

# PRIMERAS JORNADAS REGIONALES DE ACÚSTICA AdAA 2009

19 y 20 de noviembre de 2009, Rosario, Argentina



AdAA2009-A010R

## Software para el cálculo de aislamiento acústico de sistemas constructivos

Carlos Nel Santacruz Insausti <sup>(a)</sup>

(a) Ingeniería de Sonido, Facultad de Ingeniería Universidad de San Buenaventura Bogotá D.C. transversal 8H #172-20, E-mail: csantacruz@academia.usbbog.edu.co

### Abstract

The software for the calculation of sound insulation of airborne noise, is a prediction tool based on calculation methods for systems construction such as walls of single, double and compound, in set its calculation takes some physical and mechanical properties of materials and gives results of system transmission loss constructive in terms of providing noise insulation. It is a very useful tool for professionals dedicated to acoustics, because mount a camera have brings high-cost. Thus simplified calculation method for sound insulation implemented through a software algorithm to be a tool to study this behavior and thus be able to carry out reforms obtain the desired system partition, saving time and money. First the software would emphasize basing on industry Colombiana basing its calculation method entirely local materials, differentiated of software that accentuate its calculation in estates physique mechanics of European and North American materials

### Resumen

El software para el cálculo del aislamiento acústico de ruido aéreo, es una herramienta de predicción basada en métodos de cálculo para sistemas constructivos, tales como paredes simples, dobles y compuestas, en conjunto su cálculo toma algunas propiedades físico-mecánicas de materiales y arroja resultados de la pérdida por transmisión del sistema constructivo en cuanto al aislamiento acústico que provee. Es una herramienta bastante útil para profesionales dedicados a la acústica, ya que el montar una cámara de trasmisión trae costos altos. De esta forma un método de cálculo simplificado para el aislamiento acústico implementado por medio de un algoritmo a un software será una herramienta para estudiar este comportamiento y así poder realizar reformas hasta obtener el sistema deseado de la partición, ahorrando tiempo y dinero. Primero el software se enfatizará a la industria Colombiana basando en materiales enteramente locales, diferenciados de software que acentúan su cálculo en propiedades físico mecánicas de materiales europeos y norteamericanos.

## 1. Introducción

Siempre ha sido una ventaja tener herramientas de ingeniería, sobre todo software que ayudan a predecir diferentes fenómenos físicos. Las primeras herramientas de este tipo se enfocaron a sistemas de control bélico, pero con el tiempo las diferentes áreas de la ciencia encontraron en los programas de computador una herramienta importante, útil y fundamental. Algunas aéreas como la electrónica y la mecánica tuvieron un gran avance con estos programas ya que les proporcionaba un control más exacto en los dispositivos y además con bajos porcentajes de error en su operación, sin contar que las empresas donde implementaban estos sistemas alcanzaban mayor eficiencia en su industria.

En acústica estas herramientas no se quedan atrás, tales como la de simular acústicamente un recinto, la de controlar sistemas de refuerzo sonoro y de software para el cálculo de aislamiento acústico, solo por nombrar, han sido herramientas muy útiles para profesionales dedicados a la acústica.

En este orden, para un análisis del aislamiento acústico de un sistema constructivo es necesario desarrollarlo en una cámara de transmisión, pero los costos y tiempos son elevados, esto conlleva a desarrollar software que predican el comportamiento acústico, y así brindarse como una herramienta bastante útil y fundamental.

Esta aplicación ha basado en el comportamiento físico mecánico del material, requiriendo sus dimensiones, propiedades de densidad, modulo de Young, factor de amortiguamiento y modulo de poisson. Su objetivo es calcular el aislamiento acústico de ruido aéreo de sistemas constructivos como paredes simples, paredes dobles y paredes con doble capa.

## 2. Fundamento teórico

### 2.1 Pérdida por transmisión para paredes simples

El objetivo fundamental del aislamiento acústico es impedir que los ruidos generados en un recinto se transmitan a los adyacentes, para esto se utiliza una barrera acústica, la cual reduce la transmisión de sonido. En este propósito el software debe ser capaz de predecir la pérdida de transmisión de esa barrera, sobre un amplio ancho de banda en frecuencia.

Para la variación general de pérdida por transmisión en función de la frecuencia para una pared homogénea existen tres regiones generales del comportamiento acústico.

- (a) Región I: región controlada por rigidez
- (b) Región II: región controlada por masa.
- (c) Región III: región por amortiguamiento u onda de coincidencia.

#### 2.1.1 Región controlada por rigidez

A frecuencias bajas, la pared o el tablero vibra en conjunto, y la transmisión legítima a través del tablero es principalmente determinada por la rigidez del tablero.

El cálculo para esta región está determinado por varios factores: complacía mecánica específica  $C_s$ , incidencia oblicua  $K_s$  y coeficiente de transmisión  $at$ .

$$C_s = \frac{768(1-\sigma^2)}{\pi^8 E h^3 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}\right)^2} \quad (1)$$

donde:

- $C_s$ : complacía mecánica específica; en nm/Pa
- $E$ : modulo de Young's; en GPa

$h$ : espesor; en m  
 $a$ : ancho de la pared; en m  
 $b$ : alto de la pared; en m  
 $\sigma$ : módulo Poisson's ratio

$$K_s = 4\pi f \rho c C_s \quad (2)$$

donde:

$K_s$ : incidencia oblicua  
 $f$ : frecuencia objeto de cálculo; en Hz  
 $\rho$ : densidad; en (kg/m<sup>3</sup>)  
 $c$ : velocidad del sonido; en m/s  
 $C_s$ : complacía mecánica específica; en nm/Pa

$$at = K_s^2 \ln(1 + K_s^{-2}) \quad (3)$$

donde:

$at$ : coeficiente de transmisión

$$TL = 10 \log_{10} \frac{1}{at} \quad (4)$$

donde:

$TL$ : pérdida por transmisión; en dB

### 2.1.2 Frecuencia de resonancia

La frecuencia incidente aumentará y de esta forma la pared resonará, debido a esto se les llama frecuencias resonantes, las cuales están en función de las dimensiones de la pared, que para unas dimensiones  $a \times b \times c$  de forma rectangular la frecuencia de resonancia está dada por (6).

$$c_L = \left( \frac{E}{\rho_w (1 - \sigma^2)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

donde:

$c_L$ : velocidad de onda longitudinal; en m/s  
 $\rho_w$ : densidad del material de la pared; en kg/m<sup>3</sup>  
 $\sigma$ : modulo Poisson's ratio

$$f_{11} = (\pi/4\sqrt{3}) c_L h [(1/a)^2 + (1/b)^2] \quad (6)$$

### 2.1.3 Región controlada por masa

Para frecuencias superiores a la frecuencia resonante, la pérdida por transmisión está determinada por la masa de la pared e independiente de la rigidez de la misma

$$M_s = \rho_w h \quad (7)$$

donde:

$M_s$ : masa superficial; en (kg/m<sup>2</sup>)  
 $\rho_w$ : densidad del material de la pared; en kg/m<sup>3</sup>  
 $h$ : espesor; en m

$$\frac{1}{atn} = 1 + \left( \frac{\pi f M_s}{\rho c} \right)^2 \quad (8)$$

donde:

$atn$ : coeficiente de transmisión  
 $f$ : frecuencia objeto de cálculo; en Hz  
 $M_s$ : masa superficial; en (kg/m<sup>2</sup>)  
 $\rho$ : densidad; en (kg/m<sup>3</sup>)  
 $c$ : velocidad del sonido; en m/s

$$TL = 10 \log_{10} \frac{1}{atn} \quad (9)$$

$TL$ : pérdida por transmisión; en dB

#### 2.1.4 Frecuencia crítica

Este fenómeno ocurre cuando el valor de la velocidad de las ondas de flexión que se propagan a través del cerramiento iguala al valor de la velocidad de propagación del sonido en el aire, provocando la irradiación de estas ondas, y en consecuencia una reducción del aislamiento.

La frecuencia crítica u onda de coincidencia está dada por (10)

$$f_c = \frac{c^2 \sqrt{3}}{\pi c_L h} \quad (10)$$

donde:

$f_c$ : frecuencia crítica; en Hz  
 $c$ : velocidad del sonido; en m/s  
 $c_L$ : velocidad de onda longitudinal; en m/s  
 $h$ : espesor; en m

#### 2.1.4 Región controlada por amortiguamiento

Para frecuencias superiores a la frecuencia crítica la transmisión es dependiente de la incidencia de las ondas y de la rigidez interna de la pared.

$$TL = Tln(fc) + 10 \log_{10} \eta + 33.22 \log_{10} \frac{f}{f_c} - 5.7 \quad (11)$$

donde:

$TL$ : pérdida por transmisión; en dB  
 $\eta$ : factor de amortiguamiento

Esta región es descrita en la ecuación (12)

$$(12)$$

$$TL_n = 10 \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{\pi M_s f c}{pc} \right)^2 \right],$$

donde:

$TL_n$ : pérdida por transmisión por incidencia normal a la frecuencia crítica; en dB.

## 2.2 Pérdida por transmisión para paredes dobles

Este sistema consiste en dos paredes separadas por un espacio de aire, para esto la transmisión es influenciada por la masa del aire, en adición a la pérdida por transmisión de cada panel. La pérdida por transmisión de paredes compuestas es dividida en tres regímenes A, B y C (Beranek, 1971).

El régimen A, régimen de baja frecuencia, ocurre para los paneles o paredes estrechamente espaciados, ocasionando que actúen como una unidad y el aislamiento sea poco apreciable. Este comportamiento ocurre para el siguiente rango de frecuencia ( $f$ )

$$\frac{pc}{\pi(Ms1+Ms2)} < f < fo, \quad (13)$$

donde:

$Ms1$ : masa específica panel 1; en ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

$Ms2$ : masa específica panel 2; en ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

$fo$  es la frecuencia de resonancia de los dos paneles acoplados entre el espacio de aire

$$fo = \frac{c}{2\pi} \left[ \frac{p}{d} \left( \frac{1}{Ms1} + \frac{1}{Ms2} \right) \right]^{1/2} \quad (14)$$

donde:

$fo$ : frecuencia de resonancia; en Hz

$d$ : distancia entre paneles; en m

La pérdida por transmisión del régimen A es seguida de la siguiente ecuación

$$TL = 20 \log_{10}(Ms1 + Ms2) + 20 \log_{10} f - 47.3$$

Cuando los paneles son alejados apreciablemente, las ondas se empiezan a ubicar entre el espacio de aire, observándose esto en el régimen B, el cual ocurre para el siguiente rango de frecuencias ( $f_0$ ).

$$fo < f < \left( \frac{c}{2\pi d} \right) \quad (15)$$

La pérdida por transmisión del régimen B es seguida de la siguiente ecuación

$$TL = TL_1 + TL_2 + 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi f d}{c} \right) \quad (16)$$

Las cantidades  $TL_1$  y  $TL_2$  son la pérdida por transmisión de cada panel

Cuando los paneles están lo suficientemente distanciados, actúan de forma independiente y el aire entre ellos actúa como un pequeño cuarto, esto se observa en el régimen *C*, que ocurre para el siguiente rango de frecuencias (*f*)

$$f > \left( \frac{c}{2\pi d} \right) \quad (17)$$

donde:

*d*: distancia entre paneles; en m

La pérdida por transmisión del régimen *C*, es seguido por la siguiente ecuación

$$TL = TL_1 + TL_2 + 10 \log_{10} \left[ \frac{4}{1 + \left( \frac{2}{\alpha} \right)} \right] \quad (18)$$

donde:

*TL*: pérdida por transmisión; en dB

$\alpha$ : coeficiente de absorción para los paneles del lado interior de la división

Las cantidades *TL*<sub>1</sub> y *TL*<sub>2</sub> son la pérdida por transmisión de cada panel

### 3 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica que presenta el software contempla un marco de gran utilidad y fácil manejo para el usuario, un menú de opción para el cálculo de muro simple, muro doble y muro compuesto, brindando las opciones necesarias para conseguir un diseño preciso y óptimo, dentro de este hay un menú desplegable donde se encuentran las opciones de elección del material a estudiar, sus respectivas dimensiones para así generar el cálculo de pérdida por transmisión, estas funciones aplican para los cálculos de muro simple, doble y compuesto, las cuales el usuario puede fácilmente identificar. En el caso de muro doble se despliega el menú para escoger un segundo material, dimensiones de este y las especificaciones de cámara de aire implementada para esta configuración. En el caso del muro compuesto se indican las dimensiones de los dos materiales y como no se implementa una cámara de aire en este sistema, los datos ingresados se reducen y así mismo la interfaz de ingreso de datos es más sencilla. Dentro de las pestañas de especificación del material se muestra calculada la frecuencia de resonancia y frecuencia crítica propia del sistema constructivo.

Dentro de la interfaz se incluyen dos pestañas para especificación de comparación del sistema constructivo, esta opción compara los materiales especificados anteriormente, analizando gráficamente el comportamiento de pérdida por transmisión en el rango de frecuencias 16 Hz a 8 KHz en resolución de tercio de octava.

#### 3.1 Pantallazos interfaz gráfica

Se procede a explicar en pantallazos las etapas del software que actualmente está y se ha desarrollado.

La figura 1 muestra la pantalla inicial de la interfaz gráfica realizada. Donde se puede observar las características y elección del sistema constructivo a calcular.

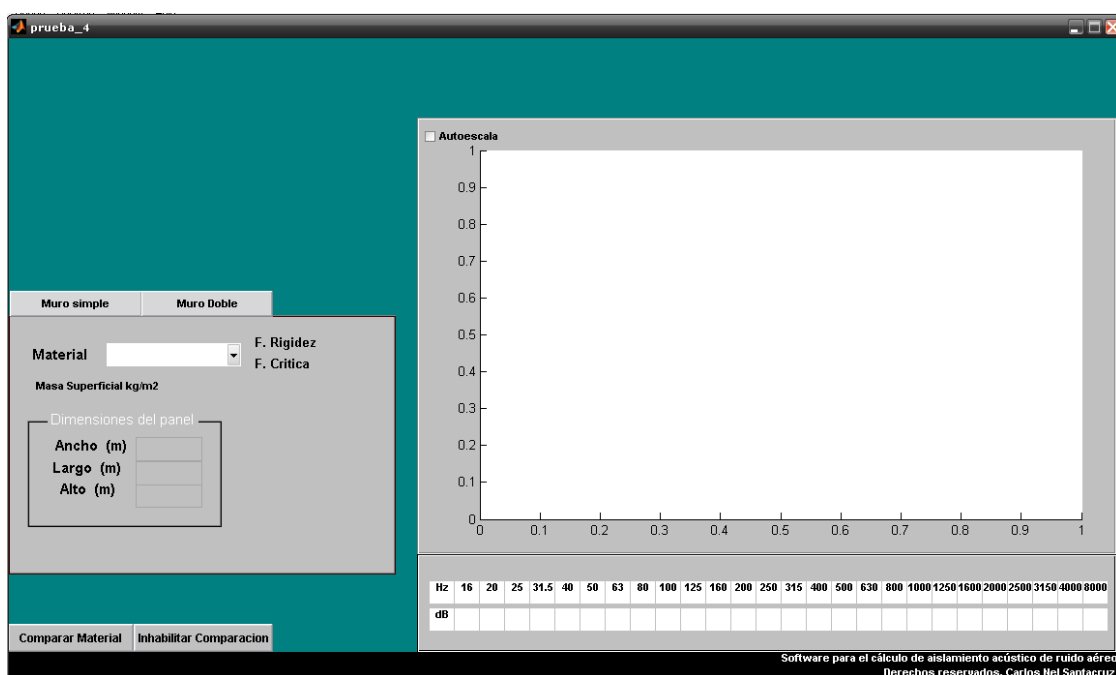


Figura 1. Pantalla principal interfaz gráfica.

La interfaz actual tiene un menú en botones donde se toma la opción de elegir entre calculo para muro simple y doble, además en cada uno se selecciona el material a calcular y posteriormente se ingresa las dimensiones del materias.

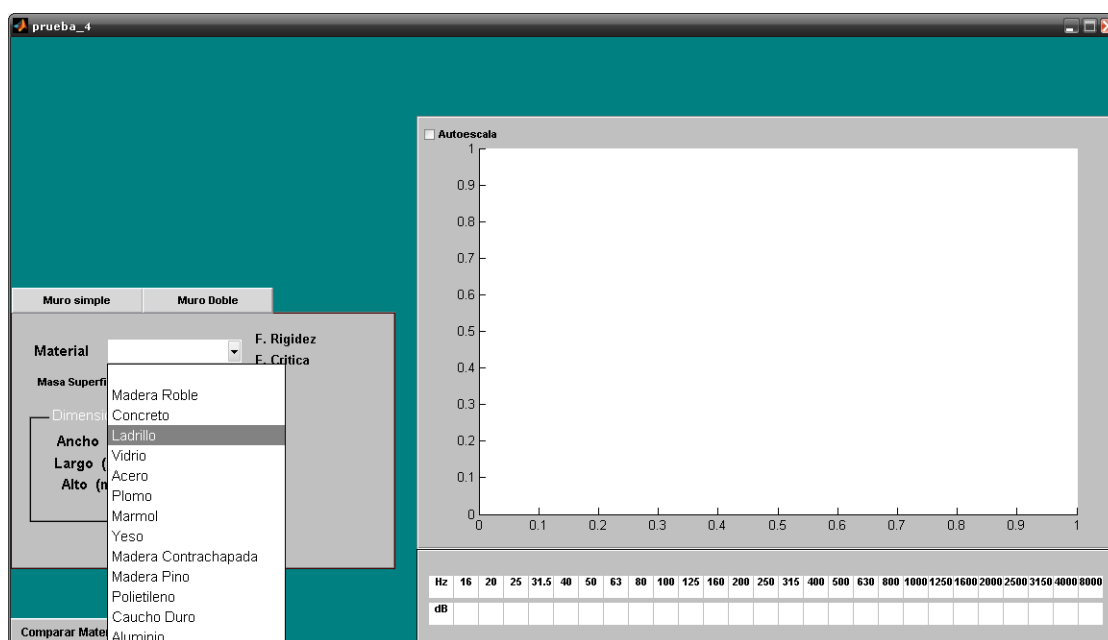


Figura 2. Opciones de elección del material.

Al seleccionar el material, e ingresar dimensiones, el software calcula y presenta los resultados en forma gráfica y numérica en función de la frecuencia

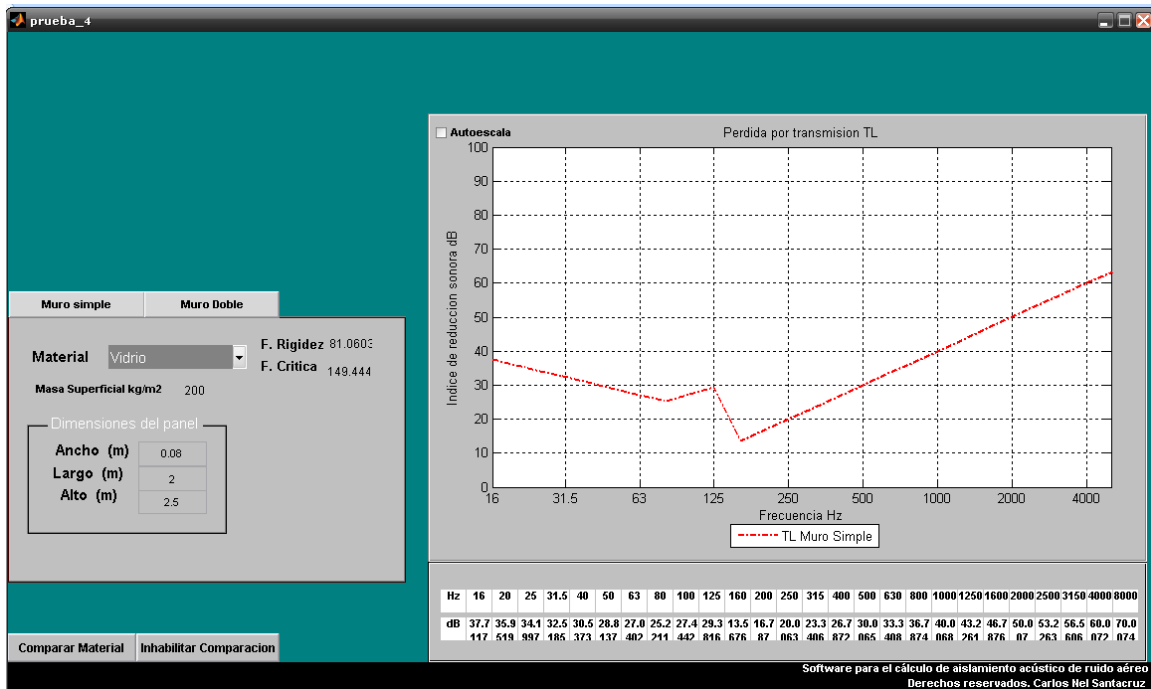


Figura 3. Resultados de ejemplo de un cálculo de muro simple.

En la parte inferior se incorporo opciones de comparar material y de inhabilitar la comparación. Así se presenta una comparación entre ladrillo y concreto con las mismas dimensiones, presentando los resultados en forma gráfica.

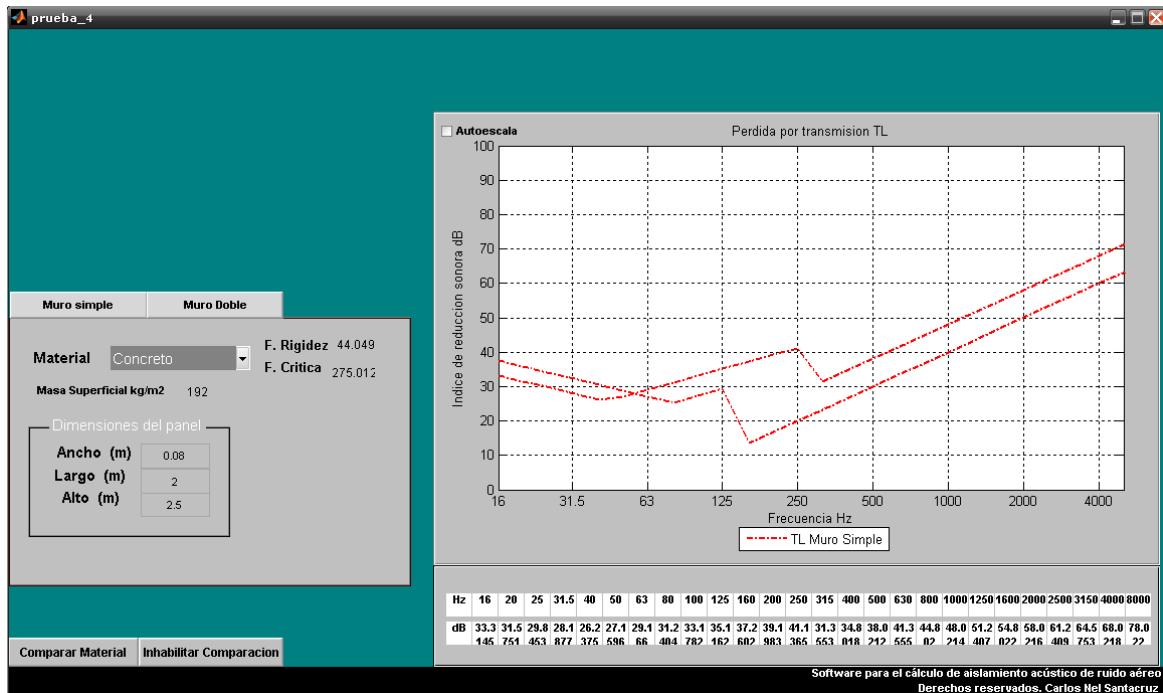


Figura 4. Resultados ejemplo de la opción comparación de materiales.



Tras presionar la opción de muro doble se presenta la siguiente figura, con las opciones de seleccionar los dos materiales e ingresar el grosor y la cámara de aire entre los muros.

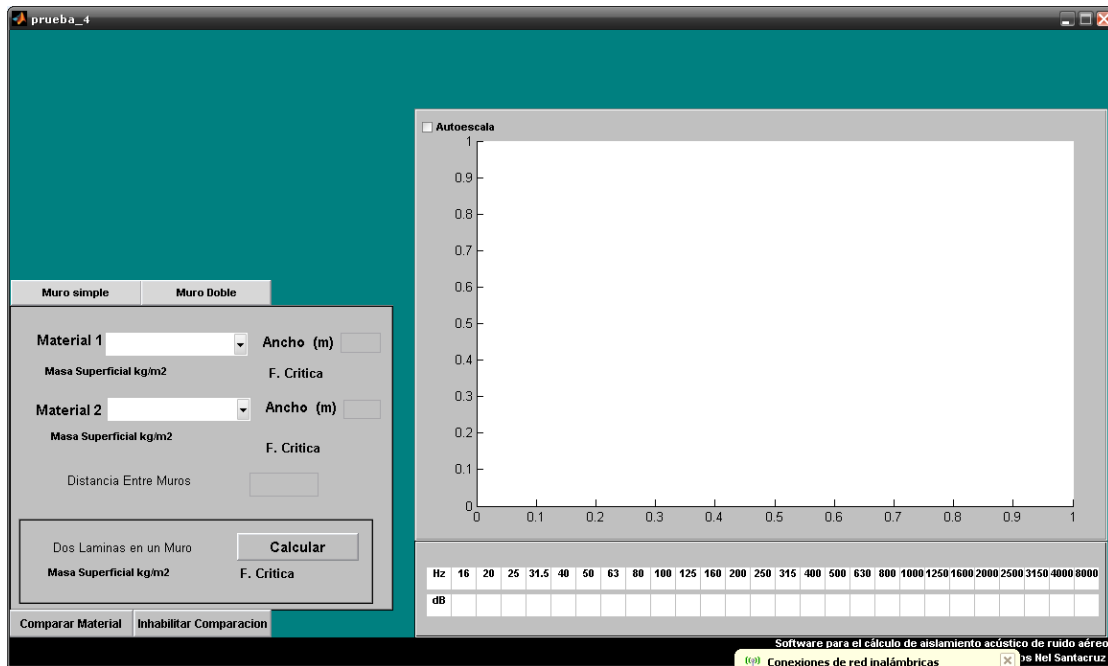


Figura 5. Resultados ejemplo de la opción comparación de materiales.

Se presenta en la figura 6 el cálculo de dos materiales ubicados con un sistema de paredes dobles, y sus dimensiones con la distancia entre ellos, también se puede disponer de la opción de comparar el material.

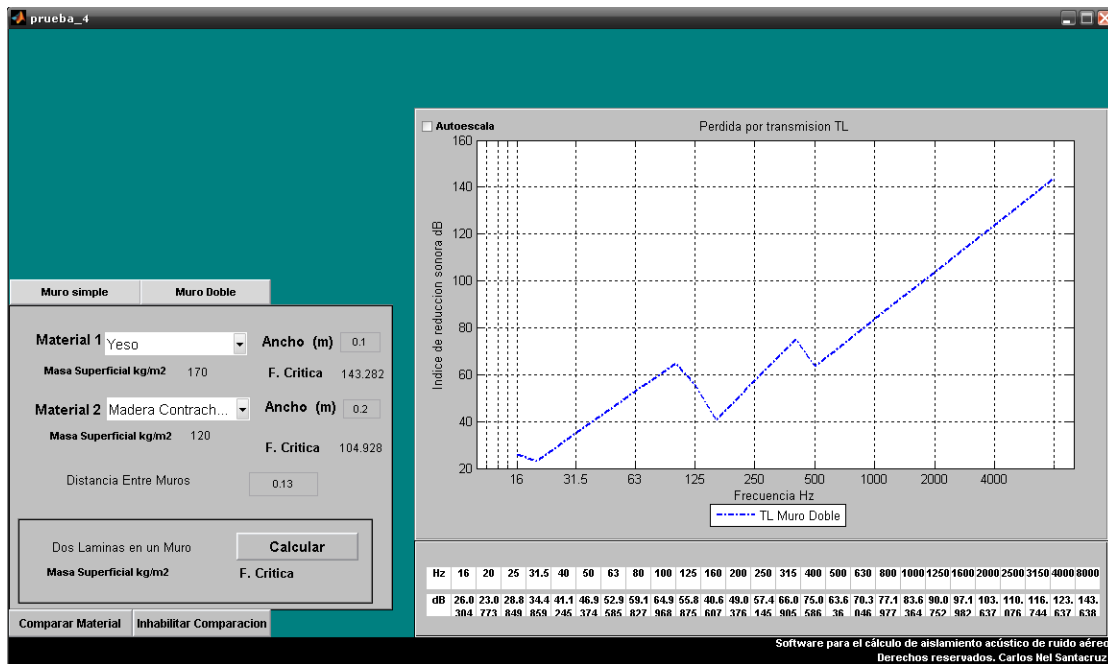


Figura 6. Resultados ejemplo calculo muro doble.

La figura 7 presenta la interfaz calculando un sistema compuesto, el ejemplo toma los mismos materiales de muro doble, cambia el sistema de cálculo a compuesto, el cual no tiene un espacio de aire entre ellos. Brindando resultados de frecuencia crítica y masa superficial

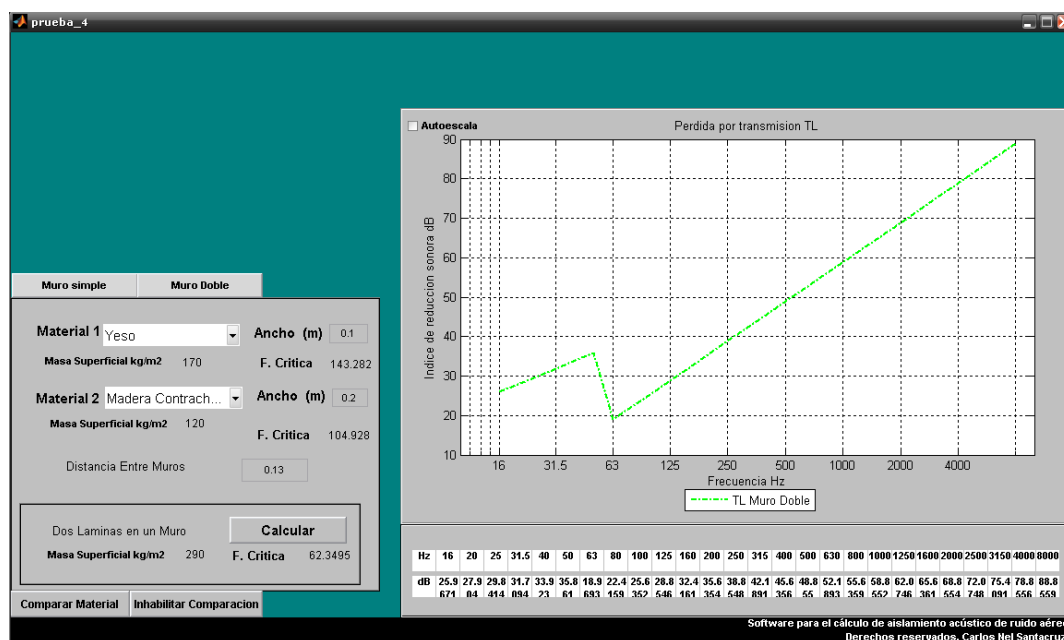


Figura 7. Resultados ejemplo calculo muro compuesto.

La interfaz se presenta ágil y muy fácil de utilizar, a fin de que realice su trabajo sin dificultades para el usuario.

#### 4 Conclusiones

Se comprueba que la herramienta realizada, acompaña al usuario siendo este un profesional dedicado a la acústica en obtener cálculos rápidos y de forma sencilla.

Si bien el modelo simplificado no es capaz de describir con la precisión adecuada el comportamiento de las soluciones constructivas, este es de gran utilidad en fases exploratorias dentro de las tareas involucradas en el desarrollo de soluciones constructivas.

Se comprueba tras investigaciones y utilización del software que los resultados de propiedades de materiales norteamericanos y europeos comparados con materiales colombianos tiene una diferencia bastante considerable en cuanto al aislamiento acústico ofrecido en un sistema constructivo.

Implementar herramientas de computador como software al área de acústica, ayudan considerablemente al desarrollo de diferentes profesionales en el área.

#### Referencias

Barron, Randall F. (2001). "Industrial Noise Control and Acoustics". Vol 1. Marcel Dekker, Inc, Ruston Louisiana, U.S.A.