y también con la densidad. Permite absorciones sonoras muy altas. El inconveniente es que debe ser separada del

---

<sup>5</sup> Acústica Arquitectónica. Materiales absorbentes para el acondicionamiento acústico en medios de comunicación

ambiente acústico mediante paneles protectores cuya finalidad es doble: proteger la lana de vidrio de las personas, y a las personas de la lana de vidrio (ya que las partículas que se podrían desprender no sólo lastiman la piel sino que al ser respiradas se acumulan irreversiblemente en los pulmones, con el consecuente peligro para la salud). Los protectores son en general planchas perforadas de Eucatex u otros materiales celulósicos. Es de destacar que salvo las planchas perforadas de gran espesor, no tienen efecto propio en la absorción, por lo tanto las planchas perforadas aplicadas directamente sobre la pared son poco efectivas. Otro tipo de material son las espumas de poliuretano (poliéster uretano, y poliéteruretano) o de melamina. Son materiales que se fabrican facetados en forma de cuñas anecoicas (Figura 6a). Esta estructura superficial se comporta como una *trampa de sonido*, ya que el sonido que incide sobre la superficie de una cuña se refleja varias veces en esa cuña y en la contigua. El resultado es un aumento de la superficie efectiva de tres veces o más (Figura 6b).



**Figura 6.** (a) Una muestra de material absorbente a base de espumas poliuretánicas con terminación superficial en cuñas anecoicas. (b) Mecanismo por el cual las cuñas anecoicas logran gran absorción sonora.

Para tratamiento acústico de cielorrasos se pueden emplear plafones fonoabsorbentes basados en fibras minerales (basalto), fibra de vidrio, fibras celulósicas, corcho, etc. con diversas terminaciones superficiales de fantasía. En general se instalan suspendidas por medio de bastidores a cierta distancia de la losa. Cuanto mayor es la separación, mejor es la absorción resultante, sobre todo si se intercala algo de lana de vidrio. Es necesario efectuar aquí dos advertencias. La primera se refiere al poliestireno expandido (telgopor). Si bien es un excelente aislante térmico, *sus características acústicas son muy pobres*, contrariamente a lo que mucha gente supone, y por lo tanto no debería utilizarse en aplicaciones en las que la absorción o la Aislación acústica sean críticas. La segunda advertencia es con respecto a la costumbre de recubrir los cielorrasos con cajas de huevos, bajo la creencia de que son buenos absorbentes del sonido. En realidad no son efectivas para esta aplicación, debido a que carecen de la porosidad y el volumen necesarios. Tal vez la confusión se origine en la semejanza que presentan con las cuñas anecoicas. No son recomendables para ninguna aplicación acústica seria. El tratamiento de pisos se realiza normalmente con alfombras, las cuales son más efectivas si se colocan sobre bajoalfombras porosos de fibra vegetal (arpillera, yute) o poliéster. El efecto de las alfombras no se reduce a absorber el sonido,

sino que atenúan los ruidos de pisadas u objetos que caen o rozan el suelo (por ejemplo, cables de micrófonos). A igual estructura, la absorción de una alfombra aumenta con el espesor. El tipo de fibra constitutiva de una alfombra (lana, nylon) no afecta significativamente a su coeficiente de absorción.<sup>6</sup>

Por último, los cortinados también pueden aprovecharse como absorbentes sonoros, especialmente cuando forman parte del diseño arquitectónico con algún fin estético o funcional. Hay que tener en cuenta que a mayor separación de la pared, mayor efectividad en la absorción. También es importante la porosidad, ya que una cortina plástica impermeable no tiene propiedades absorbentes. Por el contrario, una cortina de tela gruesa, de terciopelo, etc., será bastante absorbente. La absorción también aumenta con el plegado, fruncido o drapeado, es decir la relación entre el área efectivamente ocupada por la cortina y el área de la cortina estirada. Una cortina fruncida al **50%** puede llegar casi a duplicar su coeficiente de absorción.

Los más típicos, y desde luego los únicos, de entre los considerados aquí, con características de verdadero material, son los materiales porosos; siendo, los demás, dispositivos o estructuras absorbentes. Los materiales porosos están constituidos por un medio sólido (esqueleto), recorrido por cavidades más o menos tortuosas (poros) comunicadas con el exterior. La degradación de la energía acústica se produce por fricción viscosa del fluido en el seno de las cavidades. Desde el punto de vista del comportamiento acústico, conviene distinguir entre materiales de esqueleto rígido y flexible. En los primeros el coeficiente de absorción aumenta con la frecuencia, mientras que en los segundos se presentan resonancias (máximos) de absorción a frecuencias bajas y medias.

Los resonadores, como su propio nombre indica, producen la absorción de energía acústica mediante un proceso de resonancia. El movimiento resonante de una parte del sistema extrae energía del campo acústico, de manera selectiva y preferente, en una banda de frecuencias determinada. Hay diversas fórmulas para el cálculo de la frecuencia central de resonancia, y así poder utilizar el más adecuado en cada caso. Los absorbentes anecoicos, también llamados dispositivos de absorción con variación progresiva de las características físicas, hacen uso del hecho por el que la reflexión de una onda acústica se produce cuando encuentra una variación de las características físicas del medio en que se propaga. Con la variación gradual de éstas, se pretende reducir al mínimo el obstáculo que presenta el material. Con estos absorbentes se logran coeficientes de absorción a incidencia normal superiores al 99%, a partir de una determinada frecuencia llamada de corte. Su utilización es específica en cámaras anecoicas.

---

<sup>6</sup> Acústica Arquitectónica. Materiales absorbentes para el acondicionamiento acústico en medios de comunicación

En la práctica son tres los materiales o sistemas utilizados:

- Materiales porosos.
- Resonadores de placa.
- Resonadores de Helmholtz.

Los materiales porosos están constituidos por una estructura que configura una elevada cantidad de intersticios o poros comunicados entre sí. Los materiales de estructura fibrosa se ajustan exactamente a esta configuración. Al incidir una onda acústica sobre la superficie del material, un importante porcentaje de la misma penetra por los intersticios; haciendo entrar en vibración a las fibras, con lo que se produce una transformación en energía cinética de parte de la energía acústica.

Por otra parte, el aire que ocupa los poros entra en movimiento, produciéndose unas pérdidas de energía por el rozamiento de las partículas con el esqueleto, que se transforma en calor. Como quiera que la sección de que dispone la onda acústica está limitada por el esqueleto o elemento sólido, se comprende que el comportamiento del material dependerá de la porosidad del mismo. Efectivamente, la elevada absorción acústica de los materiales constituidos por fibras de vidrio o roca es explicable a su elevada porosidad, que puede rebasar el 99%.

No obstante, como quiera que los espesores de capa que normalmente se utilizan son muy limitados, por problemas de espacio y costo, la absorción acústica con materiales porosos es muy elevada a las altas frecuencias y limitada a las bajas. Efectivamente, para obtener un grado de absorción del 99%, es necesario un espesor de aislamiento para una determinada frecuencia; equivalente a  $\lambda/4$  ( $\lambda$  longitud de onda).

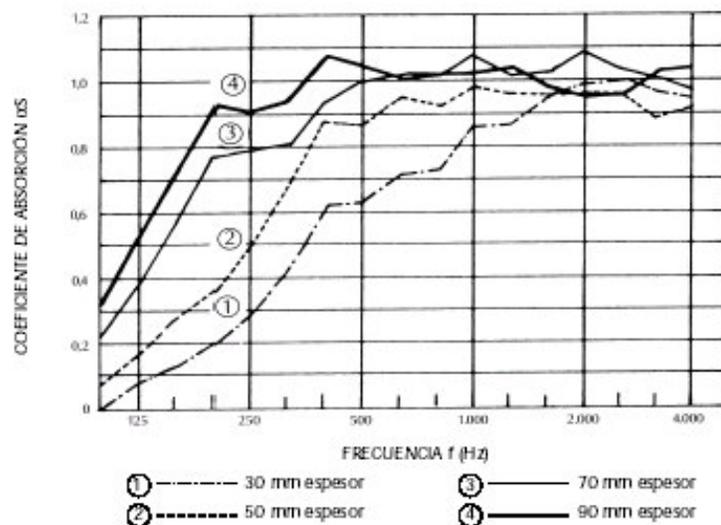


Fig. 7. Absorción acústica de paneles de lana de roca «ROCLAINE» de densidad 70 kg/m<sup>3</sup> apoyados sobre una superficie rígida.

En la figura 7 aparecen las curvas de absorción acústica de un panel de lana de roca con diferentes espesores. Observando las mismas, puede apreciarse lo anteriormente expuesto: la influencia del espesor sobre el coeficiente de absorción. Efectivamente, así como para las altas frecuencias el comportamiento está muy en línea para los cuatro espesores considerados, en las medias y especialmente en bajas frecuencias, se aprecia claramente la ganancia obtenida al aumentar el espesor. Otros factores de influencia son los espacios vacíos entre el material absorbente y la pared rígida (cámara) y los revestimientos.<sup>7</sup>

La cámara actúa como un implementador del espesor real del material, de modo que se consiguen absorciones más elevadas para un mismo producto según su disposición esté más alejada de la pared rígida. Este hecho tiene especial relevancia en las bajas y medias frecuencias, pero no en las altas, ya que en éstas los coeficientes de absorción son de por sí muy elevados. El otro aspecto importante es el revestimiento con el que se presentan habitualmente estos productos para su comercialización como «techos acústicos». Los revestimientos pueden ser de dos clases: porosos e impermeables.

<sup>7</sup> Aislamiento acústico. José Pablo Calvo, Saint Gobain S.A.

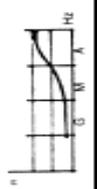
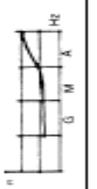
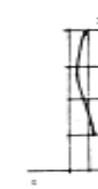
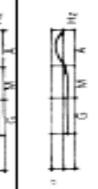
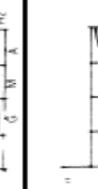
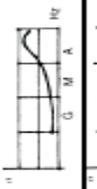
NATURALEZA	ASPECTO	FORMA DE COLOCACIÓN	PROCESO DE ABSORCIÓN	VALOR ACÚSTICO RELATIVO	OBSERVACIONES
Placas de fibras minerales comprimidas. • Lana de roca. • Lana de vidrio.	Placas rígidas con superficie uniforme o fisurada o ranurada.	Encoladas.	La absorción es debida a la porosidad de las placas.		Estos materiales son imputrescibles y no combustibles. Pueden encolarse sobre paramentos verticales. No es conveniente pintar estas placas, salvo, eventualmente, con pintura al agua que no tape los poros.
		Suspendidas.	Al efecto de porosidad se añade un efecto de diafragma que aumenta la absorción de los graves.		
Placas de fibras minerales poco comprimidas con una lamina plastica. • Lana de vidrio.	Placas semirígidas autoporantes.	Suspendidas.	La absorción es debida a la porosidad y al efecto diafragma de la placa suspendida. La película plastica moderna la absorción de los agudos en favor de los medios.		Estos materiales son inhelesantes por su poder absorbente casi uniforme. Imputrescible y no combustible.
		Encoladas.	La absorción es debida a la porosidad.		
Placas de fibras vegetales comprimidas. • Fibra de madera. • Fibra de caña de azúcar. • Paja, caña.	Superficie uniforme fisurada, estrada, ranurada o perforada.	Suspendidas.	La absorción es debida a la porosidad y al efecto de diafragma.		Es un material combustible. Es conveniente no pintarlo. Pueden encolarse sobre paramentos verticales.
		Encoladas o clavadas.	La absorción es debida a los grandes poros del material.		
Placas de fibras de madera	Fibras de madera aglomeradas con cemento. El aspecto es poco decorativo si queda a cara vista.	Suspendidas.	La absorción aumenta por el efecto de diafragma.		El poder absorbente aumenta con el espesor. Solo pueden aplicarse sobre paramentos planos. Es un material combustible.
Enrejados o tejidos.		Suspendidos o fijados sobre armadura.	Se obtiene el resultado que corresponde al material que recubren. Una placa de lana de vidrio colocada sobre un tejido de gran malla da el resultado de la lana de vidrio.		Pueden ser colocados en revestimientos de muros con materiales combustibles, pero pueden ignifugarse.
Poliestireno expandido.	Placas blancas.	Encoladas.	Las células están cerradas y la porosidad tiene poco efecto.		Solo el poliestireno cortado mecánicamente tiene una ligera eficacia. Es un material combustible.
		Suspendidas.	Efecto de membrana ligera.		
Proyecciones de fibras minerales.	Superficie rugosa irregular		Absorcion por porosidad.		El revestimiento es bastante frágil, se debe proyectar sobre superficies acacias para poder efectuar reparaciones.
Enlucidos porosos con base de yeso, vermiculita.	Pueden teñirse en la masa.		Eficaz solamente en frecuencias agudas.		
Pinturas absorbentes	Cobrido variado.		Eficacia débil y sobre todo en los graves y medios.		

Tabla 3 Clasificación de materiales absorbentes y propiedades. (Isover)

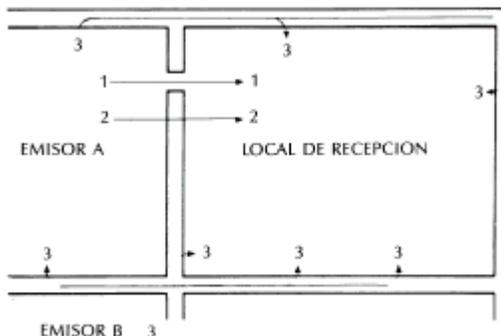
Aparte del acondicionamiento es necesario tener en cuenta el aislamiento del sonido, que consiste en impedir la propagación del mismo por medio de obstáculos más o menos reflectores, en cambio absorción es la disipación de energía en el interior del medio de propagación. Es muy importante distinguir entre el aislamiento y acondicionamiento acústico. El aislamiento acústico de un local es el responsable de evitar que la energía sonora alcance los recintos adyacentes o que

el sonido generado en el exterior u otros recintos adyacentes no interfiera en la actividad del local. Aislar acústicamente un recinto significa impedir que los sonidos generados dentro del mismo trasciendan hacia el exterior y, recíprocamente, que los ruidos externos se perciban desde su interior.

El aislamiento de un elemento constructivo es función de sus propiedades mecánicas y de la denominada Ley de Masas, por la cual al aumentar de masa al doble, supone un incremento de 6 dB(A) en el aislamiento acústico. Cuando las ondas sonoras entran en contacto directo con la estructura del edificio, transmitiendo la excitación a esta, se habla de ruido estructural o de impacto. Estos serán ruidos generados por el impacto entre sólidos tales como la caída de objetos al suelo, pisadas, etc.<sup>8</sup>

El sonido transmitido por el aire es lo que normalmente se llama ruido aéreo, y así lo denominaremos en adelante. Si colocamos una barrera entre dos locales para conseguir un aislamiento al ruido aéreo, la transmisión del ruido de un local a otro se puede realizar por distintos caminos; como se ve en la figura 8.

Figura 8. Transmisión del ruido por distintos caminos



a) Por vía directa 2, que se puede descomponer en dos causas principales.

- La porosidad a través de fisuras e intersticios.
- El efecto de diafragma, es decir, flexión bajo el efecto de la presión sonora, como en una membrana.

b) Por vías indirectas, como conductos 1 y paredes adyacentes 3. Hay diversos índices normalizados para cuantificar el aislamiento al ruido aéreo. Los más usados:

<sup>8</sup> Criterios para la evaluación acústica. Isover España.

- Aislamiento acústico (D): Es la diferencia de niveles de presión acústica que existe entre el nivel acústico del local donde está la fuente (local emisor) y el del local donde se recibe el sonido (local receptor).

Se calcula mediante la expresión:

Este valor puede corresponder a una sola frecuencia, a una banda de frecuencia o al espectro total de frecuencias. Aislamiento acústico normalizado (Dn): Es la diferencia de niveles de presión acústica entre el local emisor y el receptor; pero teniendo en cuenta la influencia que, sobre el nivel, ejerce la reverberación. En el local receptor, si existe una reverberación elevada, el valor del nivel acústico L2 es mayor que el que cabría esperar debido al aislamiento producido por la pared, con lo que el aislamiento acústico se reduce. Lo contrario ocurrirá en el caso de elevada absorción: baja reverberación.

$$D = L_1 - L_2 \text{ dB}$$

Para tener en cuenta esta incidencia, se efectúa una corrección de los resultados considerando que una habitación con un amueblamiento normal posee un tiempo de reverberación de 0,5 segundos, o, según otra normativa, un área de absorción equivalente de 10m<sup>2</sup>.

Por tanto, el aislamiento acústico normalizado, para una frecuencia determinada entre dos locales de una vivienda, se calcula mediante la expresión:

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{0,5} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{10}{A} \quad \text{dB}$$

siendo:

T = Tiempo de reverberación del local receptor para la frecuencia considerada.

A = Área de absorción equivalente del local receptor para la frecuencia considerada.

- Índice de debilitamiento acústico (R): Este índice se utiliza generalmente para medidas en laboratorio (cámaras de transmisión) y se define como:

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \quad \text{dB}$$

Siendo W1 y W2 las potencias acústicas incidentes sobre la muestra y transmitida por ella. En el caso de campo acústico difuso, que es como se ensaya en el laboratorio, se puede evaluar por la fórmula:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad \text{dB}$$

siendo:

S = Superficie de la muestra a ensayar (m<sup>2</sup>).

A = Área de absorción equivalente de la sala de recepción (m<sup>2</sup>).

Se entiende por pared simple la que no está formada por varias paredes independientes, es decir, no es necesario que sea una pared homogénea (de un solo material), sino que debe cumplir que los puntos situados sobre una misma normal no modifiquen su distancia mutua cuando la pared realice vibraciones. Para obtener un buen aislamiento acústico, estas paredes se deben construir de acuerdo con los siguientes puntos:

- Suficientemente pesadas.
- Débilmente rígidas.
- Estancas de aire.

a) Ley de masa y de frecuencia. Para una pared simple, la ley de masa y frecuencia (Ley de Berger) indica que el aislamiento acústico es mayor cuanto mayor sea su masa superficial (masa por unidad de superficie), es decir, más pesadas, y también es mayor para frecuencias altas. La expresión de esta ley es:

$$D = 20 \log \frac{\omega \cdot m}{2 \cdot Z} \quad \text{dB}$$

siendo,

m = Masa superficial (kg/m<sup>2</sup>).

Z = Impedancia acústica del aire (Rayls).

Esto, pasado a una gráfica normal o semilogarítmica, nos da el aislamiento acústico en función de la masa superficial, para una serie de frecuencias dadas. Teóricamente, esta ley nos dice que doblando la masa se consigue una mejora de 6 dB en el aislamiento. Esta ley es experimental, por tanto no es absoluta, sino aproximada, si bien se utiliza mucho para dar una primera idea del comportamiento acústico de una pared.

b) Aislamiento real de paredes simples

La ley de masas sólo se cumple en un intervalo de frecuencias que está determinado por dos frecuencias características de una pared real y en el entorno de las cuales no se cumple la ley de masas, con una reducción notable del aislamiento acústico.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Diseño Acústico de espacios arquitectónicos. 1998. UPC

- La frecuencia natural del sistema ( $f_0$ ) como un todo, que depende de la masa de la pared y de las sujeciones perimetrales de la hoja.
  - La frecuencia crítica o de coincidencia  $f_c$ , en la cual las ondas incidentes coinciden en frecuencia con las ondas longitudinales de flexión de la pared.
- Esta frecuencia depende exclusivamente del material de la pared y de su espesor, según la expresión:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi \cdot d} \sqrt{\frac{12\rho}{E} (1 - \mu^2)}$$

donde:

c - Velocidad del sonido en el aire (m/seg).

d - Espesor de la pared (m).

$\rho$  - Densidad del material de la pared (kg/m<sup>3</sup>).

$\mu$  - Coeficiente de Poisson.

E - Módulo de Young (N/m<sup>2</sup>).

En la figura 8 se indican los valores de las frecuencias críticas de los materiales más habituales en la edificación.

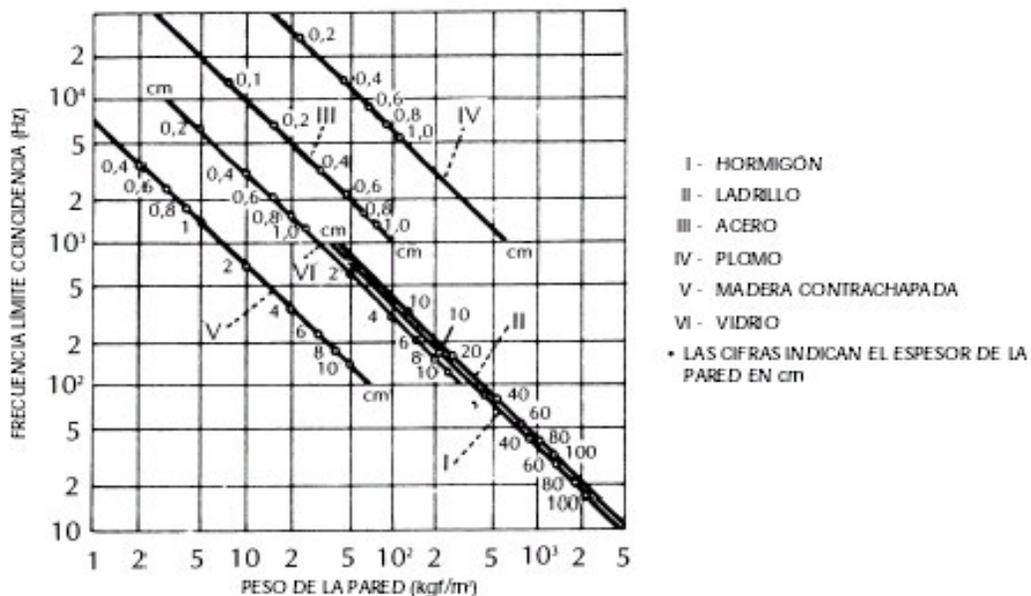


Figura 9. Aislamiento acústico en paredes

Se observa que existen tres zonas donde el aislamiento acústico está gobernado por diferentes factores, tal como se representa esquemáticamente en la figura 9. La zona de «dominio de la elasticidad» ( $f < f_0$ ), que corresponde en general a muy bajas frecuencias y con un aislamiento descendente hasta « $f_0$ », donde es casi nulo.

- La zona de «dominio de la masa», que sí está gobernada por la ley de masas, caracterizada por  $f_0 < f < f_c$  aproximadamente, donde:

$$R = 20 \log (m \cdot f) - 42 \quad (\text{dB})$$

La zona de «dominio del amortiguamiento interno», que corresponde a  $f > f_c$ , en la cual el aislamiento baja de modo considerable hasta  $f_c$  y aumenta desde ese valor de un modo progresivo. En esta zona, el factor que gobierna las variaciones del aislamiento es el amortiguamiento interno (.) Del material, la capacidad del material para absorber energía de vibración a las ondas de flexión.

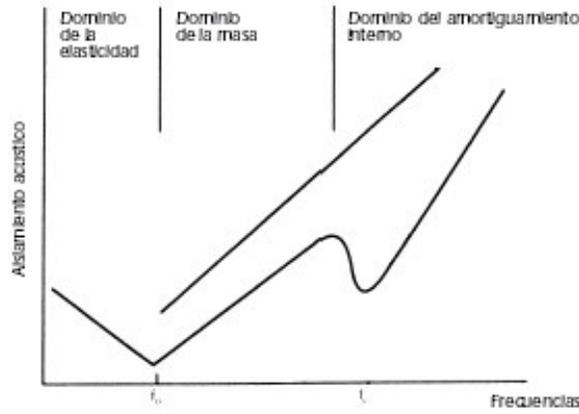


Figura 10 Acondicionamiento acústico de una pared simple

Toda esta problemática está bien estudiada para las paredes simples de obra que se utilizan en la Edificación, como se representa en la figura 11.

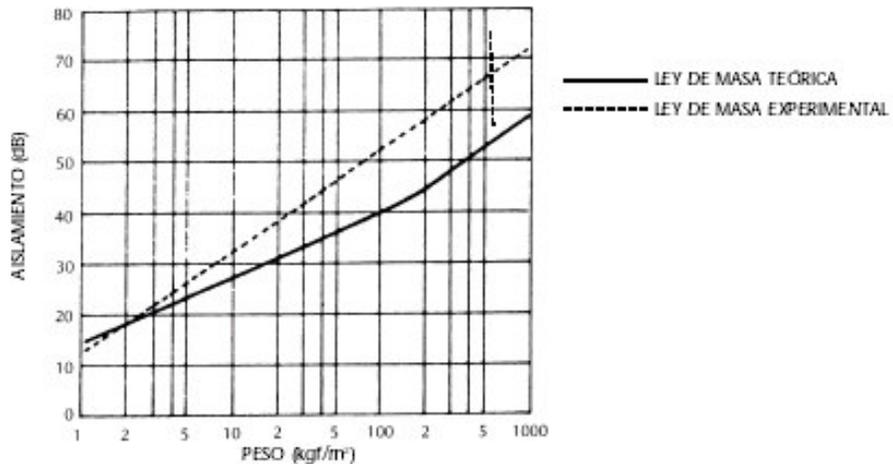


Figura 11. Valor del aislamiento en función de la masa para pared ficticia

La curva de trazos indica el valor del aislamiento en función de la masa para la pared ficticia considerada (Ley de masa teórica). Sin embargo, en la práctica, y de acuerdo con los ensayos realizados en laboratorio con distintos tipos de

materiales, se ha podido comprobar que los resultados obtenidos son inferiores (curva llena). Se observa que existe una diferencia notable en el aislamiento de 10-15 dB para pérdidas reales, entre la ley de masa teórica y las medidas reales, debido a los factores de influencia explicados. Las fugas dejan pasar fundamentalmente las frecuencias agudas, con lo que el problema se agrava (recordar la sensibilidad del oído a dichas frecuencias).

En el punto anterior se ha determinado el valor real del aislamiento acústico de una pared simple. Si dicha pared de masa «m» la dividimos en dos hojas de masas  $m_1 + m_2 = m$  y las separamos una distancia «d», el conjunto ofrece un aislamiento acústico superior al de la pared simple de masa equivalente. Este hecho representa un paso importante en el aligeramiento de las soluciones constructivas para un mismo valor de aislamiento acústico. Además este aligeramiento puede ser muy notable con la utilización de materiales ligeros blandos a la flexión (es decir, de  $f_c$  elevada), como se verá más adelante.<sup>10</sup>

El análisis del aislamiento, en este caso, nos lleva a la aparición de frecuencias en el entorno de las cuales existe una fuerte reducción del aislamiento. En este caso se trata de la «frecuencia natural del sistema» y de las «frecuencias de cavidad», que dan lugar a zonas dominadas por diversos factores de influencia.

a) La frecuencia natural del sistema ( $f_0$ ) se refiere a un conjunto de masas  $m_1$  y  $m_2$ , unidas por un resorte de rigidez  $K$ . Este sistema de masa- muelle- masa, con la capacidad de vibrar, posee una frecuencia de resonancia propia que viene definida por la siguiente expresión:  
donde:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{K \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2}} \quad \text{Hz}$$

$K$  - Rigidez del medio separador (N/m<sup>3</sup>).  
 $m_1$  y  $m_2$  - Masas de los elementos (kg/m<sup>2</sup>).

El medio separador puede estar constituido por aire, un material determinado o un sistema mecánico. Si el medio lo constituye el aire, la frecuencia de resonancia viene dada por la expresión:

$$f_0 = \frac{615}{\sqrt{d}} \sqrt{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} \quad \text{Hz}$$

donde:

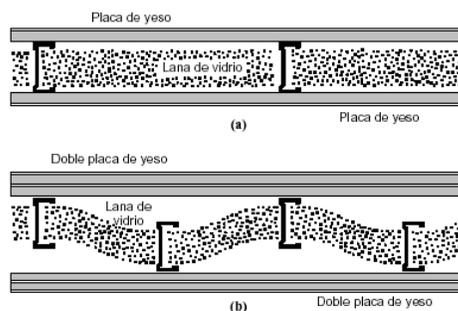
---

<sup>10</sup> Aislamiento en la Edificación. Isover.

d - Espesor de la capa de aire (cm).  
m1 y m2 - Masas superficiales, en kg/m<sup>2</sup>.

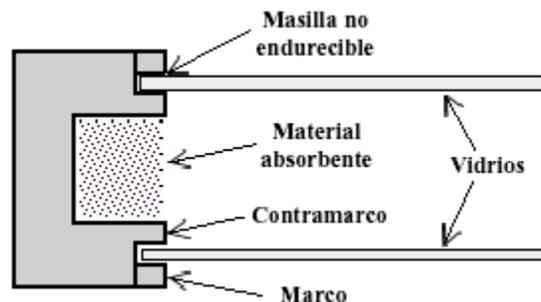
Esta frecuencia será tanto más baja cuanto mayores sean las masas y/o mayor la distancia entre ellas. Para esta frecuencia, el aislamiento acústico es muy bajo, prácticamente nulo; por tanto, se debe conseguir que esta frecuencia sea lo más baja posible, ya que la sensibilidad del oído disminuye al disminuir la frecuencia. Normalmente se busca que esta frecuencia esté por debajo del campo de medida (100 Hz). En una primera aproximación al problema, podemos observar que la aislación sonora se logra interponiendo una pared o tabique entre la *fente sonora* y el *receptor*. La aislación es tanto mayor cuanto mayor sea la densidad superficial (**kg/m<sup>2</sup>**) del tabique y cuanto mayor sea la frecuencia del sonido. Esta es la razón por la cual las paredes gruesas (y por lo tanto pesadas) ofrecen mayor aislación que las delgadas. También explica por qué de la música del vecino se escucha mucho más la base rítmica de la percusión grave (baja frecuencia) que las melodías, por lo general más agudas (alta frecuencia).

Un análisis más detallado indica que es posible obtener una mayor aislación acústica por medio de tabiques dobles, o, más generalmente, múltiples. En otras palabras, dada una cantidad de material (por ejemplo 20 cm de espesor de hormigón) podemos sacarle mayor provecho si lo dividimos en dos partes (en este caso dos paredes de 10 cm cada una) y lo separamos con un espacio de aire. Si el espacio de aire se rellena con algún material absorbente (típicamente, lana de vidrio), el resultado es una aislación todavía mayor. Este tipo de estructura se utiliza mucho con placas de roca de yeso (Durlock, Placo, Pladur). Estas placas están formadas por yeso recubierto a ambos lados por celulosa (cartón). El espesor es, normalmente, unos 12 mm, y se suelen usar de a 2 separadas 50, 70 ó 90 mm mediante perfiles de chapa. El espacio entre ambas placas se rellena con lana de vidrio (Figura 12a). La aislación que se logra es sorprendente para el espesor y el peso total. Se puede obtener mayor aislamiento aún utilizando dos placas de roca de yeso de cada lado, y montándolas sobre perfiles independientes para evitar las conexiones rígidas propensas a transmitir las vibraciones (estructura alternada, Figura 12b).



**Figura .12 (a)** Vista superior en corte de un montaje de placas de roca de yeso con estructura formada por perfiles de chapa. **(b)** Estructura alternada sin conexión rígida. Notar la diferencia de espesores a uno y otro lado de la pared.

También se utiliza el concepto de tabique doble para construir ventanas de gran aislamiento sonoro, como las “peceras” que separan la sala de control de la sala de grabación de los estudios. En este caso se utilizan dos hojas de vidrio grueso de distintos espesores (por ejemplo 6 mm y 8 mm), fijados al marco mediante masillas no endurecibles de silicona. En los bordes interiores (en forma más o menos oculta) se coloca material absorbente, como lana de vidrio o espuma de poliuretano. Para evitar que por diferencias de temperatura se produzcan condensaciones por dentro, lo cual empañaría los vidrios, se colocan gránulos de sílica gel, un poderoso deshumectante. En la Figura 13 se muestra la estructura de una ventana de este tipo.



**Figura13.** Corte según un plano horizontal de una ventana de doble vidrio. Obsérvese el diferente espesor de los vidrios.

Para catalogar la aislación sonora de diferentes materiales y estructuras se usan dos parámetros: la **pérdida de transmisión, PT**, y la **clase de transmisión sonora, STC** (Estados Unidos), o el **índice de reducción acústica, RW** (Europa y Argentina). La **pérdida de transmisión, PT**, es un parámetro expresado en dB que depende de la frecuencia e indica en cuánto se atenúa la *energía sonora* incidente al atravesar el tabique. Así, una pérdida de transmisión de 40 dB significa que la energía sonora que pasa al otro lado es 40 dB menor que la incidente. Se está hablando de la *energía sonora*, que no es lo mismo que la *presión sonora*. Si un tabique tiene  $PT = 40$  dB, y del lado de la fuente hay un nivel de presión sonora de 90 dB, *no es válido* afirmar que del otro lado hay 90 dB - 40 dB, es decir 50 dB. Puede haber menos o más de 50 dB, según las circunstancias. Por ejemplo, si el lado receptor es muy reverberante, habrá más de 50 dB; y si el tabique es muy pequeño, por ejemplo una pequeña ventanilla en el medio de una pared muy gruesa, entonces del lado receptor habrá probablemente menos de 50 dB.<sup>11</sup>

La clase de transmisión sonora, STC, es una especie de valor promedio de la pérdida de transmisión a varias frecuencias. Es un valor único que permite evaluar rápidamente la calidad de la aislación sonora que ofrece un tabique, especialmente en lo referido a la privacidad de la palabra. Así, un valor de STC inferior a 25 implica que la voz normal se entiende perfectamente, y un valor

<sup>11</sup> Niveles de Ruido Ingeniería de la USAC. Guatemala, Oct 2000

superior a 45 implica que la voz alta casi no se percibe. El índice de reducción sonora  $R_w$  es la versión europea, también usada en la Argentina (puede diferir hasta en 1 dB). En la Tabla 2 se detallan los valores de PT a varias frecuencias y de STC, correspondientes a varios materiales y estructuras. Se han considerado los materiales y estructuras actuando en condiciones casi ideales. No se ha tenido en cuenta, por consiguiente, la denominada transmisión por flancos, es decir el sonido que se filtra a través de fisuras, intersticios o juntas mal selladas, o que se propaga por la estructura en forma de vibraciones, o que se transmite por tuberías de ventilación o aire acondicionado, o por los caños de distribución de energía eléctrica. En todo proyecto de aislación acústica deben tenerse en cuenta todos estos detalles, ya que de lo contrario se corre el riesgo de invertir grandes sumas de dinero sin lograr los resultados esperados. Es importante saber que el intersticio debajo de una puerta puede llegar a empeorar la atenuación de una pared en 20 dB ó más. Pueden utilizarse burletes perimetrales en las puertas y masilla con silicona ( no endurecible) en toda fisura, grieta o junta. Por último, debe advertirse que la información brindada en este capítulo se ha incluido a título informativo, siendo conveniente obtener una opinión especializada antes de encarar un proyecto que involucre grandes inversiones, ya que es muy fácil cometer errores que luego se pagarán, a la larga o a la corta, muy caro.

Es aquella parte de la acústica que estudia el comportamiento del sonido, esté confinado o no, en un rango de frecuencias entre 0hz y 20Khz en el aire, y todos los fenómenos relacionados con éste que puedan afectar la vida humana (transmisión, vibraciones). Desde que una fuente sonora emite un sonido hasta que dicho sonido se convierte en sensación sonora para la persona que escucha, se produce un conjunto de fenómenos divididos en dos fases: la transmisión del sonido desde la fuente hasta el oído y la audición de las ondas sonoras. Para realizar el estudio de estos fenómenos se requiere de conocimientos de acústicos específicamente de acústica arquitectónica que es una parte de la Física que estudia lo que acontece con las ondas sonoras desde que salen del foco hasta que llegan a la audiencia: fenómenos de reflexión y refracción, absorción y difracción. Puede resumirse su importancia en la siguiente frase: las salas afectan siempre a cualquier sonido que se propague en su interior(1). Se debe tener en cuenta que la acústica puede variar dependiendo del espacio, si es externo o interno, aquí se describen más detalladamente estos ítems.

**Tabla 4.** Pérdida de transmisión de diversos materiales en función de la frecuencia, y clase de transmisión sonora (según varias fuentes)

Material o estructura	STC	PT a la frecuencia					
		125	250	500	1000	2000	4000
Hormigón (90 mm)	37	30	30	37	35	38	41
Hormigón (140 mm)	45	30	34	41	48	56	55
Hormigón (190 mm)	53	37	46	46	54	59	60
Hormigón (290 mm)	50	33	41	45	51	57	61
Hormigón (90 mm) + aire (25 mm) + fibra de vidrio (65 mm) + hormigón (90 mm) + placa de yeso (16 mm)	62	49	54	57	66	71	81
Placa de yeso (Durlock) (12 mm)	28	15	20	25	29	32	27
Placa de yeso (Durlock) (2×12 mm)	31	19	26	30	32	29	37
Placa de yeso (12 mm) + aire (90 mm) + placa de yeso (12 mm)	33	12	23	32	41	44	39
Placa de yeso (2×12 mm) + aire (90 mm) + placa de yeso (12 mm)	37	16	26	36	42	45	48
Placa de yeso (2×12 mm) + aire (70 mm) + placa de yeso (2×12 mm)	45	23	30	45	49	52	52
Placa de yeso (12 mm) + aire (20 mm) + fibra de vidrio (50 mm) + placa de yeso (12 mm)	45	21	35	48	55	56	43
Placa de yeso (2×12 mm) + aire (40 mm) + fibra de vidrio (50 mm) + placa de yeso (2×12 mm)	55	34	47	56	61	59	57
Vidrio (6 mm)	31	25	28	31	34	30	37
Vidrio laminado (6 mm)	35	26	29	32	35	35	43
Vidrio (3mm) + aire (50 mm) + vidrio (3 mm)	38	18	26	38	43	48	35
Vidrio (3mm) + aire (100 mm) + vidrio (6 mm)	45	29	35	44	46	47	50
Puerta madera maciza (24 kg/m <sup>2</sup> ) sin burlete	22	19	22	26	24	23	20
Puerta madera maciza con burlete	26	22	25	29	25	26	28
Puerta de madera maciza (24 kg/m <sup>2</sup> ) + aire (230 mm) + Puerta acero chapa # 18 hueca (26 kg/m <sup>2</sup> ) + burlete magnético en el marco	49	35	44	48	44	54	62

Los ruidos generados en un recinto se propagan al entorno del mismo. La transmisión de esos sonidos no deseados, se produce por diversas vías. Existen dos vías importantes de propagación.

- 1) El sonido se penetra por vía aérea, cuyas fuentes de generación más comunes son: el ruido de tránsito, las voces, los sistemas de ventilación, etc.
- 2) El sonido que penetra por vía estructural (vía sólida), que normalmente es generado por vibraciones e impactos producidos por: pasos, portazos, golpes, cañerías, motores, etc.

Las fuentes que originan vibraciones o ruido de impacto, usualmente también generan sonidos por vía aérea. En estas condiciones, existen cuatro aproximaciones básicas para control de ruido dentro de un recinto:

1. Ubicar el recinto en un lugar silencioso.

En general no resulta fácil protegerlo del ruido del entorno. En espacio libre, al doblar la distancia a la fuente, significa una reducción de nivel de 6 dB y que una arboleda importante, con follaje grande, solo atenúa 4 dB.

2. Reducir la energía del ruido dentro del recinto.

Dentro de un recinto, el nivel de ruido puede ser reducido aplicando materiales absorbentes en sus paredes. Colocando una buena cantidad de estos materiales, se puede llegar a reducciones del ruido del orden de los 5 a 10 dB, según la absorción inicial del recinto.

3. Reducir la energía del ruido en origen.

Los ruidos generados por el tránsito automotor, ferroviario, aviones y sirenas, son prácticamente imposibles de reducir en origen, por lo que forzosamente se debe aislar el recinto.

4. Interponer una barrera aislante entre el ruido y el recinto.

Existen diversas formas de aislar un recinto, uno de ellos es creando barreras de diferentes tipos.

Las condiciones acústicas de un recinto están definidas en base a:

- Niveles sonoros existentes en el interior del recinto provenientes de fuentes sonoras interiores (cañerías, vecinos, máquinas...) o exteriores (tráfico...) que penetran en el recinto por vía aérea o estructural.
- Tiempos de reverberación.
- Distribución del sonido.
- Inteligibilidad de la palabra.

Dependiendo del uso al que destine el recinto, unos de los factores anteriores serán más prioritarios que otros. Por ejemplo, mientras que en un colegio es fundamental la inteligibilidad de la palabra, en una sala de conciertos va a ser más importante la distribución del sonido y los tiempos de reverberación. Aunque, en el fondo, todos estos parámetros están relacionados de alguna manera. Es obvia la necesidad de respetar unos límites sonoros del diseño si queremos conseguir unas condiciones acústicas favorables.

Los niveles sonoros de fondo existentes en un local serán función de los focos sonoros exteriores al recinto y a su aislamiento acústico. Dependiendo del uso al que se destine un local, es recomendable mantener unos niveles sonoros de fondo determinados. A continuación especificamos algunas de las recomendaciones a seguir en cuanto a estos niveles sonoros en función del uso del local, en términos de las curvas NC y en nivel sonoro global en dB(A).<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Acústica Arquitectónica. Decibel

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque a emplear en la investigación es empírico analítico debido a que esta orientado a la interpretación en la cual a través de la experimentación e implementación real, se pone en práctica una serie de conocimientos adquiridos como resultado de lo estudiado a lo largo de la carrera y la información recopilada para el desarrollo de este proyecto lo cual se llevo a cabo gracias a los docentes de la Universidad. En este caso la construcción arquitectónica de la nueva sede de la emisora Kennedy

### 3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB/SUB-LÍNEA DE FACULTAD/CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

La línea de investigación de la Universidad de San Buenaventura es la denominada Tecnologías actuales y sociedad, puesto que involucra el quehacer científico aplicado a un problema específico que afecta a una población determinada, el campo temático, en el programa de sonido, es la acústica la Sub línea de investigación de la facultad es Procesamiento de señales digitales y/o analógicas debido a que se adquiere información a partir de señales, se almacena, se maneja matemáticamente, se integran datos de diferentes fuentes llegando así a predecir comportamientos y su aplicabilidad es eminentemente en la acústica arquitectónica por ser esta la ciencia que estudia el diseño de estudios de grabación y radiodifusión, el comportamiento del sonido al interior de las salas y las características acústicas de los materiales de construcción utilizados, por estas razones se enmarca el proyecto en las línea mencionadas anteriormente.

### 3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La técnica aplicada para el diseño del estudio es: Se realizaron dos mediciones para este parámetro de Ruido:

- 1) El nivel SPL máximo generado dentro del estudio, por octavas, en condiciones operativas.
- 2) El nivel de Ruido exterior al estudio, tomando valores de LeqA y valores de Leq por octavas.

- Se tomó por cada cuarto 6 puntos de medición con un tiempo de 5 minutos con un medidor de nivel sonoro por octavas.
- Pérdida por transmisión. Medición realizada la fuente sonora en el cuarto a estudiar y el micrófono se ubica a 1.5 m de la pared receptora
- Criterio de Bolt para análisis de modos de resonancia
- Medición de respuesta al impulso en el estudio: Para determinar el tiempo de Reverberación e Inteligibilidad.

Las Mediciones se realizaron con los siguientes instrumentos:

- El sonómetro RION NA-27
- PC portátil Toshiba tarjeta de audio estéreo
- Consola UV 802
- Micrófono de medición.
- Cables ¼ , 1/8 de línea y RCA

### 3.5 HIPÓTESIS

En la actualidad las instalaciones de la emisora no cuentan con la infraestructura acústica adecuada para realizar emisiones y grabaciones de alta calidad, al diseñar un tratamiento acústico que tenga en cuenta los parámetros como ruido, Inteligibilidad, modos y Tiempo de reverberación, se obtendrá una mejora significativa en producción, emisión y desarrollo de la programación.

### 3.6 VARIABLES

#### 3.6.1 Variables Independientes

- Los materiales con los que se construye el recinto.
- Geometría del recinto
- Fuentes de ruido externas
- Temperatura
- Absorción acústica de las personas directamente involucrado en el trabajo en producción, emisión y dirección.

#### 3.6.2 Variables Dependientes

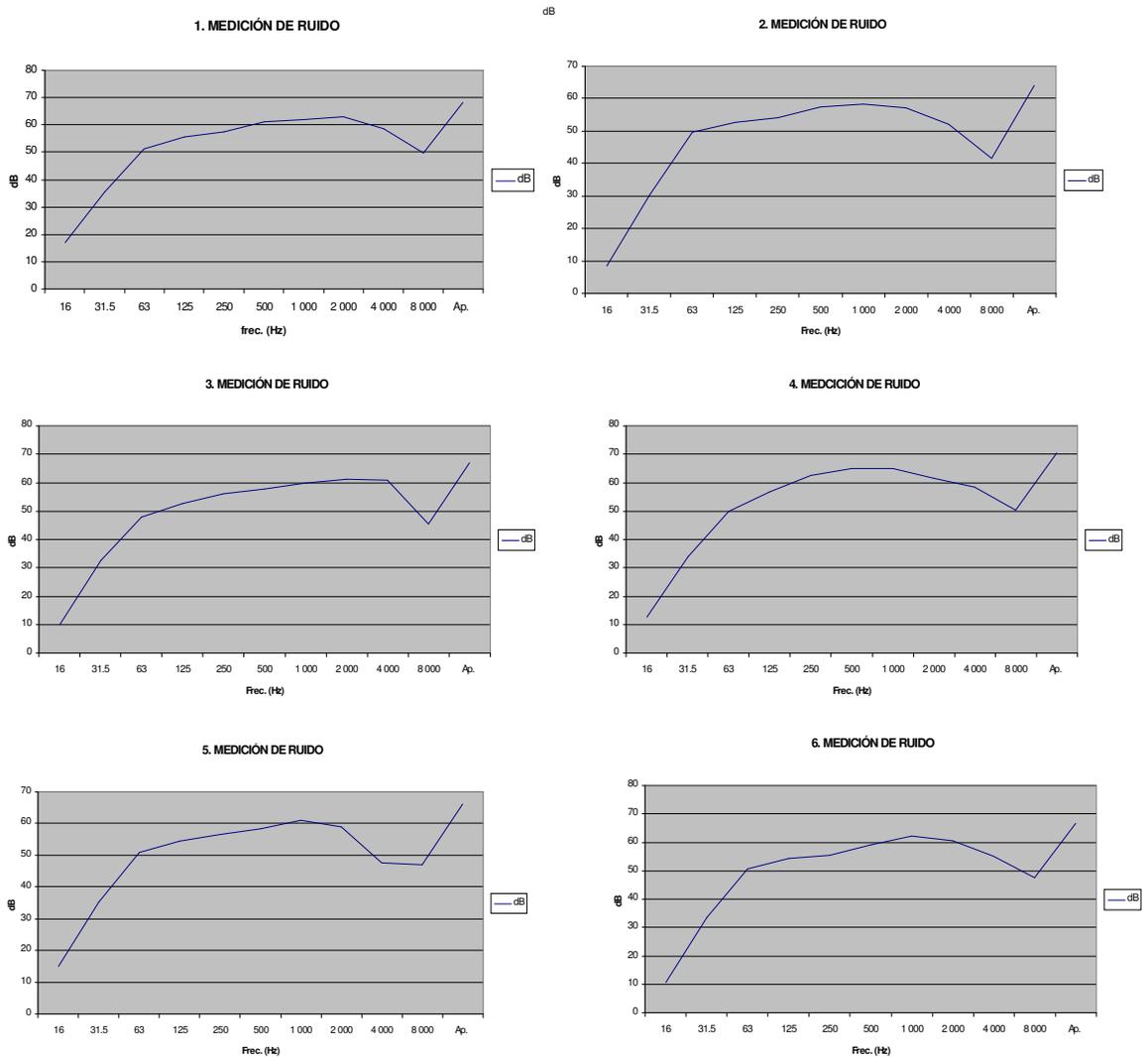
- Absorción
- Pérdida por transmisión.
- Inteligibilidad
- Modos de resonancia
- Aire acondicionado.
- Materiales

## 4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 AISLAMIENTO ACÚSTICO

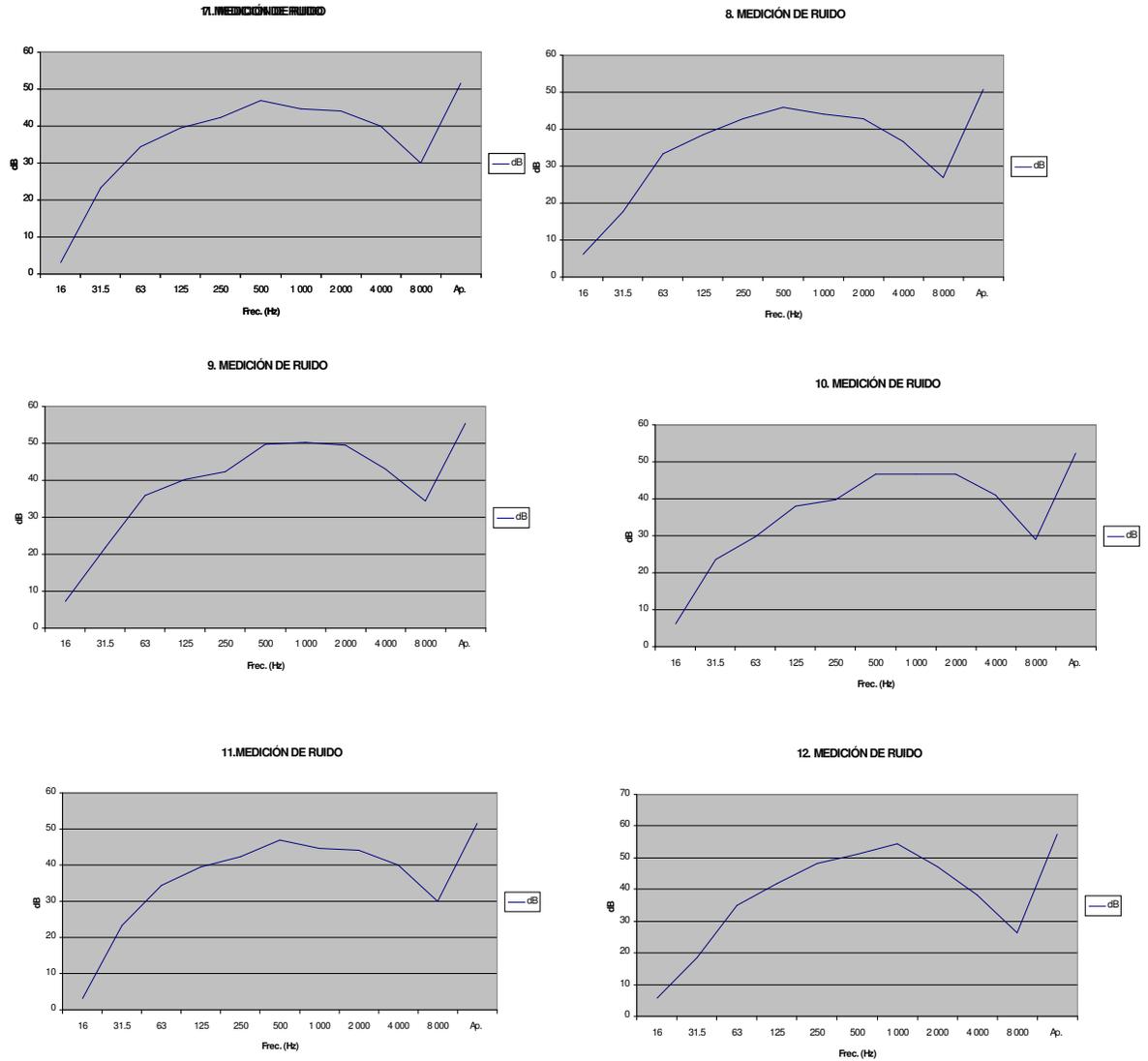
#### Ruido al exterior del recinto antes del aislamiento acústico

En la esquina entre la calle 4 y la carrera 71 D detallado en el plano de la Emisora mostrado al final de este capítulo.



Al frente de la casa en la calle 71 D cada punto de medición detallado en el plano.

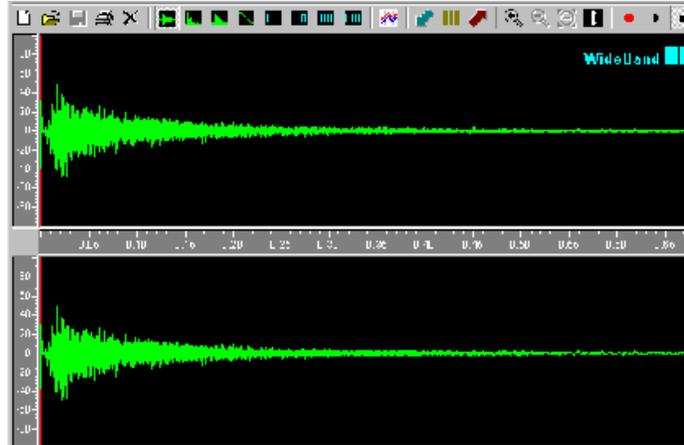
Ruido al Interior del recinto antes de realizar el aislamiento acústico.



Se puede observar en estos datos que las frecuencias críticas o que poseen mayor problema en el parámetro de ruido se encuentra en la banda de (500 Hz - 4000Hz)

## 4.2 ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

### 4.2.1 Medición de la respuesta al impulso antes del acondicionamiento acústico

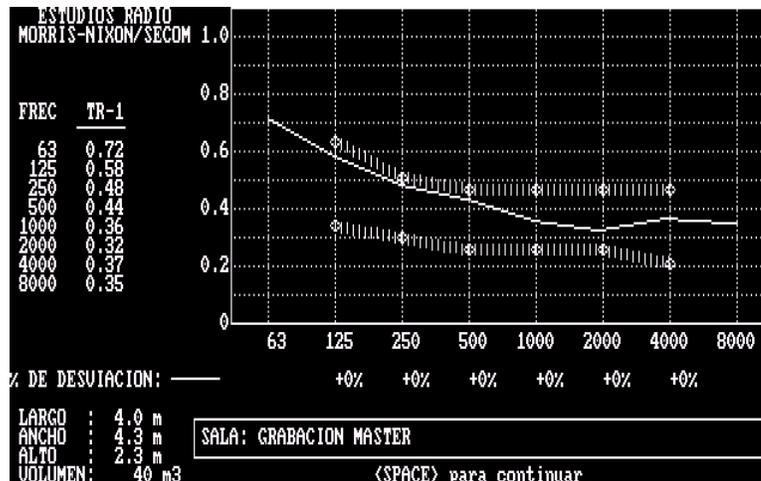


Programa para tomar la medición Adobe Audition versión 1.0. Medición tomada en el cuarto de producción el tiempo de reverberación es muy alto para el tipo de diseño al que se quiere llegar estudio de radio., lo cual puede ser observado por la duración de la señal.

Cálculo de la respuesta al impulso antes del acondicionamiento acústico

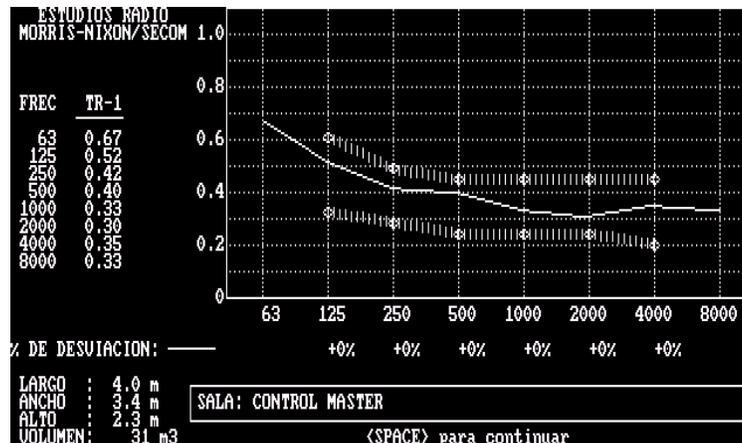
Programa del Ingeniero Francisco Ruffa con el tiempo de Reverberación tomando como referencia el tiempo óptimo de estudios de radio de Morris – Nixon.

Cuarto de control grabación

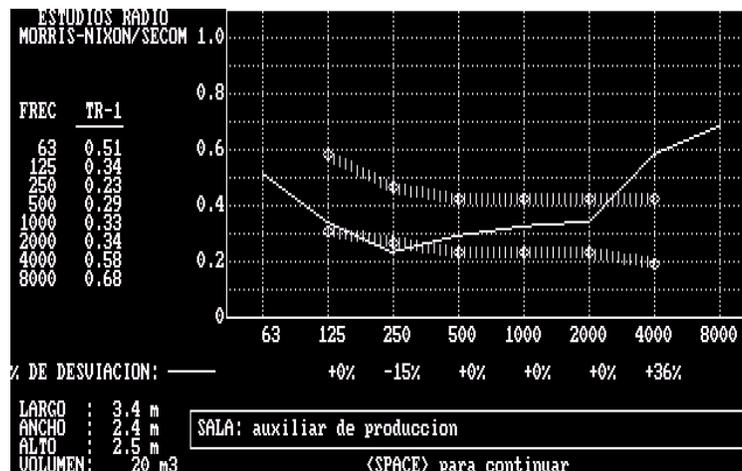


En estas gráficas se muestra el tiempo de reverberación para cada frecuencia según las dimensiones del cuarto y haciendo comparación con el criterio de Morris para estudios de radio. Al lado izquierdo se puede observar la frecuencia y el TR de cada una, debajo de la gráfica se muestra el porcentaje(%) de desviación. Las dos líneas gruesas punteadas corresponden al criterio y la línea continua es la correspondiente al cálculo.

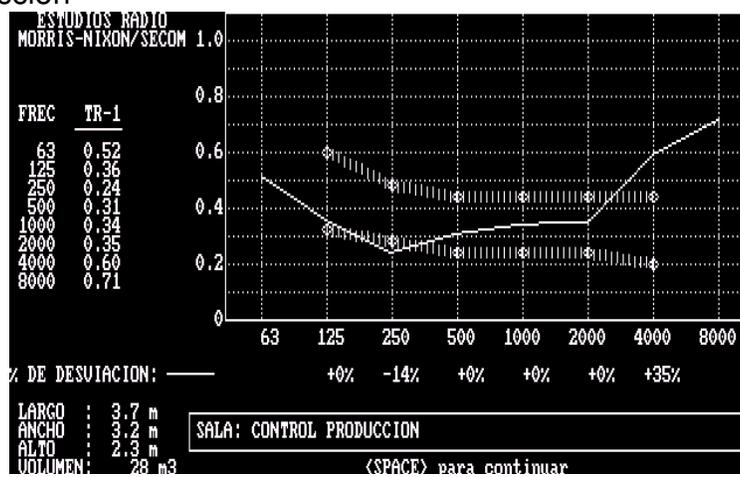
### Cuarto control del Master



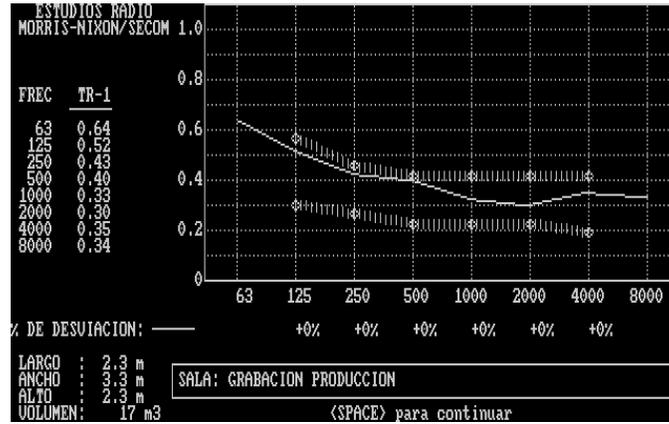
### Cuarto de grabación de producción



### Auxiliar de producción



## Cuarto de grabación de producción



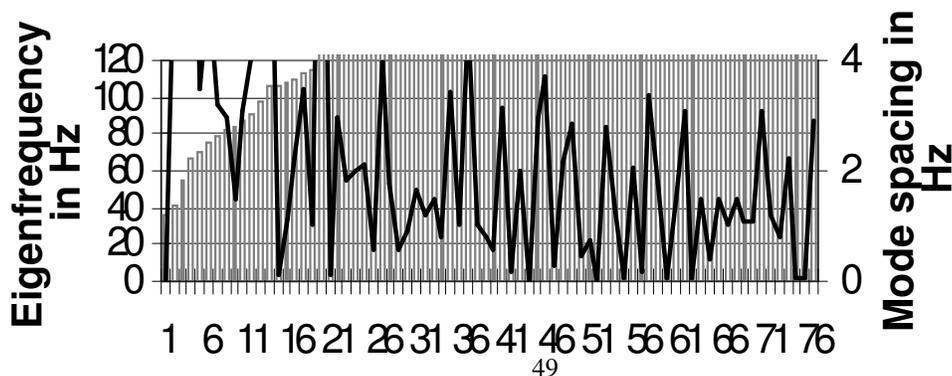
## Inteligibilidad

Con base en la medición de la respuesta al impulso.

RECINTO CRITERIO	STI Fem.	% ALC	STI Masc.	% ALC	RASTI	% ALC	STI	% ALC
Control de Producción	0.58 (Justo)	7.5	0.56 (Justo)	8.3	0.59 (Justo)	7.1	0.47 (Justo)	13.5
Cuarto de Grabación	0.60 (Justo)	6.8	0.57 (Justo)	7.9	0.55 (Justo)	8.9	0.48 (Justo)	12.5
Master cuarto de Grabación	0.63 (Bueno)	5.7	0.60 (Bueno)	6.6	0.64 (Bueno)	5.3	0.53 (Justo)	9.6
Control del Master	0.34 (Pobre)	27.5	0.29 (Malo)	35.4	0.18 (Malo)	64.9	0.30 (Pobre)	32.8
Hall	0.55 (Justo)	8.8	0.53 (Justo)	9.6	0.50 (Justo)	11.4	0.46 (Justo)	13.8

## 4.2.2 Medición de los modos de resonancia antes del acondicionamiento acústico

### CONTROL PRODUCCIÓN



	<b>L =</b>	3.80 m
<b>Room dimensions</b>	<b>W =</b>	3.75 m
	<b>H =</b>	2.55 m
	Floor area A =	14 m <sup>2</sup>
	Volume V =	36 m <sup>3</sup>
	Surface area S =	54 m <sup>2</sup>
	Edge length Le =	40 m
	Below frequency fm =	<b>150 Hz</b>
	Total number of modes N =	25
	Avg. mode spacing df =	4.0 Hz at fm
	Estimated reverberation time T60 =	<b>700 ms</b>
	Resonance bandwidth bw =	3.1 Hz
	Rise time Trise =	224 ms
	Schroeder frequency fs =	264 Hz
	Monopole reverb distance Rm =	0.41 m
	Dipole reverb distance Rd =	0.70 m
	Avg wall absorption a =	13%
	Estimated avg wall absorption a =	<b>10%</b>
	Reverberation time T60 =	884 ms

Programa del Ingeniero Pedro Valleta

Este programa fue un aporte del Ingeniero Pedro Valleta que realizó este software para calcular el número de modos y el Tiempo de reverberación.

## 5. DESARROLLO INGENIERIL

Para la implementación de zonas acústicas para los estudios de emisión y grabación de la emisora Kennedy. Se consideró conveniente manejar tres niveles de insonorización dependiendo del lugar ya que en unas zonas amerita mayor tratamiento que en otras.

Los estudios de radio, bien estén situados en edificios singulares o bien dentro de pisos, se pueden considerar como un conjunto de dos o tres recintos, uno dedicado a **sala de control** y uno o dos a **locutorios**. Son locales en los que no se producen grandes niveles de ruidos de emisión ya que están destinados fundamentalmente a la transmisión de la palabra. En la zona de mayor tratamiento se encuentra el cuarto de control y de grabación debido a que es el sitio en donde se emite la señal y por ende necesita de mas nitidez, mayor entendimiento, menos ruido y mejor calidad en el registro sonoro.

En el tratamiento medio alto, se clasificaron el Sub cuarto control y Sub grabación porque es en donde se graban, editan cuñas y se realizan pregrabados. Y el tratamiento medio porque el corredor, la fonoteca, salón de dirección y producción son muy cercanos al cuarto de control y necesita de bajo ruido, poco tiempo de reverberación según Norma Iso 3382 para estudios de grabación.

### TRATAMIENTO ALTO

- Control Room.
- Cuarto de grabación

### TRATAMIENTO MEDIO ALTO

- Sub control Room
- Sub cuarto de grabación

### TRATAMIENTO MEDIO

- Corredor (Hall)
- Fonoteca
- Salón de Dirección y Producción

### RECOMENDACIONES

- Baño
- Escaleras

## PROPUESTA DE INSONORIZACION PARA NIVEL ALTO.

En estos cuartos se trabajará tratamiento de:

- Tratamiento de MUROS. (Estas paredes son las que dan a la avenida principal carrera 71 D Calle 4)

Para los muros existentes de dicho lugar se propone: Pared doble, en drywall separadas una de otra a una distancia 12cm formando una cámara de aire; De esta forma se obtendría un aislamiento de unos 70 – 80 (dB). Este cálculo se describe en la siguiente ecuación.

$$D_{11} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{0,5} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{10}{A} \quad \text{dB}$$

Donde:

T= Tiempo de reverberación.

A = Área del recinto.

L1= El nivel medio de presión acústica del recinto emisor.

L2= El nivel medio de presión acústica del recinto receptor.

Esto se debe a que en este caso la onda acústica tiene que atravesar 2 veces la cámara de aire formada (Medio blando y Ligero) a la pared (Medio Duro y Pesado) y de nuevo al aire. Dentro de estas se instalaran Tacones (Cubos de madera) y material absorbente (fibra de Vidrio) para disminuir la frecuencia de resonancia que se generará. Las paredes dobles con mampostería pueden, en principio, ofrecer un aislamiento Acústico muy alto. Parecen ideales dos divisiones independientes pesadas separadas por un cámara de aire. La mejora respecto a una pared sencilla con el mismo peso total debe ser considerable. En contra de esto, hay que sopesar las dificultades prácticas asociadas con la construcción de dos divisiones que no están conectadas sólidamente. El sonido puede transmitirse a través de la estructura. Siempre existe cierta transmisión de energía a través del suelo y el techo, a través de las paredes que sirven de cerramiento exterior de la cámara de aire y a través de otras paredes de la estructura. Es necesario instalar juntas físicas en el suelo, techo y cerramientos laterales para reducir la transmisión a través de estas vías. Aunque se incluyan estos elementos en el diseño, los regueros de mortero o algún otro error de ejecución pueden servir de puente sobre la cámara de aire y aumentar la transmisión del sonido.

Las paredes y placas de concreto con los espesores habitualmente empleados en la edificación, poseen una transmisión del sonido inferior a la estipulada por la ley de masa. Como en cualquier otra división simple, si las superficies ligeras (como el yeso cartón tipo Gyplac) se montan de manera flexible puede

obtenerse un considerable aumento en la pérdida por transmisión. Las consideraciones respecto a las resonancias de frecuencia baja y el cambio en la pérdida por transmisión son esencialmente las mismas, que cuando se montan superficies ligeras sobre paredes de bloques de hormigón.

Además en las paredes se debe sobreponer material absorbente para reducir los modos por eso se instalaran unos paneles cubiertos de paño base de madera en forma de rombo, estos rombos medirán cada uno 1.20m de acuerdo a las mediciones tomadas.

- Tratamiento de VENTANAS. (Están ubicadas sobre las avenidas principales Cra 71 D calle 4)

Para las ventanas existentes en dicho recinto se propone: Vidrio Doble con espesores de 6mm para la ventana exterior y 3mm para la ventana interior con un espacio entre si de 30mm. Los bordes de este espacio serán recubiertos con materiales absorbentes porosos. Aislado 25 dB calculado con la ecuación del tratamiento alto para muros.

- Tratamiento de PUERTAS

Para las puertas existentes de madera en dicho recinto se propone: Puerta de Madera con doble lámina, separadas mínimo 7.5cm una de la otra, con una cuña de madera que se ubica en el borde exterior medio de la puerta respecto a los puntos de giro, su función es de sostener. El aislamiento sonoro de dos puertas en una marco da un promedio de 34 dB calculado con la ecuación del tratamiento de muros de nivel alto.

- Sellado de PUERTAS.

Sellar una puerta pesada es en general difícil se requiere utilizar mucha fuerza para cerrarla y mantenerla cerrada. Los burletes comunes suelen no ser suficiente y su tiempo de utilidad es muy corto, por lo que se opta construir trampas como parte integrante del marco y piso, el corte de un marco en madera con un sellado sobre la base de un tubo de goma de 1" y una pared de 2.3mm de espesor. En el mercado Colombiano existe un sellante llamado SIKA. Este factor es importante debido a que cuando un recinto esta herméticamente cerrado es mayor su aislamiento.

- Tratamiento de SUELOS.

Para los pisos existentes en placa de concreto en dicho recinto se propone: Por encima de la estructura de construcción, se adiciona piso flotante con 3 cm de fibra de vidrio, tabiques, soporte en madera recubierta de material absorbente en este caso alfombra para tráfico pesado de 7mm de espesor. Aislado 30dB, calculado con la ecuación del tratamiento de muros de nivel alto.

- Tratamiento de CIELO RASO.

Para los techos existentes, es el mismo suelo una placa de concreto en el recinto y para el cielo raso se propone: Debajo de la estructura de construcción se adiciona una placa de dry wall variando la altura de la placa utilizándolo como difusor, luego otra placa del mismo material de la estructura inicial, el techo acústico que se implementa tiene dimensiones de 30cm x 30cm. Aislado

El área de este tratamiento es igual a :

Control Room P.	Metros	Master	Metros	Producción Grabación	Metros
Ancho	3.14	Ancho	3.48	Ancho	3.14
Largo	4	Largo	4	Largo	5.26
Alto	2.3	Alto	2.3	Alto	2.3
ÁREA (m2)	12.56	ÁREA (m2)	13.92	ÁREA (m2)	16.12

Área Total = 42.6m<sup>2</sup>

#### PROPUESTA DE INSONORIZACIÓN PARA NIVEL MEDIO ALTO.

- Tratamiento de MUROS.

Pared Doble con masas de 100 Kg/m<sup>2</sup> y la otra menor a igual a 80 Kg/m<sup>2</sup>, separadas a una distancia de 10 cm, conservando su estructura interna (tacones con manta de fibra de vidrio), conservando las esquinas convexas. El recubrimiento se hace igual que en la propuesta para un acondicionamiento Alto.

- Tratamiento de VENTANAS Y PUERTAS. (Ventanas internas del recinto)

Las ventanas y puertas ubicadas en el interior entre el hall y los estudios de grabación, se conservarán sin modificación alguna, igualmente el sellado aislando 25 y 17 dB, respectivamente, calculado con la ecuación anteriormente trabajada en el tratamiento alto de muros.

- Tratamiento de SUELOS.

El suelo requiere un menor tratamiento ubicado en el hall, dirección del programa y fonoteca, solo se dejará la fibra de vidrio y encima madera recubierta con material absorbente en este caso alfombra para tráfico pesado de 7mm color verde absorbiendo 0.120 para frecuencia de 1K.

- Tratamiento de CIELO RASO.

El cielo raso se conserva igual, lo único que cambia es el techo acústico con las siguientes dimensiones 25cm x 25cm.

El área de este tratamiento es igual a

ÁREA (m2) Auxiliar Prod.	8.16
ÁREA (m2) Auxiliar	12.6

Área total = 20.76m<sup>2</sup>

#### PROPUESTA DE INSONORIZACION PARA NIVEL MEDIO.

- Tratamiento de MUROS.

Muros en drywall de, distanciados unos del otro 10 cm, este espacio no esta relleno ni de fibra de vidrio pero incluyendo los tacones.

- Tratamiento de PUERTAS Y VENTANAS.

Las puertas, ventanas y sellado se conservarán igual que en el tratamiento de nivel alto.

- Tratamiento de CIELO RASO.

El tratamiento del cielo raso cambia respecto a los niveles anteriores puesto que la fibra de vidrio disminuye de espesor a 2 cm y el techo acústico cambia las dimensiones quedando de 20cm x 20cm.

- Tratamiento de SUELOS.

El suelo del recinto se recubre con 2cm de espesor de fibra de vidrio y encima se coloca una placa de madera recubierta de material absorbente en este caso alfombra para tráfico pesado de 7mm.

El área de este tratamiento es igual a:

ÁREA (m <sup>2</sup> )	
Hall	12.96
Dirección y p.	12.09
Fonoteca	20

Total área es:45.04m<sup>2</sup>

## PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA

DESCRIPCION	Un.	Cant.	Vr Unit	TOTAL
Aislamiento Acústico en doble lámina de drywall de ½" sobre perfilera metálica, con fibra de vidrio interior de 3 ½" y dos mantos asfálticos de 3mm c/u	1 m <sup>2</sup>	30,00	\$90.000	\$2'700.000
Aislamiento Acústico interior, en fibra de vidrio interior de 3 ½" y dos mantos asfálticos de 3mm c/u.	1 m <sup>2</sup>	10,00	\$49.000	\$490.000
Muro en ladrillo macizo, pañeado, estuco y pintura.	1 m <sup>2</sup>	50,00	\$25.000	\$1'250.000
Paneles acústicos absorbentes con marco en madera, en acustifibra de 1" terminados en paño permeable.	1 m <sup>2</sup>	15,00	\$94.000	\$1'410.000
Secciones difusoras en ladrillo abuzardado a la vista.	1 m <sup>2</sup>	5,00	\$20.000	\$100.000
Puertas Acústicas de acceso en madera de e= 5cm, con fibra de vidrio interior y cerradura en viñeta	1 m <sup>2</sup>	8,60	\$300.000	\$2'580.000
Cielo raso acústico absorbente, en yeso modular de 60cmx60cm, Perforado, con Frescasa de 3 ½" y manto asfáltico de 3mm sobrepuesto.	1 m <sup>2</sup>	30,00	\$45.000	\$1'350.000
Cielo raso en drywall ½" con Frescasa de 3 ½" y manto asfáltico de 3mm sobrepuesto.	1ML	60,00	\$40.000	\$2'400.000
Cielo raso en drywall ½" con Frescasa de 3 ½" y manto asfáltico de 3mm sobrepuesto.	1 m <sup>2</sup>	15,00	\$40.000	\$600.000
Piso en alfombra tráfico pesado con bajo alfombra sin instalación	1 m <sup>2</sup>	130,00	\$50.000	6'500.000
Piso en alfombra tráfico pesado con bajo alfombra con instalación		130,00	\$120.000	\$15'600.000
Vidrio acústico doble 6mm y 3mm tratando el vidrio existente, sellamiento e instalación	1 m <sup>2</sup>	18,00	\$280.000	\$5'040.000
Vidrio acústico doble 6mm y 3mm tratando el vidrio existente, sellamiento sin instalación		18,00	\$230.000	\$4'140.000
<b>VALOR TOTAL</b>			<b>\$2,632.000</b>	
<b>Sin Instalaciones</b>	m <sup>2</sup>			<b>\$23'520.000</b>
<b>Con Instalaciones</b>	m <sup>2</sup>			<b>\$33'520.000</b>

## GASTOS ADMINISTRATIVOS.

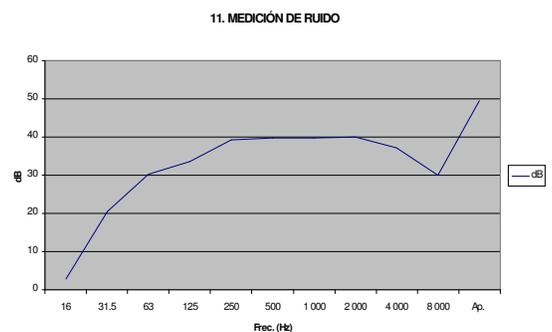
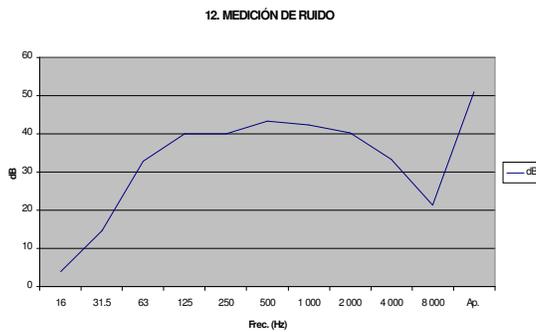
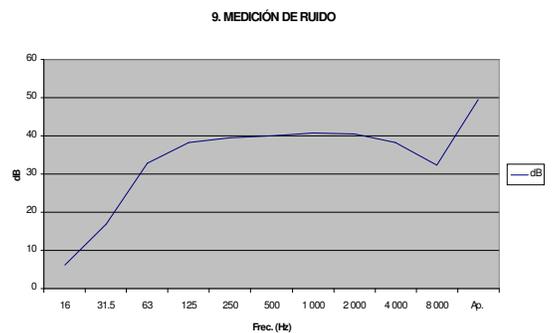
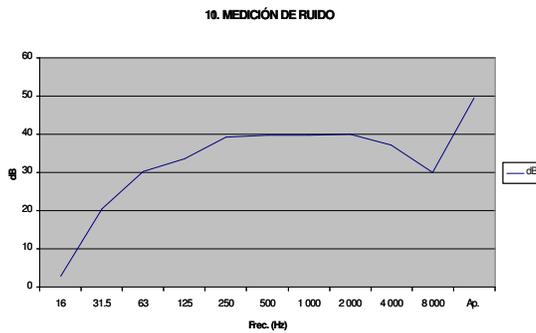
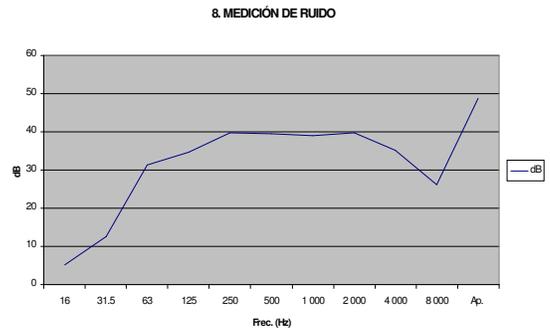
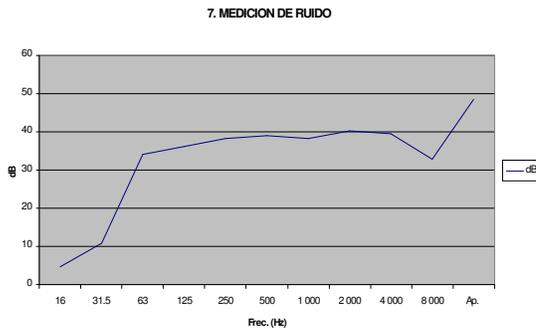
<b>RECURSO HUMANO:</b>	<b>HORA</b>	<b>TOTAL (110 DIAS)</b>
• Arquitecto(1)	\$25.000/Hora	\$7'000.000
• Ingeniero Electrónico(1)	\$20.000/H	\$5'000.000
• Ingeniero Sonido (1)	\$18.000/H	\$1'840.000
• Maestro (1)	\$12.000/H	\$1'200.000
• Albañiles (5)	\$10.000/H	\$1'000.000
	5 ALBAÑILES	\$5'000.000
	<b>Total</b>	<b>\$21'040.000</b>

### **Gastos Personales.**

Internet e impresiones	\$250.000
Fotocopias	\$60.000
Transporte	\$250.000
Cds y otros	\$50.000
<b>Total</b>	<b>\$610.000</b>

Resultados obtenidos después de implementar los materiales propuestos.

Ruido al Interior del recinto después de realizar el aislamiento. Para Estudios de radio o estudios de grabación el criterio de Ruido recomendado es **NC (15-20), de (25 – 30 dB A)(1)**.



El problema de ruido que se observó en las frecuencias críticas en la banda entre ( 500 Hz - 4000Hz) redujo en aproximadamente 10 dB.

Antes

Frec (Hz).	dB
500	44.2
1 000	43.9
2 000	45
4 000	41.4

Después

Frec (Hz).	dB
500	46
1 000	44.1
2 000	42.9
4 000	36.6

Frec (Hz).	dB
500	39.1
1 000	38.2
2 000	40.2
4 000	39.4

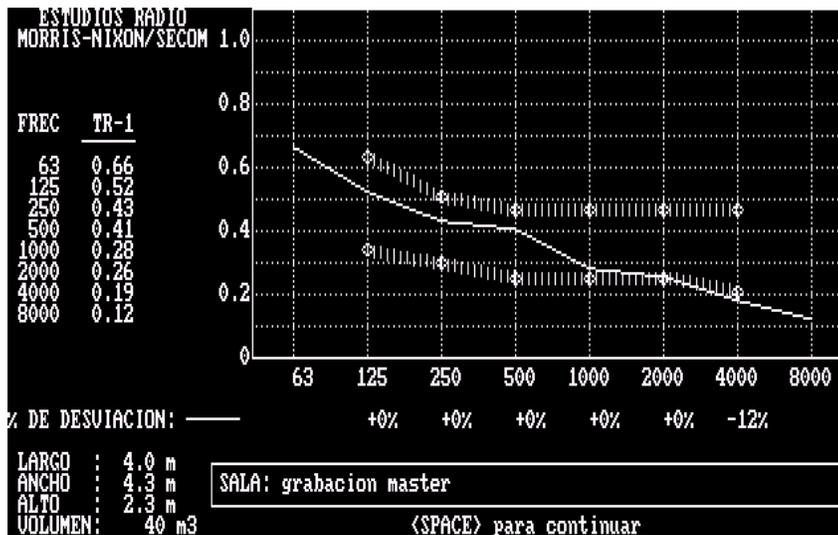
Frec (Hz).	dB
500	39.4
1 000	38.9
2 000	39.8
4 000	35.1

(1). Valores del criterio de Ruido. Acústica Arquitectónica, Manuel Recuero.1992

Inteligibilidad

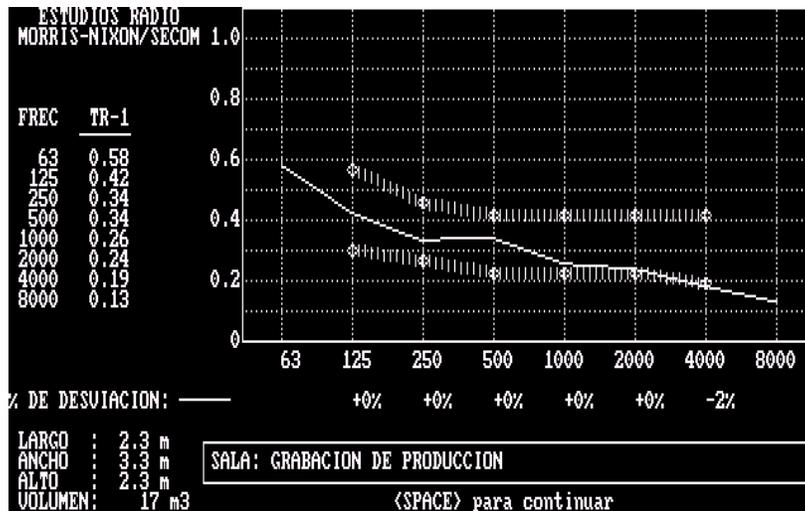
RECINTO CRITERIO	STI Fem.	% ALC	STI Masc.	% ALC	RASTI	% ALC	STI	% ALC
Control de Producción	0.60 (Justo)	6.8	0.58 (Justo)	7.8	0.59 (Justo)	7.1	0.61 (Bueno)	6.2
Cuarto de Grabación	0.62 (Bueno)	6.9	0.59 (Justo)	7.7	0.55 (Justo)	7.9	0.63 (Bueno)	5.7
Master cuarto de Grabación	0.63 (Bueno)	7.0	0.60 (Bueno)	6.6	0.64 (Bueno)	5.6	0.63 (Justo)	6.3
Control del Master	0.59 (Justo)	7.6	0.50 (Justo)	9.8	0.50 (Malo)	9.8	0.6 (Bueno)	6.8
Hall	0.58 (Justo)	7.8	0.54 (Justo)	9.6	0.53 (Justo)	9.7	0.66 (Bueno)	6.2

Después del acondicionamiento acústico.

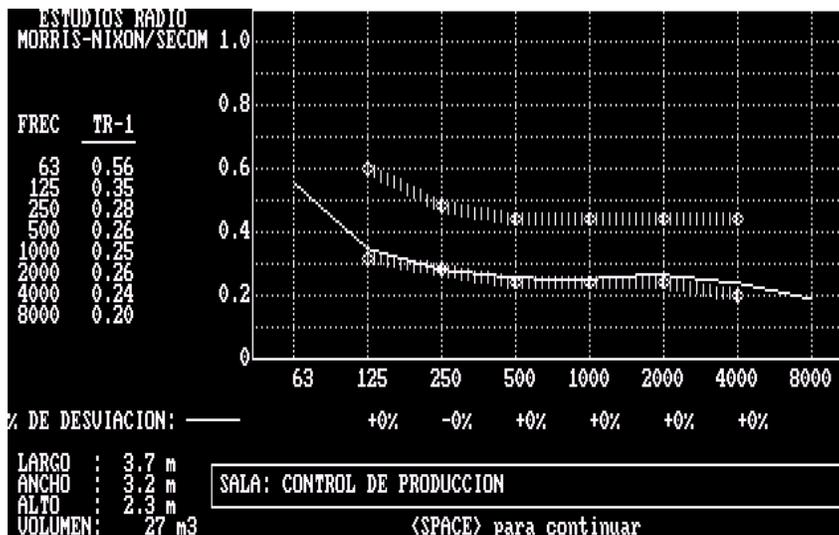


## Grabación Master

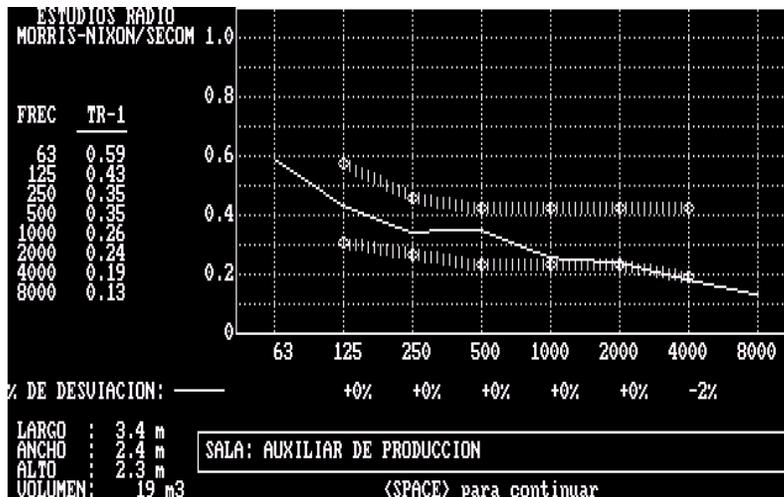
### Grabación de producción



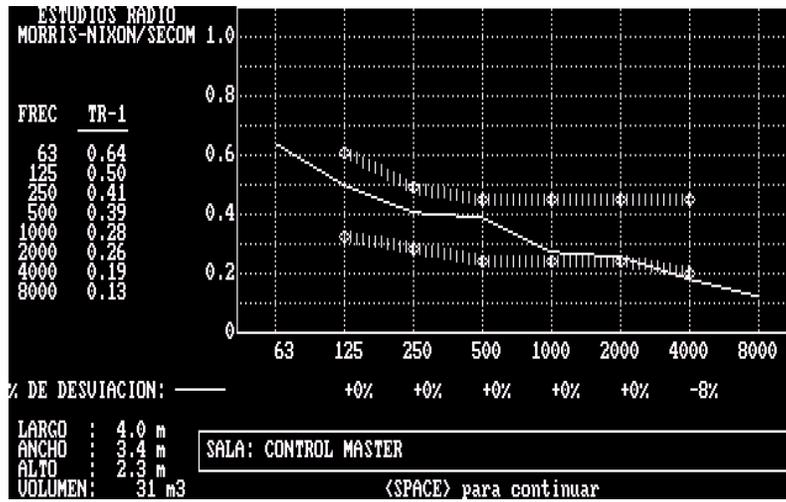
### Control de producción



### Auxiliar de producción



## Control Master



Se optimizando el tiempo de reverberación de cada cuarto cumpliendo con el rango propuesto por Morris – Nixon para estudios de radio.

## 6. CONCLUSIONES

- El parámetro de tiempo de reverberación notó mejoría con el diseño del aislamiento y acondicionamiento con un promedio de 19.1% a como se encontraba inicialmente.
- La inteligibilidad al depender de la frecuencia al mejorar el tiempo de reverberación mejoró en 38.46% a como se encontraba inicialmente.
- El ruido disminuyó en el interior del recinto en 25% de acuerdo al aislamiento realizado.
- La mejoría fue más notoria en el Master que en los otros cuartos con un porcentaje de 28.5% en tiempo de reverberación, de inteligibilidad en un 100%, en ruido 31.4%, 68.9 en el porcentaje de pérdida por transmisión, debido al tratamiento de nivel alto que se implementó.
- Los pequeños recintos adolecen de un *espaciamiento excesivo* de los modos o de un *apilamiento* de los mismos (*degeneraciones*).
- El parámetro de los modos normales no disminuyó sustancialmente, ya que era mayor el costo económico lo cual no era posible y no podía ser asumido por el contratista.

## 7. RECOMENDACIONES

- En el diseño de pequeñas salas o estudios de grabación o ensayo es primordial prestar atención a los problemas de difusión y de resonancias. Las siguientes son algunas recomendaciones:
- Evitar las simetrías. Si la habitación tiene forma rectangular, las aristas deberían ser todas de diferente longitud (la forma cúbica de algunas habitaciones es particularmente deficiente desde el punto de vista acústico). Algunas proporciones satisfactorias son 1 : 1,14 : 1,39, 1 : 1,28 : 1,54 y 1 : 1,6 : 2,23.
- Si es posible, evitar los paralelismos. Esto puede lograrse inclinando una o dos paredes, e inclusive el cielorraso.
- En casos severos, recubrir con material absorbente una de cada par de paredes paralelas, o mejor aún (aunque es una solución más costosa), colocar algunas baldosas difusoras disponibles comercialmente (por ejemplo las RPG).
- Los muros deben quedar muy bien empatados, ya que la mezcla del cemento y la arena debe quedar uniforme de forma tal que no genere espacios entre ladrillos.
- En puertas y ventanas es importante tener en cuenta que el cierre no es hemético, por consiguiente se debe utilizar un buen sellante.
- No se debe olvidar el retículo de tubos que actúa como un distribuidor de sonido. En la instalación de tubos, radiadores, etc., deben fijarse firmemente a las paredes con la ayuda de sistemas elásticos, de tal forma que exista un manguito elástico entre el tubo y la pared. Si los tubos pasan a través de paredes dobles, debe evitarse todo contacto rígido entre ellos y los elementos de la pared. Con este propósito se usan manguitos elásticos en cada una de las paredes, o se inserta un tubo de sección flexible en la cavidad (entre paredes).
- Cabe anotar que existen dos tipos de fibra de vidrio: la fibra de vidrio densa, utilizada para suelos y la común utilizada para paredes.
- En los baños se recomienda que la puerta sea en madera, los vidrios sellados pero de un espesor de 6mm.

- Que se tomen las esquinas de cada cuarto convexas, debido a que existe un frente de onda plano se encuentra con una superficie convexa, la energía sonora se distribuirá en múltiples direcciones contribuyendo a la difusión del sonido incidente.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARAU, HIGINI, ABC de la acústica arquitectónica. España. Ceac. S.A, 1999. 336p.
- CARRION, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Barcelona: Politecnos, 1998. 434 p.
- GOMEZ VILLA, Oscar. Acústica y Arquitectura. Bogotá: Cenac, 1986.20.p
- RECUERO LÓPEZ, Manuel. Acondicionamiento acústico. Madrid : Thomson, 2001.268p.
- ROBERT, Josse. La acústica en la construcción. Barcelona: Gustavo gili.180. p.
- ROUGERON, Claude. Aislamiento acústico y térmico en la construcción. Barcelona: Juvenil, 1977.200.p.
- SOMMERHOFF, Jorge. Acústica de salas: acondicionamiento acústico interior de salas. Santiago: s.n. 1987
- [HTTP://WWW.EHU.ES/ACUSTICA/ESPANOL/RUIDO/AIACES.HTML](http://WWW.EHU.ES/ACUSTICA/ESPANOL/RUIDO/AIACES.HTML)
- [WWW.COFIS.ES/ODF/FYS11\\_11.PDF](http://WWW.COFIS.ES/ODF/FYS11_11.PDF)
- [WWW.IA.CSIC.ES/AMBIENTAL/GRANZA/MATERIALESWEB.HTM](http://WWW.IA.CSIC.ES/AMBIENTAL/GRANZA/MATERIALESWEB.HTM)
- [WWW.AECOR.ES/FRSET/LEGISLACION/NORMASS TECNICAS/ACÚSTICA %20EN%20LA%20EDIFICACION](http://WWW.AECOR.ES/FRSET/LEGISLACION/NORMASS%20TECNICAS/ACUSTICA%20EN%20LA%20EDIFICACION)

## ANEXOS.

### INSTALACIONES DE LA ANTIGUA SEDE DE EMISORA KENNEDY.

Fotografía 1.



Cuarto de grabación de Producción

Fotografía 2.



Cuarto de Control en Producción

INSTALACIONES DE LA NUEVA SEDE DE EMISORA KENNEDY, ANTES DE EL DISEÑO.

Fotografía 3.



Escaleras de que conducen al hall del 2° piso

Fotografía 4.



Cuarto Control (emisión)

Fotografía 5.



Cuarto de Producción vista a la cra. 71D con Cile 4

Fotografía 6.



Cuarto de grabación (emisión)

Fotografía 7.



Desde el Hall al cuarto de Control de Producción

Fotografía 8.



Fachada de la Emisora

Fotografía 9.



Fachada de la Emisora esquina Cra 71 D Clle 4

Fotografía 10.



INSTALACIONES DE LA NUEVA SEDE DE EMISORA KENNEDY, CON EL AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

Fotografía 11



Producción

Fotografía 12



Escaleras (comunica a los Cuartos de control)

Fotografía 13



Al frente del hall (el cuarto de espera )

Fotografía 14



Cuarto de Control (Emisión)

## CONTENIDO

### RAE

#### INTRODUCCIÓN

#### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

##### 1.1 ANTECEDENTES

##### 1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 8

##### 1.3 JUSTIFICACIÓN 9

##### 1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 10

###### 1.4.1 Objetivo General 11

###### 1.4.2 Objetivos Específicos 11

##### 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO 12

###### 1.5.1 Alcances 12

###### 1.5.2 Limitaciones 13

#### 2. MARCO DE REFERENCIA

##### 2.1 MARCO CONCEPTUAL 13

##### 2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO 14

##### 2.3 MARCO TEÓRICO 14

#### 3. METODOLOGÍA

##### 3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN 17

##### 3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB/SUB – LÍNEA DE FACULTAD 18

/ CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

##### 3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN 43

##### 3.4 HIPÓTESIS 43

##### 3.5 VARIABLES 43

###### 3.5.1 Variables Independientes 44

###### 3.5.2 Variables Dependientes 44

#### 4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 44

5. DESARROLLO INGENIERIL	44
6. CONCLUSIONES	45
7. RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	