



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.

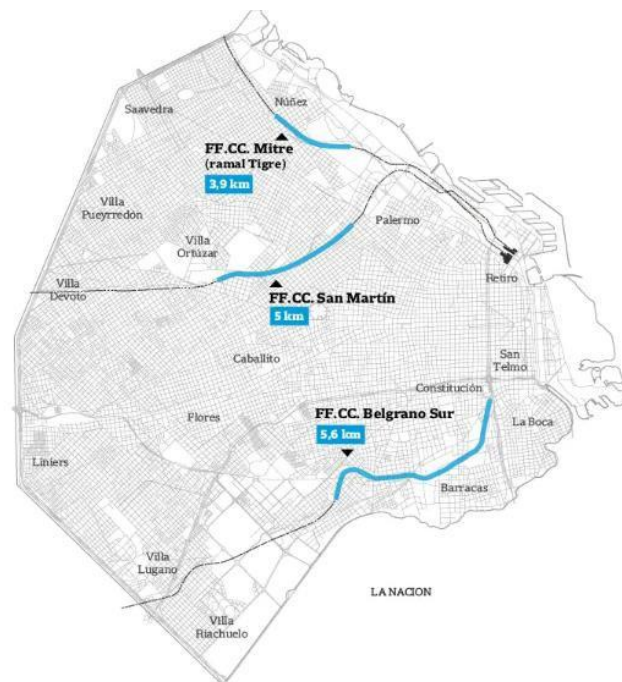


Fig. 1: Viaductos previstos para la Ciudad de Buenos Aires



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 m².

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 111,7m³ (cámara emisora) y de 113,9 m³ (cámara receptora). La muestra ensayada fue construida en el vano de 10 m² 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

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

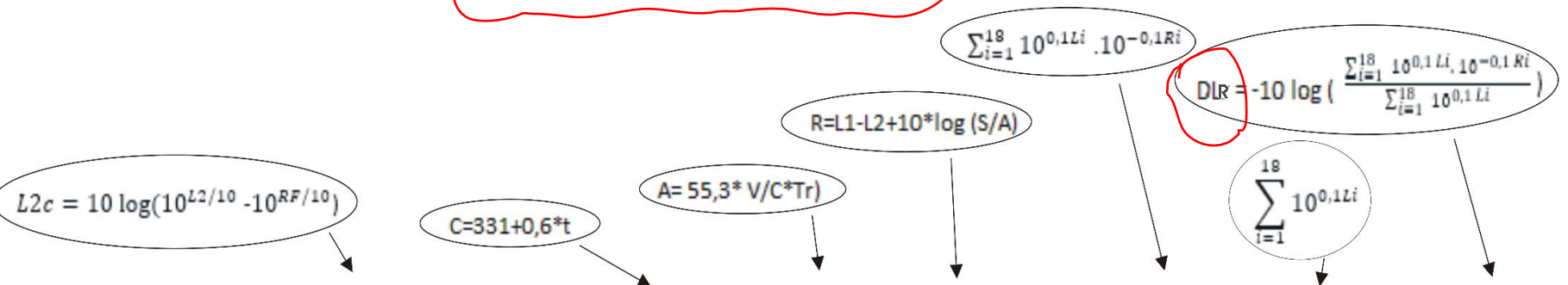
Método de cálculo

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 DEL AISLAMIENTO ACUSTICO 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)	Tiempo de reverberación TR (seg.)	Vel. Sonido C=331+0,6*t (m/seg.)	Área equivalente de absorción A=55,3* V/C*Tr	Índice de reducción sonora R (dB)	Espectro normalizado de ruido ferroviario UNE-EN 16272-3	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i} \cdot 10^{-0,1 R_i}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}$	Índice de evaluación del aislamiento acústico (ruido ferroviario) DLR = -10 log ($\frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i} \cdot 10^{-0,1 R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}}$)
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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	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 dB	0,00002	0,01995	
										0,00116	1,04857	

30 dB

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

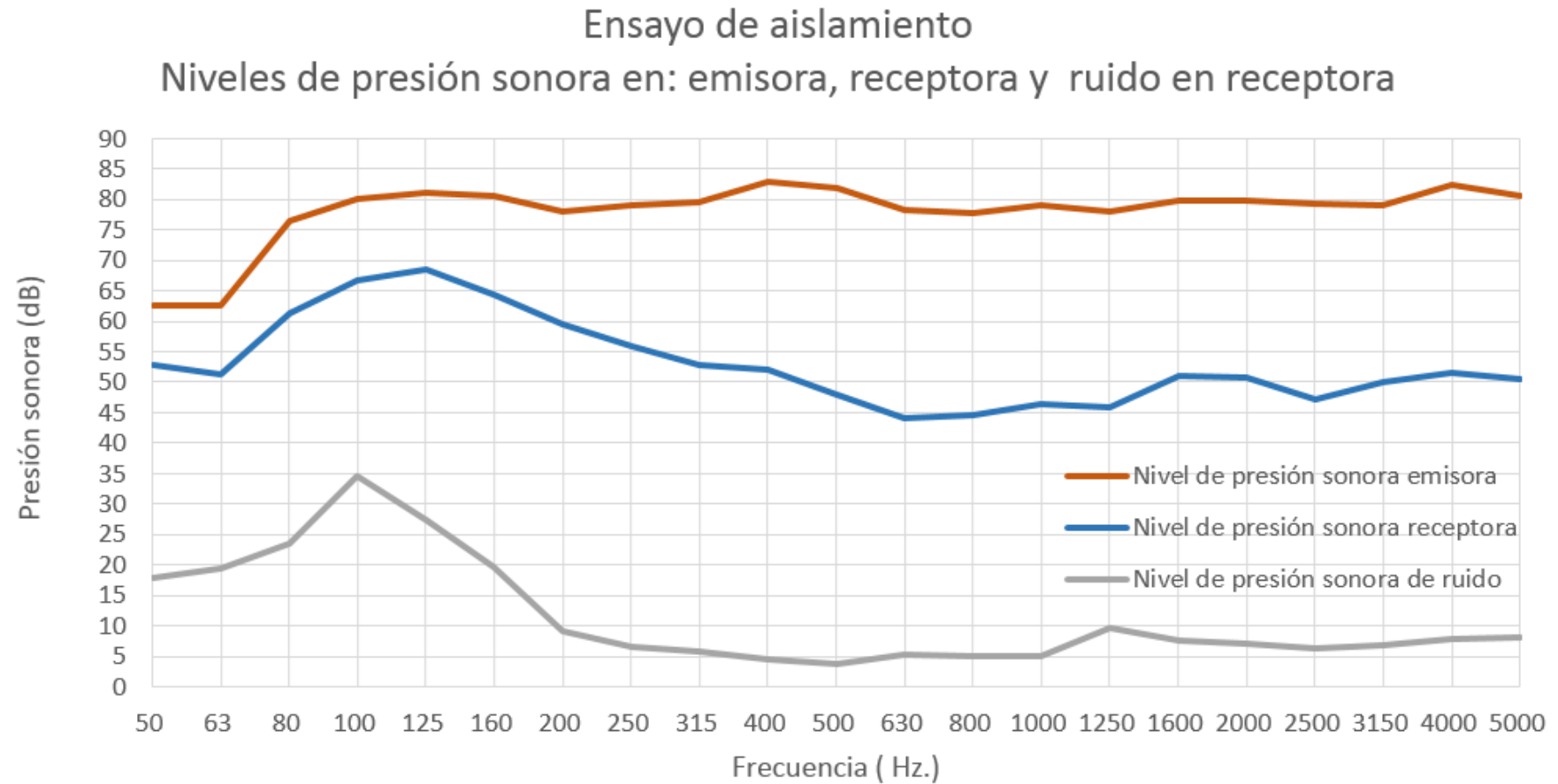
INDICE DE EVALUACION DE AISLAMIENTO ACUSTICO CON RUIDO DE TRÁFICO

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

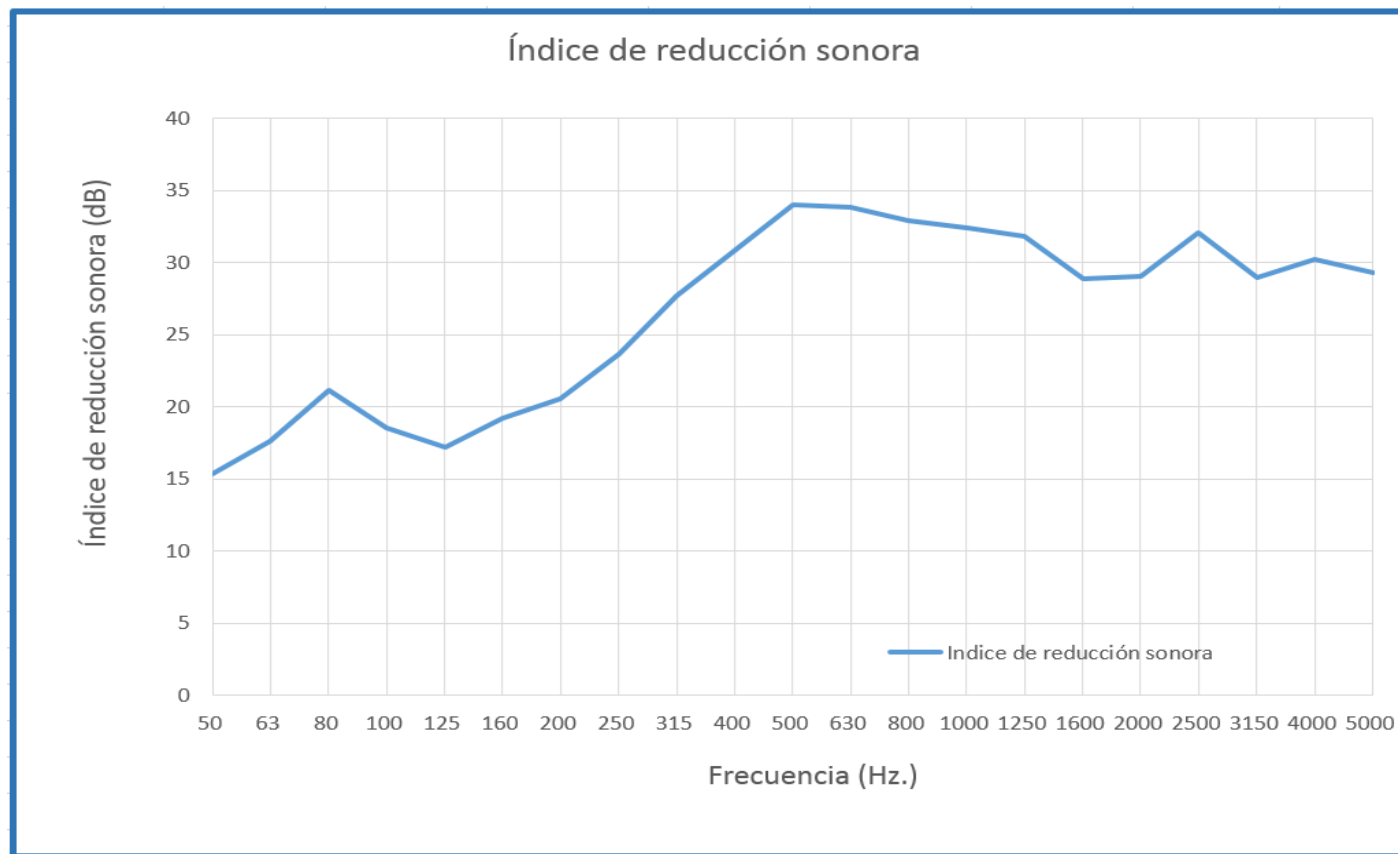
$$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}$$

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

Banda (Hz.)	Espectro normalizado de ruido de tráfico UNE-EN 1793-3	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i} \cdot 10^{-0,1 R_i}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}$	Índice de evaluación del aislamiento acústico (ruido de tráfico) $DLR = -10 \log \left(\frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i} \cdot 10^{-0,1 R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}} \right)$
50 Hz.				28 dB
63 Hz.				
80 Hz.				
100 Hz.	-20 dB	0,00014	0,01000	Pertenece a la categoría B3 (25 ≤ DLR ≤ 34)
125 Hz.	-20 dB	0,00019	0,01000	
160 Hz.	-18 dB	0,00019	0,01585	
200 Hz.	-16 dB	0,00022	0,02512	
250 Hz.	-15 dB	0,00014	0,03162	
315 Hz.	-14 dB	0,00007	0,03981	
400 Hz.	-13 dB	0,00004	0,05012	
500 Hz.	-12 dB	0,00003	0,06310	
630 Hz.	-11 dB	0,00003	0,07943	
800 Hz.	-9 dB	0,00006	0,12589	
1000 Hz.	-8 dB	0,00009	0,15849	
1250 Hz.	-9 dB	0,00008	0,12589	
1600 Hz.	-10 dB	0,00013	0,10000	
2000 Hz.	-11 dB	0,00010	0,07943	
2500 Hz.	-13 dB	0,00003	0,05012	
3150 Hz.	-15 dB	0,00004	0,03162	
4000 Hz.	-16 dB	0,00002	0,02512	
5000 Hz.	-18 dB	0,00002	0,01585	
		0,00163	1,03747	



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 UNE-EN 1793-2 con el parámetro DL_R (número global) 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 (dB) de la i-ésima banda de tercio de octava del ruido normalizado que corresponda utilizar

Ri: Es el índice de reducción sonora (dB) 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 DL_R es la reducción energética global que produce la barrera del sonido.

Se utiliza un espectro de sonido normalizado y con ponderación A y el valor del índice se expresa en dB.

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

Categoría	DL_R , 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 m³, una superficie interior de 208 m², 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 α_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 α_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 α): 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_α): 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

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

Siendo:

α_{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_α son:

Tabla 3: Categorías de comportamiento de absorción sonora

Categoría	DL_α , en dB
A_0	No determinado
A_1	$DL_\alpha < 4$
A_2	4 a 7
A_3	8 a 11
A_4	12 a 15
A_5	$DL_\alpha > 15$

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

Banda	TR Sala con muestra (T2)	TR Sala vacía (T1)
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_{α} .
 - ¿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 dB (UNE-EN 1793-3)	Espectro normalizado de ruido ferroviario, en dB (UNE-EN 16272-3)
100 Hz.	-20 dB	-27 dB
125 Hz.	-20 dB	-25 dB
160 Hz.	-18 dB	-23 dB
200 Hz.	-16 dB	-21 dB
250 Hz.	-15 dB	-19 dB
315 Hz.	-14 dB	-17 dB
400 Hz.	-13 dB	-15 dB
500 Hz.	-12 dB	-13 dB
630 Hz.	-11 dB	-12 dB
800 Hz.	-9 dB	-11 dB
1000 Hz.	-8 dB	-10 dB
1250 Hz.	-9 dB	-9 dB
1600 Hz.	-10 dB	-9 dB
2000 Hz.	-11 dB	-9 dB
2500 Hz.	-13 dB	-9 dB
3150 Hz.	-15 dB	-10 dB
4000 Hz.	-16 dB	-13 dB
5000 Hz.	-18 dB	-17 dB

CALCULO DEL INDICE DE ABSORCION SONORA (FERROVIARIO)

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

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

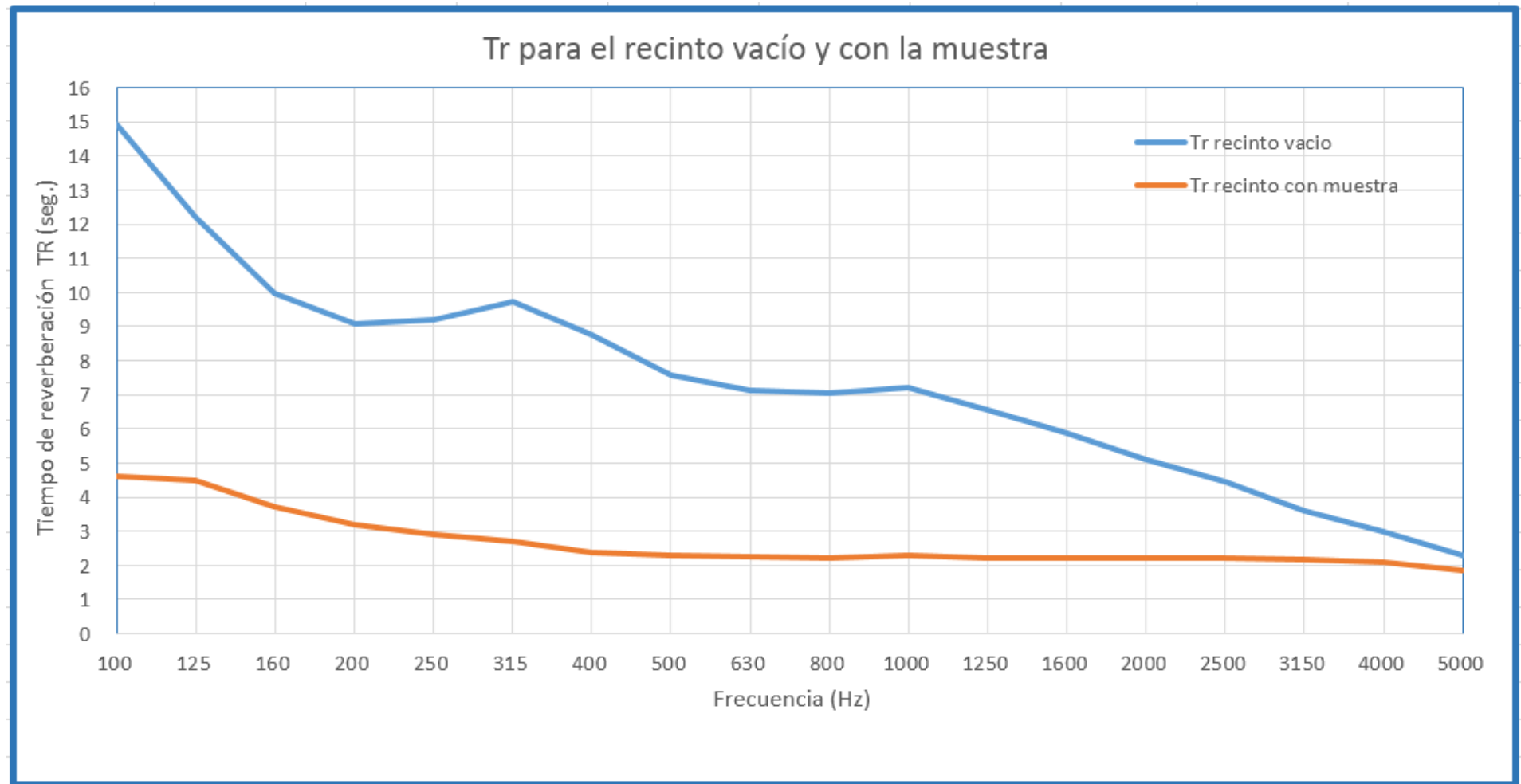
$$A = 55,3 / C \cdot (V \cdot (1/T_2 - 1/T_1))$$

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

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

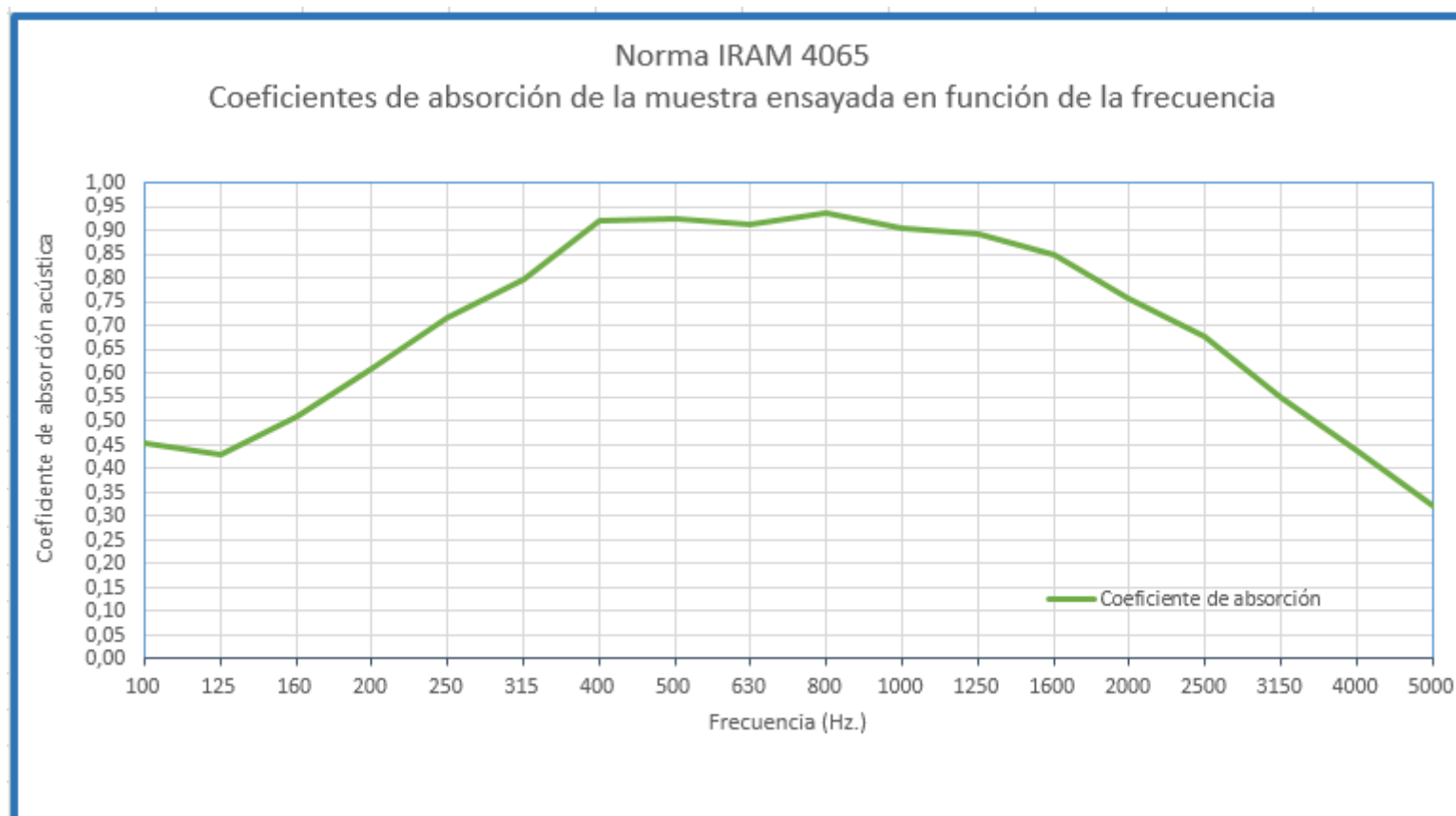
Banda (Hz.)	TR Sala con muestra (T2) seg.	TR Sala vacía (T1) seg.	Vel.Sonido C=331+0,6*t (m/seg.) 26,7 * C	Área equivalente de absorción A= 55,3/C* (V*(1/T2-1/T1))	Coefficiente de absorción $\alpha = A/S$ S= 10 m2	Espectro normalizado de ruido ferroviario UNE-EN 16272-3	$\sum_{i=1}^{18} \alpha s_i \cdot 10^{0,1 L_i}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}$	FERROVIARIO Índice de evaluación de la absorción sonora $DL\alpha = -10 \log \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha s_i 10^{0,1 L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 L_i}} \right)$
100 Hz.	4,60 seg.	14,92 seg.	347 m/seg	4,53 m2	0,45	-27 dB	0,00090	0,00200	7 dB
125 Hz.	4,47 seg.	12,22 seg.	347 m/seg	4,27 m2	0,43	-25 dB	0,00135	0,00316	Pertenece a la categoría A2 (DLα 4-7)
160 Hz.	3,71 seg.	9,97 seg.	347 m/seg	5,10 m2	0,51	-23 dB	0,00255	0,00501	
200 Hz.	3,20 seg.	9,08 seg.	347 m/seg	6,10 m2	0,61	-21 dB	0,00484	0,00794	
250 Hz.	2,89 seg.	9,19 seg.	347 m/seg	7,14 m2	0,71	-19 dB	0,00899	0,01259	
315 Hz.	2,72 seg.	9,74 seg.	347 m/seg	7,98 m2	0,80	-17 dB	0,01592	0,01995	
400 Hz.	2,38 seg.	8,74 seg.	347 m/seg	9,21 m2	0,92	-15 dB	0,02912	0,03162	
500 Hz.	2,28 seg.	7,59 seg.	347 m/seg	9,24 m2	0,92	-13 dB	0,04632	0,05012	
630 Hz.	2,26 seg.	7,15 seg.	347 m/seg	9,11 m2	0,91	-12 dB	0,05751	0,06310	
800 Hz.	2,21 seg.	7,03 seg.	347 m/seg	9,34 m2	0,93	-11 dB	0,07422	0,07943	
1000 Hz.	2,28 seg.	7,21 seg.	347 m/seg	9,03 m2	0,90	-10 dB	0,09033	0,10000	
1250 Hz.	2,23 seg.	6,58 seg.	347 m/seg	8,93 m2	0,89	-9 dB	0,11241	0,12589	
1600 Hz.	2,21 seg.	5,87 seg.	347 m/seg	8,50 m2	0,85	-9 dB	0,10698	0,12589	
2000 Hz.	2,23 seg.	5,08 seg.	347 m/seg	7,58 m2	0,76	-9 dB	0,09539	0,12589	
2500 Hz.	2,22 seg.	4,44 seg.	347 m/seg	6,78 m2	0,68	-9 dB	0,08540	0,12589	
3150 Hz.	2,17 seg.	3,59 seg.	347 m/seg	5,49 m2	0,55	-10 dB	0,05490	0,10000	
4000 Hz.	2,08 seg.	2,98 seg.	347 m/seg	4,37 m2	0,44	-13 dB	0,02192	0,05012	
5000 Hz.	1,84 seg.	2,29 seg.	347 m/seg	3,22 m2	0,32	-17 dB	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	$\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} \cdot 10^{0,1Li}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li}$	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.	-20 dB	0,00453	0,01000	7 dB Pertenece a la categoría A2 (DLα 4-7)
125 Hz.	-20 dB	0,00427	0,01000	
160 Hz.	-18 dB	0,00808	0,01585	
200 Hz.	-16 dB	0,01531	0,02512	
250 Hz.	-15 dB	0,02259	0,03162	
315 Hz.	-14 dB	0,03177	0,03981	
400 Hz.	-13 dB	0,04615	0,05012	
500 Hz.	-12 dB	0,05831	0,06310	
630 Hz.	-11 dB	0,07240	0,07943	
800 Hz.	-9 dB	0,11763	0,12589	
1000 Hz.	-8 dB	0,14316	0,15849	
1250 Hz.	-9 dB	0,11241	0,12589	
1600 Hz.	-10 dB	0,08497	0,10000	
2000 Hz.	-11 dB	0,06019	0,07943	
2500 Hz.	-13 dB	0,03400	0,05012	
3150 Hz.	-15 dB	0,01736	0,03162	
4000 Hz.	-16 dB	0,01098	0,02512	
5000 Hz.	-18 dB	0,00510	0,01585	
		0,84922	1,03747	

Índice de Evaluación de la Absorción sonora

La normativa UNE-EN 1793-2 referente a las barreras acústicas caracteriza la absorción acústica de un material con el parámetro $DL\alpha$ (número global), que representa al número de dB 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 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 dB
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. Luego $DL\alpha$ representa el nivel global de energía absorbida.

α_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 dB, 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 aislamiento acústico pero no cumplen con el índice de evaluación de absorción. Si se los utilizara, cumplirían con el objetivo de aislamiento acústico 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.

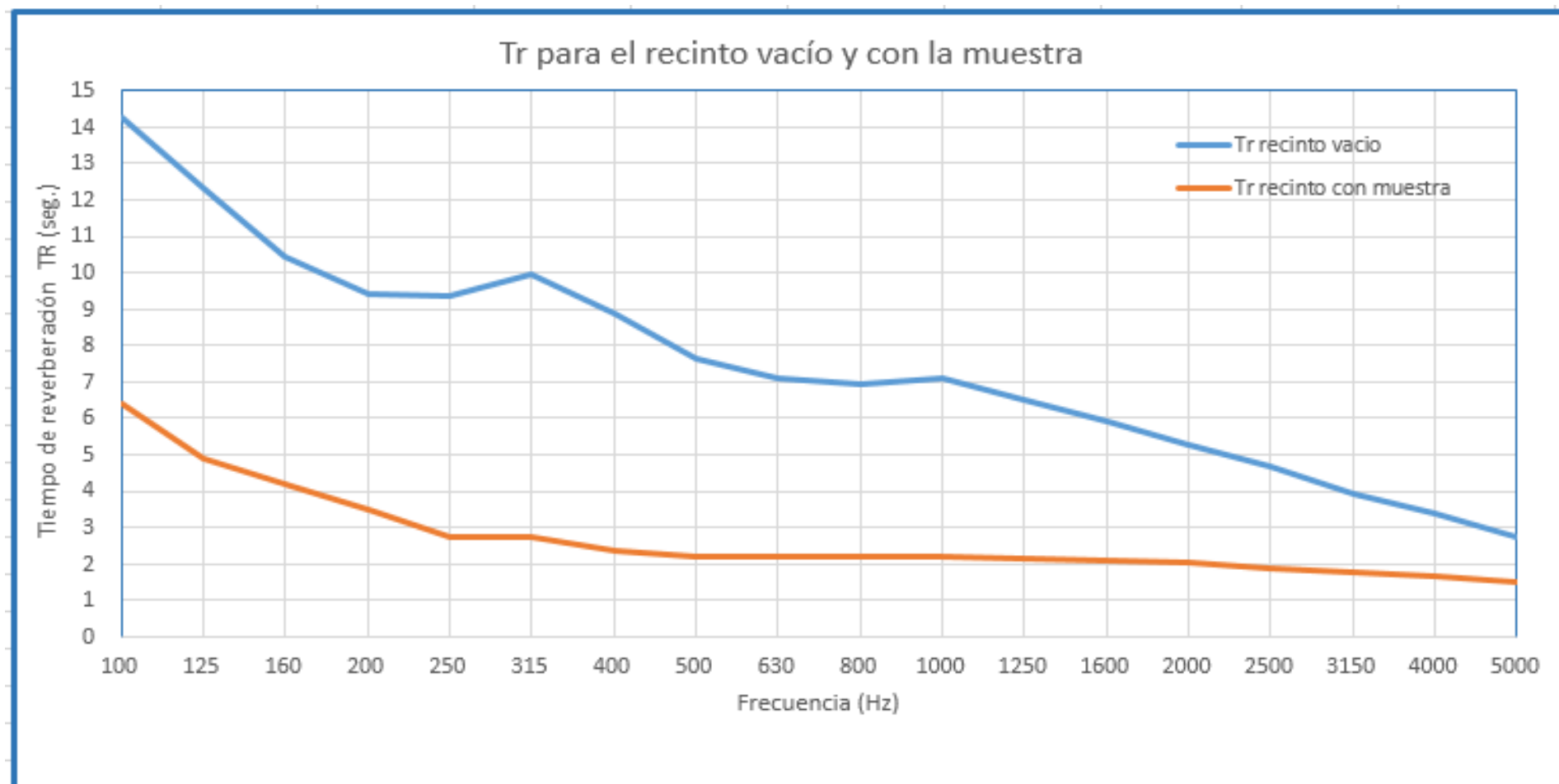
3.3 Si bien los espectros de ruido ferroviario tienen mayor contenido de altas frecuencias que los espectros de tráfico automotor, las barreras ensayadas son útiles también en el aislamiento de ruido en autopistas. En ambos casos el DLR tiene Categoría B3 (cumple requerimiento).

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.

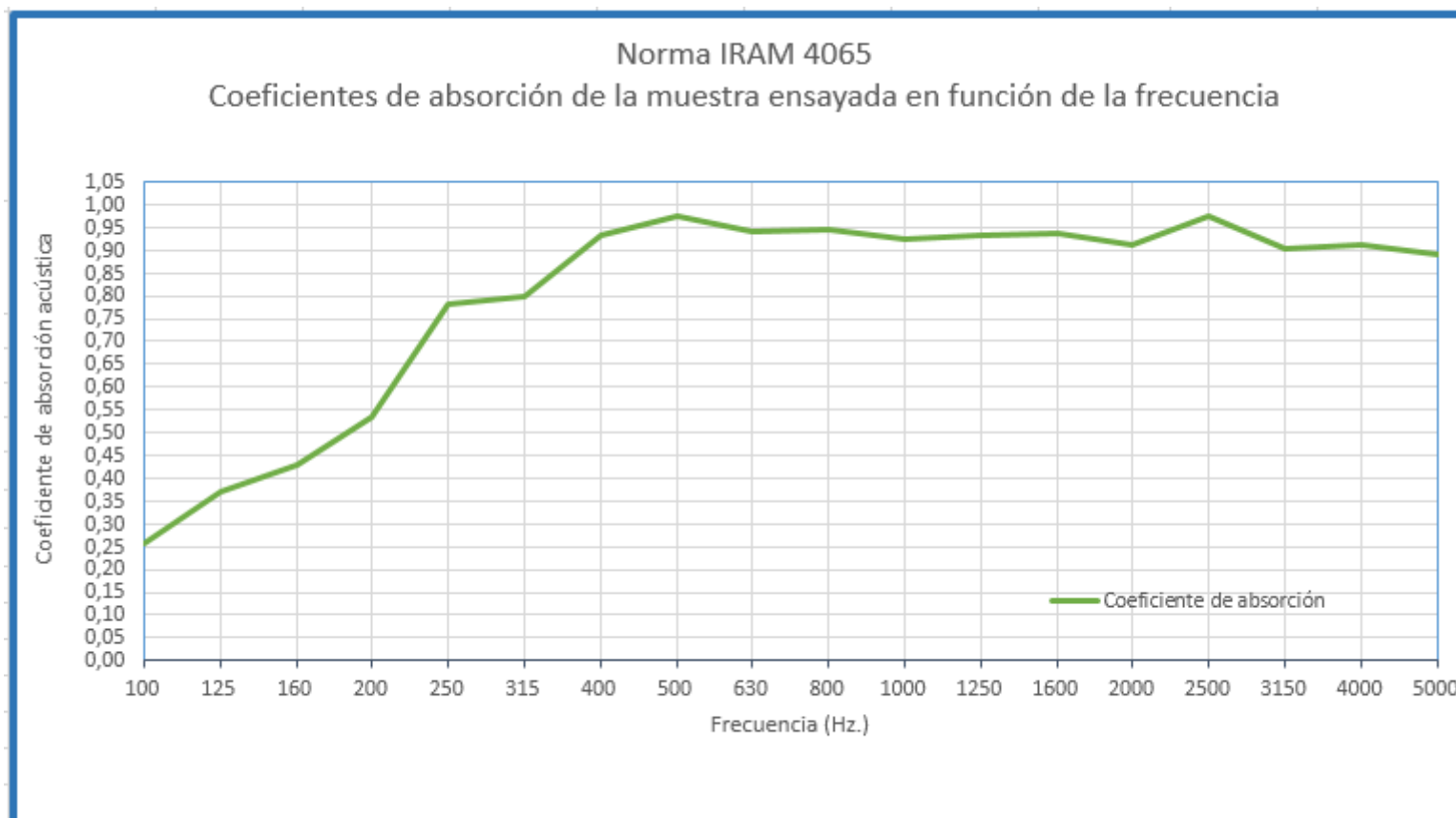
FERROVIARIO									
Banda (Hz.)	TR Sala con muestra (T2) seg.	TR Sala vacía (T1) seg.	Vel.Sonido C=331+0,6*t (m/seg.) 26,7 * C	Área equivalente de absorción A= 55,3/C* (V*(1/T2-1/T1))	Coefficiente de absorción α = A/S S= 10 m2	Espectro normalizado de ruido ferroviario UNE-EN 16272-3	$\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} \cdot 10^{0,1Li}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li}$	Índice de evaluación de la absorción sonora $DL\alpha = -10 \log \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} 10^{0,1 Li}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 Li}} \right)$
100 Hz.	6,42 seg.	14,27 seg.	347 m/seg	2,58 m2	0,26	-27 dB	0,00051	0,00200	11 dB
125 Hz.	4,91 seg.	12,32 seg.	347 m/seg	3,69 m2	0,37	-25 dB	0,00117	0,00316	
160 Hz.	4,19 seg.	10,43 seg.	347 m/seg	4,30 m2	0,43	-23 dB	0,00216	0,00501	Pertenece a la categoría A3 (DLα 8-11)
200 Hz.	3,52 seg.	9,41 seg.	347 m/seg	5,36 m2	0,54	-21 dB	0,00425	0,00794	
250 Hz.	2,73 seg.	9,34 seg.	347 m/seg	7,81 m2	0,78	-19 dB	0,00983	0,01259	
315 Hz.	2,73 seg.	9,94 seg.	347 m/seg	8,00 m2	0,80	-17 dB	0,01597	0,01995	
400 Hz.	2,37 seg.	8,89 seg.	347 m/seg	9,32 m2	0,93	-15 dB	0,02947	0,03162	
500 Hz.	2,20 seg.	7,64 seg.	347 m/seg	9,75 m2	0,97	-13 dB	0,04886	0,05012	
630 Hz.	2,21 seg.	7,12 seg.	347 m/seg	9,40 m2	0,94	-12 dB	0,05930	0,06310	
800 Hz.	2,18 seg.	6,93 seg.	347 m/seg	9,47 m2	0,95	-11 dB	0,07522	0,07943	
1000 Hz.	2,23 seg.	7,09 seg.	347 m/seg	9,26 m2	0,93	-10 dB	0,09258	0,10000	
1250 Hz.	2,16 seg.	6,51 seg.	347 m/seg	9,32 m2	0,93	-9 dB	0,11730	0,12589	
1600 Hz.	2,08 seg.	5,91 seg.	347 m/seg	9,38 m2	0,94	-9 dB	0,11814	0,12589	
2000 Hz.	2,03 seg.	5,25 seg.	347 m/seg	9,10 m2	0,91	-9 dB	0,11456	0,12589	
2500 Hz.	1,86 seg.	4,67 seg.	347 m/seg	9,74 m2	0,97	-9 dB	0,12266	0,12589	
3150 Hz.	1,80 seg.	3,92 seg.	347 m/seg	9,05 m2	0,90	-10 dB	0,09049	0,10000	
4000 Hz.	1,67 seg.	3,38 seg.	347 m/seg	9,12 m2	0,91	-13 dB	0,04573	0,05012	
5000 Hz.	1,52 seg.	2,76 seg.	347 m/seg	8,90 m2	0,89	-17 dB	0,01776	0,01995	
							0,9660	1,0486	

TIEMPO DE REVERBERACION CON Y SIN MUESTRA



COEFICIENTE DE ABSORCION EN FUNCION DE LA FRECUENCIA

Banda (Hz.)	Coefficiente de absorción
100 Hz.	0,26
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	$\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} \cdot 10^{0,1Li}$	$\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1Li}$	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.	-20 dB	0,00258	0,01000	10 dB Pertenece a la categoría A3 (DLα 8-11)
125 Hz.	-20 dB	0,00369	0,01000	
160 Hz.	-18 dB	0,00682	0,01585	
200 Hz.	-16 dB	0,01345	0,02512	
250 Hz.	-15 dB	0,02469	0,03162	
315 Hz.	-14 dB	0,03186	0,03981	
400 Hz.	-13 dB	0,04671	0,05012	
500 Hz.	-12 dB	0,06151	0,06310	
630 Hz.	-11 dB	0,07465	0,07943	
800 Hz.	-9 dB	0,11922	0,12589	
1000 Hz.	-8 dB	0,14673	0,15849	
1250 Hz.	-9 dB	0,11730	0,12589	
1600 Hz.	-10 dB	0,09384	0,10000	
2000 Hz.	-11 dB	0,07228	0,07943	
2500 Hz.	-13 dB	0,04883	0,05012	
3150 Hz.	-15 dB	0,02862	0,03162	
4000 Hz.	-16 dB	0,02292	0,02512	
5000 Hz.	-18 dB	0,01411	0,01585	
		0,92980	1,03747	

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 dB) 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 y de aislamiento 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