

8. RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados numéricos obtenidos de los diferentes ensayos realizados a lo largo del proyecto.

En primer lugar se detallarán los resultados obtenidos del ensayo de aislamiento medido mediante presión. Siguiendo las directrices de la norma ISO-140-4. A continuación, se compararán estos resultados con los obtenidos realizando el mismo ensayo mediante intensimetría siguiendo las directrices de la norma ISO-15186.

Tras ello, se realizarán varios ensayos de aislamiento mediante intensimetría variando diferentes parámetros como la densidad y la distancia de barrido, el ruido de fondo... De esta forma, se evaluará la influencia de dichos parámetros en los resultados de las diferentes medidas de intensidad.

Las habitaciones receptora y emisora se muestran a continuación en las siguientes fotos:



Imagen 2. Sala receptora

La sala receptora, utilizada en el laboratorio como sala de café, presentaba una mesa en el centro con 4 sillas y una otra mesa detrás con algunos utensilios de cocina.

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro



Imagen 3. Sala emisora

El pasillo del laboratorio de mecánico fue utilizado como sala emisora del ensayo, situándose la fuente sonora en el centro de la pared y a una distancia aproximada de 40 cm. El pasillo presenta unos 6 m de largo hasta la puerta de entrada aproximadamente. La dificultad de medir el tiempo de reverberación en una sala de dichas características obligó a elegirla como sala emisora en vez de como receptora. No obstante, en un ensayo se probó a intercambiar las salas para evaluar y comparar los diferentes resultados.

La pared que separa ambas habitaciones, es decir, la superficie de medición, está compuesta por tres superficies de aluminio y seis de vidrio, como puede apreciarse en la imagen 3. La presencia de diferentes materiales en la muestra de ensayo nos ayudará a la hora de evaluar sus características en lo que a protección del sonido se refiere, y a su vez, proporcionará facilidades para medir la intensidad en diferentes zonas de la superficie de medición.

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

8.1 ENSAYO DE AISLAMIENTO MEDIANTE MEDIDAS DE PRESIÓN

En este ensayo se calculó el coeficiente de aislamiento, R, el aislamiento bruto, D y el tiempo de reverberación de la habitación receptora. Las ecuaciones utilizadas descritas en el apartado número cinco de procedimientos de medida fueron la 44 para restar el ruido de fondo, la 45 para el tiempo de reverberación y la 32 y la 33 para los coeficientes R y D. Los cálculos descritos en el apartado anterior fueron desarrollados por el software dBATI.

Los datos geométricos de la habitación sometida a ensayo (la sala receptora), necesarios para los cálculos son:

V (volumen de la sala) = 16 m³

Sp (superficie de la pared) = 6 m²

Tras realizar el ensayo, los datos proporcionados por el software (ruido de fondo, espectro de emisión y espectro de recepción) se presentan en la siguiente tabla:

f(HZ)	Lp1	Lp2	L2_fondo
125	76,7	67,6	33,2
160	77,6	64,8	32,4
200	81,5	65,1	50,6
250	81,7	65,4	52,9
315	79,1	65,1	41
400	79	63,2	34,7
500	76,6	59,6	34,7
630	75,2	58,8	31,5
800	73,9	56,2	33,2
1000	73,1	53,4	30,7
1250	70,6	53,1	30,5
1600	72,2	55,2	29,6
2000	70,9	54,8	28,3
2500	70	53,4	26
3150	68	51,9	24,2
4000	65,4	48,4	21,9

Tabla 4. Datos del ensayo de aislamiento con medidas de presión.

La ISO 140-4 exige que haya una diferencia entre el ruido de fondo y el recibido como mínimo de 10 dB, los datos de la tabla 4 corroboran dicho hecho, ya que la diferencia entre Lp2 y Lp2_fondo es mucho mayor de 10 dB. Puede observarse también, que a bajas frecuencias (200 y 250 Hz) el ruido de fondo tiene valores similares al ruido recibido, hecho por el cual, el programa no te permite calcular los coeficientes espectrales y el valor del aislamiento global. No obstante este último se calculará manualmente a continuación.

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

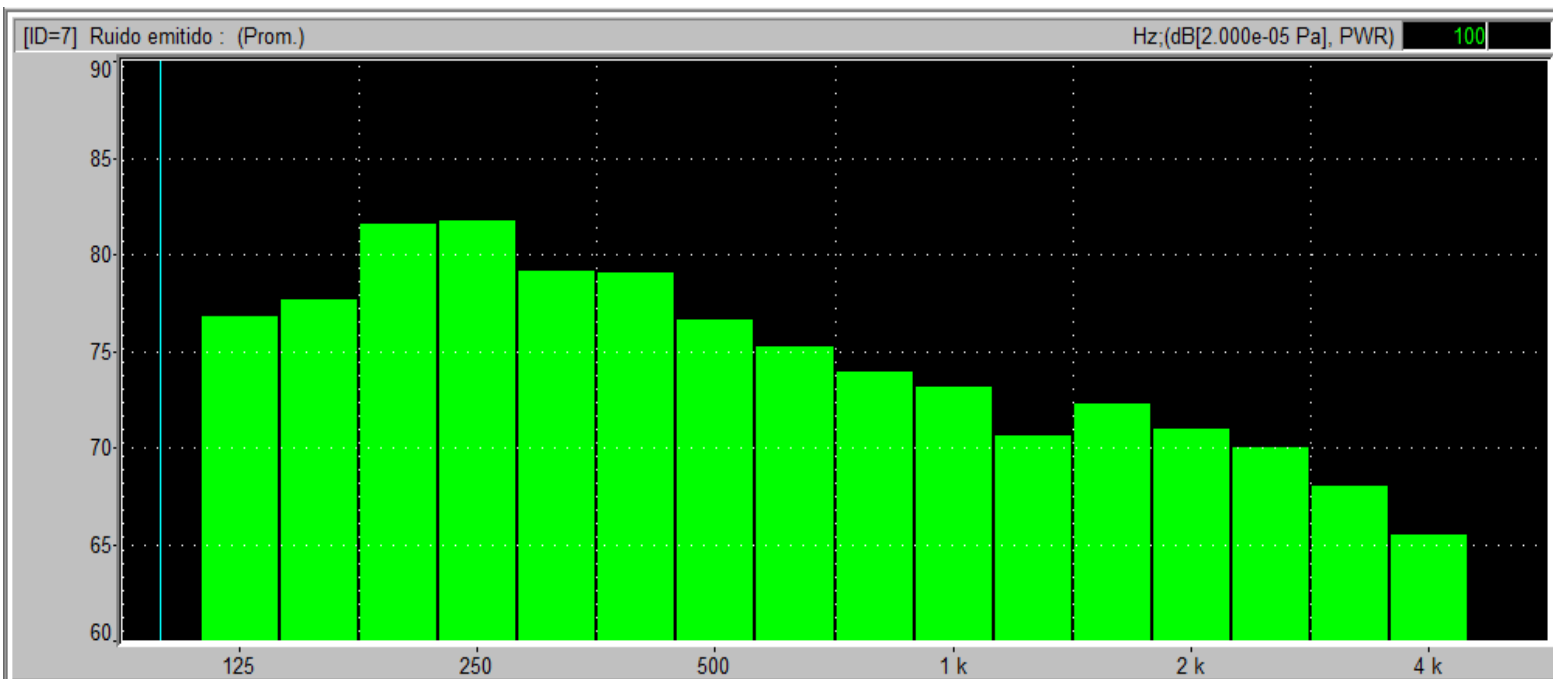


Figura 40. Espectro de emisión del ensayo de presión

Se comprueba también a continuación, como exige la norma que en la sala emisora no puede haber una diferencia mayor de 6 dB entre bandas contiguas. Esta condición puede apreciarse en el espectro de emisión obtenido:

Como se observa en la figura 36, la mayor diferencia se encuentra entre la banda de 160 y entre la de 200 Hz. Según los datos de la tabla número 4 la diferencia sería de unos 3,9 dB, por lo tanto seguiríamos cumpliendo los límites impuestos por la norma.

Los parámetros calculados se presentan en la siguiente tabla para diferentes bandas de frecuencia:

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

f(HZ)	trev	D	R
125	0,7	9,2	9,4
160	0,49	12,7	15,5
200	0,52	16,4	16,5
250	0,47	16,3	17,9
315	0,61	14,1	15,3
400	0,46	15,8	15,9
500	0,62	17	17,9
630	0,43	16,4	17,4
800	0,5	17,7	19,5
1000	0,49	19,8	20,4
1250	0,41	17,5	18,7
1600	0,4	17	17,6
2000	0,41	16,1	17
2500	0,41	16,5	17,4
3150	0,43	16,1	16,8
4000	0,42	17	17,6

Tabla 5. Resultados del ensayo de aislamiento con medidas de presión.

Cabe destacar en la tabla anterior, el alto valor del tiempo de reverberación en la banda de 125 Hz. Para comprobar que no haya habido ningún fallo al realizar la medida, se observan las caídas graficadas por el programa en la siguiente figura:

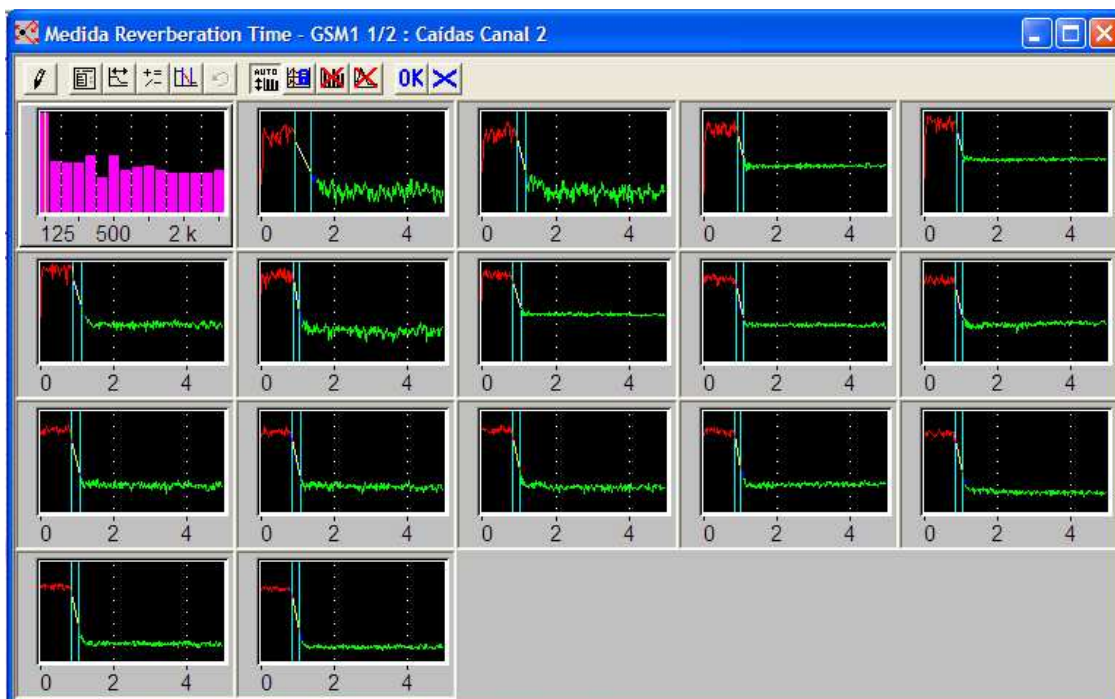


Figura 41. Caídas del tiempo de reverberación

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

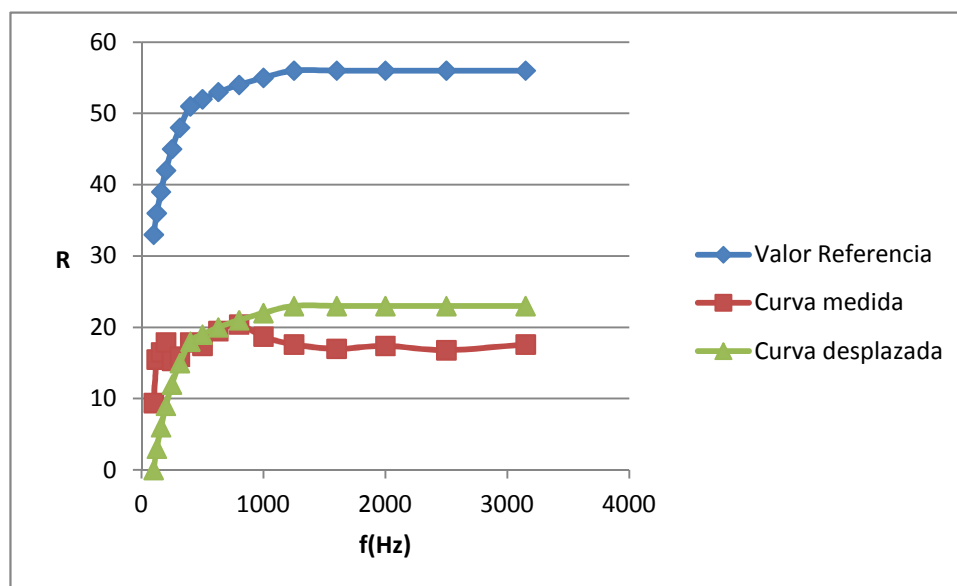
Puede observarse, pues, que las rectas de aproximación a las gráficas, tomadas por el programa, para todas las bandas de frecuencia son adecuadas, por lo que se toma como válidos los valores anteriores del tiempo de reverberación.

Seguidamente, se calcula el valor del área de absorción media (A_2) con la ecuación 28 del tiempo de reverberación. El valor del tiempo sería el reflejado en la tabla 5 a 1000 Hz de frecuencia. Con este valor y el del volumen de la habitación, se obtiene el resultado de área A_2 que sería:

$$A_2 = 5,12 \text{ m}^2$$

Por último ya se calcula el valor del aislamiento global (R_w). Para ello se realiza lo comentado en el apartado anterior de desplazar la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible, pero no mayor de 32 dB.

Realizando dicho cálculo, se obtiene que desplazando la curva de referencia 33 dB, la curva obtenida es la deseada. Se representan pues, en la siguiente gráfica el resultado:

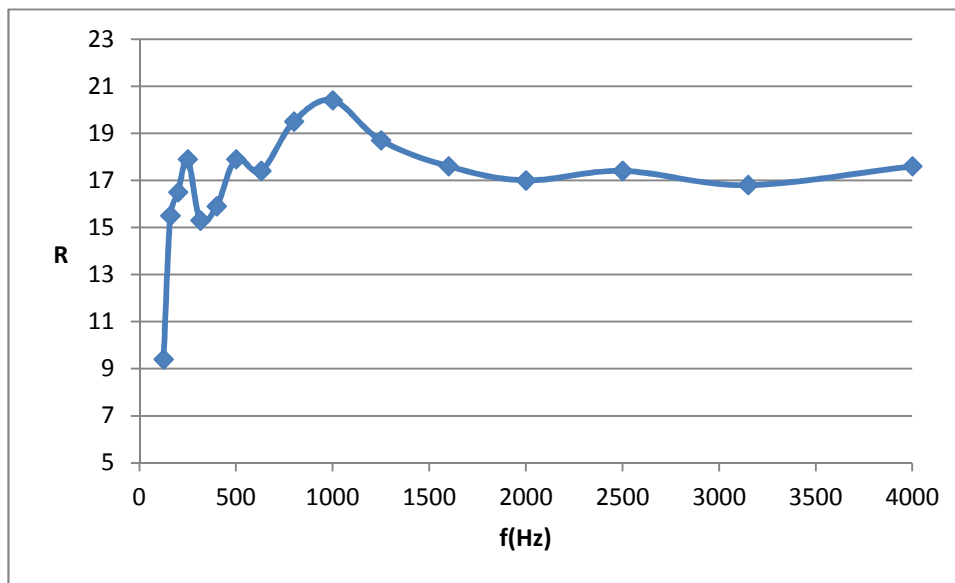


Gráfica 1. Cálculos del ensayo de presión

De tal forma, que se concluye con que el valor del aislamiento global, el valor de la curva de referencia a 500 Hz, sería de 19 dBA.

8.1.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para evaluar y analizar el resultado obtenido, se ha querido comparar la curva obtenida con la curva ideal según la ley de masas (figura 9) explicada en el primer apartado de teoría del proyecto. En la siguiente gráfica se representan los coeficientes de aislamiento del ensayo de presión por cada banda de frecuencia:



Gráfica 2. Gráfica del coeficiente de aislamiento del ensayo de presión

A simple vista, puede observarse la zona 1 (hasta 500 Hz) que describe la ley de masas, donde la pared de comporta como un muelle o placa vibrante. El aislamiento decae con la frecuencia y se ve afectado por las frecuencias propias o de resonancia. A continuación nos encontramos con la zona 2 (hasta 1000 Hz) en la cual, se cumple la ley de masas y la pared se comporta como una gran cantidad de pequeñas masas deslizando unas sobre otras. A partir de 1000 Hz parece que comienza la zona 3 ya que el aislamiento vuelve a decaer y la pared vuelve a comportarse como un resorte.

8.2 ENSAYOS DE AISLAMIENTO MEDIANTE MEDIDAS DE INTENSIDAD

8.2.1 ENSAYOS DE AISLAMIENTO EN LA PARED

Primeramente se realizaron varios ensayos por intensimetría variando diferentes parámetros de medida, para determinar la influencia de cada uno de ellos, así como comparar unos con otros y con el de presión realizado anteriormente. Para ello, se dividió la superficie de medida en 9 sub-áreas y se midió en las 6 inferiores numeradas en color rojo según la figura siguiente:

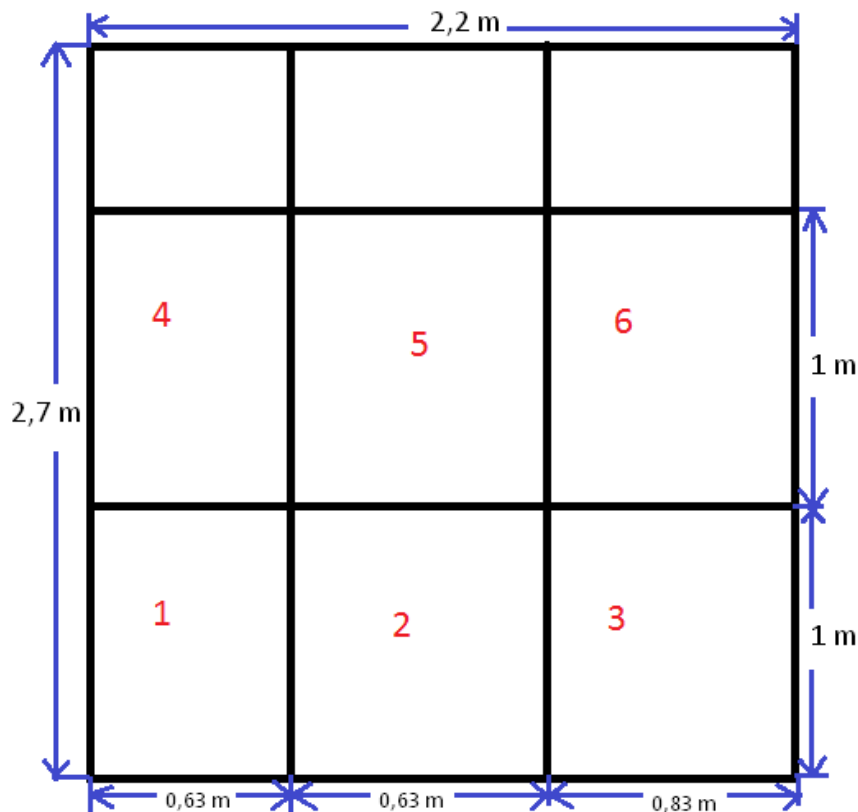


Figura 41. Sub-áreas de medición de la pared sometida a ensayo.

Si se observa la imagen 3 de la pared de medición, se observa que las sub-áreas 1, 2 y 3 son de aluminio y el resto son de vidrio.

En el primer ensayo realizado se midió en las 9 sub-áreas representadas en la figura 41, al obtenerse un resultado similar al medir sólo 6, el resto de ensayos se realizaron sólo con las 6 sub-áreas inferiores para simplificar la realización de los ensayos.

En dicha figura, también pueden apreciarse las diferentes longitudes de cada una de las sub-áreas. Las características de cada ensayo se describirán a continuación.

- Ensayo 1. Fue el ensayo adoptado inicialmente como base para comparar el resto de ensayos. Se realizó por barrido a una distancia de medida de la pared de 15 cm, realizando dos barridos (uno horizontal y otro vertical) en cada una de las 6 sub-áreas de medición.

-Ensayo 2. Este ensayo se realizó por puntos, midiendo en dos puntos diferentes en cada sub-área de medición. Los puntos se situaron en el centro de cada sub-área y se midió a una distancia media de 30 cm de la pared.

-Ensayo 3. Se midió, a diferencia del resto de ensayos en las 9-sub-áreas de medición por barrido y a una distancia de 30 cm de la superficie.

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

- Ensayo 4. Este ensayo se realizó de forma similar el número 1 pero esta vez, se duplicó la distancia de medición a la pared de medida.

-Ensayo 5. Para este ensayo, se intercambiaron las habitaciones de medida, de tal forma que la habitación emisora fue la sala de café y la receptora el pasillo. Se midió la intensidad en la pared de medida, pero en el lado opuesto a los ensayos anteriores. La distancia de medición fue de 30 cm y se midió por barrido al igual que en el ensayo 1.

-Ensayo 6. Para el último de estos ensayos, se duplicó la densidad de barrido, de tal forma, que se dividió cada una de las sub-áreas de medición en 2 y se midió por barrido en cada una de estas 12 nuevas sub-áreas. Al igual que en el ensayo 1 se realizaron dos barridos por cada una de las ahora 12 nuevas sub-áreas y la distancia de medición se mantuvo en 30 cm.

En la siguiente tabla se resumen los ensayos comentados anteriormente según los diferentes parámetros de medición de cada uno de ellos:

ENSAYO	MEDICIÓN	DISTANCIA DE MEDICIÓN (cm)	SUB-ÁREAS DE MEDICIÓN	HABITACIÓN EMISORA	HABITACIÓN RECEPTORA
1	BARRIDO	15	6	1	2
2	PUNTOS	30	6	1	2
3	BARRIDO	30	9	1	2
4	BARRIDO	30	6	1	2
5	BARRIDO	30	6	2	1
6	BARRIDO	30	12	1	2

Tabla 6. Parámetros de medición de los ensayos de aislamiento por intensimetría.

Se midieron los valores de presión e intensidad para cada una de las bandas en la habitación receptora y los de presión en la emisora. Al realizarse tantas mediciones en cada uno de los ensayos, se obtuvo una cantidad visceral de dato que no era viable presentar en el presente proyecto. Por ello se presentan a continuación los obtenidos únicamente en el ensayo 1 para ejemplificar el proceso. En la siguiente tabla se presentan los L_p y los L_i de la habitación emisora y los L_p de la receptora, así como los valores medios:

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

f(Hz)	Li1	Li2	Li3	Li4	Li5	Li6	Li7	Li8	Li9	Li10	Li11	Li12	Lin
125	58,9	52,1	60,3	59,4	58,4	60,1	33,9	47,4	51,5	52,2	-40	-51,8	57,62
160	52	55,8	60,8	60,5	60,8	63,6	58,3	55,6	56,9	55,1	62,2	61,6	61,49
200	58,2	60,6	59,8	58,9	57,6	61,5	60	59,6	54	54,5	60,3	61	60,88
250	59,1	59	60,3	60,6	57,3	59,2	60	59,2	54,9	54,5	60,1	59,6	60,47
315	58,1	59,3	56,7	56,5	57,1	59,4	43,7	51,9	55,7	55,5	53	51,4	57,68
400	56,2	56,3	55,2	56,7	54,7	57,1	48,8	51,4	48,4	-43,7	55,2	55,4	56,10
500	49,5	50,5	52,1	51,1	51,5	54,1	51	50	52,7	51,4	50,5	51,1	52,96
630	49,2	47,9	50	50,5	51,2	53,1	49,5	49	46,3	46,1	51,3	50,3	51,58
800	45,6	44,9	47,5	49	47,8	51	44,5	45,1	41,7	45,5	45,8	47,1	48,52
1000	36,9	34,6	41	43,2	45,2	48,3	39,3	40,9	43,3	38,7	45,5	46	45,30
1250	36,2	39,4	41,2	40,4	42	46,2	33,3	31,8	37,2	38,6	47,4	47,6	44,64
1600	33	40,3	41,7	42	42,6	49,8	37,6	39	40,5	40,5	48,3	49	46,48
2000	39,9	32,2	39,1	35,7	41,9	50,3	29,6	37,8	40,1	41,2	43,5	45,4	44,84
2500	35,1	38	34,3	38,7	42,6	49,3	36,2	39,6	39,8	41,1	41,2	40,9	43,73
3150	35,9	37	39,2	39,8	42,4	47,2	36	36,4	38,1	39,2	40,2	39,9	42,48
4000	34,2	33,4	35,7	37,4	39,7	43,3	33,2	34,7	35,2	36,1	37	37,3	39,27
5000	33,6	34,5	34	34,8	38	41,3	31,5	32,1	32,7	31,9	34,4	34,3	37,23

Tabla 7. Valores de intensidad de la habitación emisora en el ensayo 1

f(Hz)	Lp1	Lp2	Lp3	Lp4	Lp5	Lp6	Lp7	Lp8	Lp9	Lp10	Lp11	Lp12	Lpn	Lp_hab_emisora
125	69	68	67	66,8	64,4	64,8	64,8	64,2	63,1	62,5	62,8	62,4	66,71	80,4
160	68	66	67	66,8	67,7	68,4	68,5	68,4	67,8	67,2	67	66,7	68,99	80
200	67	66	66	65,1	69,2	69,7	68,7	68,4	63,8	63,2	68,4	68,6	69,06	82
250	69	68	67	67	68,1	68,3	68,2	68,7	67,1	67,6	68,5	67,1	69,32	82,2
315	67	67	65	65,4	68	67,9	66,4	66	65,8	66,1	66,5	66,1	68,12	79,5
400	66	66	66	66,2	66,4	66,2	64,6	64,7	64,9	65,4	65,2	64,8	66,94	78
500	61	62	62	61,4	62,2	62,8	61,1	61,4	62	62	60,9	61,3	63,14	72,3
630	60	59	60	59,5	59,9	60,8	59,1	60,2	59,1	59,5	59,5	59,9	61,22	72,8
800	57	56	58	57,2	58,5	58,5	57,7	57,4	56,9	57,1	57	57,5	58,91	72,5
1000	54	54	55	55,1	56,7	56,5	54,9	54,9	54,8	54,5	55,8	55,8	56,81	72
1250	53	53	54	54	55	55,3	53,7	53,7	54,1	53,7	55,5	55,4	55,83	70,4
1600	56	56	56	56,3	57,9	58,3	55,9	56,1	56,6	56,7	57,7	57,9	58,43	72,9
2000	55	55	56	55,2	57	58	55,1	55,1	55,4	55,6	55,9	56	57,38	71,3
2500	54	54	55	54,8	56,4	57	54,4	54,3	54,5	54,6	54,7	54,7	56,51	70,5
3150	52	52	53	53	54,2	55	52,3	52,4	52,4	52,4	52,6	52,5	54,46	69,6
4000	49	49	50	49,5	50,4	51,3	48,5	48,6	48,8	48,8	49,1	48,9	50,88	67,2
5000	47	47	47	47,4	48,8	49,5	46,3	46,4	46,6	46,5	47,2	47,1	48,94	65,9

Tabla 8. Valores de presión de la habitación receptora y emisora en el ensayo 1

Los valores Lpt y Lit son los valores medios calculados con la ecuación 43 y Lp_hab_emisora corresponde a los valores de presión en la habitación emisora necesarios para el cálculo del coeficiente de aislamiento R.

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

La norma no especifica nada acerca de restar el ruido de fondo a las medidas, en caso contrario al ensayo de presión. Los L_{pn} y L_{in} son valores medios promediados tanto espacialmente como temporalmente calculados a partir de la ecuación 39:

$$L_{in} = 10 \log \left[\frac{1}{S_m} \sum_i^N S_{m,i} 10^{0,1L_{mi}} \right]$$

Para cada uno de los ensayos se evaluó el parámetro R de aislamiento para cada una de las bandas de frecuencia, al igual que en el ensayo anterior. Se siguieron los procedimientos de cálculos descritos en apartados anteriores. Con la ecuación 43 se calculó un valor medio de intensidad para cada una de las bandas en la sala receptora e introduciendo los valores de presión en la sala emisora en la ecuación 49 se obtuvieron los valores de los coeficientes R de aislamiento. Los resultados del parámetro R pueden observarse en la siguiente tabla:

f(Hz)	ENSAYO1	ENSAYO2	ENSAYO3	ENSAYO4	ENSAYO5	ENSAYO6
125	11,51	12,21	7,63	7,35	10,6	10,87
160	8,54	11,02	7,52	6,21	6,98	8,14
200	13,05	16,91	12,29	10,57	10,38	11,95
250	13,66	17,16	13,99	12,23	13,21	13
315	13,85	17,17	13,60	12,34	12,16	13,11
400	15,33	21,86	14,16	13,25	12,84	15,53
500	16,07	21,16	14,71	12,81	13,41	14,74
630	16,05	20,96	15,61	13,78	15,65	16
800	17,82	20,73	16,71	14,88	15,89	16,72
1000	20,23	21,52	17,64	15,73	16,62	18,94
1250	18,39	19,41	15,87	13,56	15,11	16,49
1600	18,15	21,2	15,42	13,42	15,43	16,99
2000	18,49	19,98	14,56	12,86	14,82	16,39
2500	18,7	22,88	14,62	12,87	14,71	16,4
3150	17,95	23,85	15,07	13,40	15,28	16,17
4000	18,56	23,82	16,67	14,61	16,13	17,55

Tabla 9. Coeficientes R de aislamiento de los ensayos por intensimetría.

A continuación, para evaluar si el entorno es satisfactorio, se calculó el indicador de presión-intensidad (F_{pin}) con la ecuación número 33, así como el valor del índice residual con los valores tabulados en la tabla 3, aplicando la corrección oportuna para el separador de 18 mm usado en los ensayos. Los valores de dicho coeficiente para cada banda de frecuencia resultaron los siguientes:

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

f(Hz)	δ_{pi0}
125	15,57
160	16,57
200	17,57
250	18,57
315	18,57
400	18,57
500	18,57
630	18,57
800	18,57
1000	18,57
1250	18,57
1600	18,57
2000	18,57
2500	18,57
3150	18,57
4000	18,57
5000	18,57

Tabla 10. Índices de intensidad-presión residual.

Una vez calculados estos índices, según las características de la sala, es necesario comprobar si se cumple la siguiente condición:

$$F_{piN} < \delta_{pi0} - 7 \text{ dB}$$

(Condición 1)

Los valores de los indicadores de presión-intensidad, se calculan con la ecuación 51, de tal forma que los resultados por cada ensayo fueron los siguientes:

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

f(Hz)	ENSAYO1	ENSAYO2	ENSAYO3	ENSAYO4	ENSAYO5	ENSAYO6
125	9,09	10,01	5,91	5,61	5,62	10,22
160	7,50	10,26	6,83	6,53	6,65	6,85
200	8,17	12,20	6,43	6,08	6,81	7,45
250	8,85	13,46	8,57	8,27	6,88	9,15
315	10,43	11,50	9,30	9,00	8,59	9,38
400	10,83	15,16	7,78	7,48	7,94	9,87
500	10,18	15,07	8,52	8,22	8,79	8,62
630	9,64	13,98	8,41	8,11	8,70	8,43
800	10,39	12,25	8,39	8,09	8,46	8,54
1000	11,51	12,28	8,14	8,02	7,79	9,47
1250	11,19	12,37	7,67	7,37	7,50	9,31
1600	11,95	14,22	7,97	7,67	7,97	9,85
2000	12,53	13,45	8,32	8,02	8,43	10,06
2500	12,77	16,09	8,53	7,97	8,61	10,08
3150	11,98	17,15	8,91	8,61	9,11	10,15
4000	11,60	16,08	9,12	8,72	9,08	10,14
5000	11,71	16,28	9,70	9,37	9,14	10,44

Tabla 11. Factores de presión-intensidad de los ensayos por intensimetría.

Se han representado en color rojo los valores que no cumplen la condición 1 y en verde los que sí la cumplen.

El factor de presión-intensidad proporciona una estimación de la calidad del entorno de medición, si la condición 1 vista con anterioridad no se cumple, a priori los resultados obtenidos en el ensayo no son fiables, por lo que no se pueden comparar con los de otros ensayos. Por tanto, a la vista de los datos de la tabla 11, parece lógico suponer que el ensayo 1 tomado como referencia, no ofrecerá buenos resultados, por lo que en lugar de ello, se ha tomado el ensayo número 4 con mayor distancia de medición, como ensayo de referencia.

Por último, antes de poder comparar los valores del coeficiente de aislamiento de los diferentes ensayos de intensidad con el obtenido por presión, será necesario aplicar la corrección de Waterhouse para bajas frecuencias.

Aplicando la ecuación 42, para los valores de la sala sometida a ensayo (volumen y superficie de medición) se obtuvieron los siguientes valores para las distintas bandas de frecuencia:

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

f(Hz)	Kc
50	0,00284912
63	0,00226136
80	0,00178092
100	0,0014248
125	0,00113987
160	0,00089055
200	0,00071246
250	0,00056997
315	0,00045237
400	0,00035624
500	0,000285
630	0,00022619
800	0,00017812
1000	0,0001425
1250	0,000114
1600	8,9063E-05
2000	7,1251E-05
2500	5,7001E-05
3150	4,5239E-05
4000	3,5626E-05
5000	2,85E-05

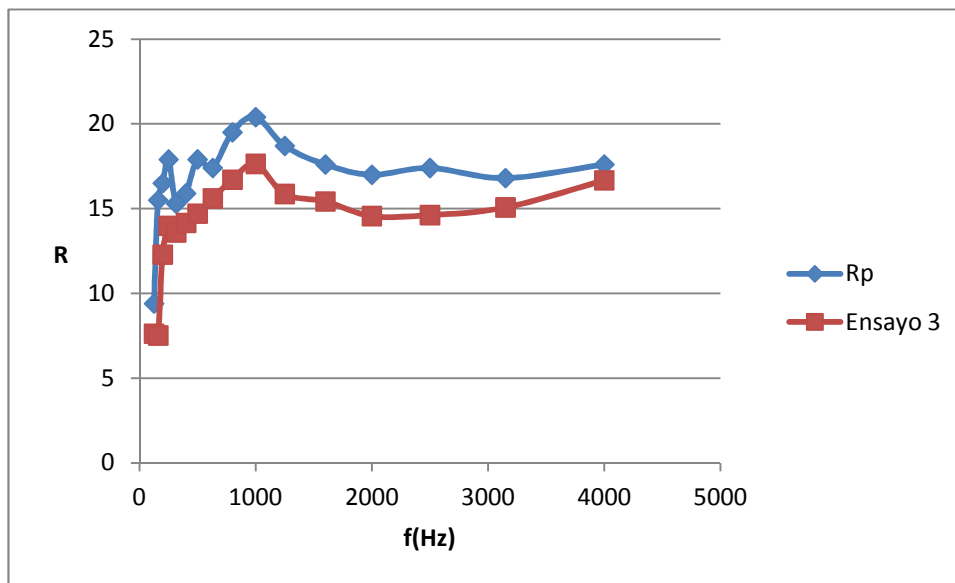
Tabla 12. Coeficientes de corrección de Waterhouse

Como puede observarse en la tabla, los valores de estos coeficientes tienen un valor muy bajo por lo que se despreciaron a la hora de realizar los cálculos.

8.2.1.1 Evaluación del método de medida.

Se compara previamente los resultados obtenidos con el ensayo de medidas de presión y el de medidas de intensidad del ensayo 3 (con las nueve sub-áreas de medición). En la siguiente gráfica pueden verse los valores del coeficiente de aislamiento de ambos métodos:

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro



Gráfica 3. Comparación de los resultados obtenidos por presión y por intensidad del ensayo 3

Donde:

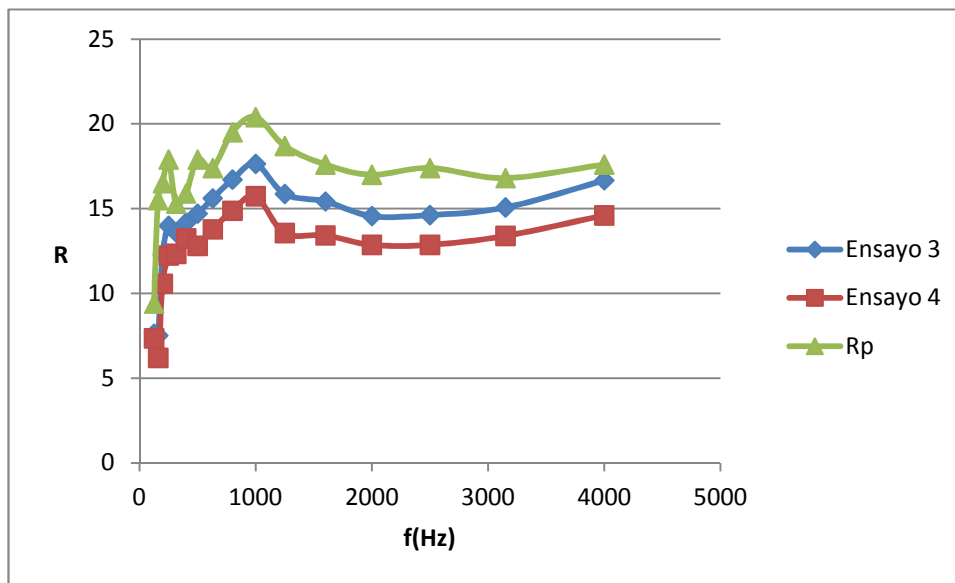
Rp: Coeficientes de aislamiento obtenidos mediante el método de presión.

A simple vista, según los datos obtenidos, puede afirmarse que los resultados de ambos métodos gozan de amplias similitudes.

Ambas curvas siguen una tendencia muy similar, salvo que la de presión se desplaza 2 dB aproximadamente por encima de la curva de intensidad.

8.2.1.2 Evaluación del número de sub-áreas medidas

Se comparan a continuación los ensayos 3 y 4 para comprobar que, como se afirmó con anterioridad, los resultados son similares y no es necesario medir en todas y cada una de las sub-áreas:

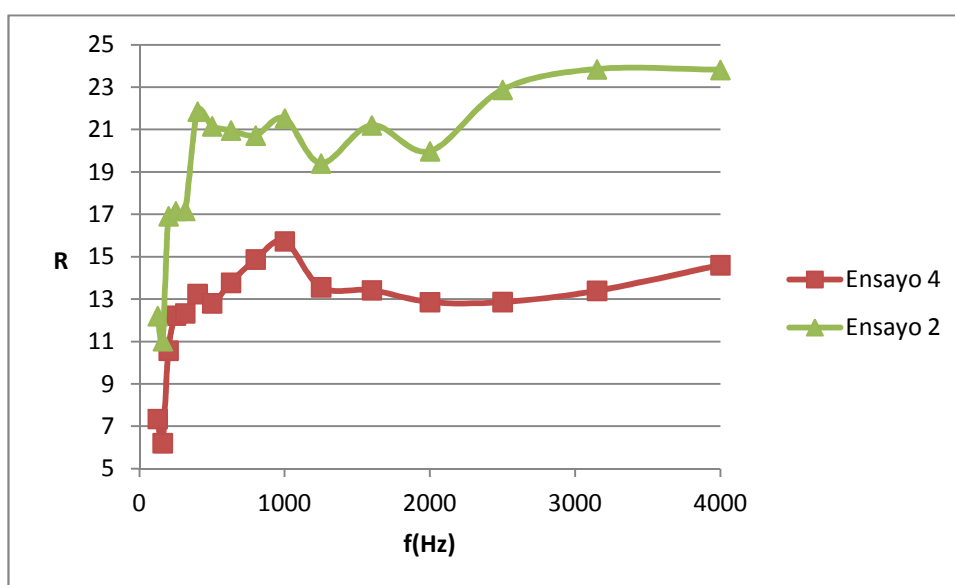


Gráfica 4. Comparación de los resultados obtenidos por presión y en los ensayos 3 y 4

Se observa claramente, que los ensayos 3 y 4 son muy similares, lo cual, se pareció también en los resultados numéricos de la tabla 9. Además si se comparan con el de presión, puede observarse como es lógico, que los valores del ensayo 3, al medir en la habitación completa son más parecidos a los de presión que los del ensayo 4. Ambos métodos, según la tabla 10, cumplen a la perfección la condición del factor presión-intensidad para todas y cada una de las bandas de frecuencia.

8.2.1.3 Evaluación del método de medida de intensidad

En la siguiente gráfica se comparan los ensayos 4 y 2. El primero realizado por barrido y el segundo por puntos, manteniendo estables otros parámetros como la densidad de barrido.



Gráfica 5. Comparación de los resultados obtenidos por medición por puntos y por barrido.

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

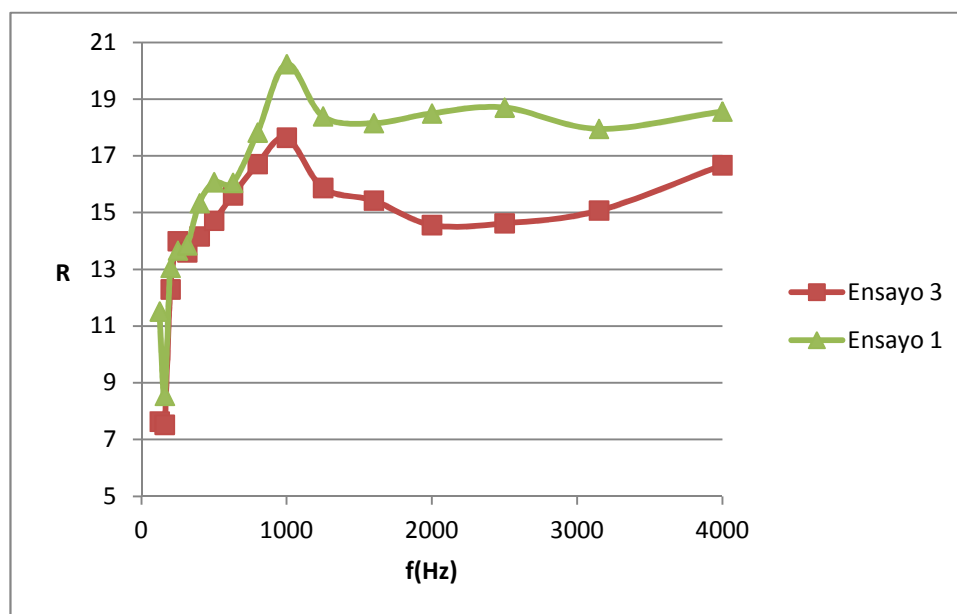
En general los resultados obtenidos por ambos métodos muestran pocas similitudes, las curvas apenas siguen una tendencia parecida. Refiriéndonos de nuevo a la tabla 11, está claro que el ensayo 2 posee muchos errores al no cumplirse la condición del factor presión-intensidad para casi ninguna de las bandas de tercios de octava. Sería necesario también mejorar el entorno acústico y la norma aconseja también mejorar el ensayo aumentando la discretización, es decir, tomando más puntos de medida.

En la bibliografía consultada también se comenta que la medición por puntos resulta complicada debido a una forma muy compleja del campo cercano a la superficie. Además, es muy fácil cometer errores por la persona que realiza el ensayo ya que se requiere la posición exacta de los micrófonos, siendo éstos muy sensibles a la distancia de medición.⁽¹²⁾

Los resultados del ensayo 4 parecen ser más fiables en este caso, al ser más similares a los del método de presión y cumplirse la condición del factor de presión-intensidad.

8.2.1.4 Evaluación de la distancia de medida

En este punto se presenta la comparación de los ensayos 1 y 4, los cuales, se realizaron de la misma forma, salvo porque en el número 4 se incrementó la distancia de medida a la pared.



Gráfica 6. Comparación de los resultados obtenidos al incrementar la distancia de barrido.

Según la gráfica, parece que ambas curvas siguen una tendencia muy similar, salvo que la curva del ensayo 1 se desplaza al altas frecuencias unos 4 dB aproximadamente por encima de la del ensayo 3.

Según la teoría, la distancia de medida a la pared debe ser elegida atendiendo a un compromiso para evitar errores en el campo cercano y a su vez, minimizar la influencia del campo reverberante en la habitación receptora.⁽¹²⁾ Según la norma 15186-2 si no se cumple la condición 1 para algunas bandas de frecuencia, como es el caso del ensayo 1, lo cual se

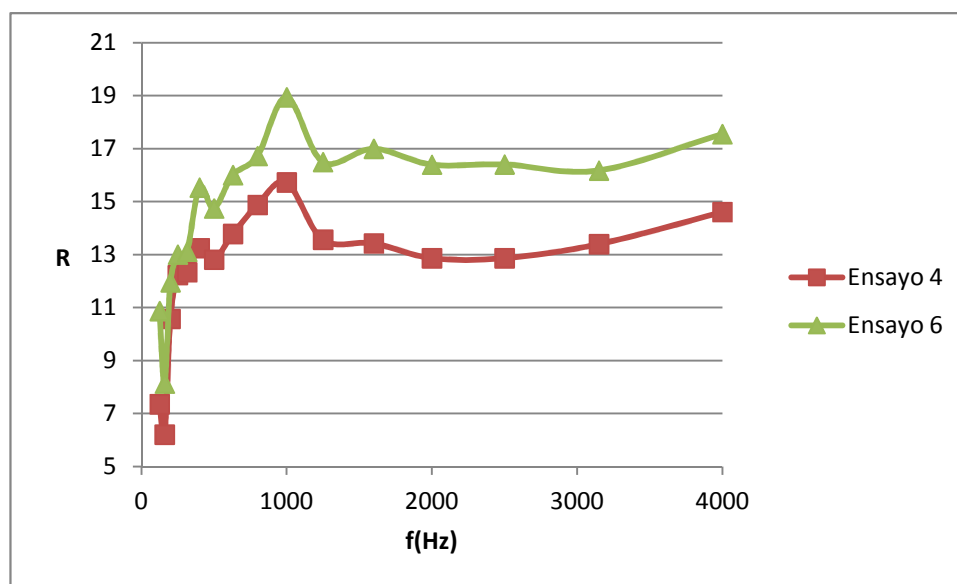
Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

observa en la tabla 11, el hecho de incrementar la distancia de medición podría ser una solución al problema.⁽²¹⁾ Lo cual, se cumple a la perfección, al incrementar la distancia de medición en el ensayo 3 se han eliminado estos errores, puesto que, según los datos de la tabla 11 se cumple la condición de la norma para todas las bandas de frecuencia. Sin embargo, en el ensayo 4 los coeficientes de aislamiento son menores, por lo que quizá hubiera sido necesario realizar otro ensayo incrementando la distancia de medida un poco pero sin llegar a duplicarla para comprobar así si se mejoraría el ensayo sin disminuir tanto los coeficientes de aislamiento.

La norma también afirma que puede mejorarse el entorno acústico con elementos absorbentes que eliminen ruido adicional que perjudique a la medida de la sonda. Este ruido adicional puede crear condiciones de medición inaceptables. Sin embargo, en los ensayos no se contaba con elementos absorbentes adecuados que no complicaran en exceso la realización de las medidas, por lo que se optó simplemente por aumentar la distancia de medición.

8.2.1.5 Influencia de la densidad de barrido

La comparación de los resultados obtenidos en los ensayos 4 y 5 se presenta a continuación en la gráfica. Se pretende, ahora evaluar la influencia en el ensayo de la densidad de barrido:



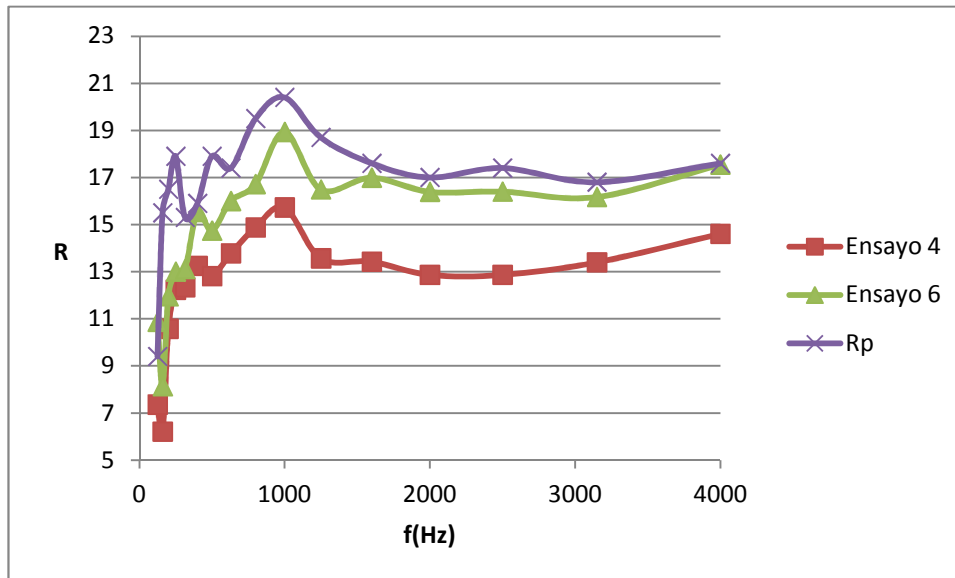
Gráfica 7. Comparación de los resultados obtenidos al incrementar la densidad de barrido.

Esta vez, las gráficas presentan mayores similitudes que anteriormente. Las tendencias son muy similares, estando una ligeramente desplazada de la otra. Además a bajas frecuencias los valores de los coeficientes de aislamiento son extremadamente parecidos.

Desde el punto de vista del factor presión-intensidad, ambos ensayos cumplieron a la perfección la condición 1 para cada una de las bandas, con lo cual, se comparan ahora ambas

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

curvas con la de presión para arrojar nuevos factores que ayuden a evaluar la influencia de la densidad de barrido:



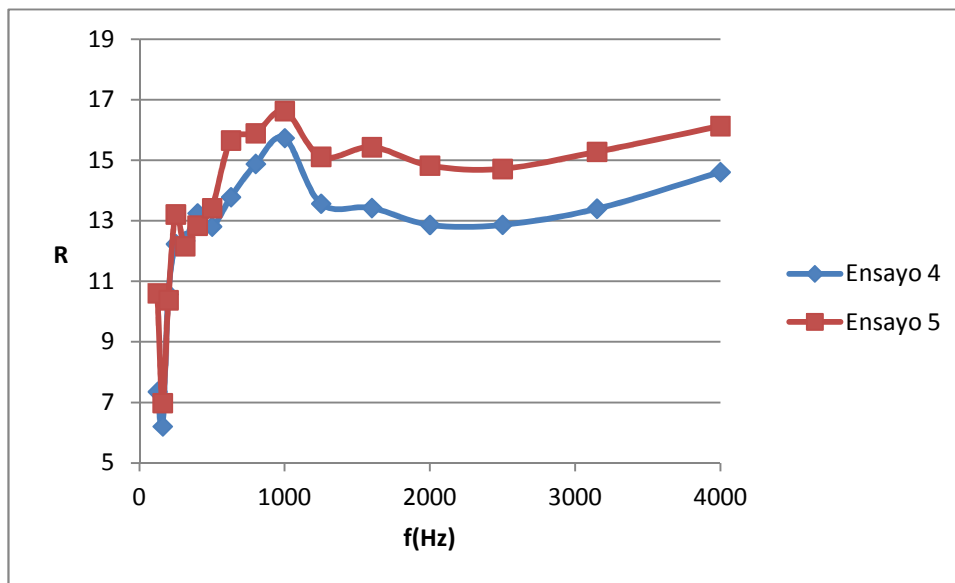
Gráfica 8. Comparación de los resultados obtenidos en el ensayo 4 y 6 y el de presión

Parece ser, que los resultados del ensayo 6 se asemejan más a los del de presión que los del ensayo 4. Con lo cual, se concluye con que al aumentar la densidad de barrido se mejoran los resultados. Aunque es necesario recordar que no son directamente comparables porque no se miden exactamente el mismo número de áreas. Parece razonable pensar que midiendo 9 áreas a 30 cm y con la densidad de barrido mayor los resultados de presión e intensidad se parezcan mucho.

De la misma forma, que en caso del ensayo 2 (medida por puntos), mientras mayor discretización del ensayo se realice, parece que mejores resultados se obtendrán.

8.2.1.6 Influencia de la sala de ensayo

Por último, comparar ahora el ensayo 4 y el 5, en el cual se intercambié la sala receptora por la emisora. Los resultados obtenidos fueron:



Gráfica 9. Influencia de la sala sometida a ensayo.

La gráfica 9 muestra unos resultados parecidos para ambos ensayos, sobre todo a altas frecuencias, aunque cabe destacar que las diferencias son del mismo orden que las anteriores. El hecho de intercambiar las habitaciones receptora y emisora no parece tener apenas influencia en los coeficientes de aislamiento obtenidos. El ensayo 5 se parece más al 6 que el 4, es decir, se podría decir que se ha medido mejor cuando la sala receptora ha sido es el pasillo. La norma no especifica características especiales para la sala receptora, sólo que se cumpla la condición del factor de presión-intensidad, lo cual parece ser, que lo cumple mejor el pasillo. Puede que sea por el ruido de fondo o por los elementos de construcción adyacentes a la superficie de medición que en el caso de la sala de café son mayores y podrían, según la norma, dificultar las medidas. ⁽²¹⁾

Desde el punto de vista del factor de presión-intensidad, para ambos ensayos no fue necesario mejorar el entorno acústico, ya que se cumple a la perfección la condición número 1.

En este caso, no se realizó un ensayo de presión intercambiando las habitaciones, puesto que medir el tiempo de reverberación en el pasillo resultaría más complicado para el ensayo.

8.2.2 ENSAYOS DE AISLAMIENTO POR INTENSIDAD. AISLAMIENTO DE MATERIALES Y EVALUACIÓN DE OTROS PARÁMETROS

Por último, se evaluó la influencia del material aislante de la superficie de medición y se evaluaron otros parámetros como la posición de la fuente, el ruido de fondo y de nuevo la medición por puntos, pero esta vez, se midió en una sola sub-área de la pared.

Ésta sub-área de medición evaluada se encerró en un paralelepípedo, midiéndose así en cada una de las direcciones del espacio para obtener la intensidad total que atraviesa la superficie en concreto. Sin embargo, al ser estas áreas colindantes con el techo, el suelo y la pared, las caras del paralelepípedo que coincidían con dichos elementos no se tuvieron en cuenta, ya que se supone que la intensidad no pasaría a través de ellos. En la siguiente figura puede

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

observarse las caras del paralelepípedo que se midieron la cada sub-área número 5. La cara superior no se midió, ya que al suponer sólo 6 caras totales en la pared, se supondría que ésta cara sería la pegada al techo.

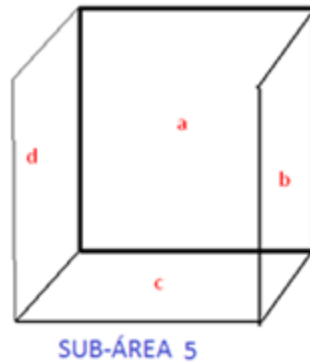


Figura 42. Caras del paralelepípedo medidas en la sub-área número 5

Las letras en rojo corresponden a la numeración de las caras medidas en cada sub-área. Como se aclaró anteriormente, según la imagen 3, las sub-áreas 1, 2 y 3 son de aluminio y las 4, 5 y 6 son de vidrio.

Se aclara, seguidamente, cada uno de los ensayos realizados:

- Ensayo 7. Se realizó un ensayo de barrido para las caras de la sub-área número 5 con una distancia de medición de 30 cm con la superficie de medición, para la fuente sonora en la posición 1 (en el centro del pasillo a 50 cm de la pared de ensayo) y con un ruido de fondo de 30 dBA.

Se eligió esta distancia de medición por arrojar mejores resultados que en los ensayos anteriores.

- Ensayo 8. Ídem al ensayo 6 pero en la sub-área 6.

- Ensayo 9. Ídem al ensayo 6 pero en la sub-área 3.

- Ensayo 10. Ídem al ensayo 7 pero para la fuente sonora en la posición 2 (a 50 cm de la pared de ensayo y a 1 m de la pared norte del pasillo). Para aclarar las diferentes posiciones se adjunta la siguiente imagen:

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro



Imagen 4. Posiciones 1 y 2 de la fuente sonora

- Ensayo 11. Ídem al ensayo 7 pero con un ruido de fondo de 50 dBA (se incrementó con una fuente sonora adicional en la habitación receptora)
- Ensayo 12. Ídem al ensayo 7 pero esta vez, se midió por puntos en 4 puntos distribuidos uniformemente a lo largo de la superficie.

Los parámetros de cada uno de los ensayos se especifican en la siguiente tabla:

ENSAYO	MEDICIÓN	DISTANCIA DE MEDICIÓN (cm)	SUB-ÁREA DE MEDICIÓN	POSICIÓN FUENTE	RUIDO DE FONDO (dBA)
7	BARRIDO	30	5	1	30
8	BARRIDO	30	6	1	30
9	BARRIDO	30	3	1	30
10	BARRIDO	30	5	2	30
11	BARRIDO	30	5	1	50
12	PUNTOS	30	5	1	30

Tabla 13. Parámetros de medición de los ensayos de aislamiento de cada sub-área

A continuación se adjuntan los resultados de los coeficientes de aislamiento, así como de los índices de presión-intensidad de los ensayos anteriormente descritos:

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

f(Hz)	ENSAYO7	ENSAYO8	ENSAYO9	ENSAYO10	ENSAYO11	ENSAYO12
125	9,26	13,40	9,29	10,28	11,37	14,23
160	11,73	8,93	8,57	12,16	10,18	11,38
200	18,33	12,58	13,35	15,20	19,51	9,43
250	16,03	10,89	14,78	17,08	17,80	11,52
315	14,75	14,82	8,50	18,54	13,71	12,91
400	12,92	11,90	11,03	15,45	12,82	11,30
500	15,20	12,97	9,29	15,80	14,30	11,62
630	16,78	14,03	11,86	16,22	12,32	11,89
800	17,65	15,32	13,89	18,77	12,99	11,74
1000	18,39	15,32	12,94	18,49	13,52	11,54
1250	18,38	13,51	13,49	19,25	6,46	12,74
1600	18,11	14,08	14,02	19,55	6,24	13,43
2000	16,58	14,75	10,81	17,48	6,38	13,78
2500	16,61	15,65	10,21	16,93	4,47	11,83
3150	17,80	17,52	12,75	18,25	3,39	10,84
4000	19,73	18,09	15,25	19,70	3,49	12,29
5000	20,61	18,63	15,67	20,65	4,67	13,60

Tabla 14. Coeficientes de aislamiento de los ensayos 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

f(Hz)	ENSAYO7	ENSAYO8	ENSAYO9	ENSAYO10	ENSAYO11	ENSAYO12
125	8,54	9,72	7,57	10,81	12,64	12,93
160	9,08	6,19	8,45	7,40	10,52	10,08
200	10,19	6,16	10,36	10,62	14,51	8,13
250	12,35	6,09	8,37	10,52	14,49	10,22
315	8,43	8,55	8,47	13,28	9,99	11,61
400	8,86	7,55	11,63	9,68	11,02	10,00
500	10,91	8,14	12,99	11,21	15,24	10,32
630	10,78	7,87	10,09	10,08	14,00	10,59
800	10,23	7,77	9,91	11,85	15,38	10,44
1000	10,78	7,52	11,20	11,98	17,14	10,24
1250	11,44	6,96	8,07	12,73	15,16	11,44
1600	11,44	6,79	10,21	13,19	12,62	12,13
2000	10,91	8,20	13,30	11,73	13,74	12,48
2500	10,57	9,34	11,10	11,40	12,76	10,53
3150	10,74	10,05	11,43	11,58	13,50	9,54
4000	11,77	9,75	10,56	11,87	15,17	10,99
5000	12,02	10,28	6,75	12,47	16,12	12,30

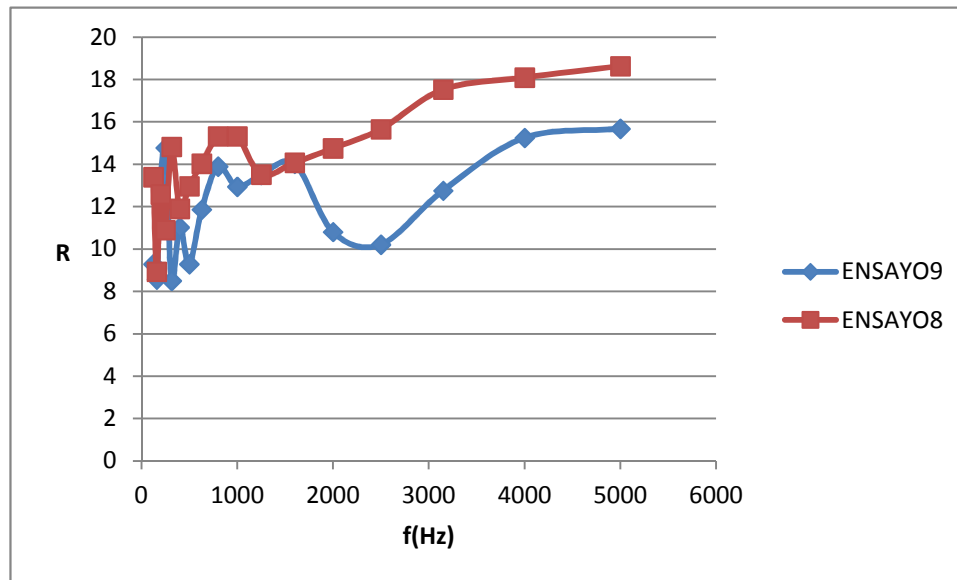
Tabla 15. Factores de presión-intensidad de los ensayos 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

Al igual que en la tabla 11, los valores en rojo son aquellos que no cumplen la condición 1 y los verdes son aquellos que sí la cumplen.

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

8.2.2.1 Influencia de los materiales de la superficie de medición

Se comparan en la siguiente gráfica los ensayos 8 y 9 realizados en dos sub-áreas de la misma área, pero de diferente material. En el ensayo 8 se evaluó la sub-área 6 de vidrio y en el ensayo 9 se evaluó la sub-área 3 de cristal. En la siguiente gráfica se observan los resultados:

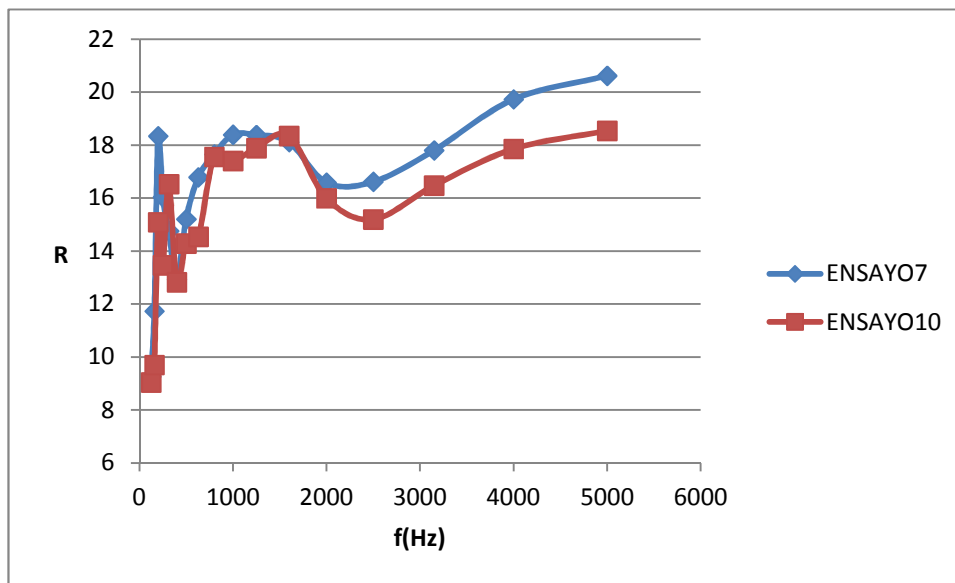


Gráfica 9. Comparación de los ensayos 8 y 9

A simple vista tras observar la gráfica, parece que el material que más aísla es el vidrio, ya que los coeficientes de aislamiento de mayor magnitud corresponden a los obtenidos en el ensayo 8, realizado en la cara de vidrio. Los resultados parecen bastante fiables ya que los índices de presión-intensidad resultan adecuados según la tabla anterior, no totalmente para el ensayo 9 en todas las bandas pero sí en muchas de ellas.

8.2.2.2 Evaluación de la posición de la fuente

Para analizar la influencia de la posición de la fuente sonora en la sala emisora se compararon en la siguiente gráfica los ensayos 10 y 7:



Gráfica 10. Evaluación de la posición de la fuente

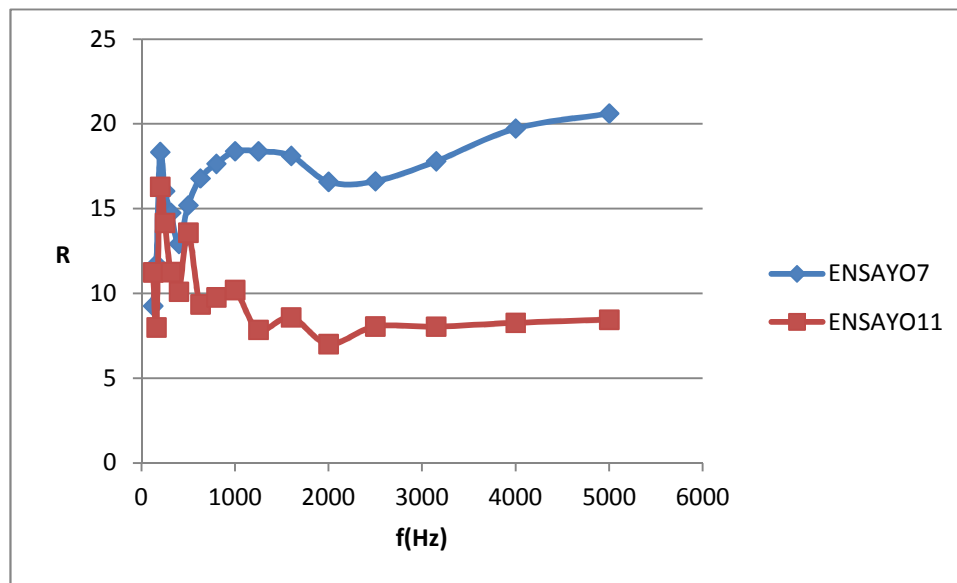
Excepto una par de valores a bajas frecuencias de la curva del ensayo 10, el resto de valores se asemejan bastante en las dos curvas, sobre todo a altas frecuencias, con lo cual, parece que, en general, la posición de la fuente no es un factor muy influyente en los resultados. Sin embargo, parece que la curva del ensayo 7 es más fiable al cumplirse la condición del factor de presión-intensidad para más bandas de frecuencia que en lo que al ensayo 10 se refiere.

Podría concluirse pues, que la posición de la fuente sonora perjudica al entorno de medición. Aunque si se presta atención a los valores de referencia de la tabla 15 del índice residual, los valores del factor de presión del ensayo 10 no incumplen la condición 1 por mucho, con lo cual, puede que aumentando un poco más la distancia de medición para este ensayo se mejorarían los resultados.

8.2.2.3 Evaluación del ruido de fondo

En el ensayo número 11 se incrementó el ruido de fondo en la sala receptora para evaluar su influencia en las medidas de intensidad. En la siguiente gráfica se comparan los resultados con los del ensayo 7:

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro



Gráfica 11. Evaluación del ruido de fondo

A primera vista parece que ambas curvas presentan pocas semejanzas. Los valores que toma la curva del ensayo 13 a bajas frecuencias resultan dispares, en el sentido de que no siguen una tendencia estable y a altas frecuencias parece que R disminuye en lugar de aumentar.

Si se comparan ambas curvas, en general parece que el ruido de fondo disminuye el coeficiente de aislamiento. Es posible que en algunos casos, la sonda capte más intensidad proveniente del ruido de fondo que de la fuente sonora, lo cual, cambiaría el sentido de las L_i , volviéndolas negativas y disminuyendo el valor de R.

Otra fuente de errores podría ser el hecho de que el ruido de fondo a ciertas frecuencias emita a valores altos similares a la emisión de la fuente sonora. Para comprobar esto, se comparan los valores de los L_p del ruido de fondo y los L_p de emisión en la siguiente tabla:

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro

f(Hz)	Lp1	Lp_fondo
125	76,6	33,3
160	80,8	39,9
200	83,5	40,6
250	82,4	46,8
315	81	45,5
400	78,6	47,1
500	76,8	52,9
630	75,7	59,4
800	75,1	62,1
1000	73,5	57
1250	71,6	57,1
1600	73,5	58,5
2000	71,9	57,7
2500	70,4	57
3150	69,4	57,2
4000	66,8	56,7
5000	64,7	54,5

Tabla 16. Comparación de los Lp en el ensayo 13.

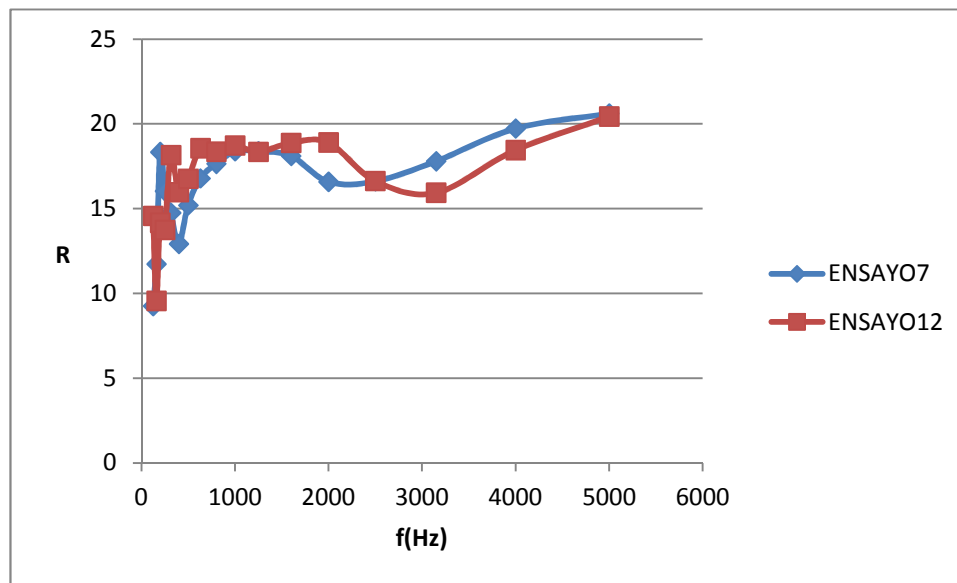
Se observa en la tabla que para la banda de 800 Hz, el valor del ruido de fondo (62,1 dB) se asemeja un poco al emitido por la fuente sonora (75,1 dB). Podría ser esto una explicación a los valores dispares de R en la curva del ensayo 13 en torno a esta banda de frecuencia.

Sin olvidar, claro está, los valores del factor de presión-intensidad del ensayo 11 (ver tabla 15) que desacreditan por completo la fiabilidad de los resultados del ensayo 11.

8.2.2.4 Evaluación del método de medida

Por último se compararon el ensayo 7 y el 12, para analizar la influencia del método de medida (por puntos o por barrido):

Intensimetría acústica aplicada al aislamiento sonoro



Gráfica 12. Evaluación del método de medida en la sub-cara 5

Las curvas de los ensayos 7 y 12 presentan muchas similitudes en cuanto a la tendencia y a los valores de los resultados tal como se observa en la gráfica.

Esta vez, en el ensayo 12, en lo que a la medición por puntos se refiere se aumentó el número de medidas (cuatro puntos por cada sub-cara de medición) a diferencia del ensayo 2 para así, comprobar si se podían mejorar los valores del factor de presión-intensidad. Ello puede apreciarse en la tabla 15, donde efectivamente parece que los valores del factor son mejores, aunque no del todo, claro está. Sin embargo, al igual que en el ensayo 10, éstos valores se alejan de los índices residuales por poco.