



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008  
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A053

## TRABAJOS DE DOCENCIA REALIZADOS POR LOS ALUMNOS EN UN SEMESTRE LECTIVO

Daniel Machado C.<sup>(a)</sup>, Diego Velásquez R.<sup>(a)</sup>, Oscar Méndez G.<sup>(a)</sup>, Juan G. Pastrana P.<sup>(a)</sup>,  
Juan E. Restrepo P.<sup>(a)</sup>, Camilo Andrés Piñeros Herrera<sup>(a)</sup>, Michael Eric Castro Pinzón<sup>(a)</sup>,  
Angélica V. Sánchez Mercado<sup>(a)</sup>, Wilson Javier García Villarraga<sup>(a)</sup>, Ricardo Andrés Moreno  
Viasus<sup>(a)</sup>, Andrés Felipe Millán Silva<sup>(a)</sup>,  
Director: físico Luis Jorge Herrera<sup>(a)</sup>  
Docente: Ing. Francisco Ruffa<sup>(a)</sup>

(a) Ingeniería de sonido, Facultad de ingeniería, Universidad de San Buenaventura. transv 8H  
#172-20, Bogotá D.C, Colombia. E-mail: [LHerrera@usbbog.edu.co](mailto:LHerrera@usbbog.edu.co), [fruffa@fi.uba.ar](mailto:fruffa@fi.uba.ar),

### Abstract

Sound Engineering student at Universidad de San Buenaventura, Bogotá branch, must take the subject called “community noise” in which knowledge required to solve different situations related to such problem is acquired, as well as the application of National and International regulations. There, they are to develop a work based on real conditions and, at the same time, with the subject called “elective one”, they should link the skills acquired in the study of disciplines such as architectural acoustics, electro-acoustics, budget making and investment evaluation, by means of an integrative project that is supervised and assessed by a teacher, with the competence of judging if it’s technical and economically acceptable for an existing work or a future project.

This report shows the work done by different groups of students interested in those problems.

### Resumen

Dentro del programa de ingeniería de sonido de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, los alumnos deben cursar la materia “Ruido comunitario”, en la que adquieren los conocimientos necesarios para resolver distintas situaciones vinculadas con dicha problemática y, aplicando normas internacionales y nacionales, realizan un trabajo de campo en condiciones reales y la materia “electiva I” donde deben vincular las habilidades adquiridas en las disciplinas de acústica arquitectónica, electroacústica, confección de presupuestos y evaluación de inversión, a través del desarrollo de un proyecto integrador que el docente a cargo considere técnica y económicamente aceptable, sobre una obra existente o a realizar.

En este informe, se presentan trabajos de diferentes grupos de alumnos vinculados con ambas problemáticas.

## 1. Introducción

Este informe tiene por objeto presentar algunos de los trabajos de docencia realizados en la modalidad “trabajo integrador”, con la que los alumnos del programa de ingeniería de sonido de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá Colombia, deben aprobar las materias “Ruido Comunitario” perteneciente a octavo semestre y “Electiva I” perteneciente al sexto.

En ambas materias el docente plantea a los alumnos, distribuidos en grupos de cuatro, las pautas para lograr los objetivos necesarios sobre un trabajo de campo en condiciones reales, empleando todas las herramientas aprendidas y aprehendidas hasta el nivel donde se encuentran.

A tal fin, deberán demostrar su habilidad en el manejo de disciplinas tan diversas como física, matemática, electricidad, acústica, electroacústica, técnicas de medición y control de ruido, acústica arquitectónica, diseño de sistemas de sonido, programas de medición, simulación y control, dibujo y normas Nacionales e Internacionales de aplicación.

## 2. Pautas generales

### 2.1 Materia: Ruido Comunitario

El producto final del trabajo, será la presentación de un mapa de ruido de un área a elección del docente, una encuesta subjetiva de molestia y un listado de recomendaciones que, a su juicio, mitiguen los valores medidos en el caso de que los mismos excedan los recomendados.

Los alumnos deberán:

a) Investigar si existen leyes y normas locales vigentes de aplicación obligatoria o si se deberá utilizar algunas de las normas internacionales existentes; tener presente las condiciones de medición planteadas en las consideraciones generales de recomendaciones (distancia a la fuente, tipo de suelo, contenido en frecuencia, etc.); seguir el procedimiento general de trazado de mapas, según lo indicado en clase o según la norma a aplicar; identificar las fuentes e indicar el tipo de mapa a trazar según su destino o uso; definir la cantidad y posición de los puntos de toma de muestras y el tamaño de la grilla; investigar si existe zonificación acústica local, y sobre la base de la información reunida, proceder de acuerdo a los esquemas suministrados según dicha reglamentación; dejar indicado las características dinámicas, ponderación utilizada, método de muestreo, tiempo de medición y estabilización de la medición y todo dato que se considere de interés.

b) Medir y calcular:  $LeqA$ ,  $L_{max}$ ,  $L_{min}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{den}$ , el desvío estándar y todo parámetro solicitado por la norma o reglamento a utilizar.

c) Verificar, en el caso de corresponder, si la distribución es Gaussiana.

d) Realizar una encuesta subjetiva, aplicando algunos de los métodos de encuestas validados por la Universidad.

e) Presentar un informe escrito en formato ISO para papers, el que deberá contener los valores, diagramas, curvas, gráficos, encuestas, análisis de los errores sistemáticos cometidos, bibliografía, y todo dato de interés que los alumnos crean conveniente a fin de identificar y analizar acabadamente el problema.

f) realizar una presentación oral en un tiempo máximo de quince minutos en día y hora a determinar, para su defensa, la que deberá ser realizada en formato ppt.

### 2.2 Materia: Electiva Técnica I

El producto final del trabajo será el desarrollo de un ante proyecto de cálculo, medición y refuerzo de sonido de un recinto existente a propuesta del docente.

Los alumnos deberán:

a) Relevar el recinto, definiendo los materiales constructivos existentes, texturas, superficies en metros cuadrados, espesores, aberturas, tipos de cerramientos y todo dato necesario a fin de poder efectuar los cálculos y verificaciones que se solicitan; trazar los planos de planta y corte mínimos necesarios para calcular el recinto con auxilio de autocad; establecer los puntos de medición necesarios según normas a fin de efectuar el mapeo acústico del mismo; con el detalle de los materiales que componen el recinto, efectuar los cálculos del aislamiento existente.

b) Planificar una medición que describa, significativamente, el ruido interior y exterior, verificando la existencia de ruido de baja frecuencia o vibraciones.

c) Verificar, mediante mediciones in situ y utilizando la norma respectiva, el cálculo teórico de aislamiento realizado, efectuando, de ser necesario, las propuestas para su corrección.

d) Identificar la curva de criterio de ruido a utilizar según el destino del recinto; calcular su comportamiento modal; calcular los tiempos de reverberación actuales; proponer el criterio de tiempo de reverberación mas adecuado, calcular la absorción según los materiales existentes, modificar los mismos, de ser necesario, efectuando los correspondientes cálculos.

e) Aplicar algunos de los programas existentes a fin de modelar el recinto.

f) Medir, bajo norma, todos los parámetros del recinto actual confeccionando una tabla comparativa con los valores calculados.

g) Proponer los tratamientos acústicos adecuados y efectuar el cálculo teórico de los parámetros corregidos; verificar la teoría de Peutz.

h) Una vez resuelto el problema acústicos y mediante las ecuaciones y el programa de cálculo de refuerzo sonoro, deberá definir y calcular la relación señal – ruido máxima posible compatible con las condiciones del recinto; la inteligibilidad máxima posible, teórica; el nivel SPL aconsejable; la potencia eléctrica necesaria considerando una reserva de 12 dB para material de programa; la inteligibilidad; las condiciones de acoplamiento acústico, distancia acústica equivalente, distancia micrófonos altavoz y distancia altavoz – última fila de oyentes; tipo, cantidad y calidad de gabinetes a utilizar.

i) Presentar un informe escrito en formato ISO para papers, el que deberá contener croquis, planos, datos, planillas de cálculo, valores medidos, conclusiones, sugerencias, bibliografía, programas utilizados, errores sistemáticos cometidos y todo aquello que contribuya a lograr que, simbólicamente, el DOCENTE emita A FAVOR DEL GRUPO, UN CONTRATO PARA EL PROYECTO Y DIRECCION DE OBRA DE MEJORA ACUSTICA Y SONORIZACION DEL RECINTO BAJO ESTUDIO.

j) Realizar una presentación oral en un tiempo máximo de quince minutos en día y hora a determinar, para su discusión y defensa, la que deberá ser realizada en formato ppt.

### **3. Trabajos realizados**

Bajo este esquema de integración del método de enseñanza aprendizaje, se muestra, en forma resumida, algunos trabajos realizados por distintos grupos de alumnos.

#### **3.1 Ruido comunitario**

**3.1.1 Medición de ruido generado por una aeronave de motores a reacción en el momento de despegue: Calculo del nivel efectivo de ruido percibido (EPNL).**

En el informe presentado puede leerse:

“La medición objetiva de niveles de ruido suministra generalmente valores que no se correlacionan con los reales de molestia subjetiva, por lo que resulta conveniente efectuar correcciones a la misma para que esta describa aproximadamente la sensación de un observador en tierra”.

“En ruido aeronáutico existen correcciones mas complejas que en ruido de transito o industrial debido a los altos niveles y a su composición espectral”.

“La *Federal Aviation Administration (FAA)* determina tres tipos de correcciones, las que tienen en cuenta el valor subjetivo de ruidosidad, las irregularidades espectrales y la duración del evento”.

La medición y el cálculo realizado en este trabajo esta basado en la *Federal Aviation Regulation Sec.A36.4, Part 36 NOISE STANDARDS: AIRCRAFT TYPE AND AIRWORTHINESS CERTIFICATION, Appendix A, Aircraft Noise Measurement and Evaluation Under Sec.36.101*

El lugar corresponde a la cabecera oriental de la pista norte del Aeropuerto Internacional “El Dorado”, Bogota D.C., Colombia, siendo la distancia entre el punto de medición y el punto de despegue del avión de 310 m. aproximadamente, tal como se aprecia en la figura 1.



Figura 1

Para efectuar este análisis se utilizó un SLM Svantek modelo 943A, tipo 2.

Los aviones estudiados fueron un Boeing 747-400, con un peso máximo al despegue de 396.890 Kg. y un McDonnell Douglas MD-82, con un peso máximo al despegue de 67.800 Kg.

Los objetivos de este estudio fueron:

- 1) Analizar los valores de ruido obtenidos para ambos aviones.
- 2) Aplicar el método de la FAA a la máquina más ruidosa.
- 3) Comparar el valor de EPLN obtenido, con los niveles de LeqA y SEL

Las tablas 2 y 3 muestran los valores de LeqA y SEL obtenidos en la medición de niveles globales para ambas máquinas. Se observa que la diferencia de niveles alcanza los 10 dB en todos los casos.

#### McDonnell Douglas MD-82

Date	Filter	Time	units	Peak	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
06/09/2005	A	00:01'34	dB	113.0	48.7	100.4	<b>53.4</b>	<b>84.6</b>	<b>104.3</b>
06/09/2005	C	00:01'34	dB	116.5	63.3	105.5	<b>70.8</b>	<b>90.9</b>	<b>110.6</b>
06/09/2005	Lin	00:01'34	dB	116.8	66.4	105.8	<b>73.0</b>	<b>91.3</b>	<b>111.0</b>

Tabla 2

**Boeing 747-400**

Date	Filter	Time	units	Peak	Min	Max	Spl	Leq	SEL[dB]
06/09/2005	A	00:01'54	dB	124,1	58,2	111,1	87,5	<b>92</b>	<b>112,6</b>
06/09/2005	C	00:01'54	dB	128,6	76,4	118,4	101,3	<b>100,1</b>	<b>120,7</b>
06/09/2005	Lin	00:01'54	dB	129,2	79,1	118,6	103,8	<b>101</b>	<b>121,6</b>

Tabla 3

Visto los valores obtenidos, se decidió analizar el comportamiento del Boeing 747-400. Los gráficos 4 y 5 muestran los niveles alcanzados durante los tiempos de pasaje y la composición en tercios de octavas para el nivel máximo.

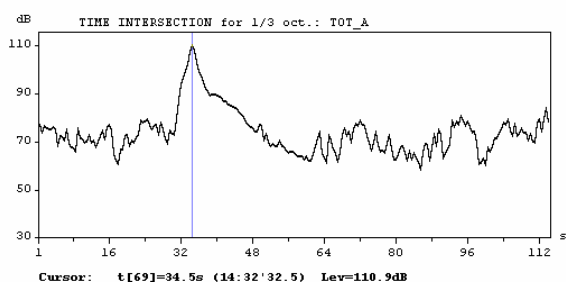


Gráfico 4

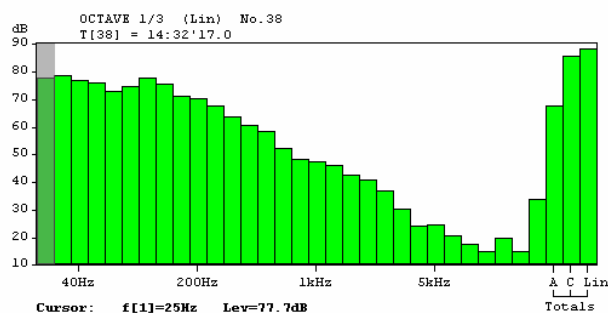


Gráfico 5

Utilizando el método propuesto por la FAA, se calculó el nivel de ruido efectivo percibido  $L_{pne}$ , el corregido por componentes tonales  $L_{pnt}$  y el ruido efectivo percibido EPNL mediante la suma algebraica del nivel máximo de ruido con corrección tonal y el factor de corrección por duración.

En el gráfico 6 se visualiza las curvas trazadas para los valores de  $L_{pne}$  y  $L_{pnt}$  calculados y el SPL medido, observándose apreciables diferencias entre la molestia percibida por el observador y las mediciones efectuadas.

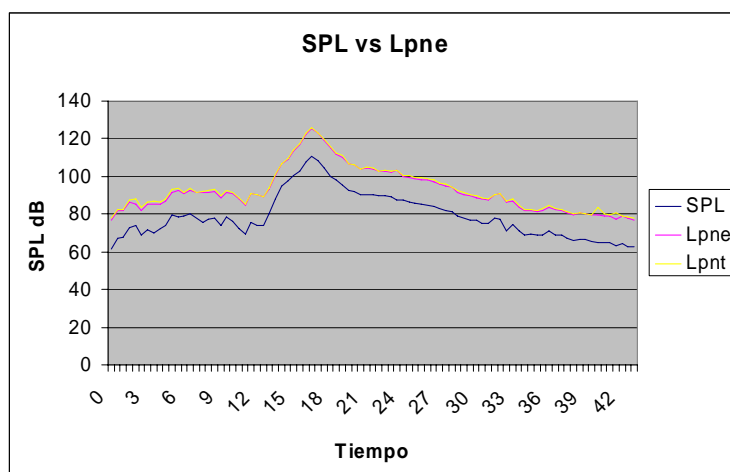


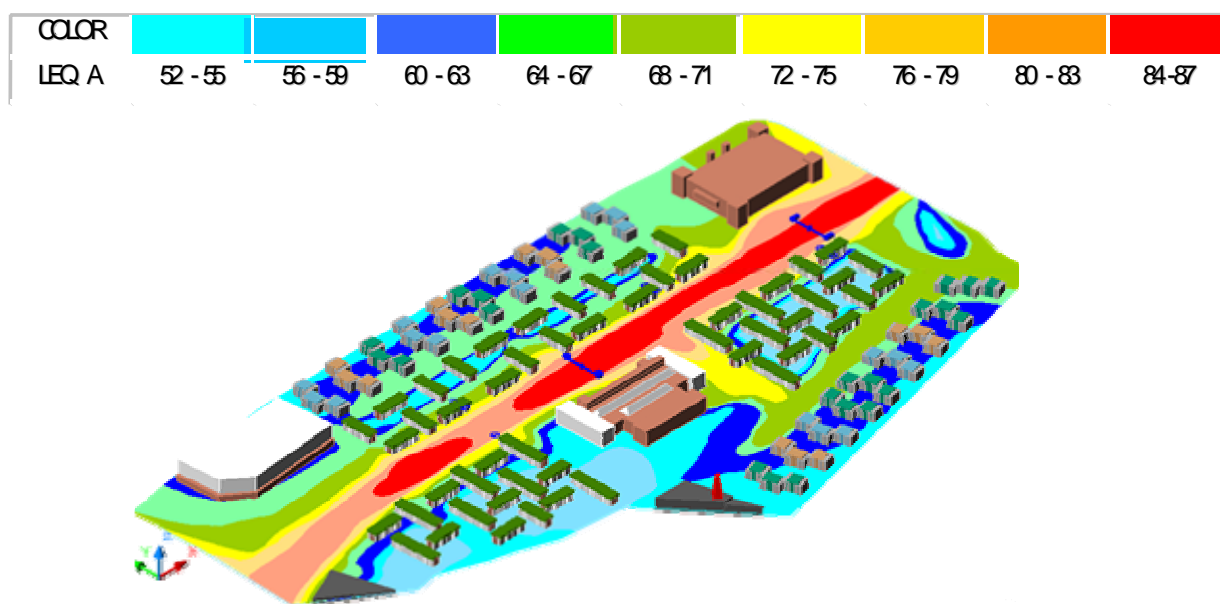
Gráfico 6

Finalmente para la aeronave analizada se obtuvo un valor de EPNL = 129,7 dB, casi 9 dB superior al valor SEL para condición de medición lineal (121,6).

**3.1.2 Medición y evaluación de ruido en la zona residencial aledaña a la carrera 68 entre las calles 68 y 80 de la ciudad de Bogotá.**

En este caso, las consignas fueron: 1) Evaluar los niveles de ruido producidos por el tráfico vehicular en la zona residencial de Metrópolis; 2) Realizar encuestas de molestia subjetiva entre los vecinos y 3) Comparar los valores obtenidos con los establecidos por la Resolución 8321 del Ministerio de Salud del año 1983.

A tal fin se efectuó un relevamiento visual y fotográfico de la zona, se procedió a una exhaustiva medición de la misma según los criterios establecidos en clase dibujándose los planos en 3D con el fin de trazar el mapa de ruido que se muestra en el plano 7.



Plano 7

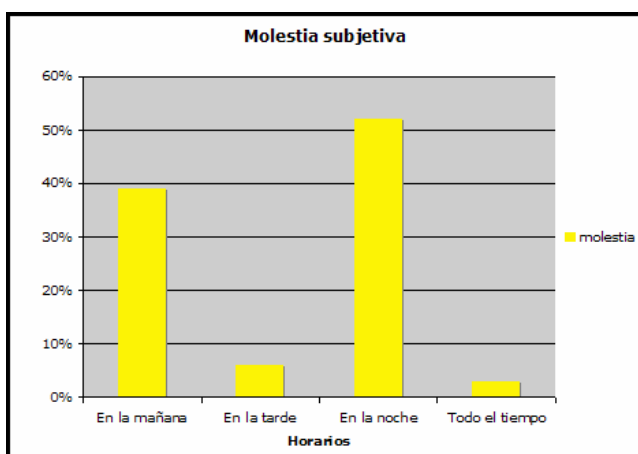


Gráfico 8

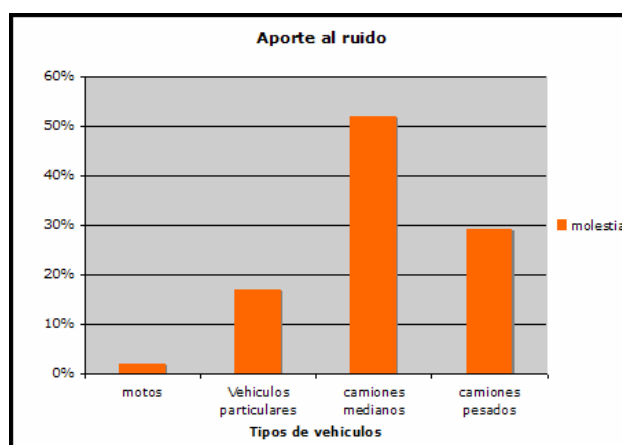


Gráfico 9

Los gráficos 8 y 9 muestran los resultados obtenidos en las encuestas. Se observa un importante incremento de la molestia en el horario nocturno debido a la presencia de camiones medianos.

Todo esto permitió establecer que en la noche el promedio de contaminación auditiva es más alto, excediendo entre 3 a 5 decibeles aproximadamente al determinado en horas de la

mañana y que en la mayoría de los casos se identifica un nivel de ruido inconveniente para la zonificación acústica y uso del suelo establecida por la mencionada resolución.

### 3.2 Electiva técnica I

#### 3.2.1 Acondicionamiento acústico y electroacústico de una Iglesia Cristiana

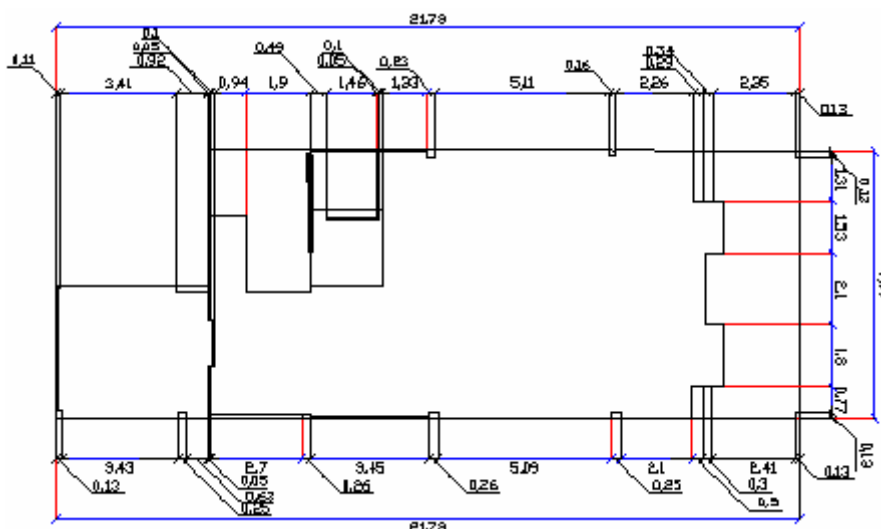
En el trabajo presentado por los alumnos se lee: “La iglesia cristiana Palabras de Vida, ubicada en la calle 187 # 36 – 47 en el barrio Verbenal, tal como se aprecia en la fotografía 10, es un centro religioso en el que un coro, una banda musical y la palabra forman parte de los distintos eventos a los que asisten aproximadamente 80 personas, dependiendo el horario de cada encuentro. Este centro, tiene problemas acústicos tanto de aislamiento como de acondicionamiento, y dispositivos electroacústicos que sobrepasan los niveles permitidos”.

“En el siguiente informe técnico se expondrán todos los problemas y las respectivas soluciones de los mismos, basados en mediciones acústicas objetivas y subjetivas del recinto mencionado”.

A tal fin, se realizaron los siguientes trabajos: 1) relevamiento de las dimensiones del local, según el esquema 11; 2) Identificación de materiales; 3) Determinación de los puntos de medición; 4) Medición del ruido a fin de establecer el criterio NC mas adecuado según el gráfico 12; 5) Cálculo de la absorción; 6) Cálculo y medición del RT20, según se observa en el gráfico 13; 7) Medición de EDT, D50, C80, Dc, inteligibilidad y aislamiento acústico; 8) Cálculo del sistema de refuerzo sonoro necesario.



Fotografía 10



Esquema 11



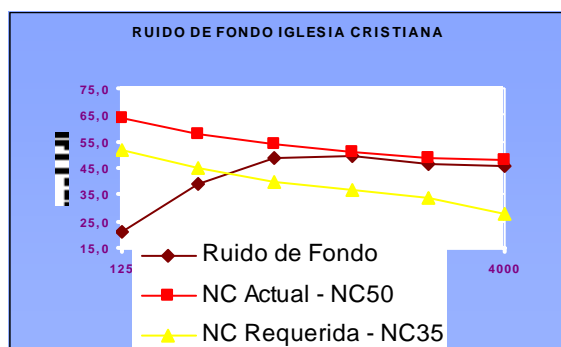


Gráfico 12

Dentro de las conclusiones y recomendaciones puede leerse:

La inteligibilidad de la palabra mejora al aislar el recinto con el exterior, especialmente el debido cierre de las puertas, esto a razón que se mejorará la relación señal ruido.

Al modificar el material del techo y modificar el tiempo de reverberación, se mejorará el aislamiento, la inteligibilidad, la claridad y la definición de la sala.

Las grandes diferencias que existen en algunos casos comparativos de aislamiento teórico y práctico son debido a que no se está teniendo en cuenta factores de corrección por flaqueo, difracción, incidencia, etc.

Al desacoplar los parlantes de las vigas y utilizar las trampas en las tomas de aire, el aislamiento del ruido generado dentro de la iglesia obtendrá una mejoría en el aislamiento.

El sistema electroacústico de la sala no se opera de forma correcta por lo que no existe alineamiento entre altoparlantes, se sobrepasan los niveles llegando al punto de saturación desde la entrada de la señal, las conexiones del sistema no están realizadas de forma correcta y el sistema no está ecualizado y calibrado de forma correcta.

#### 4. Conclusiones

Lo presentado es una pequeña muestra de los trabajos realizados por los alumnos.

El programa considera que es imprescindible que los alumnos completen su grado de ingeniero de sonido poseyendo las habilidades necesarias para desempeñarse en forma idónea en cualquiera de las disciplinas que incumben a su título por lo que estima que el método expuesto cumple con ese objetivo.

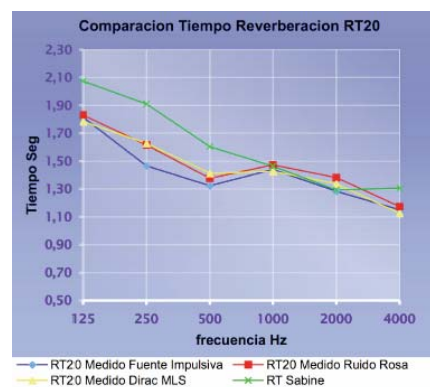


Gráfico 13