



## **Clase de laboratorio: ENSAYOS ACÚSTICOS DE PANTALLAS**

**Docentes:**

**Ing. Nilda Vechiatti**

**Dr. Ing. Pablo Gómez**

Grupo N°	
Integrantes	
Nombres:	E-mail:
JOSE FRANCISCO GONZALEZ	jfgonzalez@fi.uba.ar
FERNANDO TERENCEO	ftaudio@gmail.com
RODOLFO OSCAR GONZALEZ	rog@fibertel.com.ar

## ACÚSTICA (66.67 – 86.57) - CLASE DE LABORATORIO

### ENSAYOS ACÚSTICOS DE PANTALLAS

#### INTRODUCCIÓN

En la Fig. 1 pueden apreciarse las trazas de los nuevos viaductos previstos para la Ciudad de Buenos Aires.

En el proyecto del viaducto del ramal Retiro-Tigre del tren Mitre, que atravesará los barrios de Palermo, Belgrano y Núñez, se tuvo en cuenta el impacto acústico y se incluyeron soluciones para mitigar los efectos adversos de este tipo de contaminación.

Para reducir los ruidos, por un lado actuaron en “la fuente”, al construir las nuevas vías con durmientes de hormigón y riel largo soldado, evitando así ese ruido característico “trac-trac” que se genera cuando las ruedas del tren chocan contra las separaciones de los rieles en los tendidos tradicionales. Además, al estar en elevación, no hay pasos a nivel en los que se produzca el encuentro con transeúntes ni con otros vehículos, motivo por el cual el conductor no tiene la necesidad de tocar la bocina como hace en otras trazas al acercarse a una barrera. Luego, también diseñaron una solución en la propagación, ya que colocaron pantallas acústicas para que los vecinos que viven en los edificios cercanos no reciban todo el ruido.

En las Figs. 2 y 3 pueden verse imágenes de diseño de cómo quedarían las pantallas instaladas a lo largo del viaducto del Tren Mitre.

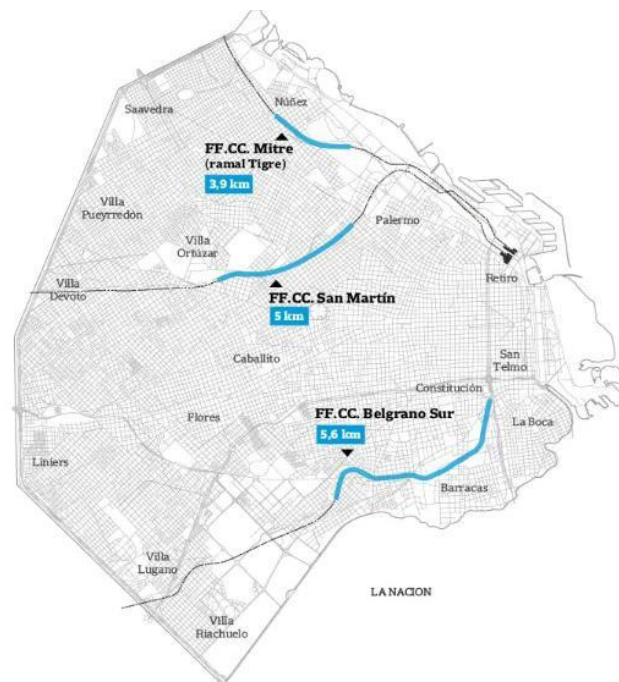


Fig. 1: Viaductos previstos para la Ciudad de Buenos Aires



Figs. 2 y 3: Vistas de las barreras acústicas a colocar en el viaducto del Tren Mitre

Entre los requerimientos del proyecto estuvieron especificadas las características acústicas que debían tener las pantallas a instalar:

Característica	Requerimiento	Normativa de aplicación
Aislamiento al ruido aéreo	Categoría B3	UNE-EN 1793-2:2014, Anexo A
Absorción sonora	Categoría A3	UNE-EN 1793-2:2014, Anexo A

Para caracterizar sus paneles, un proveedor sometió sus productos a ensayos de laboratorio, realizándose las siguientes 3 pruebas:

- Medición de aislamiento acústico al ruido aéreo
- Medición de absorción sonora en cámara reverberante

#### **Descripción de la muestra ensayada:**

Se ensayaron módulos para construcción de barreas acústicas contruidos con paneles “tipo sándwich”, conformados por una chapa de acero galvanizado (ciega), una capa de lana de roca, y una chapa de acero galvanizado perforada (densidad de perforación del 40 %).

La superficie de la muestra era de 10 m<sup>2</sup>.

---

## **1. MEDICIÓN DE AISLAMIENTO ACÚSTICO**

### **1.1. Metodología de las mediciones**

Para calcular el aislamiento acústico provisto por el cuerpo de la pantalla se debe seguir el procedimiento de la Norma IRAM 4063-3/2002: “Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en laboratorio del aislamiento acústico a ruido aéreo de los elementos de construcción”.

El ensayo se realiza en las cámaras de transmisión horizontal inferiores del laboratorio, que cumplen con los requerimientos de la norma IRAM 4063-1/2002.

El volumen de las cámaras es de 111,7m<sup>3</sup> (cámara emisora) y de 113,9 m<sup>3</sup> (cámara receptora). La muestra ensayada fue construida en el vano de 10 m<sup>2</sup> existente entre ambas cámaras.

La señal empleada para el ensayo es ruido de banda ancha. El proceso consiste en registrar, tanto en la sala emisora como en la sala receptora, el nivel sonoro continuo equivalente para las distintas frecuencias de ensayo. A los niveles sonoros medidos en el local receptor se les debe aplicar la corrección por ruido de fondo.

Como resultado de este ensayo se obtiene el índice de reducción sonora R de la muestra, expresado en decibeles. Dicho índice depende de la frecuencia, por lo que las mediciones se

realizan en bandas de tercios de octavas, para las 18 frecuencias centrales comprendidas entre 100 y 5000 Hz.

## 1.2. Índice de evaluación y clasificación de la pantalla

A partir de los valores del aislamiento del sonido vía aérea dependientes de la frecuencia (índice  $R$ ), y siguiendo los lineamientos de la norma UNE-EN 1793-2: "Características intrínsecas relativas al aislamiento al ruido aéreo en condiciones de campo sonoro difuso", se calcula el **número global**:

**Índice de evaluación del aislamiento al ruido aéreo,  $DL_R$ :** Calculado como la diferencia de niveles de presión sonora ponderados A, en decibeles, mediante la ecuación [1]. Se lo expresa en decibeles, y se redondea al entero más próximo.

$$DL_R = -10 \log \left( \frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i} \cdot 10^{-0,1 \cdot R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i}} \right) \quad [1]$$

Siendo:

$R_i$ : Índice de reducción sonora en la  $i$ -ésima banda de tercio de octava correspondiente a la muestra ensayada

$L_i$ : Nivel de presión sonora de ruido normalizado ponderado A, en dB, de la  $i$ -ésima banda de tercio de octava del ruido normalizado que corresponda utilizar (ver Anexo A)

**Clasificación del comportamiento de aislamiento:** De acuerdo con lo establecido en la citada norma, las categorías normalizadas en función de  $DL_R$  son:

**Tabla 1: Categorías de comportamiento de aislamiento al ruido aéreo**

Categoría	$DL_R$ , en dB
$B_0$	No determinado
$B_1$	$DL_R < 15$
$B_2$	15 a 24
$B_3$	25 a 34
$B_4$	$DL_R > 34$

## 1.3. Valores medidos

En las figuras 4 y 5 puede apreciarse el montaje de la pantalla para el ensayo de aislamiento en cámaras de transmisión.

Se constató que la temperatura y la humedad permanecieron constantes durante el ensayo, y los valores registrados fueron: 20°C y 52%, respectivamente.

En la Tabla 1 se presentan los valores de los parámetros medidos:

- L1: nivel sonoro continuo equivalente medido en cámara emisora, en dB
- L2: nivel sonoro continuo equivalente medido en cámara receptora, en dB
- RF: nivel sonoro continuo equivalente del ruido de fondo de la cámara receptora, en dB



**Figs. 4 Y 5: Montaje de pantalla para ensayo de aislamiento acústico**

**Tabla 2: Niveles sonoros y tiempos de reverberación medidos**

<b>Banda</b>	<b>L1 (dBA)</b>	<b>L2 (dBA)</b>	<b>RF (dBA)</b>	<b>TR (s)</b>
<b>50</b>	62,5	52,9	17,9	6,910
<b>63</b>	62,6	51,3	19,5	7,780
<b>80</b>	76,5	61,4	23,4	7,320
<b>100</b>	80,0	66,6	34,7	5,970
<b>125</b>	81,2	68,6	27,4	5,300
<b>160</b>	80,6	64,4	19,6	3,690
<b>200</b>	77,9	59,4	9,2	2,950
<b>250</b>	79,1	56,0	6,5	2,080
<b>315</b>	79,6	52,7	5,8	2,210
<b>400</b>	82,8	52,1	4,5	1,880
<b>500</b>	81,8	47,9	3,8	1,880
<b>630</b>	78,2	44,2	5,3	1,780
<b>800</b>	77,7	44,7	5,1	1,800
<b>1000</b>	79,0	46,4	5,1	1,770
<b>1250</b>	78,1	46,0	9,7	1,730
<b>1600</b>	79,9	51,0	7,5	1,830
<b>2000</b>	79,8	50,8	7,1	1,840
<b>2500</b>	79,4	47,2	6,4	1,780
<b>3150</b>	79,1	50,1	6,9	1,810
<b>4000</b>	82,3	51,6	7,8	1,640
<b>5000</b>	80,7	50,5	8,0	1,480

#### 1.4. Trabajo a realizar

Aplicando la Norma IRAM 4063-3, y a partir de los valores medidos (Tabla 2), se deberá obtener la curva del Índice de Reducción Sonora en laboratorio de módulos para construcción de barreras acústicas, en función de la frecuencia.

- Presentar en un mismo gráfico, los valores de nivel sonoro medidos en la cámara emisora y en la cámara receptora, incluyendo el ruido de fondo de la cámara receptora.
  - Indicar qué expresión y qué valores de parámetros se utilizaron para los cálculos del Índice de Reducción Sonora  $R$ , en decibeles.
  - Presentar en tabla y en gráfico, los valores del *Índice de Reducción Sonora  $R$* , obtenidos para la pantalla testeada.
  - Calcular el Índice de Evaluación del Aislamiento al Ruido Aéreo,  $DL_R$
  - ¿Qué representa este índice global? Interprete la ecuación (1).
  - Determinar la categoría en la que encuadra la pantalla ensayada de acuerdo con la norma UNE-EN 1793-2.
- 

### Método de cálculo

Para la realización de todos los cálculos se utilizan planillas de Excel. En todas ellas aparecen tanto los valores de medición como las fórmulas empleadas y sus resultados.

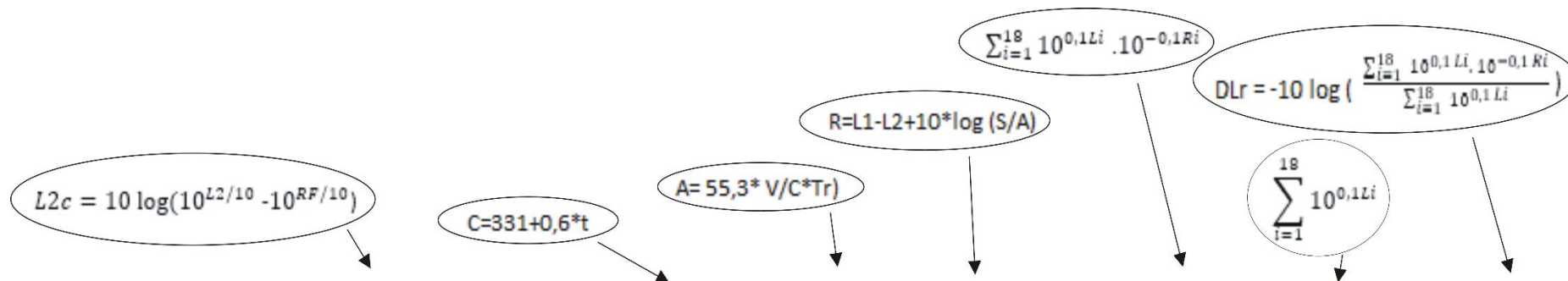
Por razones prácticas los valores calculados se han limitado a números enteros, de hasta dos decimales y más en aquellos casos que, para la mejor interpretación de los resultados, fuera necesario.

De los valores calculados surgen los gráficos realizados

---



## CALCULO DEL INDICE DE REDUCCION SONORA Y DE EVALUACION DE LA AISLACION PARA EL RUIDO FERROVIARIO



Banda (Hz.)	Nivel de presión sonora en la cámara emisora L1 (dB)	Nivel de presión sonora en la cámara receptora L2c (dB)	Nivel de presión sonora de ruido en la cámara receptora RF (dB)	Nivel de presión sonora corregido en la cámara receptora L2c (dB) $L2c = 10 \log(10^{L2/10} \cdot 10^{RF/10})$	Tiempo de reverberación TR (seg.)	Vel. Sonido C=331+0,6*t (m/seg.) 20 ° C	Área equivalente de absorción A= 55,3* V/C*Tr	Índice de reducción sonora R (dB) $R=L1-L2+10*\log(S/A)$	Espectro normalizado de ruido ferroviario UNE-EN 16272-3	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 Li} \cdot 10^{-0,1 Ri}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 Li}$	Índice de evaluación de la aislación sonora (ruido ferroviario) $Dlr = -10 \log \left( \frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 Li} \cdot 10^{-0,1 Ri}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 Li}} \right)$
50 Hz.	62,50 dB	52,90 dB	17,90 dB	52,899 dB	6,91 seg.	343 m/seg	2,66 m2	15,36 dB				
63 Hz.	62,60 dB	51,30 dB	19,50 dB	51,297 dB	7,78 seg.	343 m/seg	2,36 m2	17,57 dB				
80 Hz.	76,50 dB	61,40 dB	23,40 dB	61,399 dB	7,32 seg.	343 m/seg	2,51 m2	21,11 dB				
100 Hz.	80,00 dB	66,60 dB	34,70 dB	66,597 dB	5,97 seg.	343 m/seg	3,08 m2	18,52 dB	-27 dBA	0,00003	0,00200	
125 Hz.	81,20 dB	68,60 dB	27,40 dB	68,600 dB	5,30 seg.	343 m/seg	3,46 m2	17,20 dB	-25 dBA	0,00006	0,00316	
160 Hz.	80,60 dB	64,40 dB	19,60 dB	64,400 dB	3,69 seg.	343 m/seg	4,98 m2	19,23 dB	-23 dBA	0,00006	0,00501	
200 Hz.	77,90 dB	59,40 dB	9,20 dB	59,400 dB	2,95 seg.	343 m/seg	6,22 m2	20,56 dB	-21 dBA	0,00007	0,00794	
250 Hz.	79,10 dB	56,00 dB	6,50 dB	56,000 dB	2,08 seg.	343 m/seg	8,83 m2	23,64 dB	-19 dBA	0,00005	0,01259	
315 Hz.	79,60 dB	52,70 dB	5,80 dB	52,700 dB	2,21 seg.	343 m/seg	8,31 m2	27,70 dB	-17 dBA	0,00003	0,01995	
400 Hz.	82,80 dB	52,10 dB	4,50 dB	52,100 dB	1,88 seg.	343 m/seg	9,77 m2	30,80 dB	-15 dBA	0,00003	0,03162	
500 Hz.	81,80 dB	47,90 dB	3,80 dB	47,900 dB	1,88 seg.	343 m/seg	9,77 m2	34,00 dB	-13 dBA	0,00002	0,05012	
630 Hz.	78,20 dB	44,20 dB	5,30 dB	44,199 dB	1,78 seg.	343 m/seg	10,32 m2	33,87 dB	-12 dBA	0,00003	0,06310	
800 Hz.	77,70 dB	44,70 dB	5,10 dB	44,700 dB	1,80 seg.	343 m/seg	10,20 m2	32,91 dB	-11 dBA	0,00004	0,07943	
1000 Hz.	79,00 dB	46,40 dB	5,10 dB	46,400 dB	1,77 seg.	343 m/seg	10,37 m2	32,44 dB	-10 dBA	0,00006	0,10000	
1250 Hz.	78,10 dB	46,00 dB	9,70 dB	45,999 dB	1,73 seg.	343 m/seg	10,61 m2	31,84 dB	-9 dBA	0,00008	0,12589	
1600 Hz.	79,90 dB	51,00 dB	7,50 dB	51,000 dB	1,83 seg.	343 m/seg	10,03 m2	28,89 dB	-9 dBA	0,00016	0,12589	
2000 Hz.	79,80 dB	50,80 dB	7,10 dB	50,800 dB	1,84 seg.	343 m/seg	9,98 m2	29,01 dB	-9 dBA	0,00016	0,12589	
2500 Hz.	79,40 dB	47,20 dB	6,40 dB	47,200 dB	1,78 seg.	343 m/seg	10,32 m2	32,07 dB	-9 dBA	0,00008	0,12589	
3150 Hz.	79,10 dB	50,10 dB	6,90 dB	50,100 dB	1,81 seg.	343 m/seg	10,15 m2	28,94 dB	-10 dBA	0,00013	0,10000	
4000 Hz.	82,30 dB	51,60 dB	7,80 dB	51,600 dB	1,64 seg.	343 m/seg	11,20 m2	30,21 dB	-13 dBA	0,00005	0,05012	
5000 Hz.	80,70 dB	50,50 dB	8,00 dB	50,500 dB	1,48 seg.	343 m/seg	12,41 m2	29,26 dB	-17 dBA	0,00002	0,01995	
										0,00116	1,04857	

30 dBA

Pertenece a la categoría  
B3 (25 ≤ Dlr ≤ 34)

## INDICE DE EVALUACION DE ABSORCION CON RUIDO DE TRÁFICO

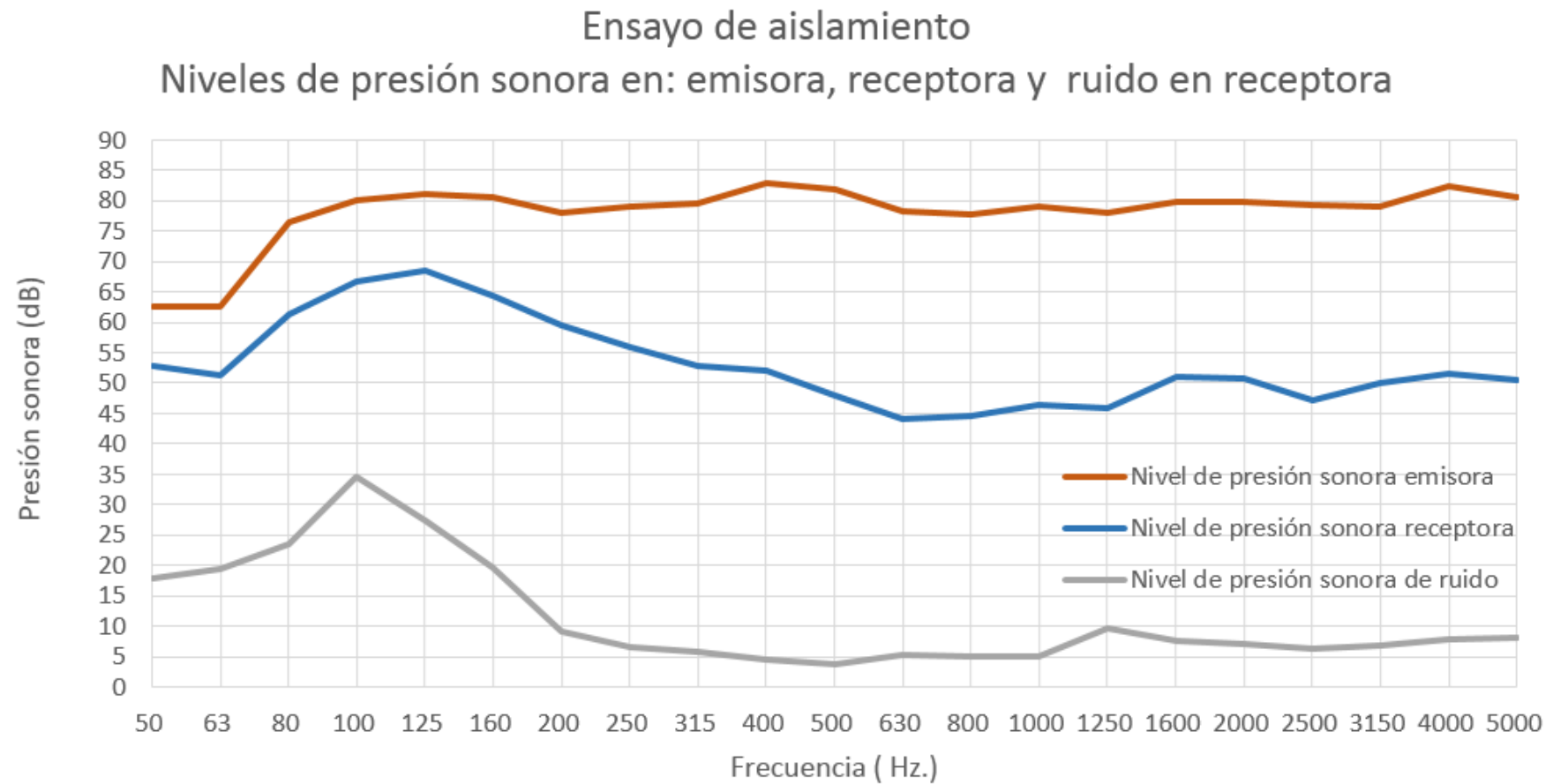
$$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li} \cdot 10^{-0,1Ri}$$

$$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li}$$

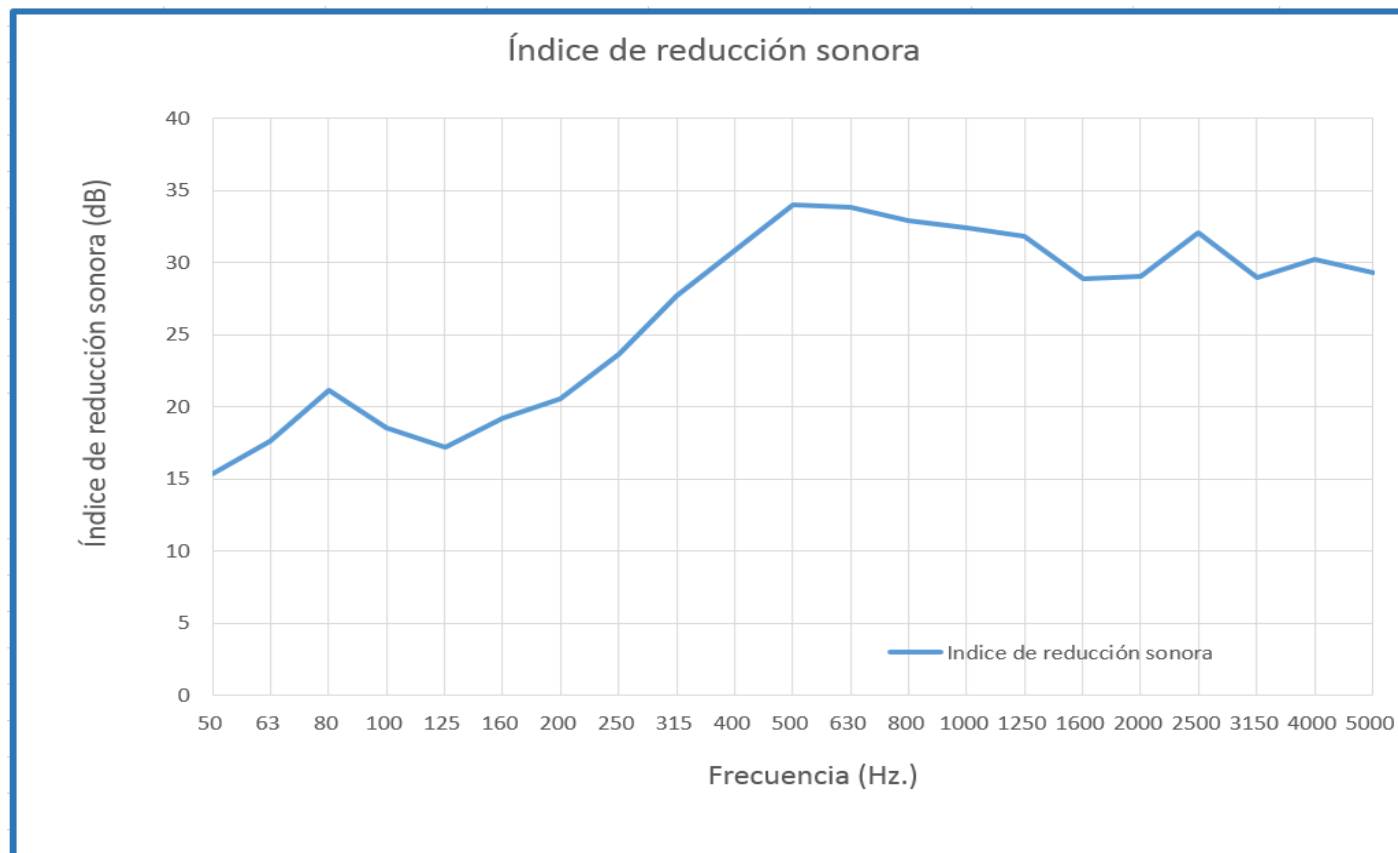
$$DLr = -10 \log \left( \frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li} \cdot 10^{-0,1Ri}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li}} \right)$$

Banda (Hz.)	Espectro normalizado de ruido de <b>tráfico</b> UNE-EN 1793-3	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li} \cdot 10^{-0,1Ri}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li}$	Índice de evaluación de la aislación sonora (ruido de tráfico)  $DLr = -10 \log \left( \frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li} \cdot 10^{-0,1Ri}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li}} \right)$
50 Hz.				<b>31 dBA</b>
63 Hz.				
80 Hz.				
100 Hz.	-20 dBA	0,00014	0,01000	<b>Pertenece a la categoría B3 ( 25 ≤ DLr ≤ 34 )</b>
125 Hz.	-20 dBA	0,00019	0,01585	
160 Hz.	-18 dBA	0,00019	0,02512	
200 Hz.	-16 dBA	0,00022	0,03162	
250 Hz.	-15 dBA	0,00014	0,03981	
315 Hz.	-14 dBA	0,00007	0,05012	
400 Hz.	-13 dBA	0,00004	0,06310	
500 Hz.	-12 dBA	0,00003	0,07943	
630 Hz.	-11 dBA	0,00003	0,12589	
800 Hz.	-9 dBA	0,00006	0,15849	
1000 Hz.	-8 dBA	0,00009	0,12589	
1250 Hz.	-9 dBA	0,00008	0,10000	
1600 Hz.	-10 dBA	0,00013	0,07943	
2000 Hz.	-11 dBA	0,00010	0,05012	
2500 Hz.	-13 dBA	0,00003	0,03162	
3150 Hz.	-15 dBA	0,00004	0,02512	
4000 Hz.	-16 dBA	0,00002	0,01585	
5000 Hz.	-18 dBA	0,00002	1,00000	
		0,00163	2,02747	





Banda (Hz.)	Índice de reducción sonora R (dB)
100 Hz.	18,52 dB
125 Hz.	17,20 dB
160 Hz.	19,23 dB
200 Hz.	20,56 dB
250 Hz.	23,64 dB
315 Hz.	27,70 dB
400 Hz.	30,80 dB
500 Hz.	34,00 dB
630 Hz.	33,87 dB
800 Hz.	32,91 dB
1000 Hz.	32,44 dB
1250 Hz.	31,84 dB
1600 Hz.	28,89 dB
2000 Hz.	29,01 dB
2500 Hz.	32,07 dB
3150 Hz.	28,94 dB
4000 Hz.	30,21 dB
5000 Hz.	29,26 dB



## Índice de Evaluación del Aislamiento al Ruido Aéreo

Caracterizado en la norma CEN con un único parámetro DLr que representa la reducción de ruido que se lograría con una barrera acústica si el ruido tuviera el espectro de tráfico (ferroviario, automotor, etc.) normalizado por la misma norma. Es la diferencia energética entre el ruido normalizado incidente sobre la pantalla y el ruido transmitido a través de ella. Esto resulta en un índice de reducción global igual para todas las bandas de tercios de octava. Expresando la fórmula que determina el índice de evaluación del aislamiento de otra manera, aparece claro el concepto:

$$DLr = -10 \cdot \log \left( \frac{\sum_{i=0}^{18} 10^{0,1 \cdot Li} \cdot \sum_{i=0}^{18} 10^{-0,1 \cdot Ri}}{\sum_{i=0}^{18} 10^{0,1 \cdot Li}} \right)$$

Donde:

**Li:** Es el nivel de presión sonora (dBA) de la i-ésima banda de tercio de octava del ruido normalizado que corresponda utilizar

**Ri:** Es el índice de reducción sonora (dBA) en la i-ésima banda de tercio de octava correspondiente a la muestra ensayada

Escribiéndola de otra manera:

$$DLr = 10 \cdot \log \left( \sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot Li} \right) - 10 \cdot \log \left( \sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot (Li - Ri)} \right)$$

Y esto es equivalente a:

$$DLr = La - Lb$$

Donde: **La** es la suma energética de todas las bandas de tercios de octava de ruido incidente a la pantalla

**Lb** es la diferencia energética entre todas las bandas de tercios de octava del sonido incidente y todas las bandas de tercios de octava del sonido transmitido.

Luego resulta que el coeficiente DLr es la reducción energética global que produce la barrera del sonido. Dado que esta reducción refiere a la utilización de un espectro de sonido normalizado y con ponderación A, su valor se expresa en dBA.

La norma UNE-EN-1793-2 clasifica (a la derecha) a las barreras de acuerdo con su capacidad de aislamiento

Categoría	DLr, en dB
B0	No determinado
B1	DLr < 15
B2	15 a 24
B3	25 a 34
B4	DLr > 34

## 2. MEDICIÓN DE ABSORCIÓN EN CÁMARA REVERBERANTE

### 2.1 Metodología de las mediciones

Para calcular la absorción sonora se deben medir los tiempos de reverberación siguiendo el procedimiento de la Norma IRAM 4065/1995 "Acústica. Medición de absorción de sonido en sala reverberante".

La sala reverberante utilizada posee un volumen de  $189 \text{ m}^3$ , una superficie interior de  $208 \text{ m}^2$ , y cumple con los requisitos de estas normas.

ensayo se utilizan 2 posiciones diferentes de las fuentes sonoras y 6 posiciones del micrófono, realizándose 3 registros por cada combinación fuente-micrófono. De este modo, cada tiempo de reverberación es el resultado del promedio de 36 caídas. Este procedimiento se lleva a cabo para dos condiciones: la cámara vacía y la cámara con la muestra ensayada en su interior.

Con los tiempos de reverberación medidos, se calcula el coeficiente de absorción sonora  $\alpha_s$  (adimensional), para las bandas de tercios de octava comprendidas entre 100 y 5000 Hz.

### 2.2. Índice de evaluación y clasificación de la pantalla

A partir de los valores del coeficiente de absorción sonora  $\alpha_s$  dependientes de la frecuencia, y siguiendo los lineamientos de la norma UNE-EN 1793-2: "Características intrínsecas relativas al aislamiento al ruido aéreo en condiciones de campo sonoro difuso", se obtiene el **número global**:

**Índice de evaluación de la absorción sonora ( $DL\alpha$ ):** Calculado como la diferencia de niveles de presión sonora ponderados A, mediante la ecuación (2). Se lo expresa en decibeles y se redondea al entero más próximo

**Índice de evaluación de la absorción sonora ( $DL_\alpha$ ):** Calculado como la diferencia de niveles de presión sonora ponderados A, mediante la ecuación (2). Se lo expresa en decibeles y se redondea al entero más próximo

$$DL_\alpha = -10 \log \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} \cdot 10^{0,1 \cdot Li}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot Li}} \right) \quad [2]$$

Siendo:

$\alpha_{si}$ : Coeficiente de absorción sonora de la i-ésima banda de tercio de octava

$L_i$ : Nivel de presión sonora de ruido normalizado ponderado A, en dB, de la i-ésima banda de tercio de octava del ruido normalizado que corresponda utilizar (ver Anexo A)

**Clasificación del comportamiento de absorción:** De acuerdo con lo establecido en la citada norma, las categorías normalizadas en función de  $DL_\alpha$  son:

**Tabla 3: Categorías de comportamiento de absorción sonora**

Categoría	$DL_\alpha$ , en dB
A <sub>0</sub>	No determinado
A <sub>1</sub>	$DL_\alpha < 4$
A <sub>2</sub>	4 a 7
A <sub>3</sub>	8 a 11
A <sub>4</sub>	12 a 15
A <sub>5</sub>	$DL_\alpha > 15$

### 2.3. Valores medidos

Los paneles se colocaron sobre el piso de la cámara reverberante, con su cara fonoabsorbente hacia arriba, expuesta al sonido. Ver Fig. 6

En la Tabla 4 se presentan los valores de tiempos de reverberación medidos para las distintas condiciones de ensayo.

Se constató que la temperatura y la humedad permanecieron constantes durante el ensayo, y los valores registrados fueron: 26,7°C y 62%, respectivamente.



**Fig. 6: Montaje de ensayo en cámara reverberante**

**Tabla 4: Tiempos de reverberación medidos, en s**

<b>Banda</b>	<b>TR Sala con muestra (T2)</b>	<b>TR Sala vacía (T1)</b>
100	4,60	14,92
125	4,47	12,22
160	3,71	9,97
200	3,20	9,08
250	2,89	9,19
315	2,72	9,74
400	2,38	8,74
500	2,28	7,59
630	2,26	7,15
800	2,21	7,03
1000	2,28	7,21
1250	2,23	6,58
1600	2,21	5,87
2000	2,23	5,08
2500	2,22	4,44
3150	2,17	3,59
4000	2,08	2,98
5000	1,84	2,29

---

## 2.4. Trabajo a realizar

Aplicando la Norma IRAM 4065, se deberá obtener la curva del coeficiente de absorción sonora en cámara reverberante de la pantalla ensayada, en función de la frecuencia.

- Presentar en un mismo gráfico los valores de tiempos de reverberación medidos para la cámara vacía y la cámara con muestra, y observar cómo varían con la inclusión de los fonoabsorbentes en el interior de la cámara.
  - Indicar qué expresión y qué valores de parámetros se utilizaron para los cálculos.
  - Presentar en tabla y en gráfico, los valores del coeficiente de absorción sonora obtenidos.
  - Calcular el Índice de Evaluación de la Absorción Sonora,  $DL_{\alpha}$ .
  - ¿Qué representa este índice global? Interprete la ecuación (2).
  - Determinar la categoría en la que encuadra la pantalla ensayada de acuerdo con la norma UNE-EN 1793-1.
- 

## 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

- 3.1. Determinar si los paneles ensayados cumplen con los requerimientos de obra.
- 3.2. Si se la instalara en una autopista, y los requerimientos acústicos fuesen los mismos que para la obra ferroviaria ¿sería apta la pantalla ensayada?
- 3.3. ¿La barrera estudiada tiene el mismo comportamiento frente a los dos tipos de ruido? Justifique su respuesta.



### 3.4. ANEXO A: RUIDOS NORMALIZADOS

De acuerdo con lo establecido en la norma UNE-EN 1793-2, el espectro de ruido normalizado a utilizar en el cálculo de los parámetros globales depende del uso al que estén destinados los dispositivos reductores de ruido. Para el caso de barreras a ser instaladas en cercanías de carreteras, debe utilizarse el espectro normalizado de ruido de tránsito (definido en la UNE-EN1793-3). Si las barreras serán instaladas a lo largo de vías ferroviarias, se debe utilizar el espectro normalizado de ruido ferroviario (definido en la norma UNE-EN 16272-3).

En la Tabla A1 se presentan los valores de los espectros normalizados de ruidos.

**Tabla A1: Espectros de ruidos normalizados**

Banda	Espectro normalizado de ruido de tráfico, en dBA (UNE-EN 1793-3)	Espectro normalizado de ruido ferroviario, en dBA (UNE-EN 16272-3)
100 Hz.	-20 dBA	-27 dBA
125 Hz.	-20 dBA	-25 dBA
160 Hz.	-18 dBA	-23 dBA
200 Hz.	-16 dBA	-21 dBA
250 Hz.	-15 dBA	-19 dBA
315 Hz.	-14 dBA	-17 dBA
400 Hz.	-13 dBA	-15 dBA
500 Hz.	-12 dBA	-13 dBA
630 Hz.	-11 dBA	-12 dBA
800 Hz.	-9 dBA	-11 dBA
1000 Hz.	-8 dBA	-10 dBA
1250 Hz.	-9 dBA	-9 dBA
1600 Hz.	-10 dBA	-9 dBA
2000 Hz.	-11 dBA	-9 dBA
2500 Hz.	-13 dBA	-9 dBA
3150 Hz.	-15 dBA	-10 dBA
4000 Hz.	-16 dBA	-13 dBA
5000 Hz.	-18 dBA	-17 dBA

## CALCULO DEL INDICE DE ABSORCION SONORA ( FERROVIARIO)

$$DL\alpha = -10 \log \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha s_i 10^{0,1 L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}} \right)$$

$$A = 55,3/C * (V * (1/T_2 - 1/T_1))$$

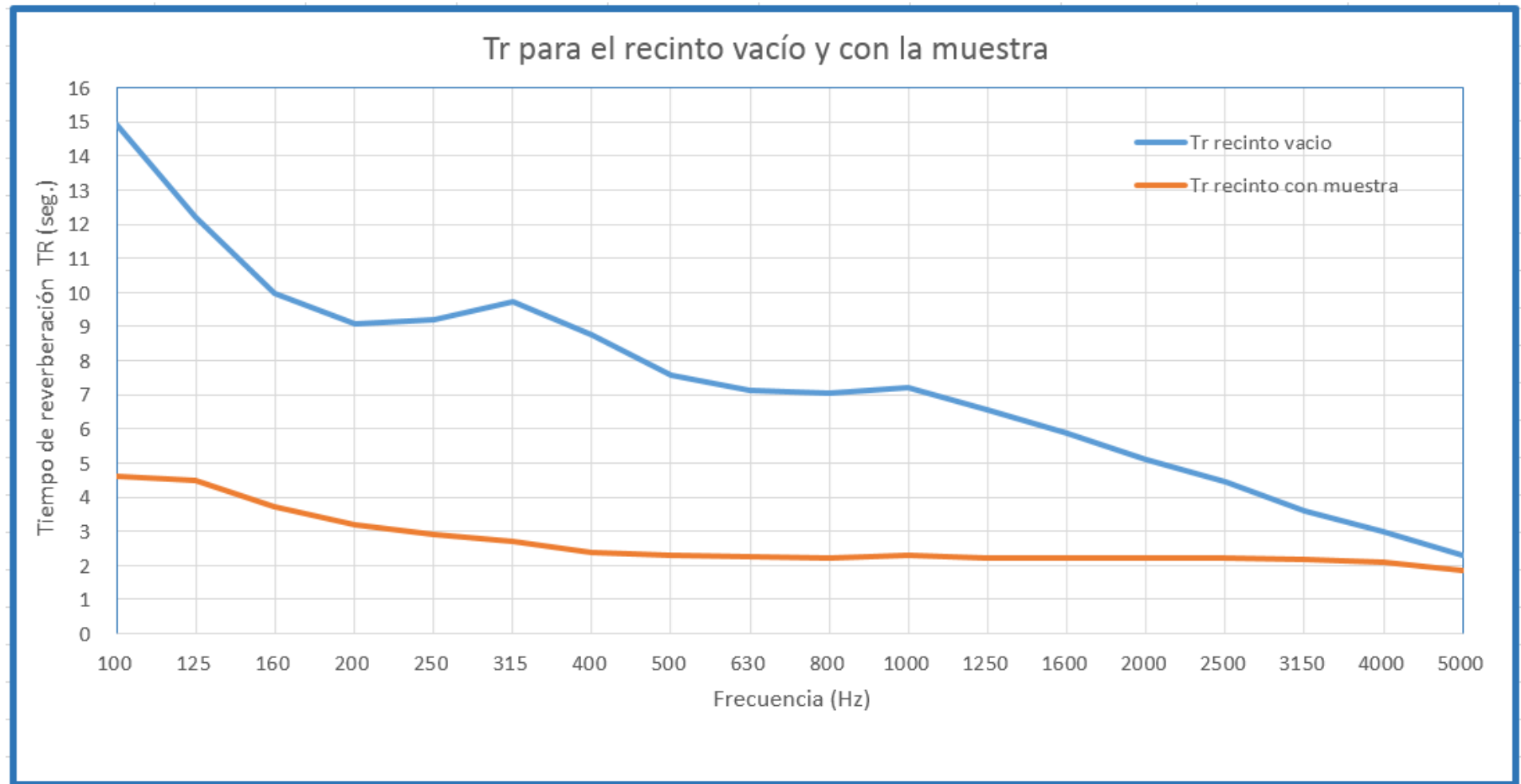
$$C = 331 + 0,6 * t \text{ (m/seg.)}$$

$$\sum_{i=1}^{18} \alpha s_i \cdot 10^{0,1 L_i}$$

$$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}$$

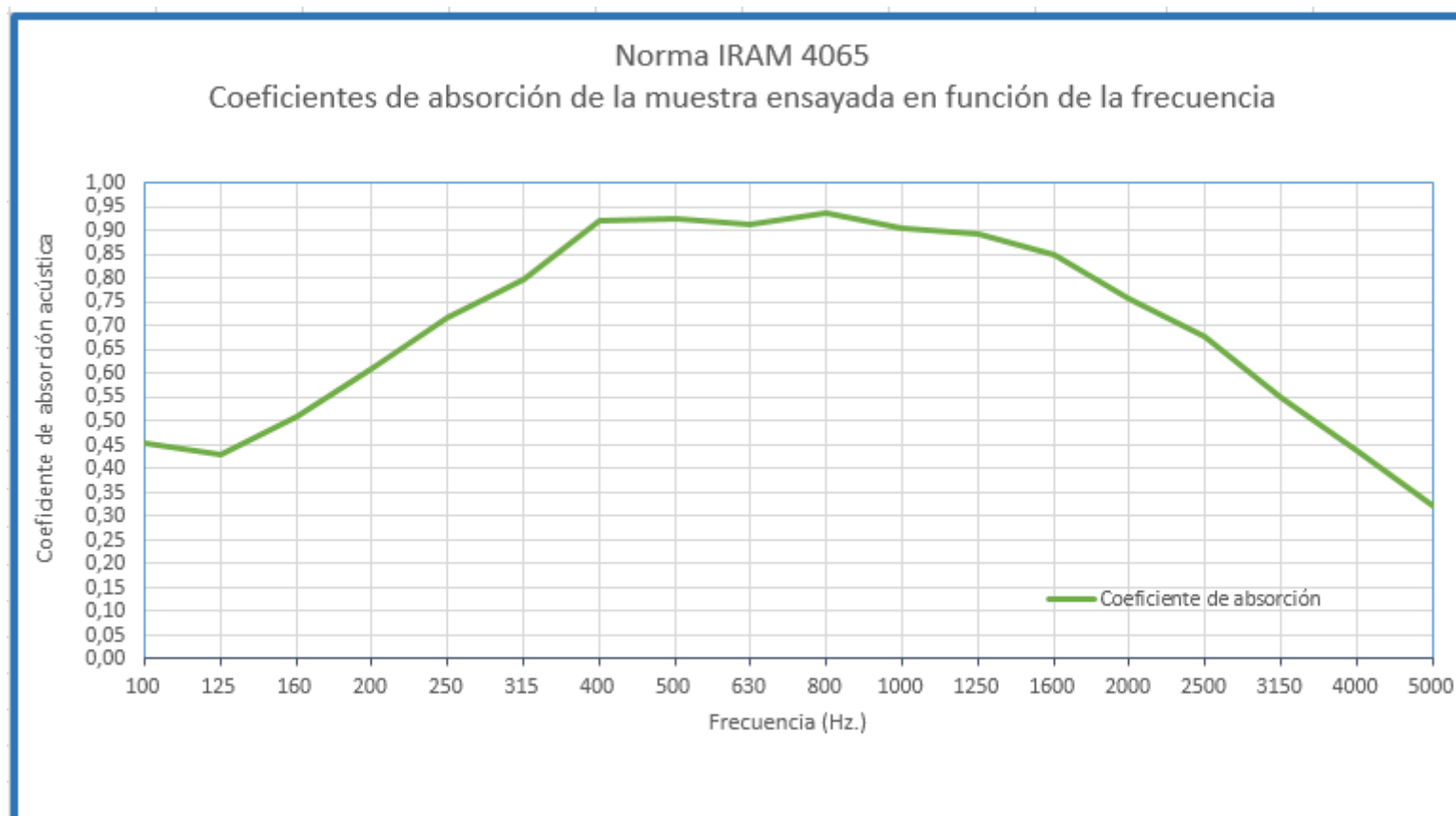
FERROVIARIO									
Banda (Hz.)	TR Sala con muestra (T2) seg.	TR Sala vacía ( T1) seg.	Vel.Sonido C=331+0,6*t (m/seg.) 26,7 * C	Área equivalente de absorción A= 55,3/C* (V*(1/T2-1/T1))	Coefficiente de absorción α = A/S S= 10 m2	Espectro normalizado de ruido ferroviario UNE-EN 16272-3	$\sum_{i=1}^{18} \alpha \; si \; \cdot 10^{0,1Li}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li}$	Índice de evaluación de la absorción sonora DLα = -10 log ( 1- $\frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha si \; 10^{0,1 \; Li}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \; Li}}$ )
100 Hz.	4,60 seg.	14,92 seg.	347 m/seg	4,53 m2	0,45	-27 dBA	0,00090	0,00200	7 dBA
125 Hz.	4,47 seg.	12,22 seg.	347 m/seg	4,27 m2	0,43	-25 dBA	0,00135	0,00316	
160 Hz.	3,71 seg.	9,97 seg.	347 m/seg	5,10 m2	0,51	-23 dBA	0,00255	0,00501	
200 Hz.	3,20 seg.	9,08 seg.	347 m/seg	6,10 m2	0,61	-21 dBA	0,00484	0,00794	
250 Hz.	2,89 seg.	9,19 seg.	347 m/seg	7,14 m2	0,71	-19 dBA	0,00899	0,01259	
315 Hz.	2,72 seg.	9,74 seg.	347 m/seg	7,98 m2	0,80	-17 dBA	0,01592	0,01995	Pertenece a la categoría A2 ( DLα 4-7 )
400 Hz.	2,38 seg.	8,74 seg.	347 m/seg	9,21 m2	0,92	-15 dBA	0,02912	0,03162	
500 Hz.	2,28 seg.	7,59 seg.	347 m/seg	9,24 m2	0,92	-13 dBA	0,04632	0,05012	
630 Hz.	2,26 seg.	7,15 seg.	347 m/seg	9,11 m2	0,91	-12 dBA	0,05751	0,06310	
800 Hz.	2,21 seg.	7,03 seg.	347 m/seg	9,34 m2	0,93	-11 dBA	0,07422	0,07943	
1000 Hz.	2,28 seg.	7,21 seg.	347 m/seg	9,03 m2	0,90	-10 dBA	0,09033	0,10000	
1250 Hz.	2,23 seg.	6,58 seg.	347 m/seg	8,93 m2	0,89	-9 dBA	0,11241	0,12589	
1600 Hz.	2,21 seg.	5,87 seg.	347 m/seg	8,50 m2	0,85	-9 dBA	0,10698	0,12589	
2000 Hz.	2,23 seg.	5,08 seg.	347 m/seg	7,58 m2	0,76	-9 dBA	0,09539	0,12589	
2500 Hz.	2,22 seg.	4,44 seg.	347 m/seg	6,78 m2	0,68	-9 dBA	0,08540	0,12589	
3150 Hz.	2,17 seg.	3,59 seg.	347 m/seg	5,49 m2	0,55	-10 dBA	0,05490	0,10000	
4000 Hz.	2,08 seg.	2,98 seg.	347 m/seg	4,37 m2	0,44	-13 dBA	0,02192	0,05012	
5000 Hz.	1,84 seg.	2,29 seg.	347 m/seg	3,22 m2	0,32	-17 dBA	0,00642	0,01995	
							0.8155	1.0486	

## TIEMPO DE REVERBERACION CON Y SIN MUESTRA



## COEFICIENTE DE ABSORCION EN FUNCION DE LA FRECUENCIA

Banda (Hz.)	Coefficiente de absorción
100 Hz.	0,45
125 Hz.	0,43
160 Hz.	0,51
200 Hz.	0,61
250 Hz.	0,71
315 Hz.	0,80
400 Hz.	0,92
500 Hz.	0,92
630 Hz.	0,91
800 Hz.	0,93
1000 Hz.	0,90
1250 Hz.	0,89
1600 Hz.	0,85
2000 Hz.	0,76
2500 Hz.	0,68
3150 Hz.	0,55
4000 Hz.	0,44
5000 Hz.	0,32



## CALCULO DEL INDICE DE ABSORCION SONORA ( TRAFICO)

				TRAFICO
Banda (Hz.)	Espectro normalizado de ruido de tráfico UNE-EN 16272-3	$\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} \cdot 10^{0,1 L_i}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}$	Índice de evaluación de la absorción sonora $DL\alpha = -10 \log \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} 10^{0,1 L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}} \right)$
100 Hz.	-20 dBA	0,00453	0,01000	<b>7 dBA</b>  <b>Pertenece a la categoría A2 ( DLα 4-7)</b>
125 Hz.	-20 dBA	0,00427	0,01000	
160 Hz.	-18 dBA	0,00808	0,01585	
200 Hz.	-16 dBA	0,01531	0,02512	
250 Hz.	-15 dBA	0,02259	0,03162	
315 Hz.	-14 dBA	0,03177	0,03981	
400 Hz.	-13 dBA	0,04615	0,05012	
500 Hz.	-12 dBA	0,05831	0,06310	
630 Hz.	-11 dBA	0,07240	0,07943	
800 Hz.	-9 dBA	0,11763	0,12589	
1000 Hz.	-8 dBA	0,14316	0,15849	
1250 Hz.	-9 dBA	0,11241	0,12589	
1600 Hz.	-10 dBA	0,08497	0,10000	
2000 Hz.	-11 dBA	0,06019	0,07943	
2500 Hz.	-13 dBA	0,03400	0,05012	
3150 Hz.	-15 dBA	0,01736	0,03162	
4000 Hz.	-16 dBA	0,01098	0,02512	
5000 Hz.	-18 dBA	0,00510	0,01585	
		<b>0,84922</b>	<b>1,03747</b>	

## Índice de Evaluación de la Absorción sonora

La normativa europea CEN referente a las barreras acústicas caracteriza la absorción acústica de un material con un único parámetro  $DL\alpha$ , que representa al número de dBA que dicho material reduciría si sobre el incidiera un sonido cuyo espectro correspondiera al del ruido de tráfico (trenes, automotores, etc.) definido en la propia norma. La norma UNE-EN-1793-1, clasifica a los distintos materiales de acuerdo con su capacidad de absorción sonora con el cuadro que se muestra a la derecha.

Categoría	$DL\alpha$ en dBA
A0	No determinado
A1	$DL\alpha < 4$
A2	4 a 7
A3	8 a 11
A4	12 a 15
A5	$DL\alpha > 15$

$$DL\alpha = -10 \log \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_i 10^{0,1 L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}} \right) \text{ Luego } DL\alpha = -10 \log \left( \frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i} - \sum_{i=1}^{18} \alpha_i \cdot 10^{0,1 (L_i)}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}} \right)$$

Y finalmente:  $DL\alpha = 10 \log \left( \sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i} \right) - 10 \log \left( \sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 (L_i)} - \sum_{i=1}^{18} \alpha_i \cdot 10^{0,1 (L_i)} \right)$

Donde el primer sumando es el nivel energético global de ruido incidente. El segundo sumando es el nivel global de energía reflejada que surge como la suma energética del ruido incidente menos la energía absorbida.

$\alpha_i$ : Es el coeficiente de absorción sonora de la i-ésima banda de tercio de octava

$L_i$ : Es el Nivel de presión sonora de ruido normalizado ponderado A, en dBA, de la i-ésima banda de tercio de octava del ruido normalizado que corresponda utilizar

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS (MEDICIONES DE LAS BARRERAS PRESENTADAS EN PRINCIPIO)

3.1 Los paneles ensayados cumplen con el índice de evaluación de aislación pero no cumplen con el índice de evaluación de absorción. Si se los utilizara cumplirían con el objetivo de aislación previsto pero no reducirían adecuadamente los ruidos a los pasajeros del tren.

3.2 Si se instalaran en una autopista serían útiles para el aislamiento, ya que el índice de evaluación de aislamiento que poseen cumple con los requisitos del proyecto. Respecto de la absorción, los resultados serían tan pobres como en el caso ferroviario.

3.3 Si bien los espectros de ruido ferroviario tienen mayor contenido de altas frecuencias que los espectros de tráfico automotor, las barreras ensayadas son útiles también en el aislamiento de ruido en autopistas. En ambos casos el  $DLr$  es aprox. 30 dBA (cumple requerimiento Cat. B3).

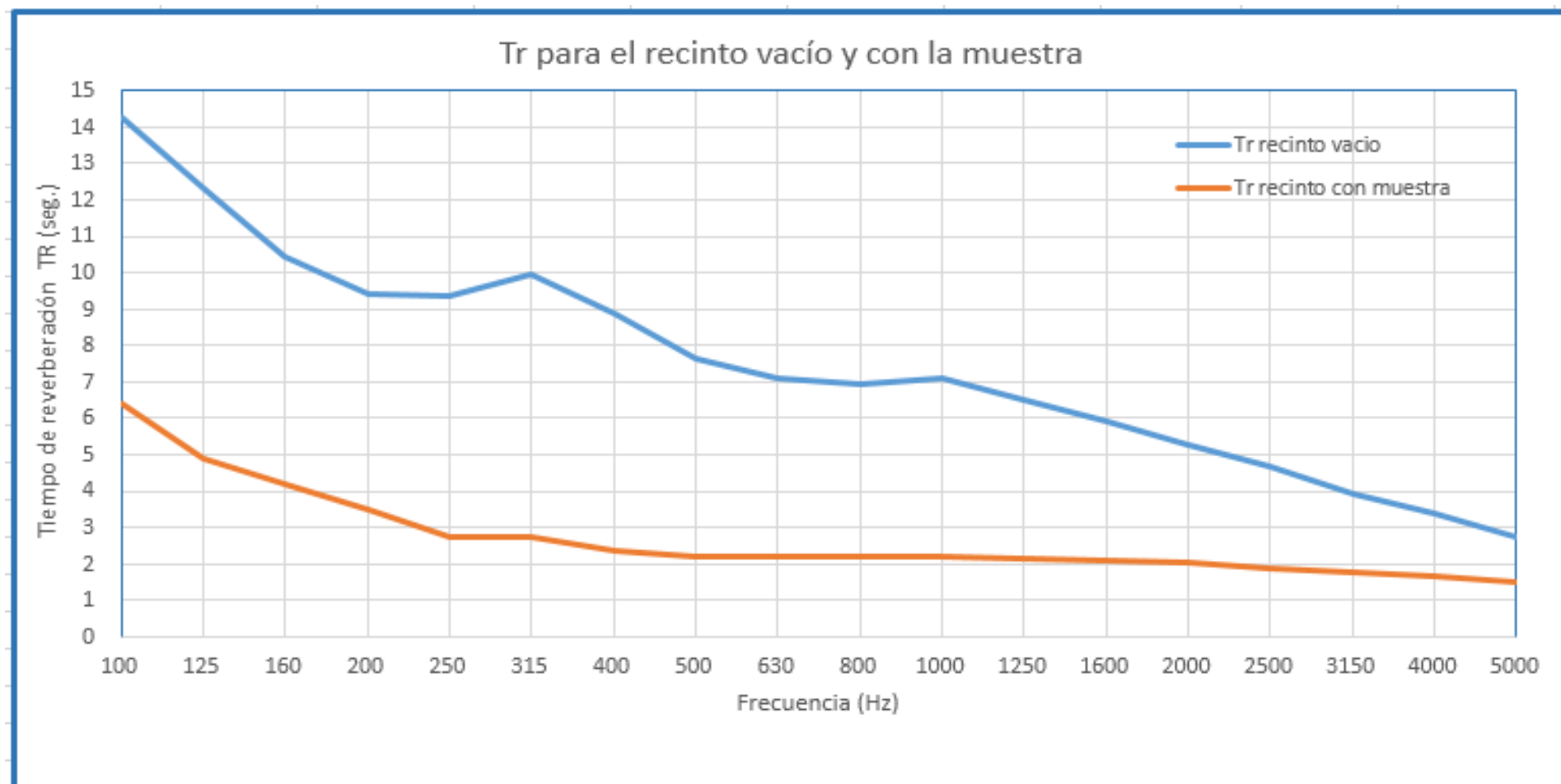
## RECALCULO DEL COEFICIENTE DE ABSORCION Y EL INDICE DE EVALUACION SONORA ( FERROVIARIO CON MEDICIONES DE LAS BARRERAS CORREGIDAS)

Debido al resultado del Índice de Evaluación de Absorción Acústica de la muestras ensayadas que no cumplen con el requerimiento de categoría A3, se realizó una modificación en las barreras acústicas consistente en el cambio del pegamento utilizado en el velo protector de la cara de absorbente de lana de roca expuesta al sonido. Debido al pegamento utilizado en principio, el comportamiento del material, en lo que se refiere a la absorción acústica, era muy pobre en altas frecuencias. Todo esto debido a que el pegamento resultaba “impenetrable” a las ondas de presión sonora para la conversión de su energía en calor por fricción.

Banda (Hz.)	TR Sala con muestra (T2) seg.	TR Sala vacía (T1) seg.	Vel.Sonido $C=331+0,6 \cdot t$ (m/seg.) 26,7 * C	Área equivalente de absorción $A= 55,3/C \cdot (V \cdot (1/T2-1/T1))$	Coeficiente de absorción $\alpha = A/S$ $S= 10 \text{ m}^2$	Espectro normalizado de ruido ferroviario UNE-EN 16272-3	$\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} \cdot 10^{0,1Li}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li}$	FERROVIARIO
									Índice de evaluación de la absorción sonora $DL\alpha = -10 \log \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} 10^{0,1Li}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li}} \right)$
100 Hz.	6,42 seg.	14,27 seg.	347 m/seg	2,58 m <sup>2</sup>	0,26	-27 dBA	0,00051	0,00200	<b>11 dBA</b>
125 Hz.	4,91 seg.	12,32 seg.	347 m/seg	3,69 m <sup>2</sup>	0,37	-25 dBA	0,00117	0,00316	
160 Hz.	4,19 seg.	10,43 seg.	347 m/seg	4,30 m <sup>2</sup>	0,43	-23 dBA	0,00216	0,00501	<b>Pertenece a la categoría A3 ( DLα 8-11 )</b>
200 Hz.	3,52 seg.	9,41 seg.	347 m/seg	5,36 m <sup>2</sup>	0,54	-21 dBA	0,00425	0,00794	
250 Hz.	2,73 seg.	9,34 seg.	347 m/seg	7,81 m <sup>2</sup>	0,78	-19 dBA	0,00983	0,01259	
315 Hz.	2,73 seg.	9,94 seg.	347 m/seg	8,00 m <sup>2</sup>	0,80	-17 dBA	0,01597	0,01995	
400 Hz.	2,37 seg.	8,89 seg.	347 m/seg	9,32 m <sup>2</sup>	0,93	-15 dBA	0,02947	0,03162	
500 Hz.	2,20 seg.	7,64 seg.	347 m/seg	9,75 m <sup>2</sup>	0,97	-13 dBA	0,04886	0,05012	
630 Hz.	2,21 seg.	7,12 seg.	347 m/seg	9,40 m <sup>2</sup>	0,94	-12 dBA	0,05930	0,06310	
800 Hz.	2,18 seg.	6,93 seg.	347 m/seg	9,47 m <sup>2</sup>	0,95	-11 dBA	0,07522	0,07943	
1000 Hz.	2,23 seg.	7,09 seg.	347 m/seg	9,26 m <sup>2</sup>	0,93	-10 dBA	0,09258	0,10000	
1250 Hz.	2,16 seg.	6,51 seg.	347 m/seg	9,32 m <sup>2</sup>	0,93	-9 dBA	0,11730	0,12589	
1600 Hz.	2,08 seg.	5,91 seg.	347 m/seg	9,38 m <sup>2</sup>	0,94	-9 dBA	0,11814	0,12589	
2000 Hz.	2,03 seg.	5,25 seg.	347 m/seg	9,10 m <sup>2</sup>	0,91	-9 dBA	0,11456	0,12589	
2500 Hz.	1,86 seg.	4,67 seg.	347 m/seg	9,74 m <sup>2</sup>	0,97	-9 dBA	0,12266	0,12589	
3150 Hz.	1,80 seg.	3,92 seg.	347 m/seg	9,05 m <sup>2</sup>	0,90	-10 dBA	0,09049	0,10000	
4000 Hz.	1,67 seg.	3,38 seg.	347 m/seg	9,12 m <sup>2</sup>	0,91	-13 dBA	0,04573	0,05012	
5000 Hz.	1,52 seg.	2,76 seg.	347 m/seg	8,90 m <sup>2</sup>	0,89	-17 dBA	0,01776	0,01995	
							<b>0,9660</b>	<b>1,0486</b>	

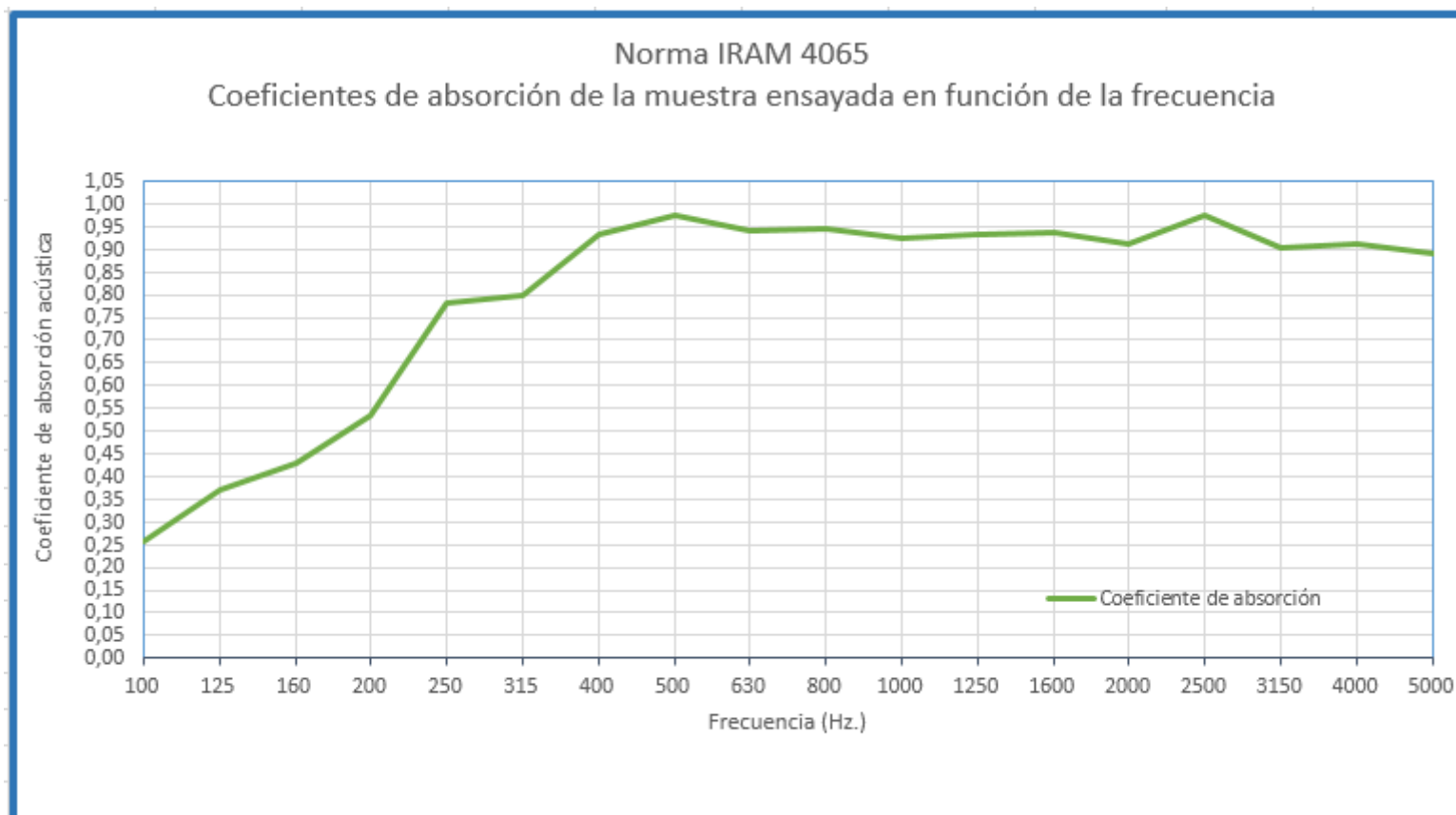


## TIEMPO DE REVERBERACION CON Y SIN MUESTRA



## COEFICIENTE DE ABSORCION EN FUNCION DE LA FRECUENCIA

Banda (Hz.)	Coefficiente de absorción
100 Hz.	0,26
125 Hz.	0,37
160 Hz.	0,43
200 Hz.	0,54
250 Hz.	0,78
315 Hz.	0,80
400 Hz.	0,93
500 Hz.	0,97
630 Hz.	0,94
800 Hz.	0,95
1000 Hz.	0,93
1250 Hz.	0,93
1600 Hz.	0,94
2000 Hz.	0,91
2500 Hz.	0,97
3150 Hz.	0,90
4000 Hz.	0,91
5000 Hz.	0,89



## RECALCULO DEL COEFICIENTE DE ABSORCION SONORA ( TRAFICO)

				TRAFICO
Banda (Hz.)	Espectro normalizado de ruido de tráfico UNE-EN 16272-3	$\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} \cdot 10^{0,1 Li}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 Li}$	Índice de evaluación de la absorción sonora $DL\alpha = -10 \log \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} 10^{0,1 Li}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 Li}} \right)$
100 Hz.	-20 dBA	0,00258	0,01000	<b>10 dBA</b>  <b>Pertenece a la categoría A3 ( DLα 8-11 )</b>
125 Hz.	-20 dBA	0,00369	0,01000	
160 Hz.	-18 dBA	0,00682	0,01585	
200 Hz.	-16 dBA	0,01345	0,02512	
250 Hz.	-15 dBA	0,02469	0,03162	
315 Hz.	-14 dBA	0,03186	0,03981	
400 Hz.	-13 dBA	0,04671	0,05012	
500 Hz.	-12 dBA	0,06151	0,06310	
630 Hz.	-11 dBA	0,07465	0,07943	
800 Hz.	-9 dBA	0,11922	0,12589	
1000 Hz.	-8 dBA	0,14673	0,15849	
1250 Hz.	-9 dBA	0,11730	0,12589	
1600 Hz.	-10 dBA	0,09384	0,10000	
2000 Hz.	-11 dBA	0,07228	0,07943	
2500 Hz.	-13 dBA	0,04883	0,05012	
3150 Hz.	-15 dBA	0,02862	0,03162	
4000 Hz.	-16 dBA	0,02292	0,02512	
5000 Hz.	-18 dBA	0,01411	0,01585	
		<b>0,92980</b>	<b>1,03747</b>	

## CONCLUSIONES

Con el nuevo tratamiento de las barreras acústicas el comportamiento de absorción de las mismas mejoró sustantivamente en altas frecuencias. Esto permitió, que el Índice de Evaluación de la Absorción Sonora aumentara hasta alcanzar la Categoría A3 (8 a 11 dBA) y con ello cumplir con el requerimiento del proyecto.

Es más, los valores alcanzados por dicho índice son cercanos a la próxima categoría A4 (límite superior de la categoría A3).

Tanto para el ruido ferroviario como para el de tráfico, las barreras acústicas cumplen con los requerimientos (A3, B3).

En el caso del ruido de tráfico, el comportamiento absorción de las barreras, es un poco inferior al del relativo al ruido ferroviario dado que el espectro de ruido de tráfico tiene mayor contenido en bajas frecuencias que el ferroviario.

Si se quisiera mejorar el comportamiento de las barreras para el ruido de tráfico sería conveniente aumentar el espesor de la plancha de lana de roca con el objeto de lograr una mayor absorción en bajas frecuencias



JOSE FRANCISCO GONZALEZ



FERNANDO TERENCEO



RODOLFO OSCAR GONZALEZ