

RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO.
2. **TITULO:** REDISEÑO DE LAS CABINAS ACÚSTICAS UTILIZADAS PARA ANÁLISIS DE MUESTRA DE VOZ DEL DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE SEGURIDAD.
3. **AUTOR:** PAOLA ANGÉLICA RICARDO MERLANO.
4. **LUGAR:** Bogotá, D.C.
5. **FECHA:** Julio de 2011
6. **PALABRAS CLAVE:** tipos de fuentes sonoras, materiales absorbentes sonoros, aislamiento acústico, ruido, tipos de ruidos, curvas RC, modos de resonancia.
7. **DESCRIPCION DEL TRABAJO:** El objetivo principal de este proyecto es mejorar el diseño actual que tiene las cabinas utilizadas para análisis de voces, proponiendo materiales apropiados para aislar debidamente al personal que las utiliza. El área de la acústica forense encierra diferentes técnicas desarrolladas por la ingeniería de sonido, que sirven como apoyo para esclarecer delitos y descubrir quienes los realizan. Por esta razón este trabajo busca ser una herramienta fundamental ya que la investigación criminal también se realiza a través del análisis de la voz, gracias a que la acústica forense es utilizada como medio de identificación humana (ADN, retratos hablados, huellas, entre otros), siendo ampliamente usada en distintos países de alta conflictividad e inseguridad.
8. **LINEAS DE INVESTIGACION:** Tecnologías actuales y sociedad. Sublínea de la Facultad de Ingeniería: Instrumentación y Control de Procesos. Campo Temático del Programa: Acústica Forense..
9. **FUENTES CONSULTADAS:** BERGLUND Birgitta, LINVALL Thomas, SCHWELA Dietrich. Guías para el ruido urbano, CARRION Isbert, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos, Comisión de acústica y electroacústica. Ruido. Procedimiento para su evaluación utilizando los perfiles "NC" y "RC".2006, HARRIS Cyril, M. Manual de medidas acústicas y control del ruido.
10. **CONTENIDO:** Con el rediseño de las cabinas como instrumento para análisis de voces, diseñado bajo normativa internacional, se facilitará que el análisis de muestras de audio sea más confiable y seguro, en términos policiales y judiciales garantizando la legalidad de la prueba.
11. **METODOLOGIA:** Es de carácter empírico-analítico.
12. **CONCLUSIONES:** El sitio donde se encuentran emplazadas las cabinas no es el más idóneo para la utilidad que se le están dando, debido a la alta circulación de personal por los pasillos aledaños. Como se pudo observar por las mediciones realizadas, el ruido presentado dentro de las cabinas tiene gran cantidad de energía en altas frecuencias, haciendo que los contenidos de consonantes en los mensajes hablados de las muestras para análisis se vean afectados por el ruido, todo esto gracias al problema de ruido producido por el sistema de ventilación. Las curvas RC obtenidas no son las adecuadas para el uso actual de las cabinas, las cuales deberían estar en el orden de una curva RC 20 y la curva más baja obtenida es de RC 24. La densidad modal de las cabinas, con respecto al criterio de Bonello no tiene un comportamiento uniforme, se observan modos dobles en sexto de banda importantes para el entendimiento del mensaje hablado y en sextos de banda la densidad modal no es superior a cinco, dando lugar a la aparición de coloraciones sonoras en las cualidades de las cabinas. Si se tomase el criterio de Gilford (no es el más indicado por no ser tan reciente) se ve que el espaciamiento modal tampoco cumple con el ancho de banda de 20 Hz que dicta el criterio. El diseño y los materiales de las cabinas no son los más indicados para el uso que se les está dando, debido al problema en altas frecuencias que se presenta con el sistema de ventilación actual.

**REDISEÑO DE LAS CABINAS ACÚSTICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS
DE MUESTRA DE VOZ DEL DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE
SEGURIDAD**

PAOLA ANGÉLICA RICARDO MERLANO

**UNIVERSIDA DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SONIDO**

PROYECTO DE GRADO

BOGOTA

2011

**REDISEÑO DE LAS CABINAS ACUSTICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS
DE MUESTRA DE VOZ DEL DEPARTAMENTO ADMIMISTRATIVO DE
SEGURIDAD**

PAOLA ANGÉLICA RICARDO MERLANO

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero de Sonido

Director

FRANCISCO RUFFA

Ingeniero

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SONIDO

BOGOTÁ

2011

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., Julio de 2011

DEDICATORIA

A Dios, A mis padres, mi esposo, y mis hijos Sara Sofía que es mi fortaleza, y Jesús Alejandro mi ángel hermoso, a todos por ser mi apoyo, alegría e ilusión y ser lo más bello de la vida, mi felicidad.

Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Francisco Ruffa, Docente de la Universidad de San Buenaventura por compartir sus conocimientos y experiencia, y gran aporte en este proyecto.

Al Ingeniero Raúl Rincón, Director del programa de Ingeniería de Sonido, por su colaboración y amabilidad, para la finalidad de este proyecto.

Al Departamento Administrativo de Seguridad DAS, por facilitar la realización del presente trabajo haciendo uso de sus instalaciones.

A Oswaldo Ricardo por su paciencia, nobleza e inmenso apoyo en la realización de este proyecto.

A Neyla Merlano por su intensa colaboración, comprensión y apoyo en este proyecto y todas las cosas de mi vida.

A Héctor Mera por su apoyo, dedicación y tiempo para la realización de este proyecto.

A todas las personas que de cierta manera contribuyeron y aportaron a la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág |
|---|-----|
| INTRODUCCIÓN | |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 1 |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN..... | 3 |
| 1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 4 |
| 1.4.1 Objetivo General..... | 4 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos | 4 |
| 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO..... | 6 |
| 1.5.1 Limitaciones..... | 6 |
| 2. MARCO DE REFERENCIA..... | 8 |
| 2.1 MARCO CONCEPTUAL..... | 8 |
| 2.1.1 Sonido..... | 8 |
| 2.1.2 Generación y Propagación del Sonido..... | 8 |
| 2.1.3 Tipos de fuentes sonoras..... | 9 |
| 2.1.3.1 Fuente esférica..... | 9 |
| 2.1.3.2 Fuente cilíndrica..... | 10 |
| 2.1.3.3 Fuente Plana..... | 10 |
| 2.1.4. Componentes del sonido..... | 10 |
| 2.1.4.1 Frecuencia..... | 10 |
| 2.1.4.2 Amplitud..... | 11 |

| | |
|---|----|
| 2.1.4.3 Fase..... | 12 |
| 2.1.5 Presión sonora..... | 12 |
| 2.1.6. Nivel de presión sonora (SPL)..... | 12 |
| 2.1.7 Decibelio (dB)..... | 13 |
| 2.1.8 Absorción del sonido..... | 13 |
| 2.1.8.1 Materiales absorbentes sonoros..... | 14 |
| 2.1.8.2 Dispositivos selectivos de absorción..... | 14 |
| 2.1.9 Aislamiento del sonido..... | 15 |
| 2.1.9.1 Pérdida por transmisión (TL)..... | 16 |
| 2.1.9.2 Flanqueo..... | 16 |
| 2.1.9.3 Ley de la masa..... | 16 |
| 2.1.9.4 Frecuencia Crítica..... | 17 |
| 2.1.10 Ruido..... | 17 |
| 2.1.11 Tipos de Ruido..... | 19 |
| 2.1.11.1 Ruido de fondo..... | 19 |
| 2.1.11.2 Ruido aleatorio..... | 19 |
| 2.1.11.3 Ruido continuo constante..... | 19 |
| 2.1.11.4 Ruido constante pero intermitente..... | 20 |
| 2.1.11.5 Ruido fluctuante periódicamente..... | 20 |
| 2.1.11.6 Ruido fluctuante no periódicamente..... | 20 |
| 2.1.11.7 Ruido impulsivo repetitivo..... | 20 |
| 2.1.11.8 Ruido impulsivo simple..... | 20 |
| 2.1.12 Fuentes de ruido..... | 20 |

| | |
|---|----|
| 2.1.12.1 Fuentes externas..... | 21 |
| 2.1.12.2 Fuentes internas..... | 21 |
| 2.1.13 Instrumentos de medición..... | 21 |
| 2.1.13.1 medidor de nivel sonoro..... | 21 |
| 2.1.13.2 Micrófonos de medición..... | 22 |
| 2.1.13.3 Calibrador acústico..... | 24 |
| 2.1.14 Ponderación en alta frecuencia..... | 24 |
| 2.1.14.1 Ponderación A..... | 27 |
| 2.1.14.2 Ponderación c..... | 28 |
| 2.1.15 Ponderación exponencial temporal..... | 29 |
| 2.1.15.1 Ponderación temporal <i>slow</i> (lenta)..... | 30 |
| 2.1.15.2 Ponderación temporal <i>fast</i> (rápida)..... | 30 |
| 2.1.16 Cantidades a medir en un estudio de ruido..... | 31 |
| 2.1.16.1 Nivel sonoro continuo equivalente (Leq)..... | 32 |
| 2.1.16.2 Nivel sonoro continuo equivalente de 1 hora..... | 33 |
| 2.1.16.3 Nivel sonoro percentil..... | 33 |
| 2.1.16.4 Nivel sonoro máximo..... | 34 |
| 2.1.16.5 Nivel sonoro continuo equivalente a 8 horas..... | 34 |
| 2.1.17 Curvas RC (<i>room criterio</i>)..... | 34 |
| 2.2 MARCO TEORICO..... | 37 |
| 2.2.1 Técnicas de medida de ruido..... | 37 |
| 2.2.2 Procedimientos de medida del ruido..... | 38 |
| 2.2.2.1 Cantidades a medir..... | 38 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2.2 Selección del micrófono de medición..... | 38 |
| 2.2.2.3 Ubicación de los puntos de medición..... | 39 |
| 2.2.2.4 Posición del micrófono de medición..... | 40 |
| 2.2.3 Curvas RC..... | 41 |
| 2.2.4 Método de clasificación RC..... | 42 |
| 2.3 MARCO LEGAL O NORMATIVO..... | 46 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 48 |
| 3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN..... | 48 |
| 3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUBLÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA..... | 48 |
| 3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN..... | 49 |
| 3.3.1 Metodología de la medición..... | 49 |
| 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 51 |
| 3.5 HIPÓTESIS..... | 52 |
| 3.6 VARIABLES..... | 52 |
| 3.6.1 Variables independientes..... | 52 |
| 3.6.2 Variables dependientes..... | 53 |
| 4. DESARROLLO INGENIERÍL..... | 54 |
| 4.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS CABINAS..... | 54 |
| 4.1.1 Descripción de las cabinas y sus materiales constructivos..... | 54 |
| 4.1.2 Descripción de las principales fuentes de ruido..... | 57 |
| 4.1.3 Descripción de la situación de los trabajadores que utilizan las cabinas | 58 |

| | |
|--|----|
| 4.2 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE RUIDO EN LAS CABINAS..... | 59 |
| 4.2.1 Elección de hora e intervalo de medición..... | 61 |
| 4.2.2 Puntos de medición..... | 62 |
| 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 64 |
| 5.1 RESULTADOS DE MEDICIÓN POR CABINA..... | 64 |
| 5.1.1 Cabina 1 nivel sonoro y clasificación RC..... | 64 |
| 5.1.2 Cabina 2 nivel sonoro y clasificación RC..... | 66 |
| 5.1.3 Cabina 3 nivel sonoro y clasificación RC..... | 68 |
| 5.1.4 Cabina 4 nivel sonoro y clasificación RC..... | 69 |
| 5.1.5 Cabina 5 nivel sonoro y clasificación RC..... | 71 |
| 5.2 RESULTADO DE MEDICIÓN PASILLO DE OFICINA..... | 72 |
| 5.2.1 Punto 1 nivel sonoro..... | 72 |
| 5.2.2 Punto 2 nivel sonoro..... | 73 |
| 5.3 ANÁLISIS MODAL DE LAS CABINAS..... | 73 |
| 5.4 MEJORAS PROPUESTAS EN EL DISEÑO DE LAS CABINAS..... | 77 |
| 5.4.1 Tratamiento de frecuencias altas..... | 78 |
| 5.4.2 Tratamiento de frecuencias bajas..... | 79 |
| 5.4.3 Mejoras en el diseño de las cabinas..... | 80 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 86 |
| 7. RECOMENDACIONES..... | 88 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA. | |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág |
|---|-----|
| FÍGURA 1. CURVAS DE IGUAL SONORIDAD ESTABLECIDAS POR FLETCHER Y MUNSON..... | 24 |
| FÍGURA 2. CURVAS DE IGUAL SONORIDAD ESTABLECIDAS POR ROBINSON Y DADSON..... | 25 |
| FÍGURA 3. PONDERACIONES A, B Y C..... | 29 |
| FÍGURA 4. CURVAS RC..... | 34 |
| FÍGURA 5. MAQUETA DE OFICINA..... | 56 |
| FÍGURA 6. PLANO DE OFICINA..... | 58 |
| FÍGURA 7. PLANO CON PUNTOS DE MEDICIÓN..... | 63 |
| FÍGURA 8. ESPECTRO DE RUIDO CABINA 1..... | 65 |
| FÍGURA 9. CURVA RC CABINA 1..... | 65 |
| FÍGURA 10. ESPECTRO DE RUIDO CABINA 2..... | 66 |
| FÍGURA 11. CURVA RC CABINA 2..... | 67 |
| FÍGURA 12. ESPECTRO DE RUIDO CABINA 3..... | 68 |
| FÍGURA 13. CURVA RC CABINA 3..... | 69 |
| FÍGURA 14. ESPECTRO DE RUIDO CABINA 4..... | 70 |
| FÍGURA 15. CURVA RC CABINA 4..... | 70 |
| FÍGURA 16. ESPECTRO DE RUIDO CABINA 5..... | 71 |
| FÍGURA 17. CURVA RC CABINA 5..... | 72 |
| FÍGURA 18. ESPECTRO DE RUIDO PUNTO 1..... | 72 |

| | |
|--|-----------|
| FÍGURA 19 ESPECTRO DE RUIDO PUNTO 2..... | 73 |
| FÍGURA 20. DENSIDAD MODAL DE LAS CABINAS..... | 75 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág |
|---|-----|
| TABLA 1. NIVELES POR TERCIO DE OCTAVA CABINA 1..... | 64 |
| TABLA 2. NIVELES EN BANDA MEDIA CABINA 1..... | 65 |
| TABLA 3. NIVELES POR TERCIO DE OCTAVA CABINA 2..... | 66 |
| TABLA 4. NIVELES EN BANDA MEDIA CABINA 2..... | 67 |
| TABLA 5. NIVELES POR TERCIO DE OCTAVA CABINA 3..... | 68 |
| TABLA 6. NIVELES EN BANDA MEDIA CABINA 3..... | 68 |
| TABLA 7. NIVELES POR TERCIO DE OCTAVA CABINA 4..... | 69 |
| TABLA 8. NIVELES EN BANDA MEDIA CABINA 4..... | 70 |
| TABLA 9. NIVELES POR TERCIO DE OCTAVA CABINA 5..... | 71 |
| TABLA 10. NIVELES POR TERCIO EN BANDA MEDIA CABINA 5..... | 71 |
| TABLA 11. ANÁLISIS MODAL DE LAS CABINAS..... | 73 |
| TABLA 12. ANÁLISIS MODAL DEL DISEÑO PROPUESTO..... | 81 |

INTRODUCCIÓN

Desde el año 2005 la legislación penal Colombiana ha cambiado con el sistema penal oral acusatorio, el cual ha generado una mayor exigencia para los entes investigadores en el manejo de la evidencia física o elementos materiales de prueba que permitan el esclarecimiento de delitos y la identificación de sus autores, de tal manera que exige un alto grado de capacitación e idoneidad de todos los peritos e instrumentos utilizados para la práctica de la prueba pericial que será utilizada en juicio. (Ley 906 de 2004, “CODIGO DE PROCEDIMIENTO PENAL”).

Es así, que en la acústica forense se encierran diferentes técnicas desarrolladas por la ingeniería acústica, que sirven como apoyo para esclarecer delitos y descubrir quienes los realizan.

La investigación criminal también se realiza a través del análisis de la voz, ya que la acústica forense es utilizada como medio de identificación humana (ADN, retratos hablados, huellas, entre otros), siendo una herramienta ampliamente usada en distintos países de alta conflictividad e inseguridad.

En Colombia, el Departamento Administrativo de Seguridad (DAS), la Fiscalía

y la Policía Nacional cuentan con el área de Acústica Forense encargada de analizar y descubrir toda la información que se esconde tras los sonidos de las cuerdas vocales, y así aportar herramientas para la resolución de casos.

Debido a las exigencias de este nuevo sistema penal, se debe garantizar la recolección de un conjunto de pruebas relacionadas con el área de la acústica forense, como soportes y medios de grabación, transmisión, reproducción, análisis espectral, entre otros.

El objetivo fundamental del presente estudio es rediseñar las cabinas y mejorar los problemas de ruido que presentan en la actualidad, y a su vez aportar al sistema penal acusatorio una herramienta que sea empleada como medio para la resolución de casos que impliquen el área de acústica forense; por esto las cabinas cumplen un papel decisivo en el momento de realizar el análisis de voces, ya que aíslan e insonorizan, además de encontrarse diseñadas bajo normas o estándares internacionales, logrando así, que el medio en que se estudien este tipo de pruebas aporte seguridad e idoneidad, gracias a que no se va a ver afectado por agentes externos.

Durante la realización del presente trabajo, se utilizó la metodología establecida en las normas ISO 6189 de 1983 e IRAM 4026 de 1981 que hacen referencia a la construcción de cabinas audiométricas, el esquema número uno de la norma IRAM 4070 que especifica el procedimiento para su evaluación utilizando los

perfiles “NC” y “RC”, además la norma nacional ICONTEC NTC-3428 de sonómetros y la Ley 906 de 2004 Código de Procedimiento Penal Colombiano.

En la investigación de éste proyecto se conocieron los niveles de ruido generados en el interior de cada una de las cabinas, la oficina donde se encuentran ubicadas, los pasillos y corredores cercanos. Las mediciones se realizaron en distintos días de la semana durante las horas laborales y bajo el marco legal especificado.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

Hace 2500 años aproximadamente en Roma, los actores de la época realizaban obras teatrales utilizando máscaras para no ser reconocidos por los asistentes, los cuales debían identificarlos por medio de la voz, esta es una de las primeras formas que se conoce de los inicios del reconocimiento de voz. Años más tarde, en 1947 en los laboratorios Bell de New Jersey (Estados Unidos), fue desarrollada la técnica de identificación de hablantes por los señores Potter, Kopp y Green, quienes codificaron el habla en diferentes formas gráficas utilizando una máquina de reciente invención: el espectrógrafo de sonidos; Este aparato permitía la representación del sonido hablado en una referencia tridimensional (frecuencia/amplitud/tiempo).

Posteriormente, un físico que participó en los experimentos iniciales fue Lawrence G. Kersta, a quien se le designó que desarrollara un método fiable de identificación por la voz. Kersta inició su primer curso de adiestramiento en 1967, en el cual participaron dos miembros de la policía científica del estado de Michigan, y Oscar Tosi, como asesor en calidad de evaluador de los procedimientos que había utilizado Kersta.

“Fue el doctor Oscar Tosi en el departamento de Ciencias del habla y Audiología de la universidad del estado de Michigan (M.S.U.), el responsable de realizar un estudio en el que se efectuaron 34.992 evaluaciones de identificación/eliminación espectrográfica de acuerdo con diferentes modelos de un diseño experimental. Dicho estudio se realizó en un marco de laboratorio, en el que ciertas condiciones forenses fueron tomadas en cuenta como ruido, transmisión telefónica, transmisión de estructuras, entre otras”¹.

Es así, como nace con la primera tecnología utilizada en el ámbito forense y policial, todo lo relacionado con el análisis de la voz. Otro aporte a la acústica forense también ocurrió en la década de los sesenta en Estados Unidos, con la técnica del voice print, lo cual estuvo unido al espectrógrafo, instrumento utilizado también por Kersta en los laboratorios Bell.

Debido a las condiciones mencionadas en el estudio que realizó el doctor Oscar Tosi y los realizados por Kersta, es donde nace el interés de crear un lugar altamente adaptado para la toma de muestras y análisis de voz (cabina acústica o sonoamortiguada), así se desarrolla esta idea.

“Actualmente los análisis de comparación de muestras de voz realizados en el Departamento Administrativo de Seguridad, se hacen bajo los principios de la

¹FISCALIA GENERAL DE LA NACIÓN. Manual único de criminalística. Sección científica-Acústica. Bogotá 2004. Página 100.

escuela española de acústica, la cual consiste en conseguir el primer cotejo de voz escuchando las grabaciones que han sido proporcionadas por los diferentes entes judiciales”,² posterior a esto los profesionales en fonoaudiología identifican los diferentes tipos de voces, la procedencia regional, las características físicas y culturales de los que participan en la conversación.

Debido a la técnica basada en fonética que se emplea al realizar el análisis de voz en el Departamento Administrativo de Seguridad, además de las exigencias del sistema penal acusatorio que rige en Colombia, se debe proporcionar herramientas que ayuden a que el proceso se realice en las mejores condiciones, por esta razón las cabinas acústicas cumplen un papel decisivo en el momento de evaluar dichas voces, teniendo en cuenta que garantizan un lugar óptimo de aislamiento.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se ha destacado que para el código de procedimiento penal colombiano se exige idoneidad en la búsqueda, recolección y análisis de las pruebas, por lo que las herramientas utilizadas para ello cumplen un papel importante, como lo es en este caso las cabinas acústicas. El diseño más aconsejable para mejorar el actual debe cumplir con las mejores y más altas condiciones de aislamiento, para que el resultado no se vea influenciado por agentes externos al lugar donde se realizan

²[En línea] www.cita.es/fonogramas/peritaje.htm

las pruebas, aparte de caracterizarse por la facilidad de manejo, montaje y construcción ligera y a la vez robusta por los materiales utilizados para el aislamiento que además son incombustibles, también se debe incluir el mejoramiento del sistema de ventilación que favorezca los niveles de ruido permisibles para el operador que se encuentra dentro de la cabina.

¿Se puede mejorar el problema de ruido que tiene el diseño actual de las cabinas acústicas utilizadas para el análisis de muestra de voz?

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la realización de los distintos proyectos de grado del programa de ingeniería de sonido, se han visto algunos enfocados o relacionados con la acústica forense, sin embargo debemos ver la importancia y el interés que pueda despertar este estudio en docentes y alumnos que deseen explorar esta área. Con el diseño propuesto se busca desde el punto de vista acústico brindar seguridad en el momento de realizar análisis de voces, ya que se evita que las señales contaminadas o externas afecten el mismo, y mejorar las condiciones laborales del personal que trabaja en ellas, encontrándose debidamente aislados y logrando no ser términos por cualquier evento en la sala o por otras personas que se encuentren próximas.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

- Rediseñar las cabinas acústicas del Departamento Administrativo de Seguridad, utilizadas para análisis de muestras de voz, para mejorar las condiciones de ruido actuales que presenta.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer la metodología para realizar la medición.
- Realizar el estudio de los materiales del diseño actual.
- Hacer las mediciones de los niveles de ruido del recinto y sus alrededores en distintos días de la semana.
- Plantear el rediseño teniendo en cuenta materiales adecuados para el tratamiento acústico cumpliendo la normatividad establecida.
- Realizar los planos del recinto donde se encuentran ubicadas las cabinas.

- Presentar la propuesta económica del rediseño.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

Con este proyecto se busca generar interés a los alumnos de ingeniería de sonido en el ámbito de la acústica forense, brindándoles una opción que incentive a estudiantes y docentes a indagar y explorar esta área, así mismo proponer una metodología para mediciones acústicas de cabinas utilizadas para análisis de muestras de voz. Este proyecto también busca ser un apoyo a la rama judicial de nuestro país, brindándole una herramienta diseñada bajo norma internacional que garantice las condiciones en las que se realiza un proceso tan importante como lo es la prueba pericial de análisis de voz auditivo y espectral, utilizado para la resolución de casos en el sistema penal oral acusatorio.

1.5.1 Limitaciones

- Los días establecidos para las distintas actividades pueden ser modificados, por posibles eventualidades en las labores de ésta dependencia (acústica).

- Las zonas donde se encuentre restringida la circulación de personas o equipos de medición por razones de seguridad.
- La oportuna autorización por parte de la coordinación de criminalística del Departamento Administrativo de Seguridad para realizar la medición.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Es necesario conocer los conceptos básicos de sonido para comprender los términos utilizados en el proyecto ya que son la base del presente estudio.

2.1.1. Sonido

El sonido es una alteración física de un medio que puede ser sólido, líquido o gaseoso, perceptible para el oído humano en el rango de frecuencia que va desde 20 Hz hasta 20 KHz. “sensación auditiva producida por una vibración de carácter mecánico que se propaga a través de un medio elástico.”³

En términos de presión, el sonido se puede definir como los cambios de la presión atmosférica capaz de ser percibida por el oído humano, esta presión es denominada presión sonora.

2.1.2. Generación y propagación del sonido

La generación del sonido tiene lugar cuando la fuente entra en vibración, dicha vibración se propaga a través de las partículas que se encuentran en el aire, y a su vez se transmiten a las demás partículas; las partículas no se desplazan sino que

³ CARRION Isbert, Antoni. diseño acústico de espacios arquitectónicos. p. 27

oscilan alrededor de su posición de equilibrio. La manera en que la perturbación es trasladada de un lugar a otro se denomina propagación de la onda sonora.

La energía sonora necesita de un medio elástico para su propagación a través del espacio, este medio debe tener dos condiciones, que pueda ser comprimido y tener masa para facilitar el transporte de la energía.

Los medios de propagación de la energía sonora se pueden encontrar en los tres estados de la materia sólido, líquido y gaseoso, los diferentes estados de la materia mencionados anteriormente hacen que la velocidad de propagación de la energía sonora varíe de un medio a otro, esto se debe a la cohesión molecular del medio, por consiguiente se da a entender que el sonido viajará más rápidamente en un medio sólido que en un medio líquido o gaseoso.

2.1.3. Tipos de fuentes sonoras

Todo elemento que emita energía sonora es una fuente de radiación de esta misma, según su forma y su radiación estas fuentes pueden ser de distinto tipo, las hay esféricas, planas y cilíndricas.

2.1.3.1 Fuente esférica. Una fuente esférica es un punto en el espacio que irradia igual cantidad de energía en todas las direcciones posibles, y a medida que se duplica la distancia la energía cae a razón de 6 dB.

La presión sonora de las ondas esféricas se reduce en proporción a la distancia inversa a la distancia de la fuente (ley del inverso cuadrado).

2.1.3.2. Fuente cilíndrica. Una fuente cilíndrica es descrita por un sin número de fuentes moviéndose en una misma dirección, en este tipo de fuente la energía decae 3 dB a medida que se duplica la distancia a la fuente.

2.1.3.3 Fuente Plana. Este tipo de fuente tiene frente de onda planos es decir que mantiene constante su superficie y energía.

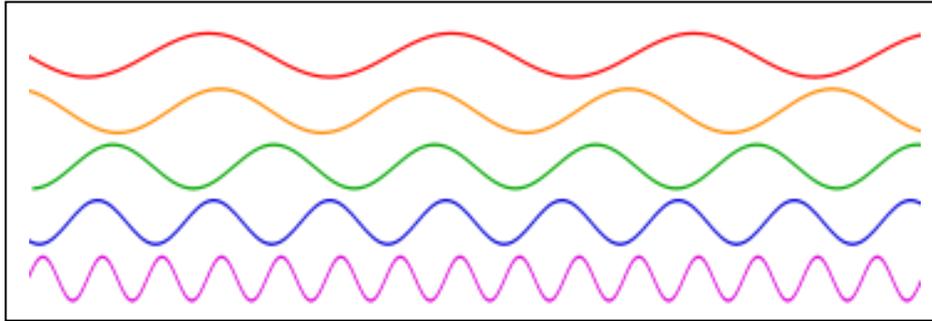
2.1.4. Componentes del sonido

El sonido como toda cantidad física tiene ciertas características y componentes como lo son frecuencia, amplitud y fase que a continuación se relacionan para un mayor entendimiento a lo largo de este trabajo.

2.1.4.1. Frecuencia (Hz) “El número de oscilaciones por segundo de la presión sonora p se denomina frecuencia (f) del sonido y se mide en hercios (Hz) o ciclos por segundo (c/s)”⁴.

⁴ CARRION Isbert, Antoni. diseño acústico de espacios arquitectónicos. 28.

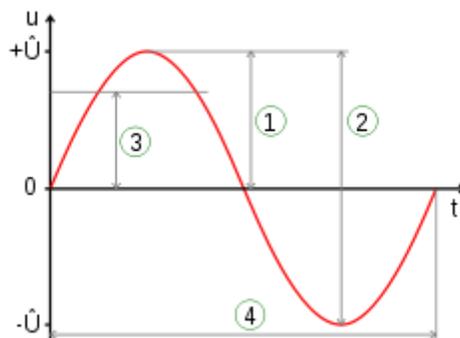
Ejemplo de ondas de distintas frecuencias



Para calcular la frecuencia se divide uno sobre el tiempo entre dos repeticiones que sería el período (T), de la siguiente manera:

$$f = \frac{1}{T}$$

2.1.4.2 Amplitud. Es la distancia que recorre un suceso sinusoidal desde el cero absoluto hasta su máximo valor. En física la amplitud de un movimiento oscilatorio, ondulatorio, o señal electromagnética es una medida de cuanto varía el máximo desplazamiento o cualquier otra magnitud física periódica o cuasi periódica, es la distancia más lejana de una onda y el punto de equilibrio.



Onda sinusoidal:

1 = **Amplitud**.

2 = Amplitud de pico a pico.

3 = Media cuadrática.

4 = Periodo.

2.1.4.3 Fase. Es el punto en donde un suceso oscilatorio atraviesa el punto cero o de equilibrio.

2.1.5. Presión sonora. La presión sonora se define como los cambios de la presión atmosférica capaz de ser detectada por el sistema auditivo del ser humano. También se puede definir como presión acústica, siendo la diferencia de presión instantánea y la presión atmosférica estática.

La principal diferencia entre presión atmosférica y presión sonora es que, mientras la presión atmosférica cambia muy lentamente, la sonora, alterna muy rápidamente entre valores negativos (menores que la presión atmosférica) y positivos (mayores).

2.1.6. Nivel de Presión Sonora (SPL)

En el aire, 20 veces el logaritmo en base diez de la relación entre una presión sonora determinada y la presión sonora de referencia en el umbral de audibilidad cuyo valor es $p_{ref}=20 \mu P= 2 \times 10^{-5}(N/m^2)$. El nivel de presión sonora expresa a 1000 Hz el valor en decibelios de la presión sonora relativa al umbral de audibilidad.

El nivel de presión sonora expresa a 1000 Hz el valor en decibeles de la presión sonora relativa al umbral de audibilidad.

El nivel de presión sonora en decibelios, correspondiente a una presión sonora P se define por:

$$L_p = 10 \log_{10} (p/p_0)^2 = 20 \log_{10} (p/p_0)$$

Donde p_0 es la presión sonora de referencia.

2.1.7. Decibelio (dB). Es la relación entre dos cantidades de energía siendo una de ellas una cantidad de referencia. En vez de un análisis de magnitudes grandísimas, se usan escalas logarítmicas en forma de niveles. Así mismo se utiliza para manejar información de presiones e intensidad debido a que el oído humano tiene una respuesta de tipo logarítmico.

“El decibelio (db) es una unidad de nivel que denota la relación entre dos cantidades que son proporcionales en su potencia”⁵

2.1.8 Absorción del sonido

Todo material tiene la capacidad de absorber la energía sonora, en pequeña o gran medida, esta propiedad se debe a su composición física, cohesión molecular y construcción.

⁵ HARRIS Cyril. Manual de medidas acústicas y control del ruido. 1. 10.

“La propiedad que poseen los materiales, estructuras y objetos de convertir el sonido en calor, dando como resultado la propagación en un medio o la disipación cuando el sonido golpea una superficie”⁶.

Los materiales absorbentes del sonido se dividen en dos grandes grupos:

Materiales absorbentes

Dispositivos selectivos de absorción

2.1.8.1. Materiales absorbentes sonoros. Son materiales que por sus cualidades físicas se comportan de mejor manera al transformar la energía sonora en calor. El elemento que origina la disipación de la energía sonora en la mayoría de los materiales acústicos es una capa de material muy poroso, en la que los poros están intercomunicados, es decir, cuando la onda sonora entra a un material absorbente la amplitud de la vibración es amortiguada progresivamente por la fricción entre las superficies de las fibras o las partículas que forman la estructura porosa.

Ejemplo de estos materiales son la fibra de vidrio y la lana mineral

2.1.8.2. Dispositivos selectivos de absorción. Son elementos contruidos para el propósito exclusivo de actuar a ciertas frecuencias, estos dispositivos se

⁶ Ibid., p. 1 – 2.

diseñan para absorber con mayor eficacia frecuencias problemas encontradas en un estudio acústico preliminar, los hay de diferentes tipos como lo son: resonadores de membrana, Helmholtz, trampas de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, estos dispositivos actúan mejor cuando se les aplica materiales absorbentes.

Todos los sistemas de absorción selectiva mencionados anteriormente tienen algo en común, todos dependen de la longitud de onda " λ " de la frecuencia que se quiera minimizar, lo que da a entender que el tratamiento para frecuencias bajas implica la construcción de dispositivos voluminosos.

2.1.9 Aislamiento del sonido. Capacidad que tiene una estructura para impedir que el sonido llegue a una habitación receptora. Hay dos clases de aislamiento: el sonido transmitido por el aire y vía estructural.

Existen factores que alteran la transmisión y el aislamiento sonoro, estos factores interactúan con las cualidades físicas de las estructuras para generar diversos resultados y efectos en el aislamiento, factores como la pérdida por transmisión (TL) y flanqueo. Las características de los materiales de las particiones generan diversos efectos en los sonidos incidentes en ellas, estos efectos y reacciones como la ley de la masa se relacionan a continuación.

2.1.9.1. Pérdida por transmisión (TL). “es la relación entre la energía incidente sobre la pared y la energía sonora transmitida y se expresa en decibelios”⁷. Cuanto menor es la energía transmitida es mayor la pérdida por transmisión.

2.1.9.2. Flanqueo. El flanqueo o también llamado vía lateral de transmisión implica elementos distintos a la partición común entre los dos espacios (habitación transmisora y habitación receptora) aunque la partición común también puede intervenir en el proceso de la transmisión del sonido.

Las vías de flanqueo tienen consecuencias mayores para la transmisión de sonido de impacto que para la transmisión aérea del sonido.

2.1.9.3. Ley de la masa. La ley de la masa es una expresión semiempírica que se utiliza para predecir la pérdida por transmisión de una partición.

“La ley de la masa predice que la pérdida por transmisión aumentará en 6 dB por cada duplicación de la masa de la superficie o la frecuencia”⁸.

La ley de la masa viene expresada por:

$$TL = 20 \log_{10} (mf) - 48$$

⁷ HARRIS Cyril. Manual de medidas acústicas y control del ruido. p. 31.1.

⁸ Ibid., p. 31.6.

Donde:

TL , es la pérdida por transmisión expresada en dB.

m , masa de la superficie, en kg/m^2

f , frecuencia en Hertz

Se espera un aumento en la pérdida por transmisión al aumentar la masa, pues cuanto más pesada es la partición, menos vibra en respuesta a las onda sonoras.

En general dos particiones simples dispuestas una pegada a la otra se comportará como una sola partición cumpliendo en teoría la ley de la masa y aumentando la pérdida por transmisión en 6 dB.

2.1.9.4 Frecuencia critica. El termino frecuencia critica, hace referencia a la frecuencia en la cual la partición de aislamiento sufre una disminución en relación al sonido proveniente de la habitación o recinto donde se encuentra la fuente sonora.

La frecuencia crítica es aquella en la que la longitud de onda de las ondas libremente flexionadas en el panel o partición, coincide con la longitud de onda del sonido incidente.

2.1.10. Ruido. Sonido o alteración desagradable, no deseado, para cada individuo. En él encontramos una mezcla compleja de sonidos de frecuencias diferentes. Para lo que una persona puede ser un sonido agradable (música), para

otra persona puede ser un sonido molesto y lo considera como ruido, además de que interfiere con alguna actividad humana (de forma no deseada). Físicamente, el ruido es una mezcla compleja de vibraciones diferentes, las cuales producen, generalmente, una sensación desagradable.

“El ruido es un sonido inarticulado y confuso más o menos fuerte es por tanto un sonido no deseado. Acústicamente, el ruido se define como la emisión de energía originada por un fenómeno vibratorio que es detectado por el oído de una persona y que puede detectar una sensación de molestia incluso dolor”⁹.

“Físicamente no existe ninguna distinción entre sonido y ruido. El sonido es una percepción sensorial y el complejo patrón de ondas sonoras se denomina ruido, música, habla, etc”¹⁰.

Otra destacada definición de ruido es: “Sonido compuesto de múltiples frecuencias, no articulado, de cierta intensidad, y que puede molestar o perjudicar a las personas, se puede considerar el cuarto contaminante para el hombre y para el medio ambiente, después del aire, del agua y de los residuos sólidos, tanto en el medio industrial como en el urbano”¹¹.

⁹ REJANO de la Rosa, Manuel. Ruido industrial y urbano. p .3.

¹⁰ BERGLUND Birgitta, LINVALL Thomas, SCHWELA Dietrich. Guías para el ruido urbano.

¹¹ M.I. Dr. D. FERRAN Tolosa Cavan. Discurso inaugural del Curso Académico 2003 en la Real Academia de Medicina de las Islas Baleares.

2.1.11. Tipos de Ruido. Todo ruido se puede considerar como una señal deseada cuando se van a realizar mediciones acústicas que ameriten la utilización de este (tiempo de reverberación, modos de resonancia etc), aunque esto sea solo momentáneamente. En la realidad existen diversos tipos de ruido según su composición, duración y amplitud.

2.1.11.1 Ruido de fondo. “Es el ruido circundante, asociado con el entorno dado siendo generalmente una composición de sonidos de muchas fuentes cercanas o lejanas”¹².

2.1.11.2 Ruido aleatorio. “Es el ruido cuya magnitud no puede predecirse con precisión en un momento determinado, oscilaciones debidas a la agregación de un gran número de alteraciones elementales con ocurrencia al azar en el tiempo”¹³.

“Es una cantidad fluctuante, cuyas amplitudes instantáneas aparecen, como función del tiempo de acuerdo con una distribución gaussiana”¹⁴.

2.1.11.3 Ruido continuo constante. “Es aquel cuyo nivel de presión sonora medido en bandas de octava, no fluctúa a lo largo del tiempo”¹⁵.

¹² RECUERO López, Manuel. Ingeniería acústica. p. 378.

¹³ HARRIS Cyril M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. p. 2.19.

¹⁴ RECUERO López, Manuel. Ingeniería acústica. p. 378.

¹⁵ Ibid., p. 379.

2.1.11.4 Ruido constante pero intermitente. “Es análogo al continuo pero fluctuando en un margen moderado a lo largo del tiempo”¹⁶.

2.1.11.5 Ruido fluctuante periódicamente. “Es análogo al continuo pero fluctuando periódicamente”¹⁷.

2.1.11.6 Ruido fluctuante no periódico. “De características análogas a los anteriores, pero con largas fluctuaciones irregulares no periódicas”¹⁸.

2.1.11.7 Ruido impulsivo repetitivo. “Es aquel que presenta impulsos repetidos análogos”¹⁹.

2.1.11.8 Ruido impulsivo simple. “Es aquel que presenta impulsos aislados”²⁰.

2.1.12 Fuentes de ruido. La contaminación auditiva en las grandes ciudades tiene cada día más trascendencia, por lo que es conveniente conocer detalladamente las fuentes de esta contaminación para así disminuir los niveles sonoros que estas emiten.

Las fuentes de ruido se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Fuentes externas a las edificaciones.
- Fuentes internas a los edificios.

¹⁶ Ibid., p. 379.

¹⁷ Ibid., p. 379.

¹⁸ Ibid., p. 380.

¹⁹ HARRIS Cyril M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. p. 380.

²⁰ RECUERO López, Manuel. Ingeniería acústica. p. 380.

2.1.12.1 Fuentes externas. Son todas aquellas que por su forma y composición no pertenecen al ruido interno de las edificaciones en este tipo de fuentes se identifican las siguientes: ruidos procedentes del tráfico rodado, aviones, ferrocarril, ruidos por obras de construcción, ruidos por actividades industriales, ruidos ocasionados por actividades comunitarias, ruidos provocados por agentes atmosféricos.

2.1.12.2 Fuentes interna. Son fuentes de ruido propias de las edificaciones, y son reconocidas en dos grandes grupos:

Ruidos por instalaciones en viviendas, como instalaciones de fontanería, calefacción, ventilación, ascensores y electrodomésticos.

Ruido de instalaciones industriales y actividades compatibles con edificios destinados a viviendas.

2.1.13 Instrumentos de medición. Para llevar a cabo una medición acústica sea de cualquier tipo (ruido, aislamiento, tiempo de reverberación, etc) se necesita que el instrumental sea el apropiado y que esté de acuerdo con las normas nacionales o internacionales que rigen este tipo de mediciones.

2.1.13.1 Medidor de nivel sonoro. Más comúnmente llamado sonómetro es un instrumento que sirve para dar la medida del nivel de presión sonora. Un

sonómetro es una combinación de un micrófono, un amplificador con ponderación de frecuencia controlada y un dispositivo detecto-indicador con características controladas de ponderación de tiempo. Un sonómetro debe tener una o más características de ponderación en frecuencia. Designadas como A, B, y C.

2.1.13.2 Micrófonos de medición. Los micrófonos convierten las variaciones de presión en señales análogas eléctricas que varían en el tiempo, “La mayoría de los micrófonos de medición generan un voltaje que es proporcional al nivel de presión sonora incidente y es análogo eléctrico de las ondas sonoras que inciden sobre el diafragma del micrófono”²¹. Existen varios tipos de micrófonos de medición que dependiendo del tipo y la orientación que se dé en el campo sonoro, influye sobre la precisión de las medidas.

Hay tres clases de micrófonos de medición:

Micrófono de campo libre: La respuesta en frecuencia es fundamentalmente plana cuando se mide en campo libre, con ondas planas progresivas, con el ángulo de incidencia especificado con el fabricante (en la mayoría de los casos cero grados, es decir perpendicularmente al diafragma del micrófono).

Micrófono de incidencia aleatoria: Su respuesta en frecuencia es fundamentalmente plana para el sonido que llega en cualquier dirección y varía

²¹ HARRIS Cyril M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. p. 5.8.

aleatoriamente en el tiempo. Los micrófonos de medición deben tener las siguientes características:

- La señal eléctrica que se genera debe ser una analogía exacta de la onda sonora.
- La presencia del micrófono en el campo sonoro no debe alterarlo.
- La respuesta del micrófono debe ser independiente de la frecuencia.

Para un rango amplio de presiones sonoras y para todas las frecuencias del rango de utilidad del micrófono, debe haber una relación lineal entre el nivel de la señal de salida del micrófono, y el nivel de nivel presión sonora del mismo.

La sensibilidad del micrófono no debe cambiar con el tiempo ni con las condiciones ambientales. Dentro de las características mencionadas anteriormente, de las más importantes es la sensibilidad del micrófono, esta es la relación entre su salida eléctrica y el nivel de presión sonora en el diafragma del micrófono, la sensibilidad del micrófono indica cuan amplio es el rango en amplitud de trabajo del equipo.

La sensibilidad es la eficiencia con la que un micrófono va a transformar la presión sonora en tensión eléctrica, al hacer vibrar una membrana ésta transforma la vibración en electricidad.

Los sonómetros que cumplen las normas de precisión 0, 1, y 2 deben estar equipados con un micrófono diseñado y construido para cumplir las especificaciones estandarizadas de ciertas características críticas de rendimiento electroacústico.

2.1.13.3 Calibrador acústico. Un calibrador acústico, también denominado calibrador sonoro, es un aparato que puede producir un nivel sonoro conocido, estable, en el diafragma del micrófono que se inserta en una cavidad en el calibrador. Este aparato puede utilizarse para comprobar la sensibilidad global de un instrumento o sistema de medición de ruido. Los hay de dos tipos: pistófono o altavoz. Generalmente los calibradores acústicos tienen como referencia 1 KHz, y los niveles que manejan en la mayoría de los casos son de 74 dB o 94 dB.

2.1.14 Ponderación. Una respuesta de frecuencia normalizada que aporta un sonómetro.

Figura 1. Curvas de igual sonoridad establecidas por Fletcher y Munson.

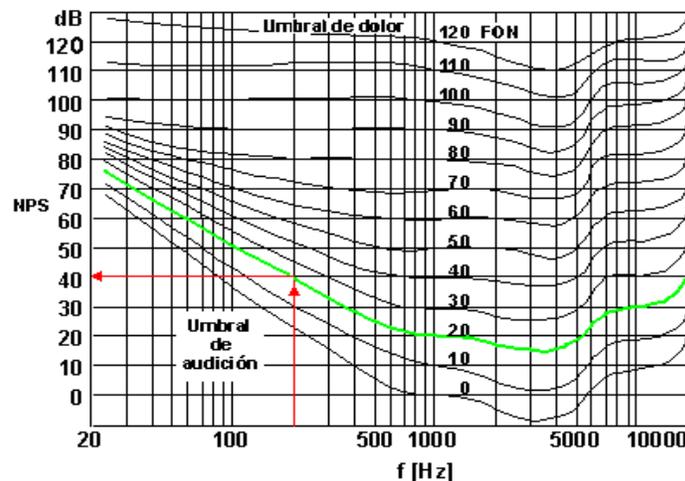
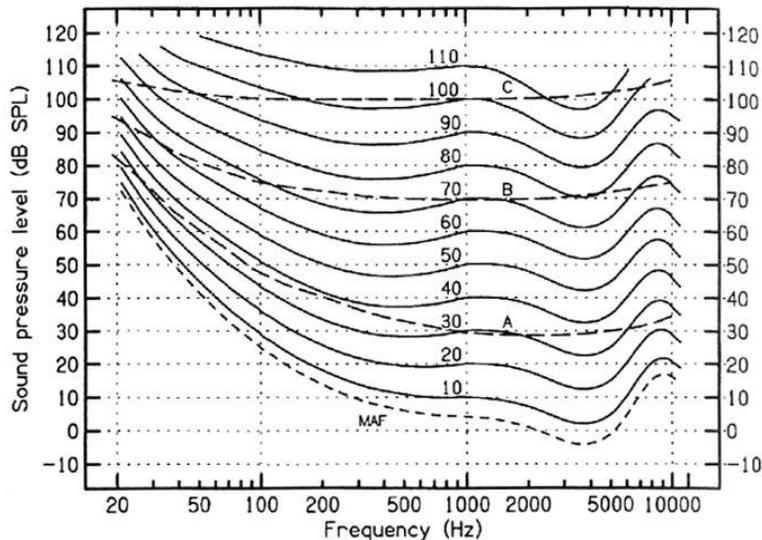


Figura 2. Curvas de igual sonoridad establecidas por Robinson y Dadson.



Cuando en 1933, fue descubierto que el nivel de sonoridad dependía de la frecuencia (Fletcher y Munson), se estimó que utilizando una red de filtros adecuada sería posible medir esa sensación de sonoridad en forma objetiva. Esta red de filtrado tendría que atenuar las bajas y las muy altas frecuencias, dejando las frecuencias medias casi inalteradas.

Más adelante estas curvas fueron redibujadas por Robinson y Dadson cambiando el modelo de obtenerlas, para estas nuevas curvas se hicieron las mediciones en cámaras anecoicas y con parlantes contrario a las primeras de Fletcher.

Otro factor que afecta la sensación de la sonoridad de los sonidos incidentes en el sistema auditivo es el nivel que este tenga (figura 1), debido a que a un mayor nivel, el oído humano es más permisivo con las bajas frecuencias es decir estas bajas frecuencias son mas audibles. Esta diferencia en la percepción del sonido

con el nivel de incidencia dio lugar a la utilización de diferentes filtros o ponderaciones en los sistemas de medición sonora.

Las curvas de igual sonoridad, establecidas por primera vez por Munson y Fletcher en 1930, y recalculadas posteriormente por Robinson y Dadson muestran la relación que debe existir entre las frecuencias e intensidades (o presión sonora) de dos sonidos senoidales para ser percibidos igual de fuerte, es decir, con la misma sonoridad. Dependiendo del nivel se utilizan las siguientes ponderaciones:

- Niveles bajos: ponderación A
- Niveles medios: ponderación B
- Niveles altos: ponderación C

La ponderación B es poco utilizada en la actualidad dando lugar a que en la mayoría de los sistemas de medición sonora no sea incluida.

La ponderación de un medidor de nivel sonoro (sonómetro) altera la respuesta en frecuencia que incide sobre el diafragma del micrófono del sonómetro conforme con las especificaciones de una norma nacional o internacional, de esta manera la lectura de un nivel sonoro depende de la frecuencia del sonido que llega al micrófono y al monto o ponderación que esté seleccionada, en otras palabras la ponderación es un peso que se le da a ciertas frecuencias, para semejar una

respuesta en función de los niveles respectivos de presión sonora de cada frecuencia del sonido incidente sobre el diafragma del micrófono.

Las normas nacionales e internacionales estipulan que un instrumento de nivel sonoro debe tener tres tipos de ponderación en frecuencia básicamente, A, C, y *Flat* o lineal (norma técnica colombiana NTC 3428).

2.1.14.1 Ponderación A. La ponderación A, es la más utilizada ya que ésta es la que se asemeja al comportamiento y respuesta en frecuencia del oído humano en condiciones normales de nivel sonoro (niveles sonoros bajos) y sin daños auditivos.

Esta red de filtros da un peso (atenuación) sustancial a las frecuencias bajas, dando lugar a una discusión de especial interés, puesto que este tipo de ponderación semejara de manera más real la situación sonora que se percibe subjetivamente no se sentirían, o la sensación de estar escuchando frecuencias bajas por parte de las personas sometidas al ruido no sería tan evidente.

Dicho de otra manera este tipo de ponderación está indicando algo que no se está escuchando cuando en realidad si se está percibiendo, de manera aérea y corporal.

En su trabajo de información espectral en mapas de ruido un estudio exploratorio los autores: Vivian Pasch, Patricia Moscón, Marta Yanitelli, Susana Cabanelas, Federico Miyara y Jorge Vásquez afirman lo siguiente sobre la ponderación A:

Podría inclusive argumentarse que la adopción de la ponderación A puede haberse resuelto prematuramente, sin suficiente evidencia a favor. De hecho su aceptación se ha basado en varios conceptos equivocados.

Primero, se supuso que los efectos del ruido sobre el ser humano se corresponden con la sensación de sonoridad, lo cual no sucede (basta considerar las molestias causadas por una canilla que gotea de noche).

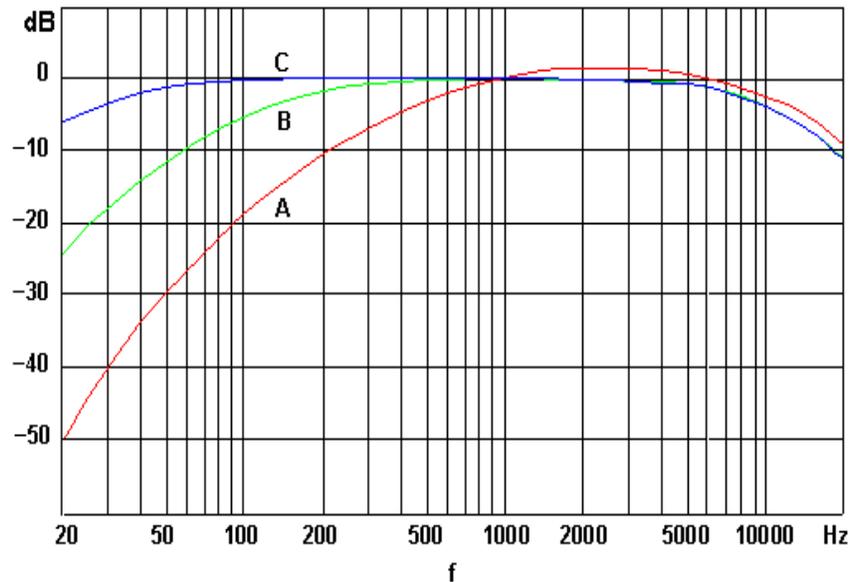
Segundo, se aceptó tácitamente que la respuesta del oído a los tonos puros podía extrapolarse linealmente al caso de tonos múltiples o inclusive ruidos de banda ancha.

Tercero, la ponderación A se había introducido originalmente para cuantificar la sonoridad de los sonidos comprendidos entre 24 dB y 55 dB, y sin embargo pasó a utilizarse para medir y evaluar sonidos mucho más intensos (Beranek, 1954, 1961).

2.1.14.2 Ponderación C. Es utilizada cuando el ruido incidente en el micrófono de medición (micrófono del sonómetro), es de mayor intensidad y contiene gran

cantidad de frecuencias bajas, ya que el oído es capaz de percibir mas frecuencias bajas cuando se aumenta el nivel.

Figura 3. Ponderaciones A, B y C.



La figura 3, muestra las ponderaciones en frecuencia A, B y C y el peso que estos filtros le dan a las diferentes frecuencias.

La ponderación C sería una opción de utilización en estudios de ruido y de impacto en el ser humano, pues da mayor importancia a lo que pasa con las frecuencias bajas.

2.1.15 Ponderación exponencial temporal

La ponderación temporal es utilizada para amortiguar la respuesta en tiempo del ruido incidente en el micrófono del sonómetro. Dependiendo de las características

del ruido que se esté midiendo las fluctuaciones o cambios pueden ser tan rápidas que se hace difícil determinar el nivel sonoro, estos amortiguamientos en tiempo son designados como *slow* y *fast*.

La elección de la ponderación exponencial de tiempo para usarla correctamente depende de la variabilidad del sonido y de los requisitos de la norma de medición aplicable.

2.1.15.1 Ponderación temporal *slow* (lenta). Aporta una mayor amortiguación del nivel sonoro que muestra el aparato indicador que la ponderación temporal rápida (*fast*). La ponderación temporal lenta hace más fácil la determinación de una aproximación del nivel sonoro promediado en el tiempo de un sonido inestable.

“El valor normalizado para la ponderación lenta es de 1000 milisegundos, con la ponderación temporal lenta, los sonidos que se producen hasta 4 segundos antes del tiempo de medición pueden tener una contribución significativa al nivel sonoro observado”²².

2.1.15.2 Ponderación temporal *fast* (rápida). Está en función de lo rápido que cambie el ruido, cuando el ruido varía constantemente (ruido fluctuante) se utiliza la ponderación temporal rápida ya que esta dará una idea más acorde con la realidad del nivel sonoro.

²² HARRIS Cyril, M. Manual de medidas acústicas y control del ruido.p. 11.5.

“El valor normalizado para la ponderación rápida es de 125 milisegundos. Un nivel sonoro rápido (*fast*) siempre estará más influenciado por los sonidos recientes y menos influido por los sonidos que se produjeron en el pasado distante”²³.

2.1.16 Cantidades a medir en un estudio de ruido

En un estudio de ruido e impacto ambiental las mediciones realizadas arrojan gran cantidad de datos que en la mayoría de los casos son difíciles de interpretar, mas aun para las personas que no están enteradas o no tienen conocimiento del tema, como sería el caso de las personas afectadas por el problema de ruido (habitantes de la zona en estudio).

Las cantidades a medir no se escogen arbitrariamente, estas cantidades responden a normas nacionales o internacionales que así lo estipulen. El nivel sonoro con ponderación A es la cantidad mínima que a menudo se precisa en un estudio de ruido por ser la que más se asemeja a las condiciones del oído humano en condiciones normales y sin daños auditivos (entiéndase condiciones normales, niveles bajos de ruido).

El tiempo de muestreo en los puntos elegidos para el estudio de ruido es otro factor que es de suma importancia, pues con este se va a dar una idea global de como se comporta el ruido en los puntos determinados para su evaluación, de hay

²³ HARRIS Cyril, M. Manual de medidas acústicas y control del ruido.p. 11.5.

que se utilicen diversas escalas de tiempo como por ejemplo el nivel continuo equivalente para 8 horas, De suma importancia son también los niveles percentiles, los cuales son una valoración estadística de como es el comportamiento del ruido y cuanto es su porcentaje de influencia sobre el tiempo de recolección de muestras escogido.

2.1.16.1 Nivel sonoro Continuo Equivalente (Leq). La mayoría de las evaluaciones de ruido de tráfico se realizan en términos de niveles sonoros globales con ponderación A. “El nivel sonoro continuo equivalente con ponderación en frecuencia para un intervalo de tiempo especificado, es el nivel de ruido estable que corresponde al promedio (integral) en el tiempo de la presión sonora al cuadrado con ponderación de frecuencia producida por fuentes de sonido estables, fluctuantes intermitentes, irregulares o impulsivos en el mismo intervalo de tiempo”²⁴.

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \sum t_i (10)^{L_i/10} dB (A)$$

Donde T es el número de muestras que se toman en un intervalo de tiempo determinado. Es común que en otras ecuaciones del nivel continuo equivalente omitan la letra T y esta sea cambiada por la letra N que indica lo mismo el número de muestras tomadas en determinado tiempo.

²⁴ HARRIS Cyril, M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. p. 11.7.

“El nivel sonoro continuo equivalente (Leq) es el índice de número único más útil para describir el ruido ambiental correspondiente a un periodo corto de tiempo determinado”²⁵.

El nivel sonoro continuo equivalente es muy útil para dar un número único de información acústica, aunque este único valor global en la práctica queda corto a la hora de describir el efecto del ruido en los seres humanos. Para una descripción más minuciosa es conveniente un análisis frecuencial del ruido incidente en la población afectada.

2.1.16.2 Nivel sonoro continuo equivalente de 1 hora. “Es el nivel sonoro continuo equivalente obtenido para un periodo de tiempo de 1 hora”²⁶.

2.1.16.3 Nivel sonoro percentil. Cuando el nivel sonoro cambia rápidamente en un rango amplio durante un largo periodo de tiempo, puede ser útil un análisis estadístico tanto de las variaciones de nivel como de su duración. Para la medición de nivel de ruido de la comunidad, es habitual medir el nivel sonoro con ponderación A que es superado durante cierto porcentaje (habitualmente 10%, 50% o 90%) del tiempo durante el periodo de medición del ruido.

“El nivel sonoro estadístico L 90 se toma como medida del nivel residual de ruido, poco influida por los sucesos discretos próximos. Los niveles sonoros L 1 y, en

²⁵ Ibid., p. 50.8.

²⁶ HARRIS Cyril, M. Manual de medidas acústicas y control del ruido.p. 11.12.

menor medida, el L 10 están muy influenciados por los acontecimientos discretos ruidosos que puedan producirse”²⁷.

2.1.16.4 Nivel sonoro máximo. “Es el nivel sonoro máximo con ponderación temporal que se produce durante un periodo de tiempo determinado. Para una forma de onda concreta de presión sonora inestable, el nivel sonoro depende de la ponderación temporal exponencial utilizada rápida (*fast*) o lenta (*slow*)”²⁸.

El nivel sonoro máximo es de gran importancia en un estudio de ruido, ya que indica el máximo nivel de presión sonora que estaría expuesta la población afectada por el ruido.

2.1.16.5 Nivel sonoro continuo equivalente de 8 horas. “El nivel sonoro continuo equivalente de 8 horas se utiliza como el nivel sonoro en el lugar de trabajo, es el nivel continuo equivalente para un periodo de 8 horas”²⁹.

2.1.17 curvas RC (*room criterio*). Las curvas RC son representaciones gráficas, para especificar niveles máximos permitidos por un sistema de aire acondicionado, es una alternativa preferida con respecto a las curvas NC o al nivel sonoro ponderado A, esta clasificación tiene en cuenta:

²⁷ Ibid., p. 50.8.

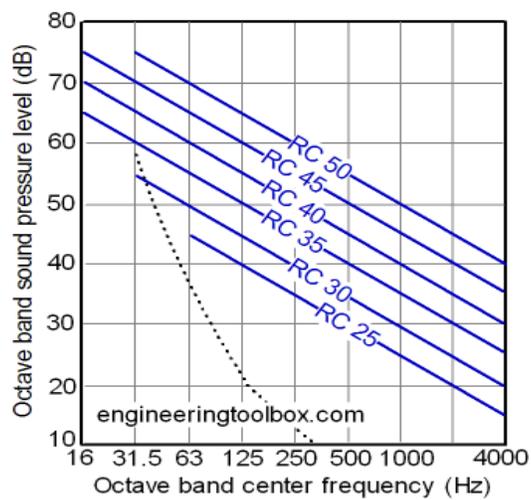
²⁸ Ibid., p. 11.7.

²⁹ Ibid., p. 11.13.

- La forma como el nivel del espectro es subjetivo en el proceso de evaluación.
- Incluye datos de las bandas de octava de 31,5 y 16 Hz.

Tiene en presente para su análisis las vibraciones perceptibles producidas por la energía acústica de baja frecuencia en edificios de construcción ligera.

Figura 4. Curvas RC.



2.1.18 Modos de resonancia. “La combinación de ondas incidentes y reflejadas en una sala da lugar a interferencias constructivas y destructivas o, lo que es lo mismo, a la aparición de las denominadas ondas estacionarias o modos propios de la sala”³⁰.

Cada modo de resonancia va asociado con una frecuencia igualmente denominada frecuencia propia.

³⁰ CARRION Isbert, Antoni. diseño acústico de espacios arquitectónicos. p. 56.

Existen tres tipos de modos propios de resonancia, se clasifican según el número de dimensiones de la sala que intervengan en la aparición de los mismos.

La expresión matemática que vincula todos los modos posibles es:

$$F = \left(\frac{c}{2}\right) \times \sqrt{\left(\frac{p^2}{L^2}\right) + \left(\frac{q^2}{W^2}\right) + \left(\frac{r^2}{H^2}\right)}$$

Donde:

F: frecuencia del modo.

C: velocidad del sonido.

P,q y r: números enteros y positivos (0.1.2.3.....n).

L: largo del recinto (metros).

W: ancho del recinto (metros).

H: alto del recinto (metros).

Estos tipos diferentes de modos de resonancia se denominan axiales, tangenciales y oblicuos.

2.1.18.1 axiales. Son los modos en los que se involucran solamente dos superficies.

2.1.18.2 tangenciales. Intervienen en la reflexión dos superficies de la sala, es decir en el proceso de resonancia entran cuatro superficies en juego.

2.1.18.3 oblicuos. Son los vinculados con las seis superficies del recinto en estudio, son los que tienen menos cantidad de energía sonora su frecuencia propia es más alta que las de un modo axial.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1 Técnicas de medida del ruido

Las zonas de trabajo se ven expuestas a diversas fuentes sonoras molestas (“ruido”), que interfieren en el normal funcionamiento de las personas en la zona afectada, a continuación se hará referencia a las técnicas estandarizadas para la medición del ruido.

Para esto es importante tener en consideración los siguientes interrogantes:

- ¿Por qué se van a realizar las mediciones?
- ¿Qué datos son precisos?
- ¿Qué medidas hay que realizar?
- ¿Tienen que satisfacer las medidas una norma que defina la precisión del instrumento, las técnicas de medición y las posiciones de medida?
- ¿Dónde está el lugar de medida?
- ¿Qué precisión de medida hace falta?
- ¿Cuáles son las principales fuentes de ruido?

2.2.2 Procedimientos de medida del ruido

A continuación se relacionan los procedimientos relevantes para la medición de ruido.

2.2.2.1 Cantidades a medir.

El nivel sonoro ponderado A es la cantidad básica que con mayor frecuencia se reglamenta en un estudio de ruido, esto debido al comportamiento del oído humano en condiciones normales de audición y de nivel.

2.2.2.2 Selección del micrófono de medición.

El tipo de micrófono y su orientación influye en el resultado de las mediciones. “De forma ideal, el micrófono debe tener una respuesta en frecuencia para que la sensibilidad sea independiente de la frecuencia sobre el rango de interés”³¹.

Como ya se ha abordado anteriormente existen tres tipos de micrófonos de medición:

- Campo libre, la respuesta en frecuencia es principalmente plana cuando se mide en campo libre.
- Incidencia aleatoria, su respuesta en frecuencia es principalmente plana para las ondas que llegan de cualquier dirección.

³¹ HARRIS Cyril, M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. p. 9.4.

- Micrófono de presión, su respuesta es principalmente plana cuando se utiliza con un pequeño acoplador.

2.2.2.3 Ubicación de los puntos de medición.

En la mayoría de ocasiones la posición del micrófono lo especifica la norma, “la medición de los niveles equivalentes continuos de presión sonora ponderado A se deben llevar a cabo en las ubicaciones exteriores que sean apropiadas para la descripción sonora del ambiente sometido a estudio”³².

“El número de puntos de medida necesario para determinar el nivel de presión sonora promediado en el tiempo y en el espacio con determinada precisión depende de la uniformidad del campo sonoro”³³, esto significa la variación del campo sonoro con las distintas posiciones.

Las posiciones escogidas como puntos de medición se deben indicar en un mapa expresando también la ubicación y cantidad de posiciones de medición, la elección de estos puntos dependen de la resolución espacial requerida del ambiente o zona que es motivo de estudio.

³² Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC. ACOUSTICS. DESCRIPTION AND MEASUREMENT OF ENVIRONMENTAL NOISE. ACQUISITION OF DATA PERTINENT TO FIELD USE. NTC 3520. Bogotá D.C.:1993.

³³ HARRIS Cyril, M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. p. 9.8.

En lo establecido en la norma técnica colombiana NTC 3520 las posiciones de medición pueden caracterizar el ruido proveniente de las emisiones producidas por diferentes fuentes fácilmente identificables en el área de trabajo.

Las posiciones deben estar ubicadas a distancias aproximadamente iguales sobre el área que se está estudiando, y ser representativas del nivel promedio de una zona o un área específica (por ejemplo, tener en cuenta los efectos locales de blindaje, las características topográficas, entre otros).

Otro factor a tener en cuenta es la variación de los niveles de presión sonora en relación con la altura del recinto, en áreas donde la densidad de población es alta “el ambiente sonoro puede considerarse como una función de la altura y de la horizontalidad”³⁴.

2.2.2.4 Posición del micrófono de medición.

La altura del micrófono de medición se debe seleccionar teniendo en cuenta la altura actual o esperada del receptor, la norma NTC 3522 para mediciones al aire libre establece que para efectos de minimizar el sonido reflejado por cualquier estructura se debe posicionar el micrófono “por lo menos a 3.5 metros de cualquier estructura reflectante, diferente del nivel del terreno”³⁵, la altura recomendada del micrófono de medición es de 1.2 a 1.5 metros por encima de la tierra.

³⁴Ibid., p. 50.19.

³⁵ Norma técnica colombiana NTC 3522

2.2.3 Curvas RC

Como se explico en el punto 2.1.17, las curvas o perfiles RC se pueden utilizar para especificar los niveles de presión sonora máximos permitidos en un espacio donde haya un sistema de calefacción o ventilación.

Las curvas RC se basan en el estudio hecho por la ASHRAE, sobre el ruido de fondo aceptable en una amplia gama de ambientes de oficinas típicos, la pendiente que muestran los perfiles de -5 dB por octava corresponde a la pendiente media del espectro de los datos medidos, que se obtuvieron en gran número de oficinas que disponían de sistemas de aire acondicionado y calificadas como aceptables, por las personas que ocupaban dichos espacios.

La pendiente de las curvas RC no cambia de nivel a lo largo del rango mostrado y la designación numérica de cada curva corresponde al nivel en la octava de 1000 Hz.

“La clasificación RC del ruido precisa de dos términos: el primer término es un número (corresponde aproximadamente al nivel de interferencia SIL del habla del espectro, el segundo término consta de cuatro letras que identifican la calidad del sonido”³⁶.

Las letras con las que se califican la calidad del sonido son:

³⁶ HARRIS Cyril, M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. p. 43.10.

Espectro neutro (N), los niveles en banda de octava de y por debajo de 500 Hz no deben sobrepasar los niveles de octava del espectro de referencia en más de 5 dB en ningún lugar de la línea, los niveles debajo y por encima de 1000 Hz no deben exceder el nivel de octava del espectro de referencia en más de 3 dB en ningún lugar de la línea.

Espectro retumbante R, los niveles de banda de octava de y por debajo de 500 Hz exceden el nivel de octava del nivel de referencia en más de 5 dB en uno o más puntos de la línea.

Espectro siseante (S), el nivel de banda de octava de y por encima de 1000 Hz sobrepasa el nivel de octava del espectro de referencia en más de 3 dB en uno o varios puntos de la línea.

Espectro tonal (T), se da cuando hay un cambio abrupto en la pendiente del espectro, que introduce un pico en una banda de octava particular, si se eleva este pico en 3 dB, sobre la línea de las bandas adyacentes el tono puede ser audible.

2.2.4 Método de clasificación RC

La clasificación RC de un espectro de ruido utiliza datos (niveles de presión sonora) de banda de octava de 31,5Hz a 4000 Hz, para casos de vibraciones inducidas acústicamente se utiliza la banda de 16 Hz, la clasificación de un espectro de ruido se obtiene de la siguiente forma:

- Dibujar el espectro de ruido sobre un formato de curvas RC.
- Calcular el nivel de interferencia del habla (SIL) de las tres bandas del espectro que es la media aritmética de las bandas de 500, 1000 y 2000 Hz.
- Trazar línea con pendiente de -5 dB dejando como nivel de referencia en 1000 Hz la media aritmética resultado del punto anterior, esta es la curva de referencia que se debe usar para evaluar la calidad del sonido del espectro que se califica.

Trazar una nueva curva sobre la curva de referencia situada 5 dB por encima de esta que vaya desde 31,5 a 500 Hz, esto dará los límites permitidos neutros para bajas frecuencias, se traza una segunda línea 3 dB por encima de la curva de referencia desde la banda de 1000 Hz hasta 4000 Hz, esta nueva curva da los niveles permitidos neutros para altas frecuencias, la franja situada entre estas dos líneas o curvas trazadas y la curva de referencia define la desviación máxima del espectro de sonido respecto a la curva de referencia clasificándose como un sonido neutro.

Determinar la calidad del sonido observando el modo en que el espectro se desvía de los límites de la curva de referencia del paso anterior, empleando los criterios y letras descritos anteriormente según su contenido espectral.

Asignar una clasificación RC donde la parte numérica es la clasificación correspondiente al nivel de la curva de referencia de la banda de octava en 1000 Hz.

2.2.5 Criterios del análisis modal

Dentro de un análisis modal se busca que la densidad de estos (modos) se incremente a medida que se aumenta en frecuencia, esto tiene una explicación, se desea que los modos estén tan cerca que el oído humano los identifique como parte de un solo paquete energético y no distinga la distancia entre ellos para que no sean perceptibles individualmente.

En el análisis modal existen diferentes criterios de análisis para la descripción de sus efectos en los recintos en estudio, entre estos criterios están el Gilford y Bonello que se describirán a continuación.

2.2.5.1 Criterio de Gilford. Se basa en el análisis de cómo se comportan los modos propios axiales, este criterio no le da tanta importancia a los modos tangenciales y oblicuos, Gilford enuncia que la separación entre modos no debe superar los 20 Hz, es decir no debe haber una separación de un ancho de banda mayor a 20 Hz, si esto ocurre los modos serán perceptibles y se escucharía la frecuencia propia del modo.

Dentro de las objeciones a este criterio está en que Gilford no toma en cuenta el volumen del recinto y también ignora la importancia y relevancia de los demás tipos de modos (tangenciales y oblicuos).

2.2.5.2 Criterio de Bonello.

Contempla todos los modos presentes en el recinto, Bonello basa su criterio en los porcentajes de las frecuencias modales y no en distancias fijas, al contrario de Gilford, el criterio de Bonello es también llamado criterio de densidad de modos.

Método de aplicación del criterio:

- Se calcula todos los modos presentes hasta sobrepasar la frecuencia de Schroeder del recinto.
- Se divide el espectro en sexto de octavas, agrupando, en cada uno, la cantidad de modos obtenidos.
- Se grafican estas cantidades en función de las frecuencias de sexto de octava.

Calificación del recinto:

- La curva de la figura deberá ser monótonamente creciente o a lo sumo, tener la misma cantidad de modos, en dos sextos sucesivos.

- No deberán existir modos dobles (dos frecuencias iguales) y en caso de haberlos, sólo se tolerarán en sextos cuya densidad de modos sea superior a cinco.
- Los modos deberán estar espaciados por lo menos 5% de la frecuencia modal.

2.3. MARCO LEGAL O NORMATIVO

Las normas nacionales e internacionales que se ajustan y respaldan este proyecto son:

IRAM 4026

Fecha de publicación: Diciembre de 1986

Título: Cabinas Audiométricas

ESQUEMA 1 DE NORMA IRAM 4070

Fecha de publicación: Junio de 2006

Título: Ruidos: Procedimiento para su evaluación utilizando los perfiles “NC” y “RC”.

ISO 4043

Fecha de publicación: 1998

Título: Cabinas Portátiles de Interpretación Simultánea Características generales y equipo

NTC 3428

Fecha de publicación: 16 de Febrero de 1992

Título: Acústica. Sonómetros (Medidores de la Intensidad de Sonido).

LEY 906

Fecha de publicación: 2004

Título: Nuevo código de procedimiento penal.

3. METODOLOGIA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque empleado en la realización de este proyecto es el empírico-analítico, ya que durante su desarrollo se busca mejorar un diseño ya creado, realizando mediciones técnicas en distintos días laborales, analizarlas y concluir con un rediseño que busca mejorar las falencias del actual, mejorando las condiciones en que se realizan los análisis de muestras de voz, utilizados en procesos judiciales.

3.2 LINEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUBLINEA DE FACULTAD / CAMPO TEMATICO DEL PROGRAMA

Para llevar a cabo este proyecto se definió como campo temático de la Universidad de San Buenaventura la línea de Tecnologías Actuales y Sociedad, ya que contamos con el conocimiento científico y técnico, para proponer y solucionar problemas que beneficien a la sociedad.

La sublínea que corresponde al presente proyecto perteneciente a la facultad de ingeniería es la de instrumentación y control de procesos, porque se realizan distintas mediciones, y se analizan parámetros que intervienen en la nueva propuesta, y el campo de investigación de ingeniería de sonido es acústica forense.

3.3 TECNICAS DE RECOLECCION DE LA INFORMACION

La información que maneja el proyecto es objetiva, dado que el enfoque del trabajo está dirigido a mejorar las falencias del diseño actual de las cabinas acústicas utilizadas para análisis de voz, esto basado en dos técnicas de recolección, la primera son las distintas mediciones tomadas en los cinco días de la semana en horario laboral, dentro de las cabinas, en la oficina donde se encuentran ubicadas y en los corredores aledaños, y la segunda es el análisis del diseño actual.

Este tipo de información es exacta, ya que es un dato único y cuantificable, esta información está dada por los niveles de presión sonora continuos equivalentes (Leq) tomados por el equipo de medición acústica. La recolección de los datos acústicos (niveles de presión sonora) se hará por medio de la utilización del medidor de nivel sonoro SVAN 943 A, provisto por los laboratorios de acústica de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá.

3.3.1 Metodología de la medición

La metodología de medición que aporta algunos parámetros y respaldan a este proyecto son la norma IRAM 4026 de Cabinas Audiométricas, el esquema IRAM 4070 llamado Ruido-Procedimiento para su evaluación utilizando los perfiles NC y RC, ISO 4043 de Cabinas Portátiles de Interpretación Simultánea, y la Ley 906 de 2004 del Nuevo código de procedimiento penal. Cada uno de estos documentos

contiene metodologías e información que se utilizaron para proponer la metodología para este proyecto.

La norma IRAM 4026, nos aporta condiciones importantes en el diseño de las cabinas Audiométricas, que son las que se han tomado como referencia para diseñar las utilizadas en los análisis de muestras de voz que a nivel mundial, se están utilizando para la solución de casos. Dicha norma nos ayuda a establecer las condiciones generales para el diseño, como el ruido ambiente, los niveles máximos admisibles de presión sonora en el interior de las cabinas aplicables en este trabajo, para así garantizar el aislamiento de la persona que realiza el análisis, evitando ser distraída por eventos externos que puedan afectar su estudio pericial. En el capítulo 5 se incluyen algunas sugerencias para el control de ruido en la sala y en áreas aledañas a donde se encuentran ubicadas las cabinas, para así favorecer el proceso de aislamiento de las cabinas, que es el fin de este proyecto.

En el presente trabajo se tomaron como guía las curvas RC porque según el esquema uno de la norma IRAM 4070, estas curvas se utilizan cuando los niveles de presión sonora son generados por los sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado, siendo este el caso de las cabinas.

Para evaluar el diseño actual de las cabinas se realizaron las gráficas teniendo en cuenta los criterios establecidos por la norma de la siguiente manera:

“Se calcula el promedio aritmético de los niveles de presión sonora de las octavas centradas en 500, 1000 y 2000 Hz. Luego, se traza una recta con una pendiente de -5 dB por octava en el rango de frecuencias que van desde 16 Hz hasta 4000 Hz pasando por 1000 Hz en el valor del nivel calculado del promedio aritmético, este será el perfil de referencia para evaluar la calidad del sonido en todo el espectro. Posterior a esto, se traza una línea paralela 5 dB por encima del perfil de referencia entre 16 Hz y 500 Hz y luego una segunda línea, 3 dB por encima de dicho perfil entre 1000 Hz y 4000 Hz. El rango establecido entre ambas líneas y el perfil de referencia, representará el máximo desvío permitido respecto del mismo para obtener la calificación de neutral”³⁷.

El criterio RC utilizado es el RC 10 – 20 (N).

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Este proyecto busca aportar un medio idóneo en el cual se puedan realizar, los análisis de muestra de voz, utilizados judicialmente.

La población afectada por los niveles de ruido proporcionados por el sistema de ventilación, ruido transmitido estructuralmente y el ruido aportado por los equipos

³⁷ Comisión de acústica y electroacústica. Ruido. Procedimiento para su evaluación utilizando los perfiles “NC” y “RC”.2006.

de grabación y valoración de las pruebas o muestras de audio, son principalmente los fonoaudiólogos peritos encargados de realizar el análisis de dichas muestras.

La muestra para este estudio son las cinco personas que trabajan en las cabinas que son tres fonoaudiólogos y dos detectives.

3.5 HIPOTESIS

Con el rediseño de las cabinas como instrumento para análisis de voces, diseñado bajo normativa internacional, se facilitará que el análisis de muestras de audio sea más confiable y seguro, en términos policiales y judiciales garantizando la legalidad de la prueba.

3.6 VARIABLES

3.6.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Dentro de las variables independientes tenemos los siguientes ruidos:

- El ruido intrusivo en las cabinas.
- El ruido generado por los sistemas de ventilación
- El ruido producido por los equipos de tomas de muestras de audio.

3.6.2 VARIABLES DEPENDIENTES

Dentro de las variables dependientes se tiene.

- Los materiales utilizados en la nueva propuesta.
- La ubicación de las cabinas.

4. DESARROLLO INGENIERIL

4.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS CABINAS

Para la correcta valoración de los recintos es necesario describir el lugar donde se realizaron las mediciones, en éste sentido es importante relacionar los materiales constructivos de éstos, como lo son las cabinas acústicas utilizadas para el análisis de muestras de voz.

Es importante identificar las principales fuentes de ruido que afectan el correcto funcionamiento de las cabinas en estudio y por último la situación de las personas que diariamente utilizan las cabinas de análisis de voz.

4.1.1 Descripción de las cabinas y sus materiales constructivos.

Las cabinas utilizadas para la recolección, registro y análisis de muestras de audio se encuentran ubicadas en el primer piso de la edificación, ésta oficina en su lado occidental colinda con un pasillo de alto tráfico de personal, lo que genera un problema (ruido intrusivo), de igual forma, por el costado oriental comparte una pared con una zona verde en donde se hacen diferentes entrenamientos tanto de personal y de caninos. Por otra parte, las paredes de este lugar son simplemente de ladrillo resanado.

Otro factor de vital importancia que se tratará mas adelante con mayor detenimiento, hace relación a la ubicación de la oficina donde se encuentran las

cabinas de análisis de audio, teniendo en cuenta que a su costado sur se encuentra muy cercana con la sección de baños públicos de la edificación y con el área de delitos informáticos del DAS.

A continuación se describen las cabinas de tomas de muestras de audio y sus materiales:

Son cabinas de 1.60 metros de ancho, 2.50 metros de alto y 1.60 metros de largo, están construidas de láminas de *cold rolled* calibre 18, liso en el exterior y en el interior las laminas tienen perforaciones con un diámetro de 5 mm. En la parte interna se encuentran diversos materiales unidos uno a uno en forma de capas de la siguiente manera: fibra de vidrio de 5/8", polietileno multilaminado de 5mm de espesor o más conocido comercialmente como yumbolon, y finalmente una capa de fieltro.

Cada cabina cuenta con cuatro ruedas de poliuretano para su fácil movilización, característica con la cual se adquirieron inicialmente estos equipos; pero debido a su peso y su difícil desmonte decidieron dejarlas fijas en las oficinas donde se encuentran actualmente. Las cabinas están dotadas en su interior con un mesón de madera aglomerada, el cual sirve como área de trabajo para los peritos encargados de los análisis de audio.

Cada cabina tiene una ventana de vidrio doble monolítico de 4 mm de espesor, esta ventana tiene a su vez una cámara de aire de 4 cm de distancia entre vidrio

y vidrio (no hay desacople acústico entre vidrio y vidrio), cuentan con una alfombra de tráfico pesado al interior de ellas.

El sistema de ventilación es individual por cada cabina, consta de un ventilador simplemente para refrigerar el espacio, que hace las veces de extractor de aire, reflejando el problema de ruido que se analizará en el capítulo cinco del presente trabajo con las curvas RC de cada cabina.

En las cabinas el sistema de ventilación no funciona adecuadamente motivo por el cual los detectives no cierran por completo la cabina, viéndose expuesto al ruido intrusivo ajeno al funcionamiento propio de la cabina. Teniendo en cuenta que por razones de seguridad el DAS no dejó tomar fotos de las cabinas, a continuación se presenta una maqueta realizada del lugar donde se encuentran emplazadas las cabinas.

Figura 5. Maqueta de oficina.



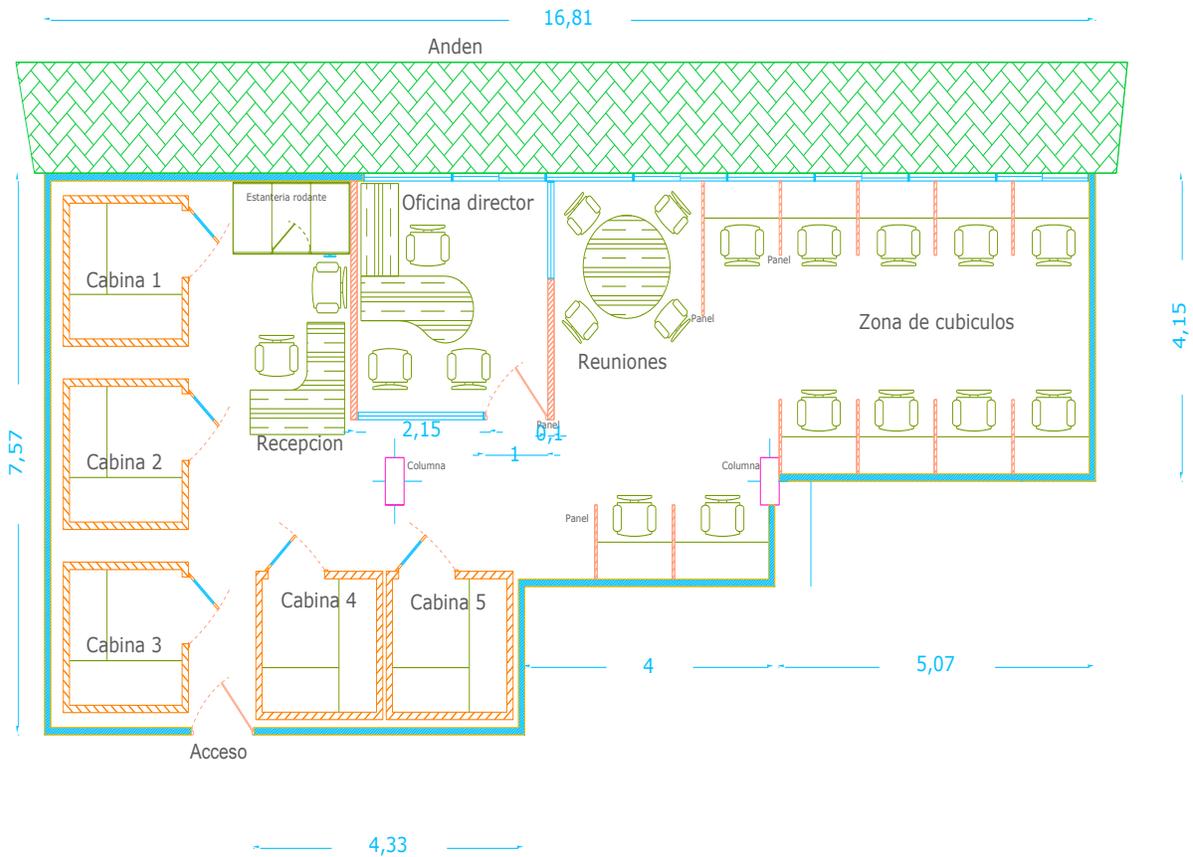
4.1.2 Descripción de las principales fuentes de ruido

A continuación se describen las principales fuentes de ruido que afectan las cabinas y por consiguiente la toma de los datos por parte de los peritos.

1. Pasillo de alto tráfico de personal que afecta principalmente a las cabinas 4 y 5.
2. Sección de baños públicos aledaños a la oficina en donde se ubican las cabinas, generando ruido intrusivo producido por la tubería hidráulica.
3. La recepción del área de acústica forense (secretaria), se ubica en el centro de la oficina en donde se encuentran instaladas las cabinas, ofreciendo un gran problema al análisis de muestras porque no ofrece ninguna separación entre las cabinas y el resto de la oficina.
4. Equipos de ventilación que se ubican al interior de las cabinas, que aportan gran cantidad de frecuencias altas como se demostrara en la sección de análisis de resultados.
5. Equipos de computo y de impresión que se ubican al interior de las cabinas, los cuales son utilizados para el procesamiento de la señal, y debido a que

la computadora de cada cabina no se encuentra aislada del resto de la cabina, producen gran cantidad de ruido el cual refleja una toma no objetiva de las muestras.

Figura 6. Plano de oficina.



Las medidas se encuentran en metros.

4.1.3 Descripción de la situación de los trabajadores que utilizan las cabinas

Los peritos y detectives que trabajan en las cabinas manifiestan que el ruido de la ventilación y las fuentes de ruido nombradas anteriormente, son realmente

molestos cuando se encuentran cotejando las muestras de audio que llegan a su laboratorio.

Así mismo, algunas de las cabinas como se mencionó no les sirve adecuadamente el sistema de ventilación, por tal motivo, los detectives y peritos dejan abiertas las puertas, permitiendo así espacios para el ingreso de ruido externo que afectan el análisis de las muestras.

4.2 MÉTODOLÓGIA DE MEDICIÓN DE RUIDO EN LAS CABINAS

Las mediciones de ruido se realizaron por varios días entre los meses de julio y agosto del 2008, cuando las autoridades permitieron el ingreso a la edificación.

Es así, que las mediciones se hicieron al medio día y a las cuatro de la tarde cuando había mayor actividad en la oficina en donde se encuentran emplazadas las cabinas.

Para tal efecto, se ubicó un punto de medición en el interior de cada cabina, a un metro del suelo y en todo el centro de la misma semejando la situación de trabajo en la misma y los otros puntos escogidos para la caracterización del entorno de ruido del sitio fueron la entrada a la oficina y el salón de la misma.

Se escogieron estos puntos para poder dar una idea correcta del comportamiento del ruido intrusivo al trabajar en las cabinas de análisis de muestras, el punto de

la entrada de la oficina representa el nivel de ruido que aporta el pasillo a la oficina de las cabinas y el punto del salón representa en sí el ruido que aporta la misma oficina a las cabinas de análisis de audio.

Para los puntos de medición escogidos por fuera de las cabinas se siguieron las mismas normas que en las cabinas de análisis de muestras de audio, estas son: ubicación a un metro del suelo del equipo de medición a una distancia mayor de un metro para evitar reflexiones y el instrumento de medición con una inclinación de 45 grados respecto de la horizontal.

Para todos los puntos de medición se hizo la siguiente puesta a punto del sonómetro:

Star delay: 10 segundos

Tiempo de toma de muestra: 10 minutos

Repetición de ciclo: 1 ciclo

Buff. Step: 5 minutos.

Los perfiles del medidor de nivel sonoro se programaron de la siguiente forma.

Perfil 1:

Ponderación en frecuencia A

Ponderación en tiempo lenta

Definición del contenido del buffer RMS

Factor de calibración cero dB

Perfil 2:

Ponderación en frecuencia lineal

Ponderación en tiempo lenta

Definición del contenido del buffer RMS

Factor de calibración cero dB

Perfil 3:

Ponderación en frecuencia C

Ponderación en tiempo lenta

Definición del contenido del buffer RMS

Factor de calibración cero dB

4.2.1 Elección de hora e intervalo de medición

Se tomaron dos horas del día para caracterizar la situación de ruido del sitio, estas horas se determinaron las de mayor afluencia de personas y con mayor nivel de ruido.

Las horas de mayor nivel de ruido para estas mediciones fueron las del medio día y las cuatro de la tarde.

Se escogió un tiempo de medición de diez minutos, basado en la premisa de que una muestra de corta duración dará una caracterización igual en el nivel continuo equivalente que una muestra de una hora, puesto que los niveles de ruido son constantes y no tienen cantidades tonales que afecten de manera significativa la toma de muestras de diez minutos.

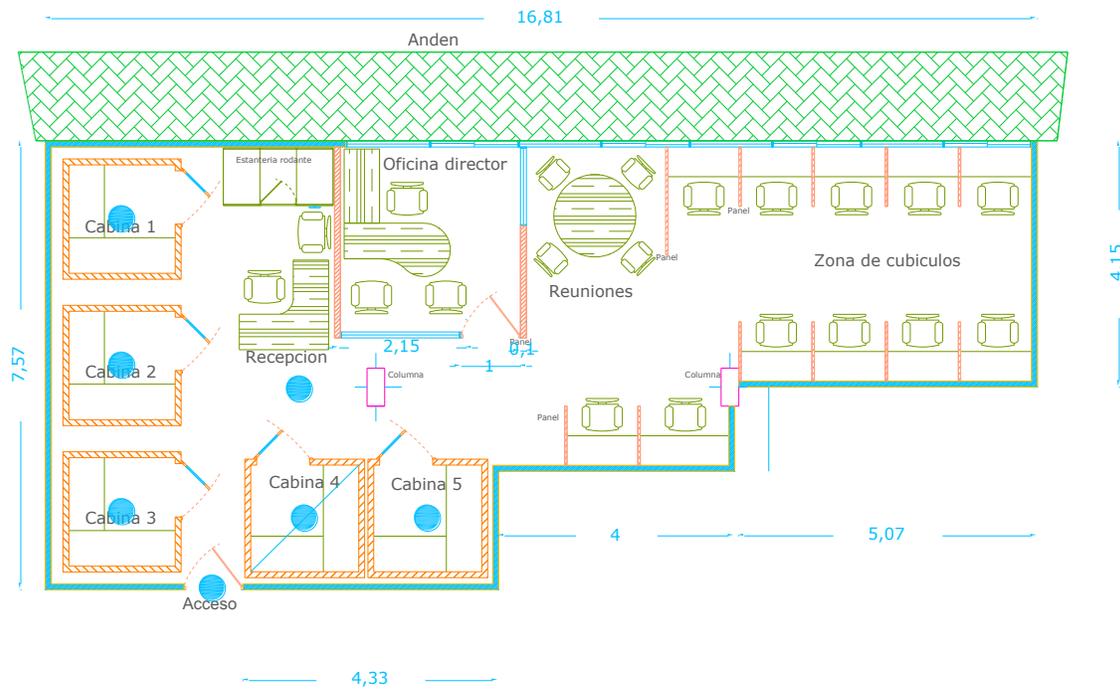
4.2.2 Puntos de medición

La determinación de los puntos de medición se hace partiendo de la base de que deben ser representativos de la situación sonora del sector y de la concentración humana del mismo.

La importancia de los puntos de medición y el tiempo de muestreo utilizado (tiempo de medición) radica, en que estos dos factores van a significar la representación a largo plazo del ruido, no se puede determinar un intervalo de tiempo de muestreo que no tenga un patrón repetitivo de la actividad sonora del área en estudio.

Como se planteó anteriormente se identificaron en total siete puntos de medición de ruido uno por cada cabina y dos por fuera de estas, estos puntos caracterizan fielmente el comportamiento del ruido en el recinto en estudio.

Figura 7. Plano con puntos de medición.



Las medidas se encuentran en metros.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DE MEDICIÓN POR CABINA

Para un estudio completo de las cabinas es necesario la medición de ruido y describir cada entorno o recinto (cabina de audición). Posterior a esto realizar la curva RC respectivamente, debido a que cada una cuenta con un sistema de ventilación para brindarle a los funcionarios mayor comodidad.

A continuación se muestran los espectros de ruido de cada cabina y su respectiva categorización dentro de una curva RC.

5.1.1 cabina 1 nivel sonoro y clasificación RC

Tabla 1. Niveles cabina 1

| | nivel sonoro cabina 1 | | | | | | | | |
|----|-----------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| Hz | 16 | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| dB | | 29,8 | 18,6 | 21,1 | 28,4 | 32 | 28,4 | 24,2 | 21,3 |

Figura 8. Espectro de ruido cabina 1.

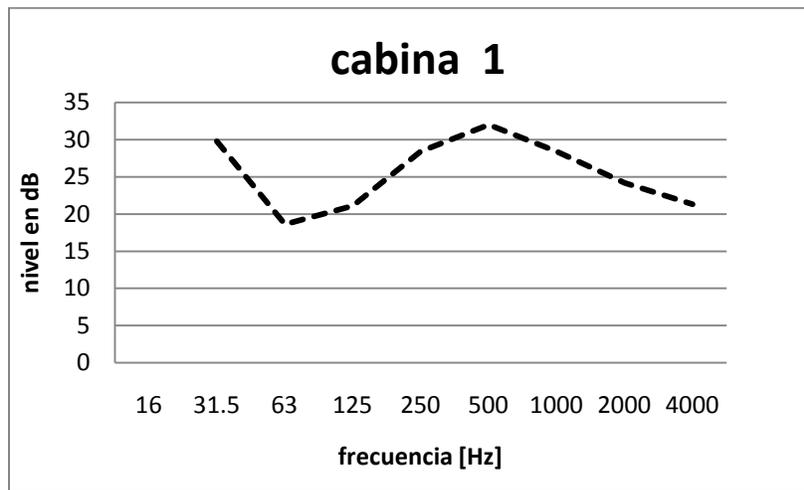
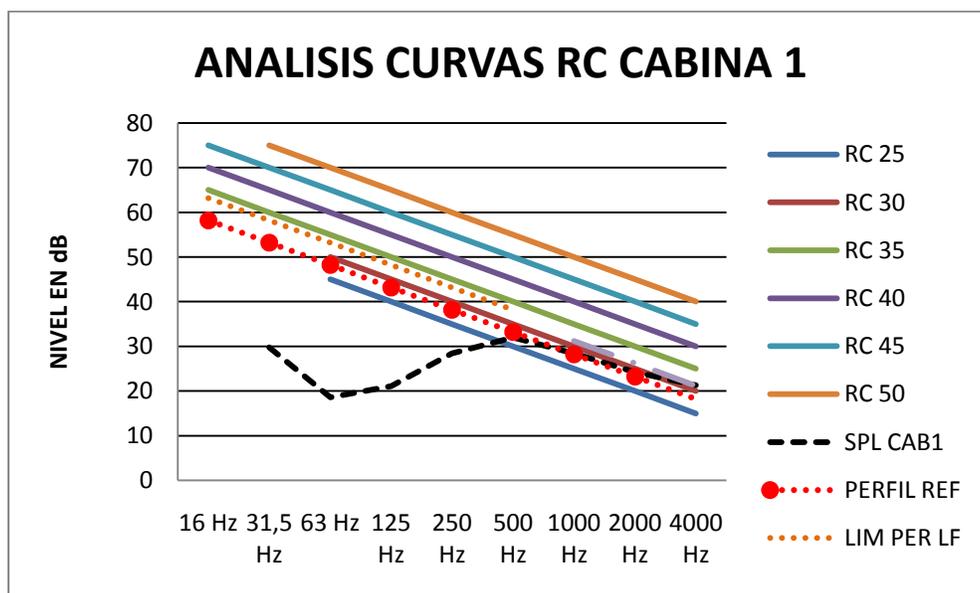


Tabla 2. Niveles en banda media cabina 1

| CABINA 1 | | | | PROMEDIO |
|---------------|-----|------|------|----------|
| FRECUENCIA Hz | 500 | 1000 | 2000 | MID |
| NIVEL dB A | 32 | 28,4 | 24,2 | 28,2 |

Figura 9. Curva RC cabina 1



La gráfica de las curva RC para la cabina 1 muestra que el comportamiento es de una curva RC 28(H), porque el nivel excede más de 3 dB la curva de referencia en 4000 Hz, y en las bandas de 500 Hz hacia abajo en contenido espectral del ruido no sobrepasa la curva de referencia.

5.1.2 cabina 2 nivel sonoro y clasificación RC.

6. Tabla 3. Niveles cabina 2

| nivel sonoro cabina 2 | | | | | | | | | |
|-----------------------|----|------|----|------|------|------|------|------|------|
| [Hz] | 16 | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| dB | | 16,3 | 17 | 23,7 | 31,2 | 34,1 | 31,5 | 27,5 | 22,2 |

Figura 10. Espectro de ruido cabina 2.

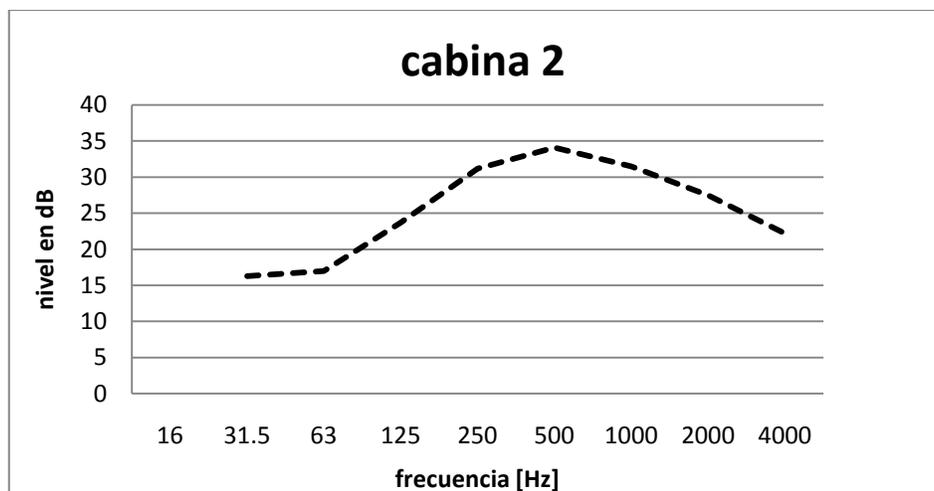
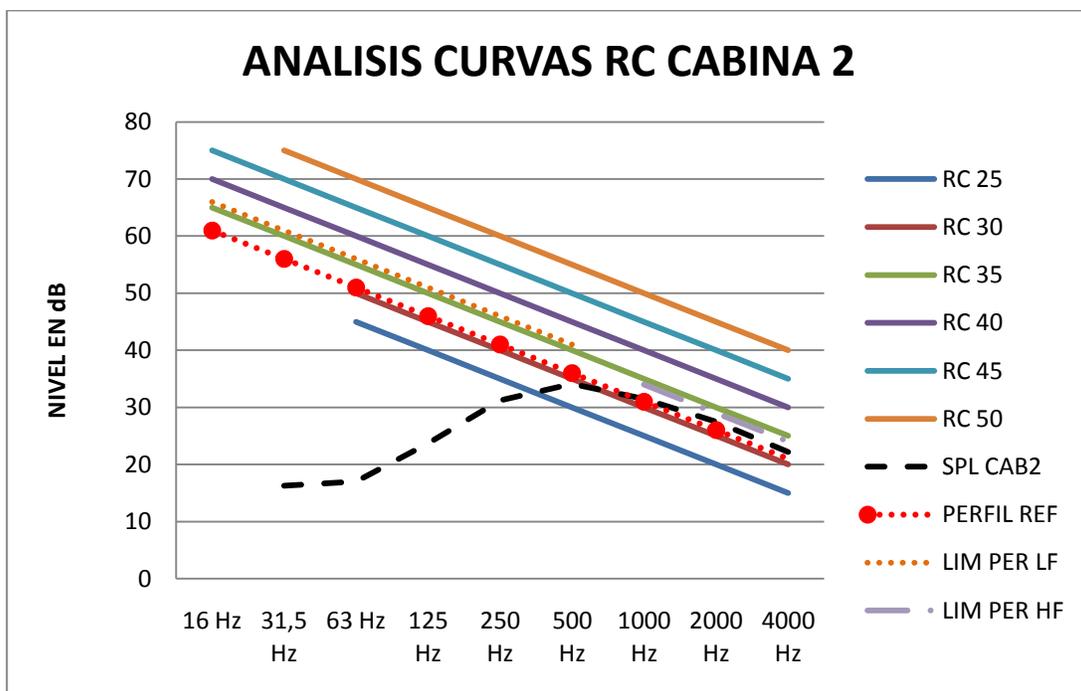


Tabla 4. Niveles en banda media cabina 2

| | | | | |
|-----------------|------|------|------|----------|
| CABINA 2 | | | | PROMEDIO |
| FRECUENCIA [Hz] | 500 | 1000 | 2000 | MID |
| NIVEL dB A | 34,1 | 31,5 | 27,5 | 31 |

Figura 11. Curva RC cabina 2.



La gráfica muestra la tendencia del contenido espectral del ruido en la cabina dos, para esta cabina se obtiene una curva RC 30(N) y el contenido espectral se comporta de manera estable sin romper ninguna de las reglas de caracterización del ruido.

5.1.3 cabina 3 nivel sonoro y clasificación RC.

Tabla 5. Niveles cabina 3

| | nivel sonoro cabina 3 | | | | | | | | |
|----|-----------------------|------|----|------|-----|------|------|------|------|
| Hz | 16 | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| dB | | 23,2 | 17 | 23,6 | 32 | 33,2 | 27,8 | 23,5 | 20,6 |

Figura 12. Espectro de ruido cabina 3.

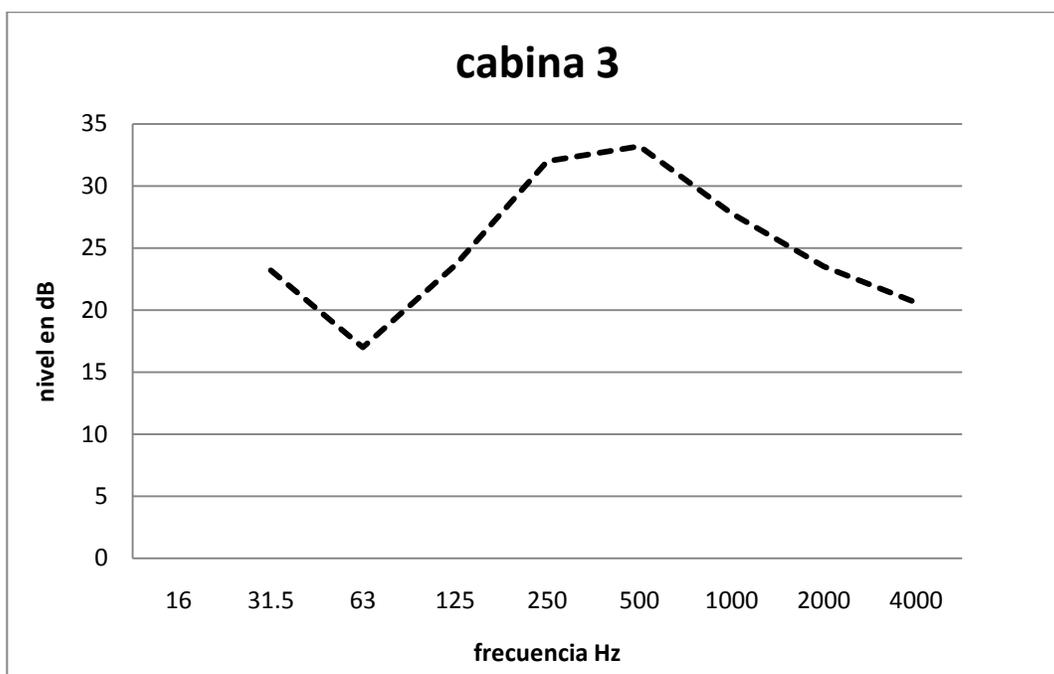
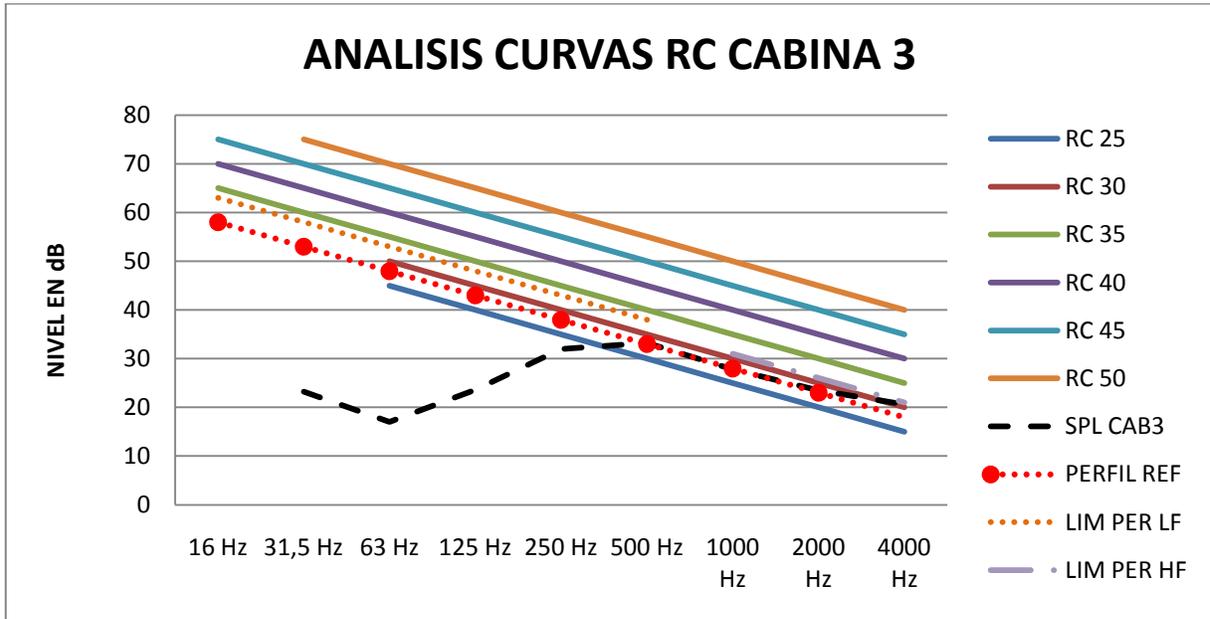


Tabla 6. Niveles en banda media cabina 3

| CABINA 3 | | | | PROMEDIO |
|-----------------|------|------|------|----------|
| FRECUENCIA [Hz] | 500 | 1000 | 2000 | MID |
| NIVEL dB A | 33,2 | 27,8 | 23,5 | 28 |

Figura 13. Curva RC cabina 3.



La gráfica de la cabina tres corresponde a una curva RC 28(H), dado que en 4000 Hz el espectro sobrepasa 3 dB encima de la curva de referencia, por debajo de 500 Hz el comportamiento está de acuerdo con las reglas de caracterización del ruido.

5.1.4 cabina 4 nivel sonoro y clasificación RC

Tabla 7. Niveles de la cabina 4

| | nivel sonoro por tercio de octava cabina 4 | | | | | | | | |
|-----------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Frecuencia [Hz] | 16 | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| dB | | 19,7 | 18,1 | 28,1 | 29,3 | 35,6 | 32,3 | 24,8 | 22,2 |

Figura 14. Espectro de ruido cabina 4.

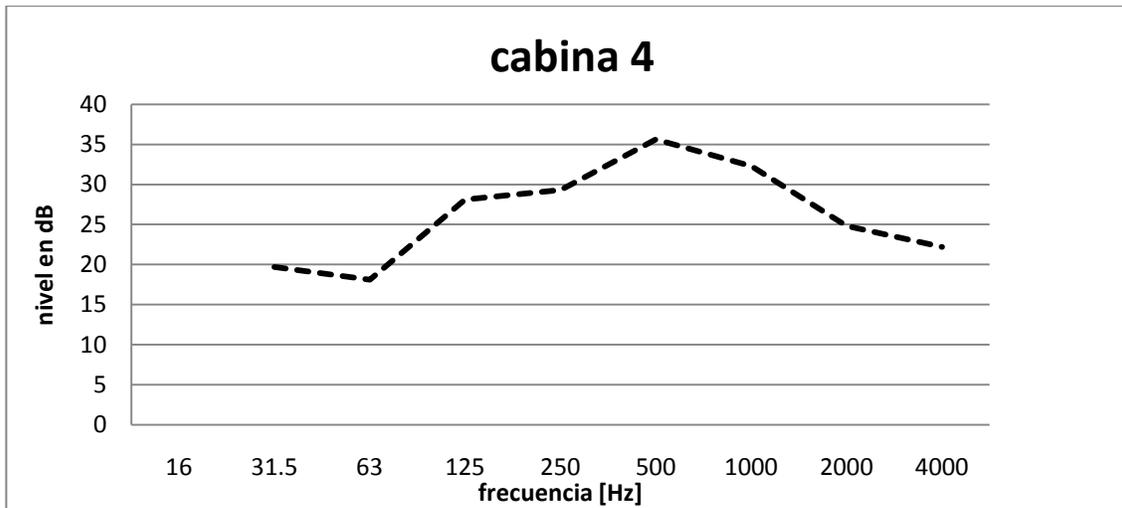
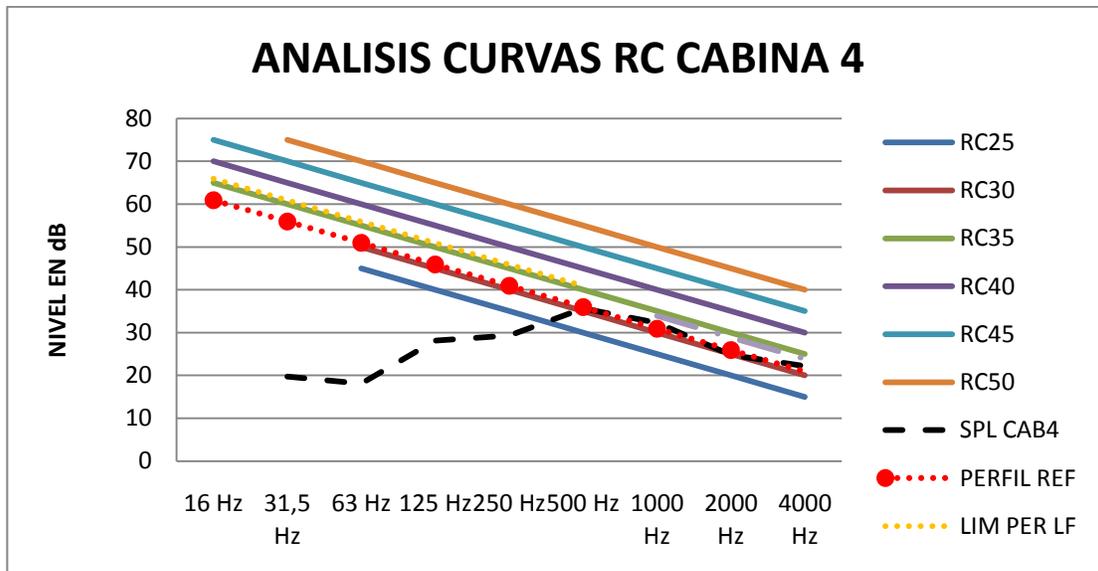


Tabla 8. Niveles en banda media cabina 4

| CABINA 4 | | | | PROMEDIO |
|-----------------|------|------|------|----------|
| FRECUENCIA [Hz] | 500 | 1000 | 2000 | MID |
| NIVEL dB A | 35,6 | 32,3 | 24,8 | 30,9 |

Figura 15. Curva RC cabina 4.



La gráfica muestra el comportamiento del ruido para una curva RC 30(N), en 4000 Hz no sobrepasa los 3 dB de la norma.

5.1.5 cabina 5 nivel sonoro y clasificación RC

Tabla 9. Niveles de la cabina 5

| | nivel sonoro cabina 5 | | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Frecuencia[Hz] | 16 | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| dB | | 16,3 | 17,6 | 23 | 24,8 | 23,3 | 27,2 | 22,6 | 20,9 |

Figura 16. Espectro de ruido cabina 5.

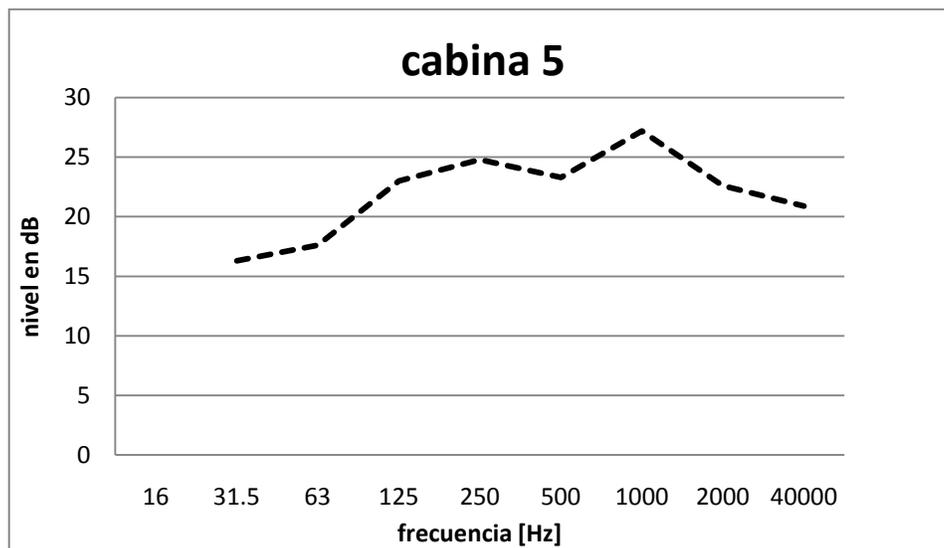
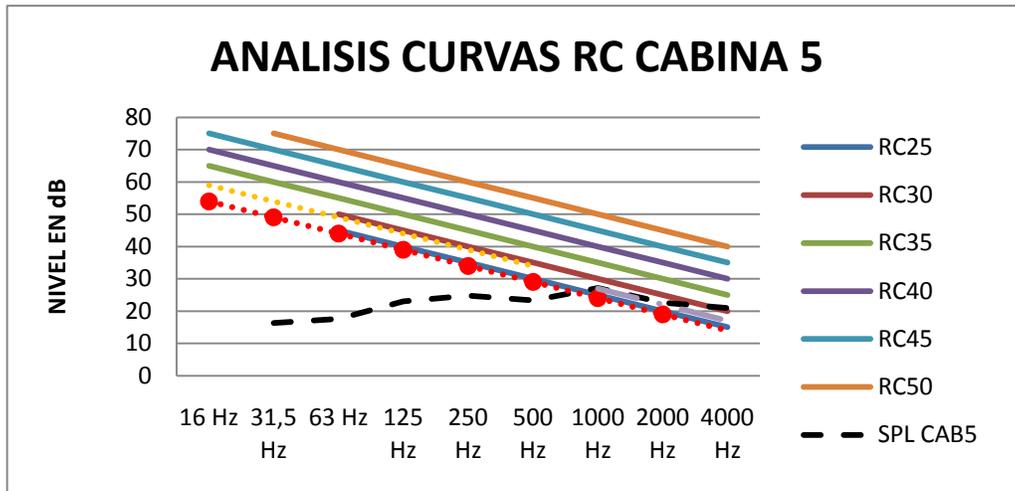


Tabla 10. Niveles en banda media cabina 5

| CABINA 5 | | | | PROMEDIO |
|-----------------|------|------|------|----------|
| FRECUENCIA [Hz] | 500 | 1000 | 2000 | MID |
| NIVEL dB A | 23,3 | 26,2 | 22,6 | 24 |

Figura 17. Curva RC cabina 5.



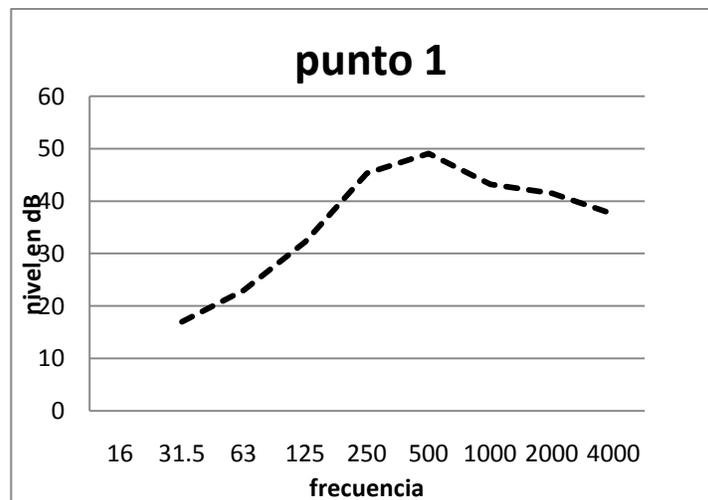
El contenido espectral de la cabina cinco muestra una curva RC 24(H), excede en 3 dB en la octava de 4000 Hz y 1000 Hz.

5.2 RESULTADO DE MEDICIÓN PASILLO DE OFICINA

A continuación se relacionan los dos puntos afuera de las cabinas que se escogieron.

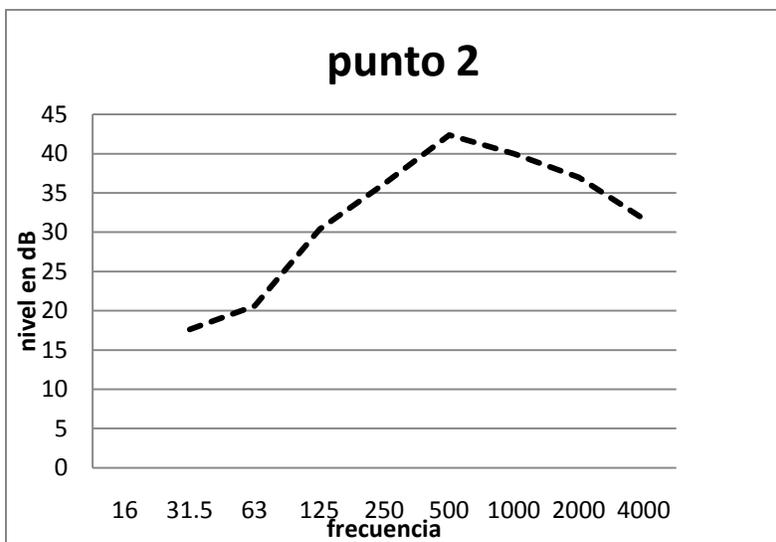
5.2.1 punto 1 nivel sonoro

Figura 18. Espectro de ruido punto 1.



5.2.1 punto 2 nivel sonoro

Figura 19. Espectro de ruido punto 2.



5.3 ANALISIS MODAL DE LAS CABINAS

Tomando las dimensiones de las cabinas de toma de muestras de audio del DAS, las cuales miden de largo 1,60 metros, ancho 1,60 metros y de alto 2,50 arrojan los siguientes resultados en el análisis modal:

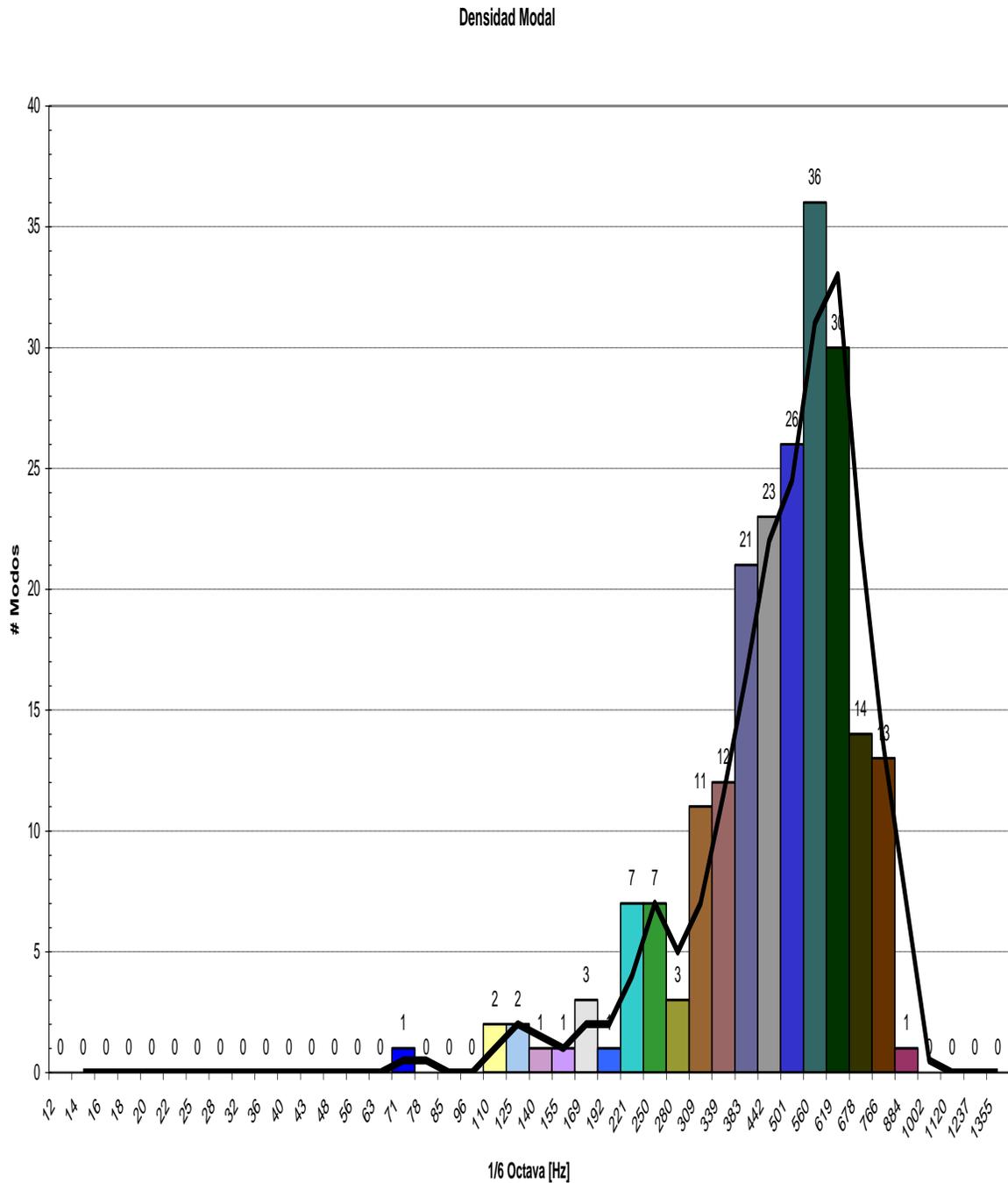
Tabla 11. Análisis modal de las cabinas

| | <i>Sorted by Frequency</i> | | | <i>Mode spacing</i> | |
|---|----------------------------|---|---|---------------------|------|
| | L | W | H | Hz | Hz |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 68,8 | |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 107,5 | 38,7 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 107,5 | 0,0 |
| 4 | 1 | 0 | 1 | 127,6 | 20,1 |

| | | | | | |
|-----------|----------|----------|----------|--------------|-------------|
| 5 | 0 | 1 | 1 | 127,6 | 0,0 |
| 6 | 0 | 0 | 2 | 137,6 | 10,0 |
| 7 | 1 | 1 | 0 | 152,0 | 14,4 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 166,9 | 14,8 |
| 9 | 1 | 0 | 2 | 174,6 | 7,7 |
| 10 | 0 | 1 | 2 | 174,6 | 0,0 |
| 11 | 1 | 1 | 2 | 205,1 | 30,4 |
| 12 | 0 | 0 | 3 | 206,4 | 1,3 |
| 13 | 2 | 0 | 0 | 215,0 | 8,6 |
| 14 | 0 | 2 | 0 | 215,0 | 0,0 |
| 15 | 2 | 0 | 1 | 225,7 | 10,7 |
| 16 | 0 | 2 | 1 | 225,7 | 0,0 |
| 17 | 1 | 0 | 3 | 232,7 | 7,0 |
| 18 | 0 | 1 | 3 | 232,7 | 0,0 |
| 19 | 2 | 1 | 0 | 240,4 | 7,7 |
| 20 | 1 | 2 | 0 | 240,4 | 0,0 |
| 21 | 2 | 1 | 1 | 250,0 | 9,7 |
| 22 | 1 | 2 | 1 | 250,0 | 0,0 |
| 23 | 2 | 0 | 2 | 255,3 | 5,2 |
| 24 | 0 | 2 | 2 | 255,3 | 0,0 |
| 25 | 1 | 1 | 3 | 256,3 | 1,1 |
| 26 | 0 | 0 | 4 | 275,2 | 18,9 |
| 27 | 2 | 1 | 2 | 277,0 | 1,8 |
| 28 | 1 | 2 | 2 | 277,0 | 0,0 |
| 29 | 1 | 0 | 4 | 295,5 | 18,5 |

Si se toma en cuenta el criterio de Gilford (la separación de los modos axiales no debe ser mayor a 20 hertz), el comportamiento modal de las cabinas no es el adecuado para su uso y estos modos son perceptibles al oído humano.

Figura 20. Densidad modal de las cabinas.



La densidad modal, crece a partir de 309 hertz, esta condición ya es más favorable para las condiciones de escucha de los peritos que utilizan las cabinas.

Analizando el comportamiento modal de las cabinas bajo el criterio de Bonello que sería el más indicado en este caso, se ve en la figura 20 que el crecimiento en la densidad de modos propios de resonancia no es monótono como debería serlo, tiene pendientes negativas en sexto de bandas muy importantes como 140, y 280 Hz, esto da origen a espaciamiento modal perceptible por el oído humano, no cumpliendo con las normas del criterio.

Debido a las medidas de las cabinas existen modos dobles y estos están ubicados en la sexta de banda de 110 y 174 Hz y no cumple con la premisa de que en caso de encontrarse modos dobles solo se toleraran si la densidad modal es mayor a 5.

Tomando como referencia un tiempo de reverberación de 500 milisegundos la frecuencia de schoeder dará 531 hertz, sumado a que a los 309 hertz la densidad modal empieza a aumentar, los modos de resonancia se hacen cada vez mas juntos que se vuelven imperceptibles.

En la figura 20 se muestra la densidad modal en función de la frecuencia, existen varios puntos en particular en que dicha densidad baja que son las octavas de 78, 140 y 280 Hertz, se concluye de este comportamiento que el espaciamiento baja y son frecuencias perceptibles para el trabajador que utilice las cabinas.

5.4 MEJORAS PROPUESTAS EN EL DISEÑO DE LAS CABINAS

Al analizar los resultados de las mediciones expuestas de las cabinas y oficina donde se encuentran emplazadas las mismas, se concluye que el ruido intrusivo y propio tiene un gran contenido de frecuencias altas.

El análisis de las curvas RC muestran un comportamiento generalizado del ruido entre RC 24 y RC 30, es importante destacar que el comportamiento en frecuencias bajas es relativamente estable haciendo que las mejoras a las cabinas se enfaticen en frecuencias altas.

Visto desde el punto fisiológico es de vital importancia tratar el rango de frecuencias entre 1000 y 4000 Hz, dado a que el canal del oído medio entra en resonancia con estas, haciendo que los análisis de las tomas de audio realizadas en las cabinas tenga presunciones erróneas, por la condición sonora a la que está expuesta el canal auditivo.

Otro factor de importancia relevante para el tratamiento de estas frecuencias principalmente es la inteligibilidad de las tomas de audio analizadas en estos recintos, al tener problemas con las frecuencias altas baja la inteligibilidad, esto repercute en el entendimiento de las consonantes.

Las consonantes contienen gran cantidad de frecuencias altas al contrario de las vocales, para un buen entendimiento del mensaje hablado y transportado por un medio digital o magnético para su reproducción, como es el caso de las muestras, es imprescindible la correcta claridad en los contenidos consonánticos de los mensajes.

5.4.1 tratamiento de frecuencias altas

Dado lo anterior se proponen las siguientes acciones correctivas:

- Amortiguamiento del sistema de ventilación de cada cabina; como se pudo constatar es la principal fuente que aporta a las frecuencias altas dentro de los cubículos de tomas de muestras.
- Aislamiento del equipo de cómputo de las cabinas, estos equipos y sus ventiladores de enfriamiento contribuyen a enriquecer el problema de frecuencias altas dentro de los recintos en estudio.
- Ubicación de material acústico para absorción de altas frecuencias como se detalla más adelante.

- Evitar paralelismo entre las paredes internas de los recintos en estudio, por las dimensiones internas de las cabinas se crean ondas estacionarias que contribuyen al problema modal.

5.4.2 tratamiento de frecuencias bajas

Según el análisis modal realizado, las frecuencias que entran en el rango de bajas son 107.5, 74, 140, y 280 Hz, generando problemas dentro de las cabinas, por lo que se propone lo siguiente:

- La utilización de resonadores a estas frecuencias y piso flotante para cada cabina. Este piso flotante deberá soportar el peso total de la cabina permitiendo una ligera deflexión estática sin llegar a ser una superficie totalmente rígida para evitar los puentes acústicos entre estructuras, en este caso el piso y los puntos de apoyo de las cabinas.

Para favorecer las mejoras realizadas al diseño actual de las cabinas, es importante tratar acústicamente el recinto donde se encuentran ubicadas, por esta razón se sugiere:

- La oficina donde se encuentran las cabinas se encuentra situada en un área de demasiado tráfico y no tiene un correcto aislamiento del ruido externo al ruido propio del trabajo de la oficina.
- Las instalaciones sanitarias que colindan con la oficina aportan al ruido intrusivo en la oficina donde están ubicadas.
- Cielo rasos acústicos dentro de la oficina, debido al número de personas que trabajan en ella.

5.4.3 mejoras en el diseño de las cabinas

Para encontrar el diseño más apropiado se realizaron varios análisis modales con diferentes dimensiones, encontrando que la que mejor comportamiento modal tenía es la siguiente:

| L | W | H |
|----|------|----|
| 2m | 2,5m | 3m |

Teniendo en cuenta lo anterior a continuación tenemos los primero 47 nodos y su espaciamiento en Hertz, calculados de la siguiente manera:

$$F = \left(\frac{V_s}{2}\right) \sqrt{\left(\frac{p^2}{L^2}\right) + \left(\frac{q^2}{W^2}\right) + \left(\frac{r^2}{H^2}\right)}$$

Donde:

F = Frecuencia del modo (Hz).

V_s = Velocidad del sonido (m/s).

p; q; r = números enteros y positivos (0, 1, 2,...n) vinculados con las tres dimensiones L, W, H.

L = largo del recinto (m).

W = ancho del recinto (m).

H = altura del recinto (m).

Tabla 12. Análisis Modal del Diseño propuesto

| No MODO | L | W | H | Hz | ESPACIAMIENTO MODAL EN Hz |
|---------|---|---|---|--------|---------------------------|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 56,67 | 0,00 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 68,00 | 11,33 |
| 3 | 1 | 0 | 0 | 85,00 | 17,00 |
| 4 | 0 | 1 | 1 | 88,52 | 3,52 |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 102,16 | 13,64 |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 108,85 | 6,70 |
| 7 | 0 | 0 | 2 | 113,33 | 4,48 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 122,72 | 9,39 |
| 9 | 0 | 1 | 2 | 132,17 | 9,45 |
| 10 | 0 | 2 | 0 | 136,00 | 3,83 |
| 11 | 1 | 0 | 2 | 141,67 | 5,67 |
| 12 | 0 | 2 | 1 | 147,33 | 5,67 |
| 13 | 1 | 1 | 2 | 157,14 | 9,81 |
| 14 | 2 | 0 | 0 | 170,00 | 12,86 |
| 15 | 0 | 0 | 3 | 170,00 | 0,00 |
| 16 | 1 | 2 | 1 | 170,09 | 0,09 |
| 17 | 0 | 2 | 2 | 177,03 | 6,94 |
| 18 | 0 | 1 | 3 | 183,10 | 6,06 |
| 19 | 1 | 0 | 3 | 190,07 | 6,97 |
| 20 | 2 | 1 | 1 | 191,66 | 1,60 |
| 21 | 1 | 1 | 3 | 201,86 | 10,20 |
| 22 | 0 | 3 | 0 | 204,00 | 2,14 |
| 23 | 2 | 0 | 2 | 204,31 | 0,31 |
| 24 | 0 | 3 | 1 | 211,72 | 7,41 |
| 25 | 2 | 1 | 2 | 215,33 | 3,61 |
| 26 | 2 | 2 | 0 | 217,71 | 2,37 |
| 27 | 0 | 2 | 3 | 217,71 | 0,00 |
| 28 | 2 | 2 | 1 | 224,96 | 7,25 |

| | | | | | |
|----|---|---|---|--------|-------|
| 29 | 0 | 3 | 2 | 233,37 | 8,41 |
| 30 | 1 | 2 | 3 | 233,71 | 0,34 |
| 31 | 1 | 0 | 4 | 242,08 | 8,37 |
| 32 | 2 | 2 | 2 | 245,44 | 3,36 |
| 33 | 1 | 3 | 2 | 248,37 | 2,93 |
| 34 | 2 | 1 | 3 | 249,85 | 1,48 |
| 35 | 1 | 1 | 4 | 251,45 | 1,60 |
| 36 | 3 | 0 | 0 | 255,00 | 3,55 |
| 37 | 2 | 3 | 1 | 271,53 | 16,53 |
| 38 | 1 | 2 | 4 | 277,67 | 6,14 |
| 39 | 3 | 1 | 2 | 287,22 | 9,55 |
| 40 | 3 | 2 | 1 | 294,50 | 7,29 |
| 41 | 1 | 1 | 5 | 303,52 | 9,02 |
| 42 | 1 | 3 | 4 | 316,57 | 13,05 |
| 43 | 1 | 3 | 4 | 316,57 | 0,00 |
| 44 | 1 | 2 | 5 | 325,57 | 9,00 |
| 45 | 1 | 4 | 5 | 401,85 | 76,28 |
| 46 | 4 | 3 | 2 | 412,38 | 10,53 |
| 47 | 1 | 5 | 4 | 417,38 | 4,99 |

Podemos observar en el cálculo de los modos de resonancia, que existen cuatro situaciones en las que el espaciamiento modal es cero, siendo esto el esperado en el nuevo diseño, ya que, lo que se busca es que el espacio entre modo y modo sea muy pequeño para que el oído no lo detecte, favoreciendo esto al personal que trabaja dentro de las cabinas.

Teniendo en cuenta las falencias del diseño actual se propone realizarlo desde el exterior hacia el interior de la cabina de la siguiente manera: lámina *cold rolled* calibre 16 revestidas con dos capas de membrana acústica de masa superficial pesada de 3mm de espesor (5kg / m²), un paneles de acoustic block 2 con composición de una capa de membrana acústica de masa superficial pesada entre dos capas de fibra de vidrio de alta densidad con un espesor 1", sumado a

esto polietileno multilaminado espesor de 5mm, todo está distribuido en un área 6 m² en las 3 paredes y 5m² en el área del techo, en la pared de la puerta tenemos un área de 7,5m². Por último un revestimiento interior con madera microperforada 4mm láminas difusoras de espuma de poliuretano con diseño geométrico puestas parcialmente a la vista, con un espesor final de las paredes de 103,8mm, sumado a esto puntos eléctricos e iluminación en muros y techos, hay que tener en cuenta las medidas de las cabinas mencionadas anteriormente, y con esta misma configuración también se construye el techo.

Y la puerta de las cabinas con:

- Fabricación de marco en lámina *cold rolled* calibre 18.
- Llenado de las cavidades del marco en lana mineral de roca de alta densidad.
- Instalación de empaques de neopreno flexible en el marco.
- Hoja desmontable entamborada con espesor 50mm en lámina cold rolled calibre 18.
- Revestimiento de la superficie interior de las dos láminas que componen la hoja con membrana acústica de espesor 3mm.

- Llenado de la cavidad de la hoja, entre las dos caras, con fibra de vidrio de espesor 38mm.
- Bocel con empaque en la parte inferior de la hoja para sellamiento con el quisio.
- Cerradura con manija larga por ambas caras de la hoja.
- Sellamiento entre marco y hoja con empaques de Neopreno.
- Ventanilla insonorizada para control visual en la mitad superior de la hoja.
- Marco de la ventanilla lleno con afelpado de Lana Mineral de Roca de alta densidad.
- Ventanilla acústica de doble acristalamiento con la siguiente configuración:

Primera cara: Paneles de aislamiento termoacústico, sistema *swigle seal* de tremco compuesto por un cristal flotado laminado incoloro espesor 9mm que se compone de dos cristales monolíticos de 5 y 4 mm, con una película de polivinil butiral entre los dos.

Segunda cara: cristal flotado laminado incoloro de espesor 7mm que se compone de dos cristales monolíticos de 4 y 3mm, con una película polivinil butiral entre los dos.

En el piso se propone doble tendido de membrana acústica, polietileno, fibrocemento de 8mm y finaliza con tapete de tráfico pesado.

La utilización del sistema de ventilación, es el ítem más importante porque genera el mayor porcentaje de ruido dentro de las cabinas, se recomienda la instalación de los módulos de aire acondicionado fuera de las cabinas, preferiblemente en el techo de las mismas dejando el espacio para las rendijas por donde circulará la corriente de aire fresco hacia el interior de las cabinas, al estar estos módulos encima de las cabinas estos sistemas de refrigeración se deberán desacoplar del resto de estructuras, es decir evitar que descansen sobre el techo de las cabinas, esto se logra con la utilización de materiales amortiguadores como el caucho que permitan una ligera deflexión estática al entrar en funcionamiento el motor del modulo de refrigeración, es importante aclarar que la rendija de ventilación que comunica el interior y el sistema de ventilación debe estar sellada por todos sus bordes con silicona para evitar escapes de aire fresco y evitar vías de acceso al ruido intrusivo externo de la oficina.

6. CONCLUSIONES

El sitio donde se encuentran emplazadas las cabinas no es el más idóneo para la utilidad que se le están dando, debido a la alta circulación de personal por los pasillos aledaños.

Como se pudo observar por las mediciones realizadas, el ruido presentado dentro de las cabinas tiene gran cantidad de energía en altas frecuencias, haciendo que los contenidos de consonantes en los mensajes hablados de las muestras para análisis se vean afectados por el ruido, todo esto gracias al problema de ruido producido por el sistema de ventilación.

Las curvas RC obtenidas no son las adecuadas para el uso actual de las cabinas, las cuales deberían estar en el orden de una curva RC 20 y la curva más baja obtenida es de RC 24.

La densidad modal de las cabinas, con respecto al criterio de Bonello no tiene un comportamiento uniforme, se observan modos dobles en sexto de banda importantes para el entendimiento del mensaje hablado y en sextos de banda la densidad modal no es superior a cinco, dando lugar a la aparición de coloraciones sonoras en las cualidades de las cabinas.

Si se tomase el criterio de Gilford (no es el más indicado por no ser tan reciente) se ve que el espaciamiento modal tampoco cumple con el ancho de banda de 20 Hz que dicta el criterio.

El diseño y los materiales de las cabinas no son los más indicados para el uso que se les está dando, debido al problema en altas frecuencias que se presenta con el sistema de ventilación actual.

7. RECOMENDACIONES

Puesto que no existe un método de medición exacta para este tipo de recintos este investigador relaciona pasos que se deben tener en cuenta para realizar las mediciones:

Prueba piloto de cuál es la hora del día en donde se tiene el mayor nivel sonoro (ruido), esto se debe hacer obteniendo el Leq de una hora durante las horas de trabajo del recinto donde se encuentren emplazadas las cabinas.

Medición en las horas de mayor nivel de ruido por un tiempo mínimo de 15 minutos para idealizar la situación sonora de las cabinas.

Recolección de datos subjetivos del personal que trabaja en el recinto en estudio, esto se hace mediante encuestas donde se les haga preguntas de su percepción de la situación sonora del recinto en estudio, estas encuestas deben ser avaladas por personal especializado para minimizar los vicos de forma y fondo de las mismas.

En lo posible realizar pruebas de aislamiento de los materiales constructivos in situ, lo que implica la utilización de una fuente sonora para dichas pruebas.

Realizar el análisis modal de los recintos.

Los problemas de índole acústico no son solamente de las superficies o espacios a tratar, ejemplo de esto son los problemas que tiene las cabinas de tomas de muestras de audio del DAS, se debe hacer una revisión global de todas las fuentes de ruido que afectan el recinto en estudio, pues el tratamiento en la fuente emisora del ruido es una de las formas de minimizar el impacto que esta tenga sobre los receptores del ruido, en este caso particular sobre los peritos que utilizan las cabinas de análisis de audio como su entorno de trabajo.

Se debe realizar en lo posible una medición de los niveles de ruido en el lugar donde se encontraría el trabajador expuesto.

8. BIBLIOGRAFIA

BERGLUND Birgitta, LINVALL Thomas, SCHWELA Dietrich. Guías para el ruido urbano.

Cabinas portátiles de Interpretación Simultánea.1998.

CARRION Isbert, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos.

Comisión de acústica y electroacústica. Ruido. Procedimiento para su evaluación utilizando los perfiles “NC” y “RC”.2006.

Comité de acústica y electroacústica y comité general de normas. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Cabinas Audiométricas. Diciembre de 1986.

FISCALIA GENERAL DE LA NACIÓN. Manual único de criminalística. Sección científica-Acústica. Bogotá 2004.

HARRIS Cyril, M. Manual de medidas acústicas y control del ruido.

FERRAN Tolosa, Cavan. Discurso inaugural del Curso Académico 2003 en la Real Academia de Medicina de las Islas Baleares.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.
Norma colombiana. Sonómetros. Medidores de la intensidad del sonido NTC-
3428.

Nuevo código de procedimiento penal. Agosto 31 de 2004.

OCHOA Juan, BOLAÑOS Fernando, Medida y control del ruido.

RECUERO Manuel, Ingeniería acústica.

REJANO de la Rosa, Manuel. Ruido industrial y urbano.