



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN**

MÁSTER:

MÁSTER EN EDIFICACIÓN - ESPECIALIZACIÓN TECNOLOGÍA

TÍTULO:

Acerca de la Influencia del tamaño de la muestra en el valor del coeficiente de absorción sonora en cámara reverberante según la Norma ISO 354.

AUTOR:

Arosemena Torbay, Xavier Antonio

**Trabajo Final de Máster previo a la obtención del Título de:
MÁSTER EN EDIFICACIÓN - ESPECIALIZACIÓN TECNOLOGÍA**

TUTOR:

Gómez Lozano, Vicente

Valencia, España

2019

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios por permitirme alcanzar esta meta en mi vida, por siempre estar presente y brindarme de todo lo necesario para lograr mis objetivos.

A mis padres y a mis hermanos, por confiar y apoyarme siempre en todos los aspectos de mi vida desde que nací.

A mi Tutor Vicente Gómez Lozano por su guía, apoyo, presencia, dedicación y tiempo brindado hacia mí durante este proceso de titulación.

Xavier Antonio Arosemena Torbay

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN (ABSTRACT)	7
CAPÍTULO # 1: INTRODUCCIÓN	8
1.1 ANTECEDENTES.-	8
1.2 INTRODUCCIÓN.-	9
1.3 OBJETIVOS.-	11
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.-	11
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.-	11
1.4 ALCANCE.-	12
1.5 METODOLOGÍA.-	13
CAPÍTULO # 2: MARCO TEÓRICO	15
2.1 GENERALIDADES DE LA ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA.-	15
2.1.1 DEFINICIÓN Y PROPIEDADES FUNDAMENTALES.	17
2.1.2 USOS EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.	20
2.2 GENERALIDADES DE LA INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA.-	21
2.2.1 MÉTODO DE LA SEÑAL DE RUIDO INTERRUMPIDA.	22
2.2.2 MÉTODO DE LA RESPUESTA IMPULSIVA INTEGRADA.	23
2.3 GENERALIDADES DE LOS MATERIALES ENSAYADOS.-	24
2.3.1 LAMINADO DE PARTÍCULAS DE CORCHO.	25
2.3.2 ESPUMA DE POLIURETANO.	26
CAPÍTULO # 3: MÉTODO DE LA SEÑAL DE RUIDO INTERRUMPIDA Y DE LA RESPUESTA IMPULSIVA INTEGRADA EN MUESTRA DE ESPUMA	27
3.1 MEDICIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE MÉTODO DE LA SEÑAL DE RUIDO INTERRUMPIDA.	28
3.2 MEDICIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE MÉTODO DE LA RESPUESTA IMPULSIVA INTEGRADA.	34
3.3 ESTUDIO DE LA PRECISIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE AMBOS MÉTODOS.	40
3.4 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS.	46

CAPÍTULO # 4: MÉTODO DE LA SEÑAL DE RUIDO INTERRUMPIDA Y DE LA RESPUESTA IMPULSIVA INTEGRADA EN MUESTRA DE CORCHO

49

4.1 MEDICIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE MÉTODO DE LA SEÑAL DE RUIDO INTERRUMPIDA. 50

4.2 MEDICIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE MÉTODO DE LA RESPUESTA IMPULSIVA INTEGRADA. 54

4.3 ESTUDIO DE LA PRECISIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE AMBOS MÉTODOS. 58

4.4 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS. 62

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 64

Bibliografía 68

ANEJOS 70

TABLAS DE PRECISIÓN DE RESULTADOS DE TR: ESPUMA DE POLIURETANO 71

TABLAS DE PRECISIÓN DE RESULTADOS DE TR: LÁMINADO DE PARTÍCULAS DE CORCHO 76

TIEMPOS DE REVERBERACIÓN TR20 - TR30 DE CÁMARA REVERBERANTE VACÍA 80

TABLAS DE CÁLCULO DE COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA: ESPUMA DE POLIURETANO 82

TABLAS DE CÁLCULO DE COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA: LÁMINADO DE PARTÍCULAS DE CORCHO 87

TABLAS DE COEFICIENTES DE ATENUACIÓN NORMA ISO - 9613 - 1 91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Áreas máximas de absorción sonora equivalente para cámaras de volumen $V = 200 \text{ m}^3$	9
Tabla 2: Tiempo de reverberación recomendado por uso	10
Tabla 3: TR20 y TR30 de muestra de 2,00 m ² (SRI - Espuma)	29
Tabla 4: TR20 y TR30 de muestra de 4,00 m ² (SRI - Espuma)	30
Tabla 5: TR20 y TR30 de muestra de 6,00 m ² (SRI - Espuma)	31
Tabla 6: TR20 y TR30 de muestra de 12,00 m ² (SRI - Espuma)	32
Tabla 7: TR20 y TR30 de muestra de 20,00 m ² (SRI - Espuma)	33
Tabla 8: TR20 y TR30 de muestra de 2,00 m ² (RII - Espuma)	35
Tabla 9: TR20 y TR30 de muestra de 4,00 m ² (RII - Espuma)	36
Tabla 10: TR20 y TR30 de muestra de 6,00 m ² (RII - Espuma)	37
Tabla 11: TR20 y TR30 de muestra de 12,00 m ² (RII - Espuma)	38
Tabla 12: TR20 y TR30 de muestra de 20,00 m ² (RII - Espuma)	39
Tabla 13: TR20 y TR30 de muestra de 1,40 m ² (SRI - Corcho)	50
Tabla 14: TR20 y TR30 de muestra de 2,60 m ² (SRI - Corcho)	51
Tabla 15: TR20 y TR30 de muestra de 4,00 m ² (SRI - Corcho)	52
Tabla 16: TR20 y TR30 de muestra de 12,00 m ² (SRI - Corcho)	53
Tabla 17: TR20 y TR30 de muestra de 1,40 m ² (RII - Corcho)	54
Tabla 18: TR20 y TR30 de muestra de 2,60 m ² (RII - Corcho)	55
Tabla 19: TR20 y TR30 de muestra de 4,00 m ² (RII - Corcho)	56
Tabla 20: TR20 y TR30 de muestra de 12,00 m ² (RII - Corcho)	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Cámara reverberante vacía	13
Figura 2: Wallace Clement Sabine	16
Figura 3: Regimenes transitorios y estacionarios de la variación de energía acústica, con el tiempo	18
Figura 4: Posiciones de micrófonos y fuente sonora en cámara reverberante	21
Figura 5: Equipos empleados: micrófono y sonometro Brüel & Kjaer	22
Figura 6: Equipos empleados: micrófono, amplificador y software "DIRAC"	23
Figura 7: Laminado de partículas de corcho	25
Figura 8: Espuma de poliuretano	26
Figura 9: Espuma de poliuretano en cámara reverberante	27
Figura 10: Thermo-Hygro temperaturas y humedades relativas	28
Figura 11: Configuración de parámetros DIRAC	34
Figura 12: Precisión entre ambos métodos muestra de 2,00 m ² (Espuma)	41
Figura 13: Precisión entre ambos métodos muestra de 4,00 m ² (Espuma)	42
Figura 14: Precisión entre ambos métodos muestra de 6,00 m ² (Espuma)	43
Figura 15: Precisión entre ambos métodos muestra de 12,00 m ² (Espuma)	44
Figura 16: Precisión entre ambos métodos muestra de 20,00 m ² (Espuma)	45
Figura 17: TR30 muestras ensayadas (Espuma)	47
Figura 18: Coeficiente de absorción sonora de muestras ensayadas (Espuma)	48
Figura 19: Laminado de partículas de corcho en cámara reverberante	49
Figura 20: Precisión entre ambos métodos muestra de 1,40 m ² (Corcho)	58
Figura 21: Precisión entre ambos métodos muestra de 2,60 m ² (Corcho)	59
Figura 22: Precisión entre ambos métodos muestra de 4,00 m ² (Corcho)	60
Figura 23: Precisión entre ambos métodos muestra de 12,00 m ² (Corcho)	61
Figura 24: TR30 muestras ensayadas (Corcho)	62
Figura 25: Coeficiente de absorción sonora de muestras ensayadas (Corcho)	63
Figura 26: Comparativa (%) de coeficiente de absorción sonora de muestras ensayadas (Espuma)	65
Figura 27: Comparativa (%) de coeficiente de absorción sonora de muestras ensayadas (Corcho)	66
Figura 28: Esquema del Tubo de Kundt	67

RESUMEN (ABSTRACT)

La determinación del coeficiente de absorción sonora de una muestra, de acuerdo a la Norma ISO 354, se realiza midiendo en primera instancia el tiempo de reverberación promedio en una cámara reverberante con un volumen mínimo de 150 m³ con y sin una muestra de ensayo rectangular de superficie entre 10 m² y 12 m² en un rango de frecuencias establecidos en la Norma ISO 266, utilizando los métodos de la señal de ruido interrumpida y de la respuesta impulsiva integrada. El área de absorción sonora equivalente se calcula a partir del tiempo de reverberación medido teniendo como límite los valores establecidos en la Tabla 1 de la Norma ISO 354, y permite determinar el coeficiente de absorción de las muestras estudiadas. Dependiendo de una serie de variables tales como el tamaño de la muestra dentro de la cámara reverberante, las medidas del tiempo de reverberación y en consecuencia del coeficiente de absorción sonora se ven afectadas, por lo cual la Norma ISO 354 puede estar sujeta a modificaciones y ajustes. Por ende se propone introducir muestras con superficies diferentes a aquellas establecidas en la Norma a distintas distancias y ángulos de incidencia con respecto a la envolvente del recinto y a las fuentes sonoras con la finalidad de estudiar los efectos que estas tienen últimamente en el coeficiente de absorción sonora de cada muestra.

Palabras Claves: coeficiente de absorción sonora, tiempo de reverberación, cámara reverberante, método de la señal de ruido interrumpida, método de la respuesta impulsiva integrada, área de absorción sonora.

CAPÍTULO # 1: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES.-

El concepto, las teorías y fórmulas relacionadas a la acústica arquitectónica moderna comenzaron a desarrollarse a finales del siglo XVIII, gracias a la participación e investigación principalmente de Wallace Clement Sabine, físico graduado en la Universidad de Harvard y consultor acústico del Boston's Symphony Hall (The Perfect Sound, BSO, 2019). Sabine fue capaz de determinar la existencia de una relación entre la calidad acústica de una sala con el volumen del recinto y la suma de las superficies de absorción de dicho espacio, esta relación es conocida como el tiempo de reverberación y hace referencia al número de segundos necesarios para que la intensidad del sonido caiga en el orden de 60 decibelios (dB), con esta información formuló una serie de hipótesis y fórmulas que permiten no solo determinar el tiempo de reverberación de una sala (TR) sino también otras variables como el área de absorción sonora equivalente (A_t) y el coeficiente de absorción sonora (α_s) de los distintos materiales.

La Norma UNE-EN ISO 354 (2004): "*Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante*" profundiza aquellos conceptos estudiados por Sabine y establece una serie de parámetros para estandarizar los ensayos que permiten determinar el coeficiente de absorción sonora de los materiales que hoy en día se utilizan como aislamientos acústicos en paredes, suelos y techos en las diferentes salas musicales, auditorios, aulas académicas, etc. En su contenido, la Norma UNE-EN ISO 354 establece que debido a la distribución irregular de las ondas sonora en recintos comunes se debe considerar una distribución uniforme como condición básica, además si la intensidad sonora es independiente de la posición que tiene dentro del recinto se dice que el campo acústico es difuso y que el sonido incide en todas las superficies del recinto de forma aleatoria.

1.2 INTRODUCCIÓN.-

En principio, la Norma UNE-EN ISO 354 (2003) establece dos métodos para realizar la medición del tiempo de reverberación: Método de la Señal de Ruido Interrumpida y Método de la Respuesta Impulsiva Integrada. Así mismo, es importante tomar en cuenta el rango de frecuencias para las cuales se registrara el tiempo de reverberación. La Norma UNE-EN ISO 354 (2003) hace referencia a La Norma ISO-266 en donde se indica que las mediciones deben realizarse en los tercios de octava con las siguientes frecuencias centrales en hercios:

100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000 y 5000 Hz.

Algunas consideraciones adicionales establecidas en la Norma son:

- Volumen de Cámara Reverberante $> 150 \text{ m}^3$.
- Forma de Cámara Reverberante: $L_{\text{max}} < V^{1/3}$.
- Difusión de Campo Sonoro: Presencia de Difusores suspendidos, fijos o giratorios.
- Área de absorción sonora $<$ Tabla No. 1 (Norma UNE-EN ISO 354)

Tabla 1: Áreas máximas de absorción sonora equivalente para cámaras de volumen $V = 200 \text{ m}^3$

Frecuencia, Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Área de absorción sonora equivalente, m^2	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5

Frecuencia, Hz	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000	5 000
Área de absorción sonora equivalente, m^2	6,5	7,0	7,5	8,0	9,5	10,5	12,0	13,0	14,0

Fuente: Norma UNE-EN ISO 354

- Muestras de Ensayo: $10 \text{ m}^2 <$ Superficie $< 12 \text{ m}^2$; forma rectangular con relación anchura/largo = 0.70 y 1,00.
- Temperatura y Humedad Relativa: Las variaciones de estas afectan los resultados obtenidos y por ende deben ser medidas y consideradas.

En la práctica, el tiempo de reverberación medido no es el TR₆₀ debido a que el ruido de fondo de la sala suele influenciar sobre los resultados obtenidos, por ende el tiempo de reverberación realmente medido en la cámara reverberante por uno u otro método es el TR₂₀ y el TR₃₀ que son estimaciones del TR que miden la caída de intensidad del sonido en el orden de 20 dB y 30 dB multiplicados respectivamente por 3 y 2. Para que la sonoridad de una sala sea la adecuada, el tiempo de reverberación debe ser tal que se ajuste al uso de dicha sala ya que un TR alto podría causar una inteligibilidad de la palabra mientras que un TR bajo podría producir una mala distribución sonora, nace aquí la importancia de emplear ciertos materiales que tengan las propiedades acústicas adecuadas para asegurar un tiempo de reverberación correcto y placentero para cada uso que se desea prestar y exponer.

Tabla 2: Tiempo de reverberación recomendado por uso

EDUCATIONAL BUILDINGS Tipo de ocupación/actividad	Nivel sonoro recomendado DB(A)		Recomendado Treverberación
	Satisfactorio	Máximo	
Enseñanza primaria/secundaria	35	45	0.4 to 0.5
Enseñanza universitaria	35	45	0.5 to 0.6
Espacios audiovisuales	30	35	0.6 to 0.8
Estudios de arte	40	45	0.6 to 0.8
Salas de ordenadores	40	45	0.4 to 0.6
Salas de conferencias	35	40	0.6 to 0.7
Pasillos/salas de espera	45	50	0.6 to 0.8
Bibliotecas	40	45	0.4 to 0.6
Salas de ensayo musical	40	45	0.7 to 0.9
Salas de concierto	40	45	1.0 to 1.5
Oficinas	40	45	0.4 to 0.6
Teatro para hasta 50 personas	30	35	<0.8
Teatro para más de 50 personas	35	45	<1.0
Salas multiusos	45	55	0.8 To 1.2
Pabellones deportivos	45	55	<1.5
Gimnasios	45	55	<1.5

Fuente: INERCO Acústica

1.3 OBJETIVOS.-

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.-

Los objetivos generales de este trabajo de fin de máster son: ***“analizar la influencia del tamaño de la muestra en el valor del coeficiente de absorción sonora en cámara reverberante según la Norma ISO 354”***, en lo relacionado principalmente a las variaciones porcentuales que este sufre en cuando la superficie ensayada es diferente a aquella establecida Norma (10 m² - 12 m²) y ***“Comparar las respuestas obtenidas tanto por el método de la señal de ruido interrumpida como por el método de la respuesta impulsiva integrada, realizando un barrido porcentual del error admisible de acuerdo a la Norma ISO 354”***.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.-

- a) Ensayar en una cámara reverberante de 217,00 m³ un material muy absorbente (espuma de poliuretano) con superficies en el orden de: 2 m², 4 m², 6 m², 12 m² y 20 m² mediante el método de la señal de ruido interrumpida y el método de la respuesta impulsiva integrada con la finalidad de estudiar el efecto que tiene el tamaño de la muestra en su coeficiente de absorción sonora.
- b) Ensayar en una cámara reverberante de 217,00 m³ un material poco absorbente excepto a frecuencias altas (laminado de partículas de corcho) con superficies en el orden de: 1,40 m², 2,60 m², 4,00 m² y 12,00 m² mediante el método de la señal de ruido interrumpida y el método de la respuesta impulsiva integrada con la finalidad de estudiar el efecto que tiene el tamaño de la muestra en su coeficiente de absorción sonora.

1.4 ALCANCE.-

El desarrollo de este trabajo es muy importante, ya que se debe analizar primero la necesidad, de parte del Arquitecto/Ingeniero Diseñador y luego la implementación por parte del Arquitecto/Ingeniero de Obra, en lo que concierne a de la utilización de materiales aislantes acústicamente en los diferentes elementos de la envolvente del recinto como las paredes, suelos y techos según la superficie que se desea recubrir. En el apartado 8.2.3 Reproducibilidad de la Norma ISO 354 se establece que *“La reproducibilidad de la medición del tiempo de reverberación se está investigando todavía.”* En consecuencia, el análisis comparativo del coeficiente de absorción sonora de los materiales ensayados con diferentes superficies nos ofrecerá lo que justamente necesitan los involucrados en los Proyectos de Acústica Arquitectónica.

Toda la información para este Trabajo de Fin de Máster se obtendrá a partir de investigación que se realizarán mediante la experimentación en la cámara reverberante de la ETSA de la UPV y en libros y documentos electrónicos publicados en las últimas décadas. Para poder hacer la comparación de los efectos que tiene tanto el tamaño de un material de muestra se usará la información obtenida mediante los equipos de medición empleados y las hojas electrónicas utilizadas en función a aquellos parámetros establecidos en las normas correspondientes.

1.5 METODOLOGÍA.-

En primera instancia, para realizar la medición del TR en la cámara reverberante se utilizan diferentes equipos e instrumentos según el método a emplear, para la señal de ruido interrumpida se emplea un sonómetro mientras que para la respuesta impulsiva integrada se utiliza el software “Dirac” en un ordenador con la ayuda de un amplificador para emitir las señales dentro de la cámara las mismas que son recetadas por un par de micrófonos. Este procedimiento se repite para cinco posiciones distintas de los receptores para cada método y superficie a ensayar dentro de la cámara reverberante tanto para el material muy absorbente (espuma de poliuretano) como para el poco absorbente a frecuencias bajas (laminado de partículas de corcho) así como para la cámara reverberante vacía. Una vez obtenido los datos de los TR para ambos métodos se compara su precisión realizando un barrido de error tanto con el promedio de las 10 mediciones realizadas para cada superficie.

Figura 1: Cámara reverberante vacía



Fuente: Autor (2019)

Inmediatamente después de estudiar la precisión de los resultados, dependiendo si se presentan o no diferencias entre un método y otro se determinan y comparan los coeficientes de absorción acústica según las fórmulas establecidas en la Norma ISO 354, determinando primero las áreas de absorción sonora equivalentes A_1 y A_2 correspondientes a la cámara reverberante vacía y con la muestra a ensayar:

$$A_1 = \frac{55,3V}{cT_1} - 4Vm_1 \quad A_2 = \frac{55,3V}{cT_2} - 4Vm_2$$

Donde:

- V es el volumen (m^3) de la cámara reverberante vacía.
- c es la velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s)
- T_x es el tiempo de reverberación (s) de la cámara reverberante.
- m_x es el coeficiente de atenuación sonora (m^{-1})

Finalmente, se determina el coeficiente de absorción sonora, α_s , para cada frecuencia de las muestras ensayadas y se analizan mediante su representación gráfica los puntos de interés con relación a la línea base definida en la Norma ISO 354:

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S}$$

Donde:

- A_T es el área de absorción sonora equivalente (m^2) = $A_2 - A_1$.
- S es el área (m^2) de la muestra de ensayo.

CAPÍTULO # 2: MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DE LA ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA.-

De acuerdo al Capítulo No. 4 del libro de Acústica y Sistemas de Sonido (Federico Miyara, 2006) *“La Acústica Arquitectónica estudia los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto...”*, en otras palabras la acústica arquitectónica es una rama de la acústica aplicada a la arquitectura que busca mejorar las cualidades sonoras de los diferentes espacios ya sean estos abiertos o cerrados dentro de una edificación dada, para ello utiliza principalmente absorbentes acústicos así como geometrías determinadas según el tipo de recinto a acondicionar como por ejemplo salas de teatro, musicales, auditorios, etc. En la antigüedad, en la época del Imperio Romano, Marco Vitrubio Polio ingeniero militar de Julio César fue uno de los pioneros relacionados a este campo que tuvo gran aplicación dentro de los teatros Romanos de la época en donde se utilizaron varias técnicas con la finalidad de mejorar la percepción acústica a los oyentes como por ejemplo la implementación de vasijas de bronce afinadas que actuaban como resonadores, bajos o agudos.

Así mismo a lo largo de la historia se han redactado casos en los que se buscaba mejorar la acústica de un recinto como por ejemplo en las iglesias cristianas de bóvedas altas se solía colocar un tornavoz sobre el púlpito. La acústica arquitectónica moderna nace gracias a la intervención de Wallace Clement Sabine, físico estadounidense, graduado en la Universidad de Harvard y consultor del Boston Symphony Hall, considerada como una de las mejores salas acústicas en el mundo. Sabine durante sus estudios caracteriza el sonido dentro de una habitación como un cuerpo difuso de energía, lo cual lo llevo a desarrollar una fórmula matemática que relaciona el tiempo de reverberación con el volumen y los materiales de la envolvente del recinto, esta fórmula ha sido posteriormente estudiada por otros científicos como Eyring y Millington con la finalidad de mejorar los resultados obtenidos, sin embargo, no han conseguido obtener mejoras significativas

por lo que la ecuación de Sabine continua usándose hoy en día para los cálculos y posteriormente diseños de la acústica arquitectónica.

Figura 2: Wallace Clement Sabine



Fuente: Harvard Art Museums

La ecuación de Sabine desarrollada inicialmente no toma en cuenta ni la temperatura, ni la humedad relativa del recinto posteriormente se ajusto dicha ecuación con estas variables para mejorar los resultados obtenidos introduciéndolas en el denominador de la ecuación:

$$TR = \frac{0,161V}{Aa}$$

Donde:

- TR es el tiempo de reverberación (s) del recinto a estudiar.
- V es el volumen (m³) de la habitación.
- A es la superficie (m²) del recinto a estudiar.
- a es la absorción del sonido total.

2.1.1 DEFINICIÓN Y PROPIEDADES FUNDAMENTALES.

Existen una serie de fenómenos relacionados a las cualidades acústicas de un recinto, estos deben conocerse y estudiarse para mejorar la acústica arquitectónica, tales como el tiempo de reverberación y la absorción sonora:

- a) Tiempo de reverberación: Técnicamente definido como el tiempo que tarda la intensidad del sonido en caer 60 dB por debajo de su nivel inicial, debido a que este nivel de caída da la sensación de que el sonido se ha extinguido. Para ello es necesario conocer la variación de la densidad de energía en función del tiempo, las hipótesis fundamentales de la Acústica Estadística suponen:
- *Campo acústico difuso, es decir una distribución de sonido uniforme y propagación isótropa.*
 - *Partículas sonoras incoherentes por lo cual se pueden sumar energías.*

En un volumen constante V con una fuente emisora de potencia W la energía ganado por el recinto obedece la siguiente ecuación:

$$dE_G = Wdt$$

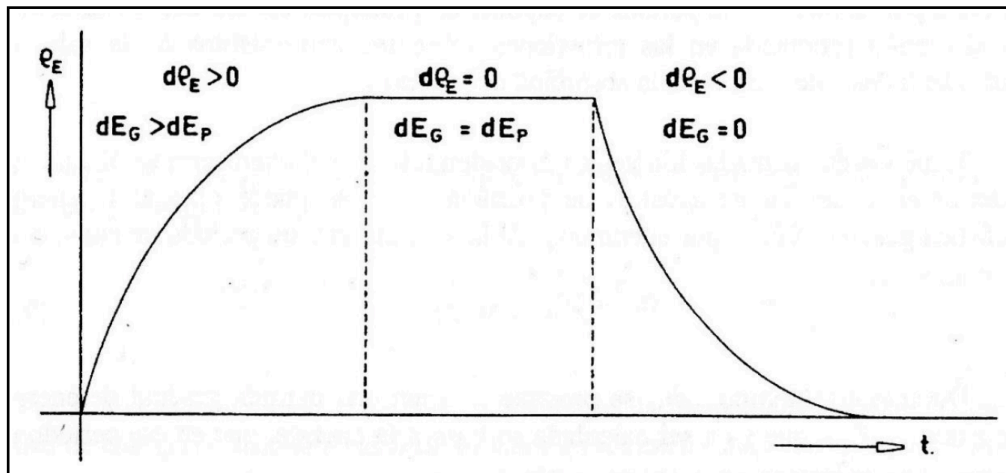
Así mismo, durante el intervalo de tiempo " dt " se produce una pérdida gradual de la energía que depende de la envolvente del recinto y para ser determinada debe considerarse toda la energía que llega a las paredes, techos, suelo, etc. de la sala durante el intervalo de tiempo establecido:

$$dE_P = \frac{\rho_{EC}}{4} S \bar{\alpha} dt$$

Finalmente la variación de la densidad de energía con el tiempo se define por la resultante entre la energía ganada con la energía perdida por el recinto:

$$d\rho_E = \frac{W}{V} dt - \frac{A\rho_{EC}}{4V} dt$$

Figura 3: Regimenes transitorios y estacionarios de la variación de energía acústica, con el tiempo



Fuente: Acústica Arquitectónica y Urbanística (J. Llinares, A. Llopis, J. Sancho)

Integrando la ecuación de la densidad de energía en función del tiempo, analizando cada régimen tanto transitorio como estacionario se pueden definir las siguientes tres ecuaciones de tipo lineal y exponencial:

Régimen Transitorio Ascendente

$$\rho_E = \frac{4W}{Ac} (1 - e^{-\frac{Ac}{4V}t})$$

Régimen Estacionario

$$\rho_E = \frac{4W}{Ac}$$

Régimen Transitorio Descendente

$$\rho_E = \frac{4W}{Ac} (e^{-\frac{Ac}{4V}t})$$

Las cuales de representarse de forma logarítmica permiten calcular el tiempo de reverberación que da la variación de la densidad de energía en escala logarítmica durante el proceso de reverberación:

$$\log\left(\frac{\rho_E A c}{4W}\right) = -t \frac{Ac}{4V} \log(e)$$

El tiempo de reverberación ocurre cuando la densidad de la energía obedece la siguiente ecuación:

$$\rho_E = \frac{4W}{Ac} \times 10^{-6}$$

Por ende,

$$t_R = \frac{0,162V}{A}$$

Esta expresión es la que hoy en día se la conoce como la formula del tiempo de reverberación acreditada a Sabine. Debido a que la densidad de energía tiene su equivalente en términos de niveles de sonido (dB), se puede establecer la siguiente ecuación:

$$\Delta LP = 10 \log \frac{10^{-6} p^2}{p^2} = -60dB$$

La fórmula de Sabine parte de la consideración de campo acústico difuso, y debido a esto se pueden concluir las siguientes afirmaciones relacionadas al tiempo de reverberación:

- *La densidad de energía en función del tiempo es constante en la sala.*
- *Distribución uniforme e isótropa del campo acústico.*
- *t_R igual en cualquier punto de la sala sin depender de la forma y geometría de la misma así como situación de la fuente.*

- b) Absorción sonora: El sonido, una vez emitido por su fuente, viaja en forma de ondas por todo el recinto de manera difusa hacia la envolvente del mismo como las paredes y techo, he aquí donde una parte del sonido se refleja y regresa al recinto mientras que la otra es absorbida por los materiales de la envolvente de la sala. Debido a esto nace el concepto del coeficiente de absorción sonora que dependerá de cada material empleado ya que algunos tienen mayor capacidad para absorber sonido mientras que otros no:

$$\alpha = \frac{E_{absorbida}}{E_{incidente}}$$

Es importante tomar en cuenta el efecto de la absorción del aire ya que en determinados casos es capaz de afectar el proceso de reverberación. A frecuencias altas, superiores a los 3.000 Hz, y salas de gran volumen este efecto suele presentarse causando una disminución en la precisión de forma exponencial :

$$P = P_0 e^{-\alpha_a ct}$$

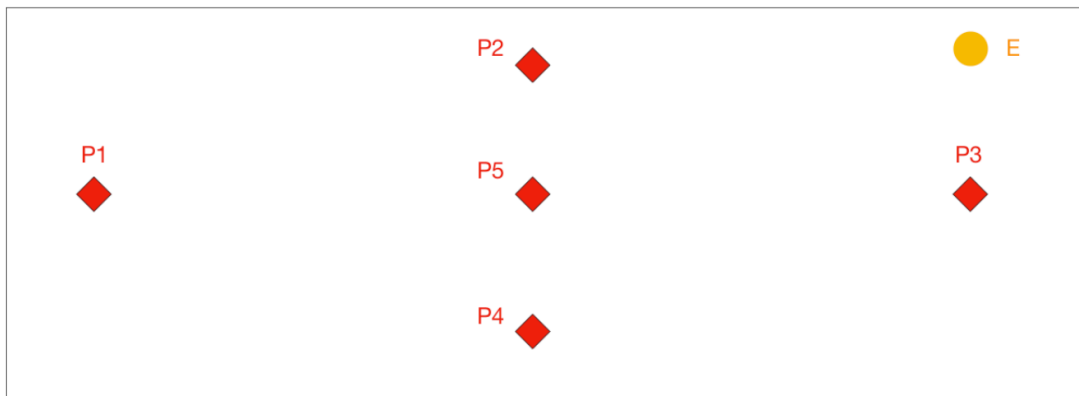
2.1.2 USOS EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.

En el sector de la construcción, cada vez con mayor frecuencia, se emplean estos conceptos para el correcto diseño y construcción no solo de salas con finalidades musicales o académicas sino también aquellas usadas en el día a día como residenciales y laborales. Esto conlleva no solo desde el punto de vista técnico sino también del económico, a un beneficio social para todos los involucrados tanto en países desarrollados tales como aquellos pertenecientes a la Unión Europea al igual que aquellos en vías de desarrollo como en Latino America.

2.2 GENERALIDADES DE LA INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA.-

De acuerdo a la Norma ISO-354, en su apartado # 7 “*Medición del Tiempo de Reverberación*” dependiendo del método a realizar la medición se utilizaran unos u otros equipos, instrumentos y metodologías. De manera general, los micrófonos empleados deben de ser omnidireccionales, las mediciones deben realizarse con diferentes posiciones de micrófonos que disten por lo menos 1,5 m entre ellas, 2 m de cualquier fuente sonora y 1 m de cualquier superficie de la cámara y de la muestra de ensayo. Por su lado, la fuente emisora del sonido debe generar un campo sonoro con patrón de radiación omnidireccional, otra condición establecida en la norma es que el número mínimo de posiciones de micrófono debe ser tres. Así mismo, se permite emplear más de una fuente sonora simultáneamente si la diferencia en la potencia radiada entra dentro de una tolerancia de 3 dB para cada banda de tercio de octava. Para este estudio se utilizo solo una fuente sonora y cinco posiciones de micrófono distanciadas como se muestra en la Figura No. 4 para registrar por ambos métodos el tiempo de reverberación de las muestras ensayadas a las frecuencias establecidas en la Norma ISO-266.

Figura 4: Posiciones de micrófonos y fuente sonora en cámara reverberante

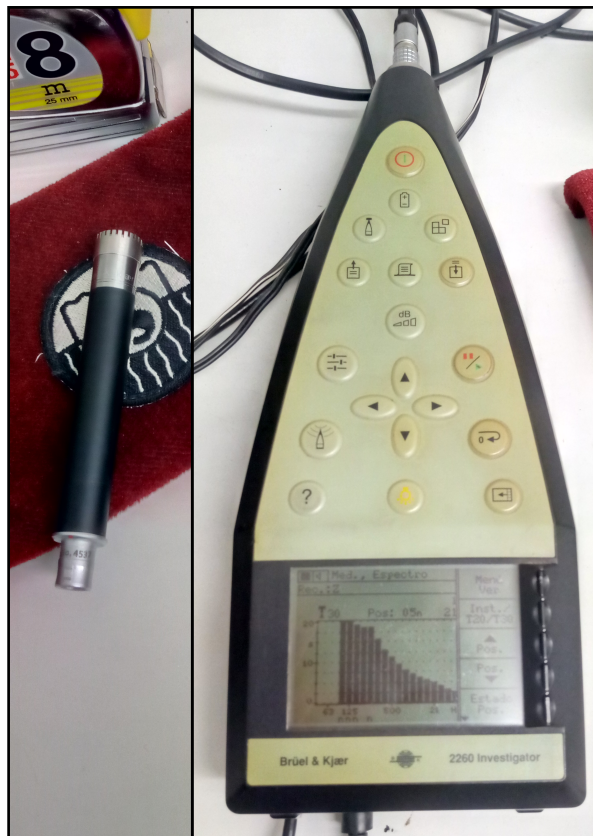


Fuente: Autor (2019)

2.2.1 MÉTODO DE LA SEÑAL DE RUIDO INTERRUPTIDA.

El equipo principal a utilizar para medir los tiempos de reverberación T_{20} y T_{30} es un sonómetro Brüel & Kjaer 2260 Investigator. De acuerdo a la página oficina de Brüel & Kjaer este sonómetro ha dejado de ser fabricado, sin embargo, debido a sus características y prestaciones es uno de los mas adecuados a usar para medir tiempos de reverberación sin requerir de equipos adicionales. Es conocido como un sonómetro analizador del tipo 1 con hasta dos canales de medida con su respectiva aprobación de modelo en España, cuenta con un sistema básico en el cual la medición de los datos puede ser exportados a un ordenador en formato de documento de texto. Su configuración es elemental y su gran beneficio es la capacidad de contar con los datos medidos inmediatamente ya que estos se pueden guardar en el dispositivo, contiene un micrófono propio dentro del sonómetro el mismo que se remueve al momento de realizar las mediciones.

Figura 5: Equipos empleados: micrófono y sonómetro Brüel & Kjaer



Fuente: Autor (2019)

2.2.2 MÉTODO DE LA RESPUESTA IMPULSIVA INTEGRADA.

El equipo principal a utilizar para medir los tiempos de reverberación T_{20} y T_{30} es un software conocido como “DIRAC” que se utiliza en conjunto con un amplificador de sonido para medir una serie de variables adicionales al TR como: Early Decay Time (EDT), Impulse Response to Noise Ratio (INR), Claridad (C80), ST Temprano y Tardío, Magnitud Espectro, etc. En la Norma ISO-354 se establecen los métodos directos e indirectos para realizar las medidas correspondientes, la diferencia fundamental entre ambos radica en que en el método directo la respuesta impulsiva puede medirse empleando una fuente impulsiva tipo disparo de pistola, explosión de globo, generador de chispa o cualquier otra fuente sonora que produzca un impulso con suficiente ancho de banda y energía conforme a lo requerido. Por otro lado, en el método indirecto pueden emplearse señales sonoras especiales, este método puede proporcionar una mejor relación señal-ruido, el ancho de banda de la señal debe ser mayor que un tercio de octava y el espectro debería ser razonablemente plano dentro de la banda de tercio de octava real que se quiera medir.

Figura 6: Equipos empleados: micrófono, amplificador y software “DIRAC”



Fuente: Autor (2019)

2.3 GENERALIDADES DE LOS MATERIALES ENSAYADOS.-

”El efecto de los materiales en la construcción y sus propiedades aislantes y absorbentes introducen diferencias importantes en la experiencia acústica” (Brüel & Kjaer, Ensayos de Acústica de Materiales). Dependiendo del uso del espacio el cual se pone a servicio de la sociedad es importante emplear en mayor o menor cantidad ciertos tipos de materiales con la finalidad de mejorar la experiencia del usuario, cumplir con las leyes establecidas y/o transformar espacios y actividades; por ejemplo las aulas académicas requieren un nivel de sonido apropiado para que la palabra del profesor se entienda de manera correcta en toda la sala, así mismo las salas de grabación musical más renombradas son capaces de grabar los sonidos en su interior claramente sin distorsiones o fenómenos que ensucien los instrumentos tocados, por su lado ciertos motores y equipos de aviones, barcos, etc. deben cumplir con una serie de normas para disminuir los efectos acústicos que estos tienen sobre el medio ambiente como la flora y fauna de sus alrededores.

De forma general, para poder desarrollar un entorno acústico dado, es imprescindible comprender y conocer las propiedades acústicas de los materiales a utilizar en lo relacionado a la absorción, reflexión, transmisión, entre otras. Para ello se suelen realizar ensayos de acústica de materiales los que permiten a los científicos involucrados en los proyectos como ingenieros y arquitectos entender las contribuciones acústicas de los materiales que se desean utilizar in situ. La reproducibilidad y la precisión son los dos parámetros clave para que los ensayos de acústica de materiales resulten eficientes. Hoy en día, existen una serie de normas las cuales establecen los procedimientos para realizar ensayos acústicos y determinar unas y otras propiedades acústicas de los materiales de interés, la Norma UNE-EN ISO 18233 habla sobre *“Aplicación de nuevos métodos de medición en la acústica de los edificios y recintos”* mientras que la Norma UNE-EN ISO 354 destaca la *“Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante”* ambas normas junto a otras adicionales son de suma importancia para investigar las propiedades acústicas de los materiales.

2.3.1 LAMINADO DE PARTÍCULAS DE CORCHO.

El laminado de partículas de corcho es un material de pocas capacidades absorbentes excepto en frecuencias altas, las presentaciones empleadas para el ensayo de la muestra fueron de diferentes dimensiones de largo x 1 metro de ancho, en la totalidad se emplearon varias combinaciones de muestras con la finalidad de analizar superficies desde los 1,40 m² hasta los 12 m² y apreciar las diferencias en los TR y coeficientes de absorción sonora siguiendo el procedimiento establecido en la Norma ISO-354. Para realizar una correcta comparación de la influencia del tamaño de la muestra en el coeficiente de absorción de los materiales fue importante no solo ensayar un material poco absorbente sino también un material de mejores capacidades absorbentes.

Figura 7: Laminado de partículas de corcho



Fuente: Autor (2019)

2.3.2 ESPUMA DE POLIURETANO.

La espuma de poliuretano es un material de grandes capacidades absorbentes, la presentación empleada para el ensayo de la muestra fue de 2 metros de largo x 1 metro de ancho con una superficie de 2 m² y densidad aproximada de 20 kg/m³, en la totalidad se emplearon varias combinaciones con la finalidad de analizar superficies desde los 2 m² hasta los 20 m² y apreciar las diferencias en los TR y coeficientes de absorción sonora siguiendo el procedimiento establecido en la Norma ISO-354. Debido al tamaño de la cámara reverberante y a las condiciones establecidas en la Norma, el límite superior de superficie a ensayar se estableció en los 20 m², por su lado el límite inferior debido a las presentaciones de la espuma fue de 2 m². Para realizar una correcta comparación de la influencia del tamaño de la muestra en el coeficiente de absorción de los materiales fue importante no solo ensayar un material poco absorbente sino también un material de mejores capacidades absorbentes.

Figura 8: Espuma de poliuretano



Fuente: Autor (2019)

CAPÍTULO # 3: MÉTODO DE LA SEÑAL DE RUIDO INTERRUMPIDA Y DE LA RESPUESTA IMPULSIVA INTEGRADA EN MUESTRA DE ESPUMA

El presente estudio radica en analizar el coeficiente de absorción sonora de un material a base de espuma de poliuretano, para ello se introducen en la cámara reverberante muestras cuyas superficies dan un total de 2,00 m², 4,00 m², 6,00 m², 12,00 m² y 20,00 m². Luego de introducir una superficie dada se debe registrar la temperatura (°C) y humedad relativa (%) así como las mediciones por ambos métodos utilizando los equipos e instrumentos correspondientes para cada caso, cambiando la posición de los micrófonos y registrando las respuestas obtenidas de las variables de interés tales como los TR₂₀ y TR₃₀.

Figura 9: Espuma de poliuretano en cámara reverberante



Fuente: Autor (2019)

3.1 MEDICIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE MÉTODO DE LA SEÑAL DE RUIDO INTERRUMPIDA.

La medición del tiempo de reverberación mediante el método de la señal de ruido interrumpida se realizó en una cámara reverberante de volumen 217,00 m³, mediante un lector digital se registraron las variables de temperatura y humedad relativa para las mediciones de la cámara vacía y la cámara con cada muestra colocada en su interior.

Figura 10: Thermo-Hygro temperaturas y humedades relativas



Fuente: Autor (2019)

El procedimiento consistió en, una vez introducida cada muestra dentro de la cámara, apagar la luz y cerrar mecánicamente la puerta de ingreso para evitar interferencias externas en los resultados obtenidos. Posteriormente, en la habitación de mediciones, en donde se encontraban realizadas todas las conexiones pertinentes tanto para enviar la orden a la fuente sonora de emitir sonidos como para la conexión desde el micrófono receptor del sonido al sonómetro para registrar las respuestas, se arrancaba la medición del sonómetro Brüel & Kjaer 2260 Investigator el cual realizaba dos barridos y registraba los tiempos de reverberación TR₂₀ y TR₃₀. Este procedimiento se repetía para cada una de las cinco posiciones de los micrófonos y se realizaba el guardado y volcado de datos correspondiente para su posterior estudio y análisis.

Tabla 3: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 2,00 m² (SRI - Espuma)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
Cámara Reverberante Espuma 2 m ²	TR20									
	Promedio	14,90	14,71	11,98	11,57	10,04	8,02	6,64	6,13	5,39
	Posición No. 1	14,34	18,53	13,44	10,72	10,05	7,67	7,00	5,97	5,46
	Posición No. 2	16,15	13,85	11,00	13,37	10,82	7,95	6,54	6,12	5,17
	Posición No. 3	14,89	13,59	12,36	10,17	9,82	8,14	6,55	5,88	5,58
	Posición No. 4	16,96	14,41	11,08	11,50	9,42	7,64	6,74	6,37	5,50
	Posición No. 5	12,18	13,15	12,03	12,10	10,10	8,69	6,36	6,31	5,25
	TR30									
	Promedio	14,85	14,64	12,61	11,96	10,33	8,10	6,67	6,13	5,47
	Posición No. 1	14,47	17,23	14,33	11,50	10,46	7,96	7,02	5,92	5,34
	Posición No. 2	15,57	14,21	12,05	13,72	10,79	8,22	6,66	6,26	5,35
Posición No. 3	14,41	14,29	12,87	10,82	9,93	8,19	6,44	6,18	5,54	
Posición No. 4	17,07	14,46	11,47	12,18	9,87	7,76	6,74	6,30	5,54	
Posición No. 5	12,74	13,01	12,33	11,60	10,58	8,35	6,50	5,99	5,56	
		800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
Cámara Reverberante Espuma 2 m ²	TR20									
	Promedio	5,00	4,79	4,37	4,14	3,90	3,45	3,00	2,45	2,00
	Posición No. 1	4,85	4,60	4,22	4,14	3,97	3,57	3,05	2,37	1,97
	Posición No. 2	5,08	5,07	4,56	4,06	3,94	3,40	3,01	2,45	1,97
	Posición No. 3	5,14	4,77	4,27	4,11	3,93	3,32	3,06	2,43	1,98
	Posición No. 4	5,06	4,76	4,26	4,23	3,87	3,52	2,95	2,45	2,06
	Posición No. 5	4,85	4,73	4,56	4,18	3,79	3,46	2,94	2,54	2,00
	TR30									
	Promedio	5,06	4,75	4,45	4,18	3,89	3,51	3,01	2,44	2,01
	Posición No. 1	5,18	4,68	4,32	4,18	3,87	3,59	2,99	2,44	1,99
	Posición No. 2	5,16	4,86	4,53	4,17	3,86	3,42	3,03	2,42	2,02
Posición No. 3	5,00	4,78	4,61	4,11	3,96	3,54	3,02	2,45	2,00	
Posición No. 4	5,00	4,74	4,25	4,16	3,86	3,46	3,03	2,42	2,02	
Posición No. 5	4,95	4,68	4,56	4,26	3,92	3,56	3,00	2,46	2,00	

Fuente: Autor (2019)

Tabla 4: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 4,00 m² (SRI - Espuma)

		TR20	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
		Cámara Reverberante Espuma 4 m²		Promedio	14,45	10,78	8,56	7,48	6,28	5,64	4,71
	Posición No. 1		15,11	9,75	8,69	7,54	6,42	5,37	4,79	4,36	3,87
	Posición No. 2		16,91	10,32	8,04	7,98	6,74	5,53	4,84	4,63	3,72
	Posición No. 3		14,43	10,05	8,93	6,96	6,55	6,23	4,81	4,55	3,63
	Posición No. 4		15,31	12,64	8,75	8,11	5,77	5,04	4,57	4,38	3,80
	Posición No. 5		10,51	11,14	8,39	6,81	5,90	6,04	4,56	4,42	4,17
		TR30	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
		Promedio	14,69	11,28	8,94	8,12	6,59	5,80	4,59	4,44	3,88
	Posición No. 1		15,36	10,27	9,14	7,80	6,76	5,70	4,67	4,33	3,84
	Posición No. 2		16,13	11,25	7,89	8,49	6,92	6,02	4,66	4,49	3,91
	Posición No. 3		14,96	10,41	9,56	8,68	6,76	5,94	4,53	4,40	3,61
	Posición No. 4		15,67	12,93	9,04	8,41	6,21	5,35	4,55	4,39	3,87
	Posición No. 5		11,34	11,55	9,07	7,20	6,28	5,98	4,56	4,61	4,16
		TR20	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
		Cámara Reverberante Espuma 4 m²		Promedio	3,59	3,43	3,32	3,13	3,00	2,83	2,50
	Posición No. 1		3,68	3,37	3,36	3,11	2,96	2,80	2,48	2,15	1,82
	Posición No. 2		3,76	3,36	3,16	3,18	2,98	2,91	2,54	1,99	1,83
	Posición No. 3		3,61	3,60	3,44	3,17	3,03	2,82	2,46	2,02	1,67
	Posición No. 4		3,58	3,54	3,29	3,11	3,00	2,83	2,45	2,07	1,73
	Posición No. 5		3,32	3,27	3,33	3,09	3,02	2,80	2,58	2,05	1,75
		TR30	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
		Promedio	3,62	3,48	3,37	3,17	3,04	2,81	2,47	2,05	1,77
	Posición No. 1		3,75	3,42	3,42	3,18	3,08	2,79	2,46	2,08	1,77
	Posición No. 2		3,72	3,43	3,27	3,22	3,08	2,77	2,47	2,01	1,79
	Posición No. 3		3,60	3,51	3,43	3,27	3,05	2,81	2,45	2,04	1,73
	Posición No. 4		3,63	3,56	3,35	3,07	3,02	2,86	2,49	2,06	1,75
	Posición No. 5		3,39	3,48	3,36	3,13	2,97	2,82	2,48	2,08	1,81

Fuente: Autor (2019)

Tabla 5: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 6,00 m² (SRI - Espuma)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
Cámara Reverberante Espuma 6 m²	TR20									
	Promedio	11,81	9,18	7,23	6,11	5,42	4,58	3,93	3,80	3,40
	Posición No. 1	10,28	7,28	7,13	5,53	5,21	4,56	3,95	4,07	3,65
	Posición No. 2	13,59	8,76	6,73	6,23	7,04	4,52	3,47	3,67	3,35
	Posición No. 3	11,36	8,48	7,21	5,81	4,82	4,36	4,07	3,51	3,38
	Posición No. 4	13,88	10,65	7,89	7,22	4,92	4,75	3,81	4,04	3,33
	Posición No. 5	9,96	10,71	7,20	5,77	5,12	4,71	4,34	3,69	3,31
	TR30									
	Promedio	12,95	10,05	7,38	6,41	5,54	4,67	3,89	3,78	3,49
	Posición No. 1	12,76	9,52	7,67	6,34	5,78	4,56	3,93	3,83	3,53
	Posición No. 2	13,44	9,83	6,81	6,19	5,84	4,82	3,86	3,86	3,46
	Posición No. 3	12,88	9,20	7,37	5,95	5,78	4,81	3,97	3,60	3,42
	Posición No. 4	13,90	10,95	7,69	6,95	5,28	4,64	3,82	3,99	3,60
	Posición No. 5	11,79	10,77	7,38	6,62	5,00	4,50	3,89	3,60	3,46
	Cámara Reverberante Espuma 6 m²	TR20								
Promedio		3,21	3,09	2,88	2,74	2,65	2,39	2,16	1,88	1,61
Posición No. 1		2,90	3,12	2,88	2,71	2,64	2,35	2,14	1,95	1,68
Posición No. 2		3,04	3,19	2,89	2,89	2,70	2,39	2,25	1,94	1,57
Posición No. 3		3,35	3,11	2,81	2,65	2,60	2,41	2,05	1,78	1,59
Posición No. 4		3,34	2,98	2,85	2,71	2,57	2,43	2,08	1,87	1,64
Posición No. 5		3,41	3,04	2,96	2,76	2,74	2,38	2,27	1,84	1,59
TR30										
Promedio		3,21	3,06	2,87	2,77	2,59	2,43	2,15	1,86	1,59
Posición No. 1		3,10	2,98	2,77	2,75	2,56	2,43	2,17	1,87	1,63
Posición No. 2		3,08	3,11	2,95	2,83	2,61	2,47	2,17	1,87	1,57
Posición No. 3		3,36	3,06	2,84	2,71	2,58	2,37	2,05	1,82	1,56
Posición No. 4		3,18	3,09	2,89	2,75	2,58	2,43	2,16	1,87	1,64
Posición No. 5		3,34	3,05	2,88	2,79	2,62	2,43	2,20	1,85	1,57

Fuente: Autor (2019)

Tabla 6: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 12,00 m² (SRI - Espuma)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
Cámara Reverberante Espuma 12 m²	TR20									
	Promedio	9,48	7,50	4,86	4,58	3,52	2,87	2,45	2,28	2,00
	Posición No. 1	12,10	8,50	5,11	3,92	3,38	2,77	2,45	2,52	1,97
	Posición No. 2	8,10	7,72	4,63	4,35	3,99	3,15	2,21	2,15	1,93
	Posición No. 3	11,06	6,98	4,85	5,03	3,45	2,97	2,85	2,10	1,79
	Posición No. 4	8,91	8,14	4,72	5,00	3,50	2,90	2,41	2,46	2,19
	Posición No. 5	7,25	6,16	5,00	4,62	3,28	2,56	2,34	2,16	2,12
	TR30									
	Promedio	9,51	7,70	5,00	4,64	3,44	3,03	2,59	2,32	2,12
	Posición No. 1	12,09	8,61	4,90	4,11	3,37	2,77	2,47	2,32	2,22
Posición No. 2	8,27	7,77	4,81	4,65	3,68	3,28	2,70	2,21	2,18	
Posición No. 3	11,55	7,55	4,88	5,33	3,28	3,21	2,72	2,39	1,89	
Posición No. 4	8,74	8,06	5,54	4,46	3,52	2,91	2,54	2,39	2,21	
Posición No. 5	6,92	6,51	4,85	4,67	3,35	2,96	2,50	2,28	2,12	
Cámara Reverberante Espuma 12 m²	TR20									
	Promedio	2,02	2,01	1,87	1,86	1,72	1,67	1,50	1,34	1,20
	Posición No. 1	2,11	2,06	1,79	1,93	1,69	1,56	1,45	1,31	1,17
	Posición No. 2	1,87	1,99	1,88	1,79	1,66	1,63	1,54	1,33	1,20
	Posición No. 3	2,05	1,98	1,82	1,84	1,71	1,67	1,52	1,34	1,24
	Posición No. 4	2,07	2,13	1,91	1,89	1,84	1,75	1,46	1,34	1,18
	Posición No. 5	2,00	1,89	1,95	1,87	1,72	1,73	1,54	1,39	1,21
	TR30									
	Promedio	2,04	2,00	1,85	1,82	1,72	1,65	1,50	1,34	1,23
	Posición No. 1	2,05	1,95	1,82	1,81	1,71	1,64	1,50	1,33	1,21
Posición No. 2	2,01	1,99	1,81	1,75	1,72	1,59	1,51	1,36	1,25	
Posición No. 3	2,06	1,99	1,88	1,81	1,70	1,66	1,51	1,33	1,23	
Posición No. 4	2,13	2,09	1,81	1,92	1,75	1,72	1,47	1,34	1,22	
Posición No. 5	1,94	2,00	1,92	1,82	1,71	1,66	1,53	1,34	1,23	

Fuente: Autor (2019)

Tabla 7: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 20,00 m² (SRI - Espuma)

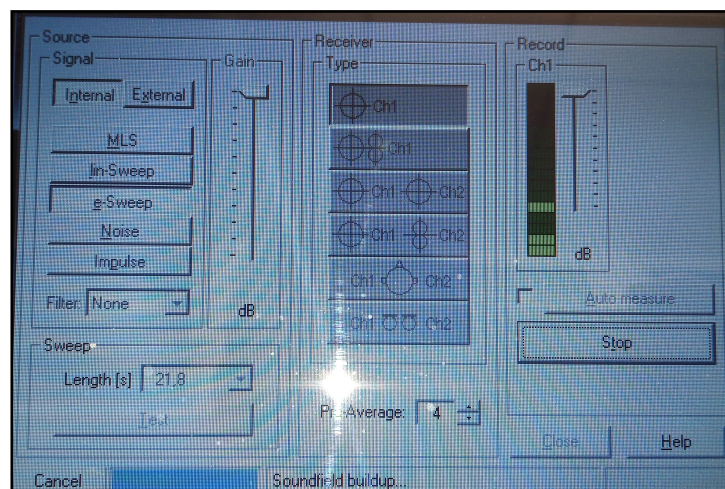
		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
Cámara Reverberante Espuma 20 m²	TR₂₀	5,53	4,65	3,06	2,49	2,52	1,84	1,58	1,51	1,46
	Promedio	5,53	4,65	3,06	2,49	2,52	1,84	1,58	1,51	1,46
	Posición No. 1	6,32	4,08	3,26	2,58	2,24	1,90	1,53	1,64	1,38
	Posición No. 2	5,36	5,36	2,90	1,99	2,66	1,94	1,56	1,38	1,34
	Posición No. 3	5,98	3,48	2,92	2,87	2,59	1,91	1,64	1,48	1,40
	Posición No. 4	5,65	5,97	3,22	2,26	2,50	1,82	1,62	1,60	1,58
	Posición No. 5	4,33	4,34	3,01	2,75	2,59	1,62	1,55	1,46	1,59
	TR₃₀	5,42	4,95	3,14	2,52	2,41	1,82	1,66	1,51	1,43
	Promedio	5,42	4,95	3,14	2,52	2,41	1,82	1,66	1,51	1,43
	Posición No. 1	6,18	4,54	3,09	2,52	2,16	1,82	1,56	1,50	1,35
	Posición No. 2	5,28	5,59	3,44	2,44	2,70	1,85	1,64	1,47	1,47
Posición No. 3	5,92	3,86	3,06	2,65	2,43	1,85	1,65	1,50	1,36	
Posición No. 4	5,33	5,97	3,28	2,62	2,28	1,93	1,70	1,50	1,48	
Posición No. 5	4,41	4,80	2,82	2,37	2,49	1,66	1,74	1,60	1,49	
		800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
Cámara Reverberante Espuma 20 m²	TR₂₀	1,33	1,37	1,31	1,20	1,11	1,13	1,10	0,96	0,87
	Promedio	1,33	1,37	1,31	1,20	1,11	1,13	1,10	0,96	0,87
	Posición No. 1	1,43	1,42	1,26	1,19	1,17	1,15	1,08	0,94	0,85
	Posición No. 2	1,36	1,47	1,31	1,23	1,07	1,16	1,10	0,95	0,89
	Posición No. 3	1,39	1,28	1,41	1,18	1,07	1,10	1,10	1,01	0,88
	Posición No. 4	1,34	1,28	1,27	1,21	1,06	1,13	1,14	0,95	0,88
	Posición No. 5	1,13	1,41	1,29	1,18	1,16	1,11	1,07	0,96	0,87
	TR₃₀	1,32	1,30	1,29	1,23	1,13	1,13	1,08	0,97	0,89
	Promedio	1,32	1,30	1,29	1,23	1,13	1,13	1,08	0,97	0,89
	Posición No. 1	1,37	1,30	1,34	1,28	1,13	1,12	1,11	0,95	0,90
	Posición No. 2	1,32	1,33	1,27	1,26	1,15	1,18	1,08	0,97	0,87
Posición No. 3	1,38	1,29	1,33	1,24	1,13	1,16	1,11	0,98	0,87	
Posición No. 4	1,30	1,26	1,22	1,19	1,07	1,09	1,09	0,99	0,89	
Posición No. 5	1,23	1,33	1,28	1,18	1,16	1,08	1,01	0,96	0,90	

Fuente: Autor (2019)

3.2 MEDICIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE MÉTODO DE LA RESPUESTA IMPULSIVA INTEGRADA.

La medición del tiempo de reverberación mediante el método de la respuesta impulsiva integrada sigue fundamentalmente el mismo procedimiento a aquel establecido en el método de la señal de ruido interrumpida en el sentido en el cual se introducen las muestras en la cámara, se registra la temperatura y humedad relativa y en la habitación de mediciones se inician los procesos de emisión y registro de sonidos. La diferencia fundamental radica en los equipos empleados, para este método se utiliza un software conocido como “DIRAC” el cual no solo registra tiempos de reverberación sino otras variables de interés, así mismo se utiliza un amplificador de sonidos el cual debe emitir el sonido a un volumen tal que no cause interferencia con los resultados obtenidos.

Figura 11: Configuración de parámetros DIRAC



Fuente: Autor (2019)

La configuración fundamental para las grabaciones utilizando el DIRAC consiste en una señal interna con barrido exponencial, el receptor es del tipo CH1 y el barrido tiene una duración de 21,8 segundos. A diferencia del sonómetro, en este método se realizan cuatro barridos para obtener las variables de interés tales como el TR_{20} y TR_{30} .

Tabla 8: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 2,00 m² (RII - Espuma)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
Cámara Reverberante Espuma 2 m²	TR20									
	Promedio	15,10	13,59	11,45	11,03	9,64	7,77	6,57	5,90	5,36
	Posición No. 1	15,46	14,63	11,51	10,79	9,91	7,99	6,35	6,24	5,34
	Posición No. 2	15,54	14,07	11,82	11,51	9,90	7,51	6,81	6,17	5,37
	Posición No. 3	15,37	12,18	11,18	10,44	9,79	7,75	6,82	5,61	5,25
	Posición No. 4	16,12	13,84	10,93	11,54	9,46	7,82	6,51	5,81	5,44
	Posición No. 5	13,03	13,21	11,83	10,89	9,16	7,79	6,36	5,67	5,38
	TR30									
	Promedio	15,59	14,20	12,17	11,86	10,13	7,82	6,76	6,09	5,37
	Posición No. 1	15,78	15,64	12,57	11,73	10,49	7,93	6,74	6,22	5,37
	Posición No. 2	16,06	14,51	12,92	12,49	10,38	7,74	6,87	6,18	5,38
	Posición No. 3	15,72	13,49	11,75	10,94	10,01	7,89	6,89	6,04	5,32
	Posición No. 4	16,64	14,08	11,18	12,86	10,01	7,51	6,66	6,02	5,43
	Posición No. 5	13,75	13,27	12,42	11,29	9,75	8,03	6,67	5,98	5,33
		800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
Cámara Reverberante Espuma 2 m²	TR20									
	Promedio	5,08	4,66	4,46	4,16	3,86	3,45	2,97	2,39	1,98
	Posición No. 1	5,26	4,62	4,45	4,15	3,77	3,35	2,91	2,31	1,97
	Posición No. 2	5,38	4,73	4,46	4,15	3,78	3,45	3,01	2,43	1,98
	Posición No. 3	4,84	4,52	4,33	4,10	3,99	3,57	3,00	2,41	2,00
	Posición No. 4	4,81	4,55	4,37	4,23	3,84	3,45	2,95	2,40	1,99
	Posición No. 5	5,11	4,89	4,67	4,20	3,95	3,45	2,96	2,42	1,98
	TR30									
	Promedio	5,08	4,69	4,43	4,15	3,85	3,46	3,01	2,39	1,98
	Posición No. 1	5,19	4,61	4,42	4,11	3,75	3,43	2,94	2,34	1,97
	Posición No. 2	5,14	4,69	4,38	4,12	3,83	3,44	3,02	2,39	1,94
	Posición No. 3	5,05	4,68	4,44	4,17	3,91	3,51	3,04	2,42	2,01
	Posición No. 4	4,88	4,66	4,34	4,16	3,83	3,45	3,03	2,39	1,98
	Posición No. 5	5,13	4,81	4,56	4,19	3,91	3,46	3,02	2,41	1,99

Fuente: Autor (2019)

Tabla 9: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 4,00 m² (R11 - Espuma)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	
Cámara Reverberante Espuma 4 m²	TR20										
	Promedio	13,82	11,15	8,22	7,67	6,13	5,28	4,29	4,23	3,78	
	Posición No. 1	14,61	9,37	8,22	7,79	6,08	5,36	4,11	4,20	3,82	
	Posición No. 2	14,23	12,69	7,99	8,32	6,65	4,94	4,23	4,16	3,64	
	Posición No. 3	15,09	9,86	8,28	7,34	6,69	5,76	4,77	4,26	3,99	
	Posición No. 4	14,77	12,97	8,57	7,75	5,46	4,87	4,06	4,30	3,78	
	Posición No. 5	10,42	10,86	8,06	7,14	5,76	5,45	4,28	4,22	3,68	
	TR30										
	Promedio	14,54	11,57	8,57	7,99	6,46	5,40	4,40	4,25	3,76	
	Posición No. 1	14,97	10,33	8,78	7,97	6,30	5,44	4,37	4,39	3,76	
	Posición No. 2	14,32	12,96	8,72	8,29	6,89	5,49	4,36	4,17	3,63	
	Posición No. 3	18,35	10,37	8,25	8,08	6,60	5,60	4,57	4,28	3,81	
	Posición No. 4	15,27	13,12	8,61	8,14	6,22	5,09	4,36	4,23	3,91	
	Posición No. 5	9,78	11,06	8,48	7,47	6,27	5,41	4,34	4,19	3,67	

		800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz	
Cámara Reverberante Espuma 4 m²	TR20										
	Promedio	3,58	3,46	3,28	3,16	3,01	2,78	2,43	2,03	1,72	
	Posición No. 1	3,61	3,51	3,19	3,11	3,05	2,77	2,46	2,05	1,74	
	Posición No. 2	3,46	3,31	3,18	3,04	2,97	2,71	2,46	2,02	1,69	
	Posición No. 3	3,56	3,48	3,31	3,27	2,91	2,76	2,46	2,02	1,74	
	Posición No. 4	3,70	3,59	3,32	3,06	3,09	2,81	2,34	2,03	1,69	
	Posición No. 5	3,57	3,43	3,39	3,32	3,01	2,86	2,43	2,05	1,73	
	TR30										
	Promedio	3,58	3,40	3,30	3,18	2,98	2,76	2,46	2,05	1,74	
	Posición No. 1	3,58	3,46	3,24	3,12	3,03	2,75	2,48	2,05	1,77	
	Posición No. 2	3,51	3,41	3,33	3,20	3,00	2,73	2,49	2,08	1,72	
	Posición No. 3	3,48	3,38	3,24	3,27	2,99	2,71	2,44	2,05	1,75	
	Posición No. 4	3,66	3,37	3,34	3,08	2,95	2,78	2,44	2,05	1,72	
	Posición No. 5	3,65	3,37	3,36	3,23	2,96	2,85	2,45	2,03	1,73	

Fuente: Autor (2019)

Tabla 10: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 6,00 m² (RII - Espuma)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
Cámara Reverberante Espuma 6 m²	TR20	11,58	9,20	6,77	6,10	5,21	4,41	3,96	3,69	3,26
	Promedio	9,64	7,50	6,78	6,31	5,65	4,56	4,00	3,76	3,41
	Posición No. 1	14,15	9,31	6,61	6,39	5,15	4,05	3,86	3,74	3,00
	Posición No. 2	10,86	8,85	7,02	5,72	5,00	4,49	4,08	3,46	3,37
	Posición No. 3	13,65	10,86	6,48	5,99	5,00	4,32	3,95	3,81	3,27
	Posición No. 4	9,59	9,47	6,96	6,07	5,24	4,66	3,91	3,69	3,23
	Posición No. 5	12,22	9,89	7,00	6,45	5,57	4,55	3,99	3,74	3,29
	TR30	11,64	8,88	7,11	6,24	5,74	4,45	3,99	3,74	3,40
	Posición No. 1	13,47	10,13	6,65	6,75	5,80	4,55	4,05	3,93	3,23
	Posición No. 2	14,03	9,22	6,98	6,19	5,43	4,67	4,02	3,59	3,34
	Posición No. 3	12,73	11,10	7,16	7,02	5,46	4,36	3,87	3,74	3,37
Posición No. 4	9,21	10,15	7,09	6,05	5,41	4,70	4,02	3,67	3,11	

		800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
Cámara Reverberante Espuma 6 m²	TR20	3,09	3,00	2,92	2,81	2,58	2,38	2,16	1,82	1,57
	Promedio	3,34	3,03	2,91	2,78	2,61	2,36	2,14	1,77	1,55
	Posición No. 1	2,93	2,90	2,90	2,79	2,65	2,42	2,11	1,91	1,61
	Posición No. 2	3,14	3,11	2,93	2,89	2,48	2,28	2,16	1,82	1,59
	Posición No. 3	2,93	3,08	2,96	2,79	2,58	2,46	2,20	1,80	1,56
	Posición No. 4	3,11	2,87	2,89	2,78	2,56	2,40	2,17	1,79	1,52
	Posición No. 5	3,13	3,03	2,90	2,77	2,58	2,41	2,18	1,83	1,57
	TR30	3,31	3,08	2,92	2,78	2,63	2,38	2,15	1,82	1,58
	Posición No. 1	3,07	2,91	2,84	2,80	2,63	2,39	2,17	1,86	1,59
	Posición No. 2	3,14	3,09	2,92	2,79	2,51	2,37	2,18	1,81	1,56
	Posición No. 3	2,94	3,00	2,93	2,74	2,57	2,44	2,23	1,83	1,59
Posición No. 4	3,19	3,04	2,91	2,72	2,58	2,46	2,16	1,81	1,51	

Fuente: Autor (2019)

Tabla 11: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 12,00 m² (R11 - Espuma)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
TR20										
Promedio		9,13	7,32	4,55	4,19	3,36	2,84	2,53	2,39	2,07
	Posición No. 1	11,33	7,62	5,03	4,07	3,22	2,98	2,60	2,41	2,17
	Posición No. 2	7,80	7,35	4,24	4,12	3,69	3,05	2,42	2,27	2,08
	Posición No. 3	11,67	6,82	4,67	4,83	3,25	2,89	2,51	2,31	1,84
	Posición No. 4	8,20	7,61	4,37	4,09	3,21	2,75	2,45	2,58	2,26
	Posición No. 5	6,66	7,18	4,48	3,84	3,42	2,54	2,67	2,38	2,03
TR30										
Promedio		8,62	7,63	4,59	4,46	3,42	2,95	2,61	2,32	2,10
	Posición No. 1	11,60	8,09	4,65	4,65	3,33	2,95	2,75	2,33	2,21
	Posición No. 2	8,50	7,55	4,38	4,09	3,72	3,03	2,57	2,21	2,18
	Posición No. 3	8,33	7,30	4,75	4,84	3,25	2,95	2,56	2,27	1,86
	Posición No. 4	8,04	7,78	4,54	4,36	3,36	2,96	2,54	2,49	2,17
	Posición No. 5	6,64	7,46	4,63	4,36	3,43	2,83	2,63	2,32	2,10
Cámara Reverberante Espuma 12 m²										
TR20										
Promedio		2,08	2,00	1,91	1,75	1,71	1,65	1,53	1,35	1,17
	Posición No. 1	2,16	2,01	1,84	1,76	1,74	1,66	1,53	1,31	1,17
	Posición No. 2	2,10	1,98	1,89	1,74	1,71	1,62	1,52	1,36	1,17
	Posición No. 3	1,93	2,04	1,97	1,83	1,76	1,69	1,50	1,33	1,18
	Posición No. 4	2,09	2,00	1,93	1,63	1,66	1,61	1,58	1,37	1,19
	Posición No. 5	2,11	2,00	1,91	1,79	1,71	1,65	1,51	1,36	1,14
TR30										
Promedio		2,07	1,99	1,88	1,80	1,71	1,65	1,52	1,34	1,19
	Posición No. 1	2,09	1,99	1,85	1,72	1,74	1,61	1,51	1,34	1,20
	Posición No. 2	2,05	1,95	1,91	1,84	1,74	1,66	1,52	1,34	1,19
	Posición No. 3	2,03	2,00	1,91	1,83	1,72	1,68	1,52	1,33	1,18
	Posición No. 4	2,14	2,00	1,92	1,76	1,68	1,65	1,52	1,34	1,22
	Posición No. 5	2,06	2,01	1,83	1,83	1,70	1,66	1,54	1,33	1,18
Cámara Reverberante Espuma 12 m²										

Fuente: Autor (2019)

Tabla 12: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 20,00 m² (Ril - Espuma)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	
		TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	
Cámara Reverberante Espuma 20 m ²		Promedio	5,33	4,63	2,87	2,37	2,50	1,83	1,64	1,57	1,39
		Posición No. 1	5,57	3,97	2,75	2,47	2,20	1,85	1,61	1,54	1,26
		Posición No. 2	4,93	5,79	2,99	2,05	2,47	2,02	1,52	1,53	1,42
		Posición No. 3	5,85	3,64	2,66	2,64	2,72	1,73	1,66	1,57	1,50
		Posición No. 4	5,67	5,90	3,04	2,53	2,46	1,94	1,77	1,64	1,42
Cámara Reverberante Espuma 20 m ²		Posición No. 5	4,65	3,86	2,92	2,14	2,63	1,62	1,58	1,58	1,34
		Promedio	5,26	4,88	3,03	2,46	2,33	1,84	1,65	1,52	1,37
		Posición No. 1	5,69	4,41	2,93	2,66	2,16	1,80	1,57	1,53	1,27
		Posición No. 2	5,01	5,91	3,25	2,17	2,21	1,88	1,58	1,49	1,41
		Posición No. 3	5,87	3,91	2,95	2,61	2,47	1,80	1,67	1,46	1,42
Cámara Reverberante Espuma 20 m ²		Posición No. 4	5,35	5,95	3,14	2,69	2,35	1,94	1,73	1,57	1,39
		Posición No. 5	4,40	4,21	2,88	2,14	2,47	1,77	1,72	1,58	1,38
		Promedio	1,39	1,36	1,26	1,20	1,13	1,12	1,05	0,97	0,87
		Posición No. 1	1,45	1,34	1,29	1,17	1,16	1,13	1,05	0,93	0,85
		Posición No. 2	1,36	1,25	1,29	1,26	1,13	1,06	1,05	1,01	0,83
Cámara Reverberante Espuma 20 m ²		Posición No. 3	1,47	1,35	1,21	1,24	1,09	1,10	1,08	0,97	0,89
		Posición No. 4	1,42	1,35	1,28	1,16	1,14	1,17	1,04	1,00	0,94
		Posición No. 5	1,26	1,50	1,23	1,18	1,13	1,13	1,05	0,96	0,84
		Promedio	1,36	1,32	1,26	1,21	1,13	1,11	1,06	0,97	0,88
		Posición No. 1	1,40	1,28	1,26	1,22	1,12	1,11	1,07	0,95	0,86
Cámara Reverberante Espuma 20 m ²		Posición No. 2	1,30	1,24	1,29	1,27	1,14	1,05	1,01	0,87	
		Posición No. 3	1,41	1,34	1,20	1,19	1,11	1,09	1,08	0,98	0,90
		Posición No. 4	1,38	1,34	1,29	1,18	1,14	1,15	1,06	0,97	0,91
		Posición No. 5	1,29	1,41	1,29	1,20	1,13	1,11	1,06	0,95	0,88

Fuente: Autor (2019)

3.3 ESTUDIO DE LA PRECISIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE AMBOS MÉTODOS.

Una vez realizadas las mediciones de los tiempos de reverberación con ambos métodos se procede a analizar si existen o no diferencias entre ellos, para ello se calcula la precisión y el error admisible tomando en cuenta tanto las 5 mediciones por el método de la señal interrumpida como las 5 mediciones por el método de la respuesta impulsiva integrada, el procedimiento a seguir es aquel establecido en la Norma ISO 354, finalmente se grafican los barridos positivos y negativos así como los promedios de los TR₃₀ para cada frecuencia y cada muestra ensayada.

$$\varepsilon_{20}(T) / T = \sqrt{\frac{2,42 + 3,59 / N}{f T}}$$

$\varepsilon_{20}(T)$ es la desviación estándar del tiempo de reverberación T_{20} ;

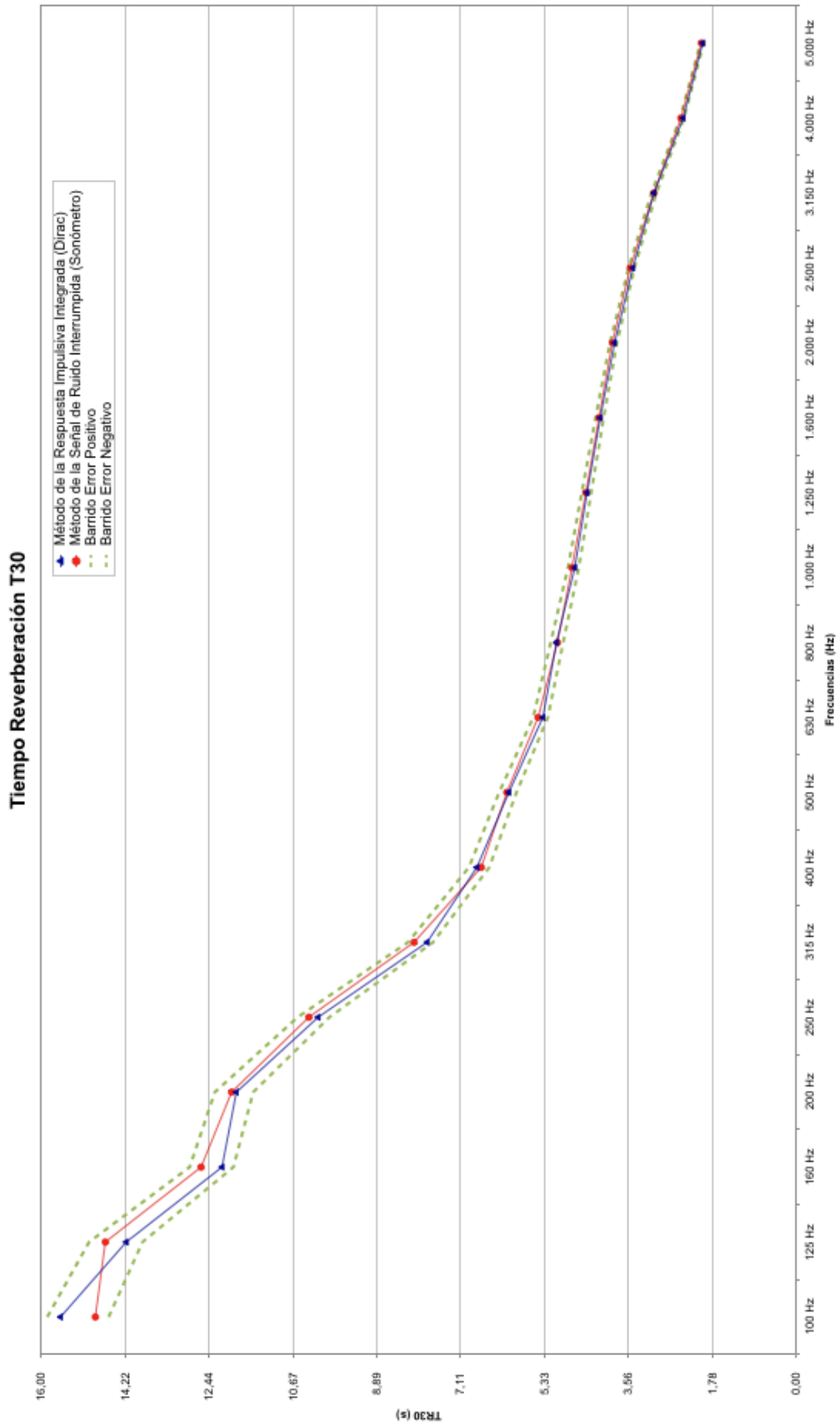
T es el tiempo de reverberación medido;

f es la frecuencia central de la banda de tercio de octava;

N es el número de curvas de caída evaluadas.

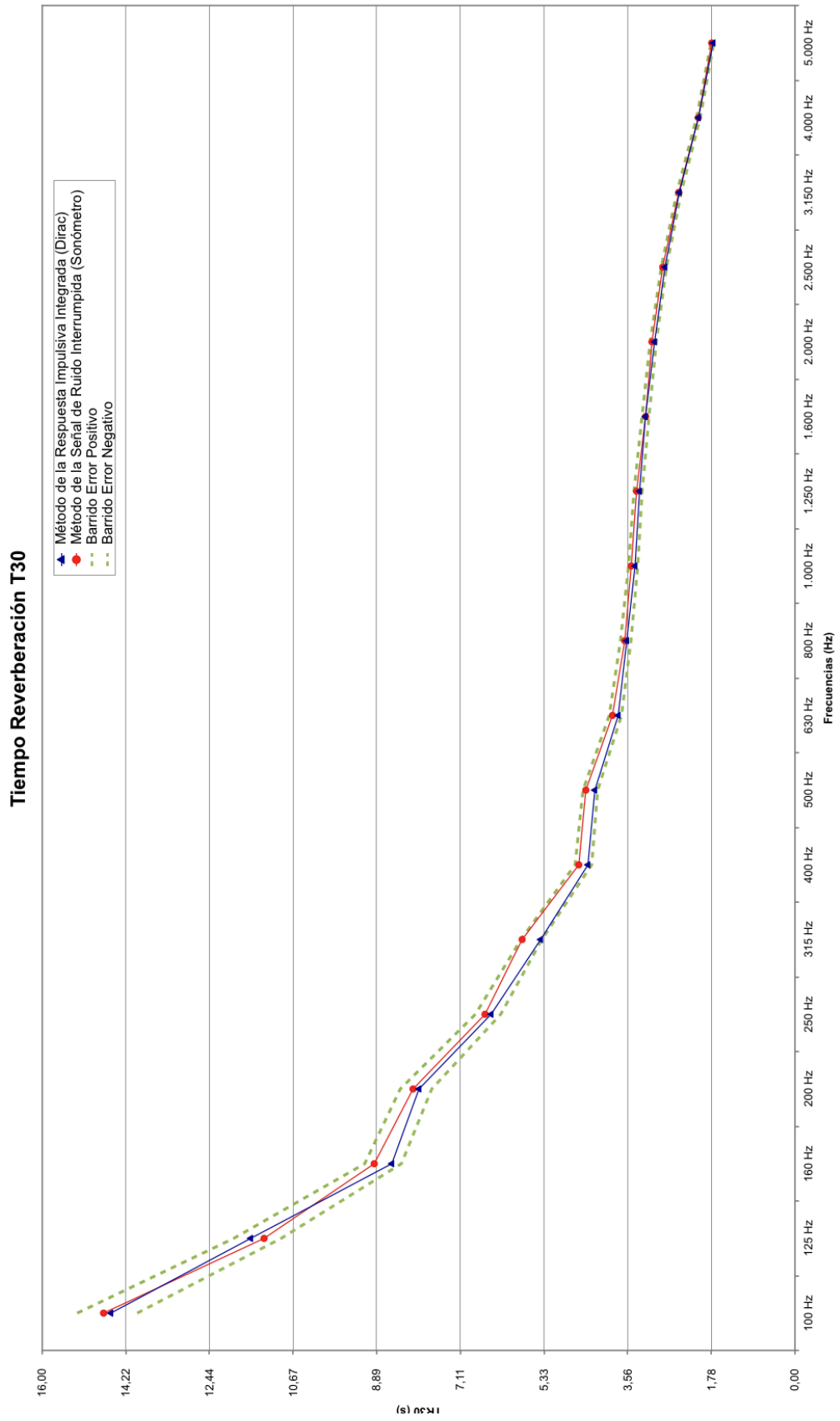
**Apartado 8.2.2 "Repetibilidad de los tiempos de reverberación medidos"*

Figura 12: Precisión entre ambos métodos muestra de 2,00 m² (Espuma)



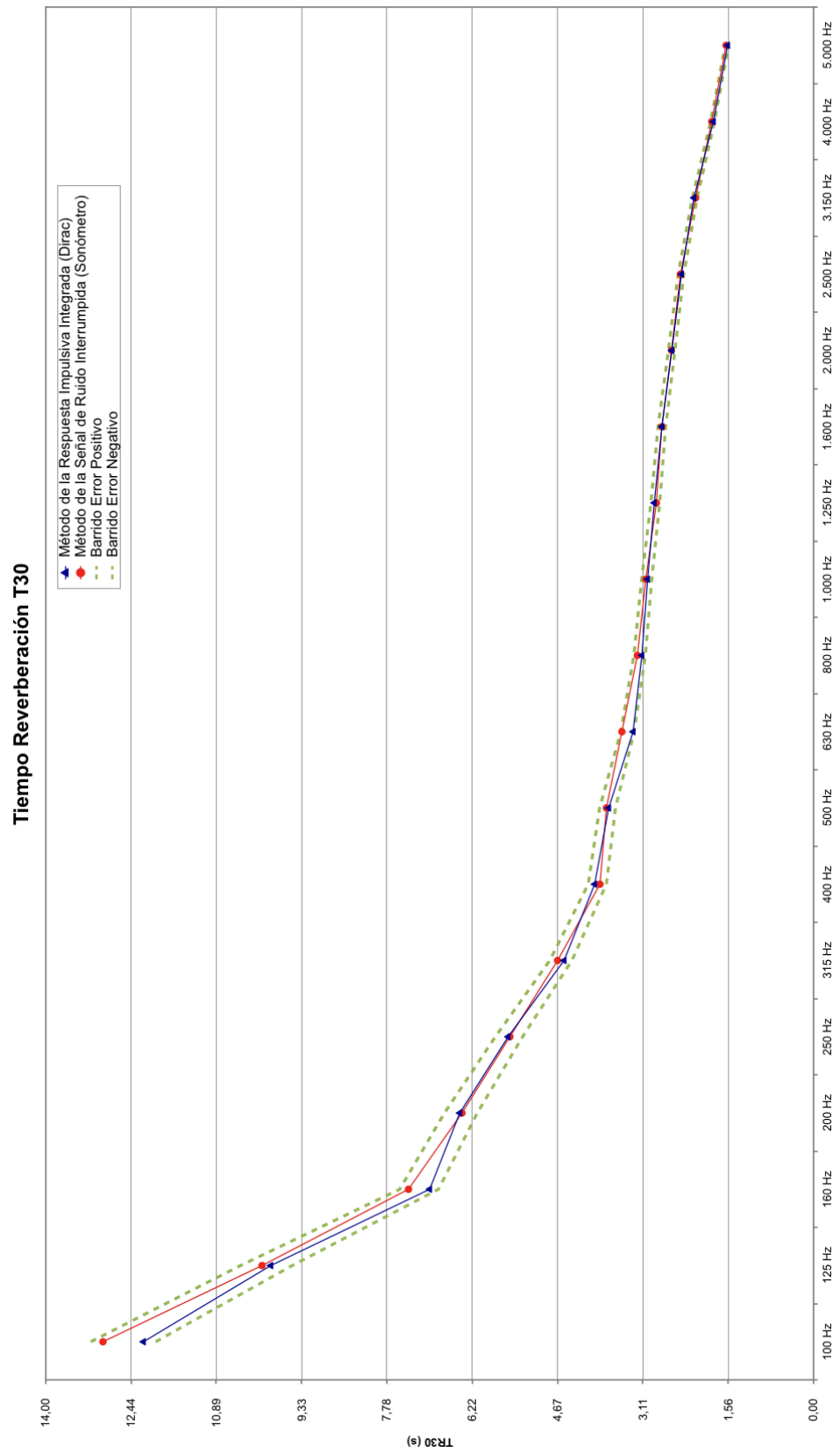
Fuente: Autor (2019)

Figura 13: Precisión entre ambos métodos muestra de 4,00 m² (Espuma)



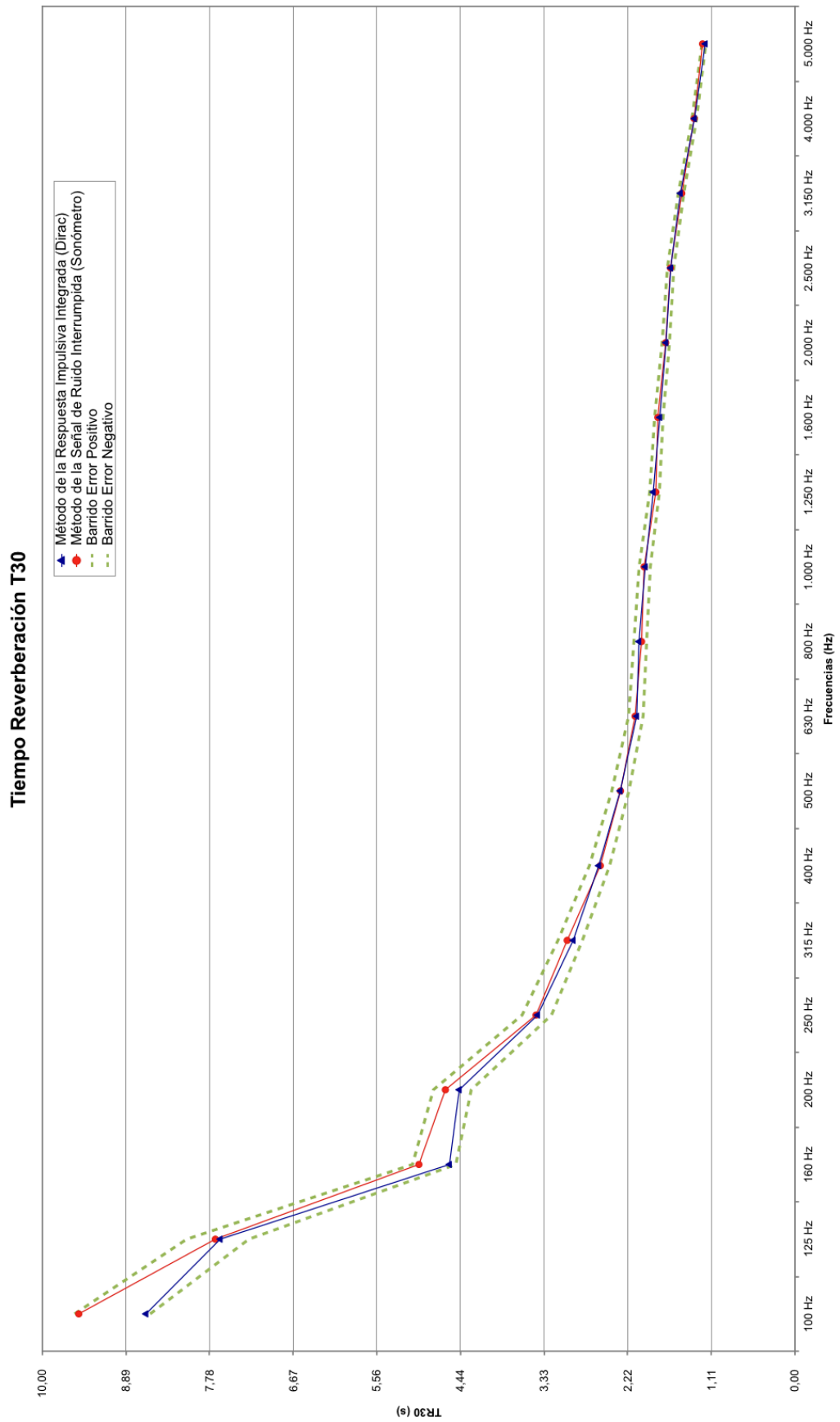
Fuente: Autor (2019)

Figura 14: Precisión entre ambos métodos muestra de 6,00 m² (Espuma)



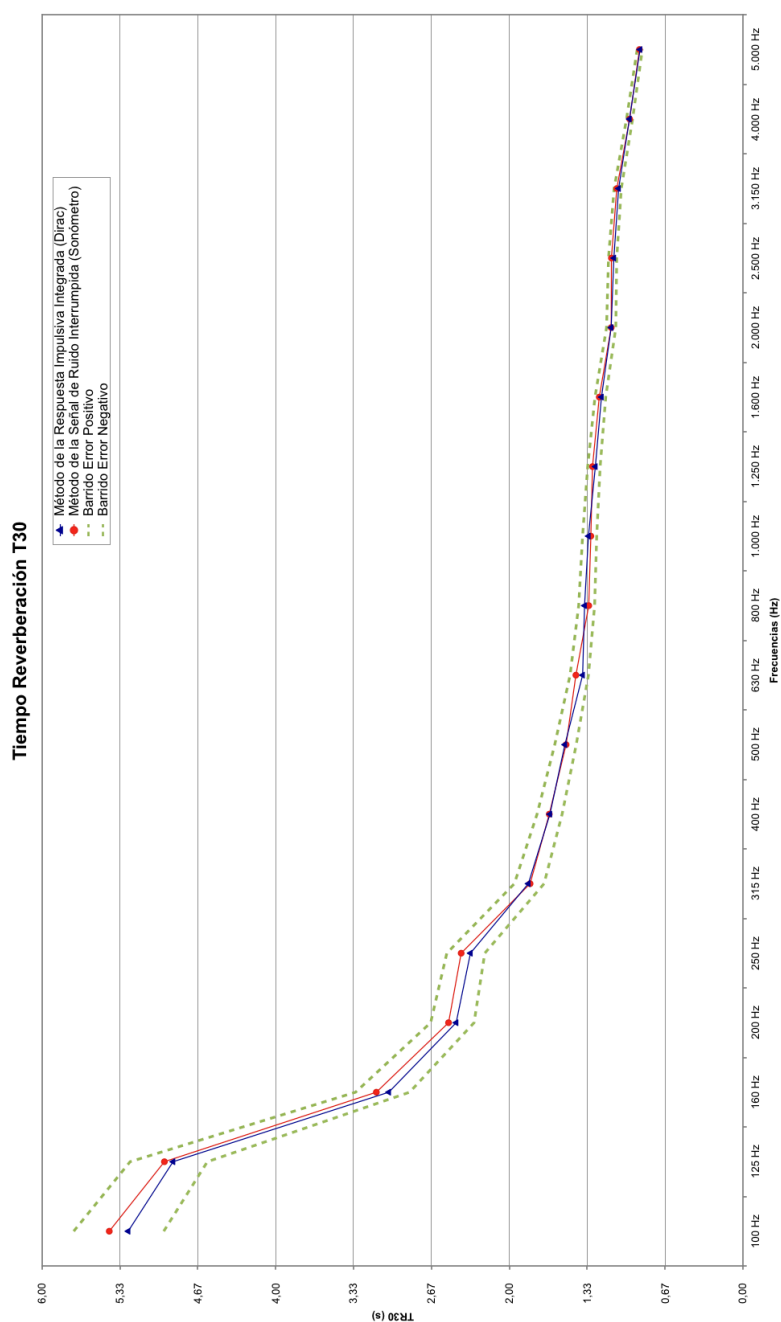
Fuente: Autor (2019)

Figura 15: Precisión entre ambos métodos muestra de 12,00 m² (Espuma)



Fuente: Autor (2019)

Figura 16: Precisión entre ambos métodos muestra de 20,00 m² (Espuma)



Fuente: Autor (2019)

Al acabar la comparativa se concluye que, debido a que los resultados obtenidos mediante ambos métodos se encuentran dentro del rango de precisión establecido en la Norma, no hay distinción alguna entre un método y otro por lo cual para la determinación del coeficiente de absorción sonora se tomarán en cuenta tanto las muestras ensayadas de un método como del otro siendo un total de 10 unidades.

3.4 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS.

Finalmente, para la determinación del coeficiente de absorción sonora de cada muestra ensayada se determina en primera instancia la absorción que tiene la cámara vacía y la cámara con la muestra dada considerando las 10 posiciones debido a ambos métodos según el procedimiento establecido en la Norma ISO 354 en su apartado 8 “*Expresión de Resultados*”

$$A_1 = \frac{55,3 V}{cT_1} - 4 Vm_1 \quad A_2 = \frac{55,3 V}{cT_2} - 4 Vm_2$$

Donde:

- V es el volumen (m³) de la cámara reverberante vacía.
- c es la velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s)
- T_x es el tiempo de reverberación (s) de la cámara reverberante.
- m_x es el coeficiente de atenuación sonora (m⁻¹)

$$m = \frac{\alpha}{10 \lg(e)}$$

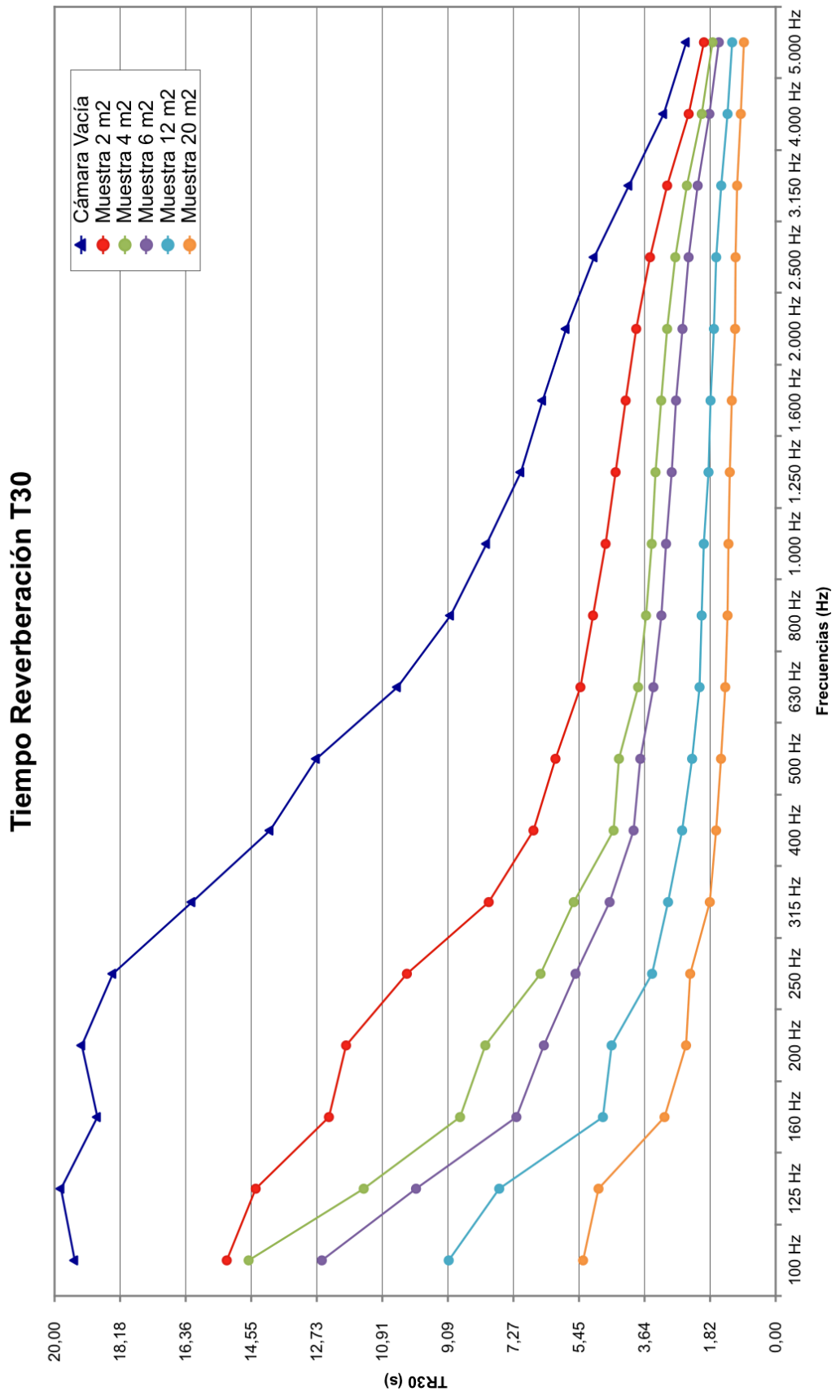
Inmediatamente después se determina el coeficiente de absorción sonora de cada muestra ensayada:

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S}$$

Donde:

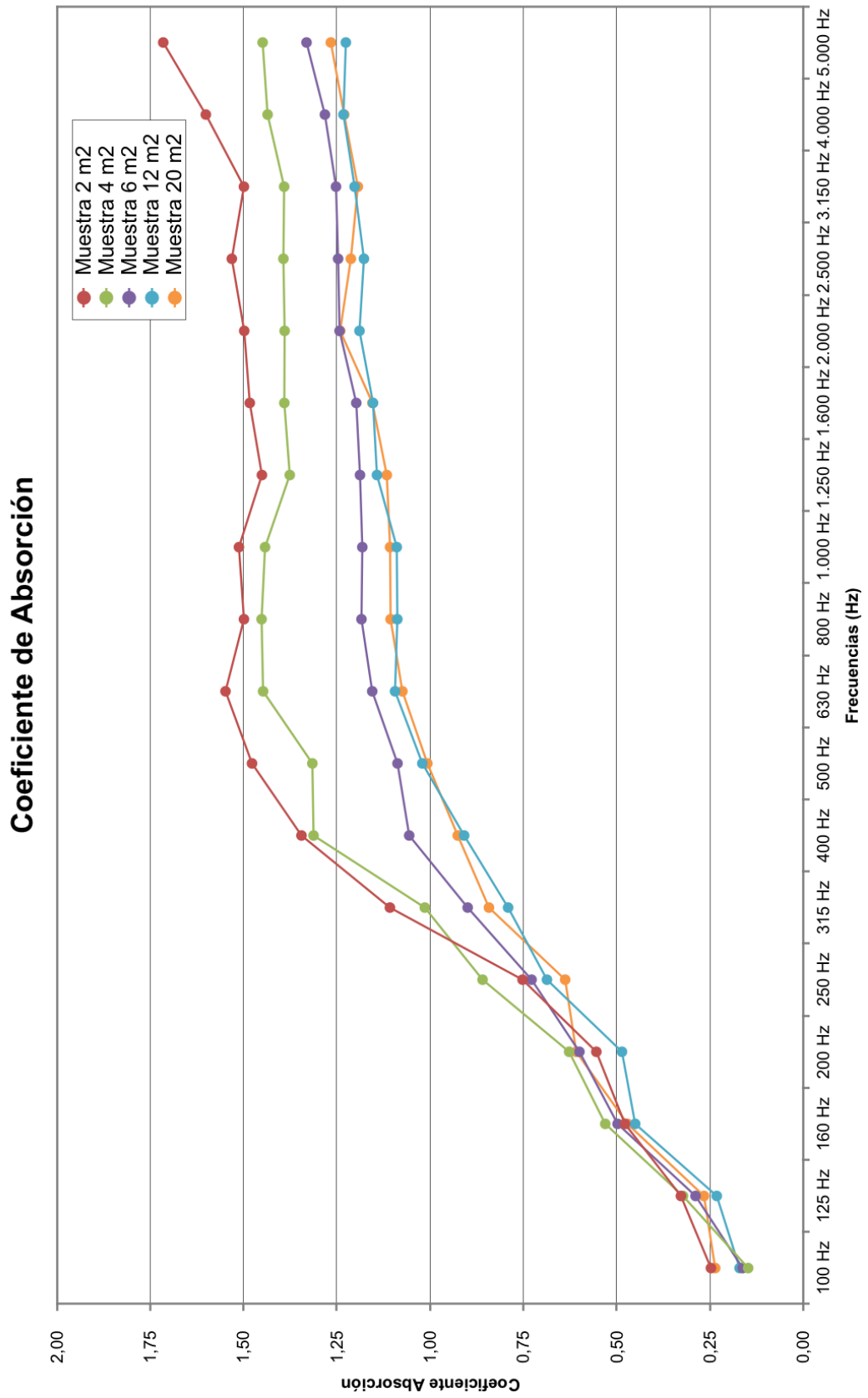
- A_T es el área de absorción sonora equivalente (m²) = A₂ - A₁.
- S es el área (m²) de la muestra de ensayo.

Figura 17: TR30 muestras ensayadas (Espuma)



Fuente: Autor (2019)

Figura 18: Coeficiente de absorción sonora de muestras ensayadas (Espuma)



Fuente: Autor (2019)

CAPÍTULO # 4: MÉTODO DE LA SEÑAL DE RUIDO INTERRUMPIDA Y DE LA RESPUESTA IMPULSIVA INTEGRADA EN MUESTRA DE CORCHO

El presente estudio radica en analizar el coeficiente de absorción sonoro de un laminado de partículas de corcho, para ello se introducen en la cámara reverberante muestras cuyas superficies dan un total de 1,40 m², 2,60 m², 4,00 m², y 12,00 m². Luego de introducir una superficie dada se debe registrar la temperatura (°C) y humedad relativa (%) así como las mediciones por ambos métodos utilizando los equipos e instrumentos correspondientes para cada caso, cambiando la posición de los micrófonos y registrando las respuestas obtenidas de las variables de interés tales como los TR₂₀ y TR₃₀.

Figura 19: Laminado de partículas de corcho en cámara reverberante



Fuente: Autor (2019)

4.1 MEDICIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE MÉTODO DE LA SEÑAL DE RUIDO INTERRUPTIDA.

Tabla 13: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 1,40 m² (SRI - Corcho)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
Cámara Reverberante Caucho 1,40 m ²	TR20									
	Promedio	20,93	21,50	19,15	19,66	18,20	15,75	13,91	12,04	10,26
	Posición No. 1	20,16	23,26	18,79	20,01	18,55	15,57	13,95	11,51	10,27
	Posición No. 2	20,65	21,97	20,19	19,88	17,56	15,30	13,54	12,02	10,19
	Posición No. 3	21,92	19,32	20,62	18,99	18,76	15,95	14,04	11,88	9,86
	Posición No. 4	19,55	21,69	16,92	18,68	17,51	15,89	13,55	12,52	10,36
	Posición No. 5	22,36	21,26	19,22	20,72	18,64	16,03	14,48	12,29	10,60
	TR30									
	Promedio	21,19	21,81	19,44	19,41	18,80	15,97	14,00	12,09	10,15
	Posición No. 1	20,63	23,16	19,08	19,87	18,93	15,65	14,17	11,80	10,03
	Posición No. 2	20,78	22,38	20,87	19,94	18,73	15,66	13,93	12,05	10,00
	Posición No. 3	22,15	20,44	20,49	18,65	19,03	15,96	13,97	12,22	10,06
	Posición No. 4	19,76	22,22	17,42	18,94	18,21	15,94	13,59	12,34	10,26
	Posición No. 5	22,63	20,83	19,36	19,66	19,11	16,62	14,33	12,04	10,40
	Cámara Reverberante Caucho 1,40 m ²	TR20								
Promedio		8,38	7,51	6,67	5,92	5,28	4,48	3,67	2,85	2,28
Posición No. 1		8,02	7,54	6,54	5,84	5,16	4,29	3,62	2,89	2,28
Posición No. 2		8,68	7,80	6,61	6,01	5,22	4,30	3,69	2,82	2,28
Posición No. 3		8,30	7,36	6,62	5,72	5,34	4,64	3,69	2,84	2,39
Posición No. 4		8,12	7,24	6,90	6,09	5,38	4,44	3,67	2,87	2,20
Posición No. 5		8,77	7,62	6,68	5,95	5,28	4,75	3,69	2,85	2,26
TR30										
Promedio		8,43	7,34	6,57	5,89	5,20	4,46	3,69	2,83	2,29
Posición No. 1		8,20	7,29	6,50	5,81	5,25	4,36	3,62	2,82	2,32
Posición No. 2		8,36	7,35	6,53	5,81	5,25	4,43	3,73	2,83	2,27
Posición No. 3		8,73	7,29	6,52	5,84	5,21	4,53	3,73	2,83	2,36
Posición No. 4		8,22	7,20	6,49	6,00	5,16	4,46	3,67	2,83	2,23
Posición No. 5		8,63	7,59	6,81	5,98	5,15	4,54	3,68	2,85	2,27

Fuente: Autor (2019)

Tabla 14: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 2,60 m² (SRI - Corcho)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
Cámara Reverberante Caucho 2,60 m ²	TR20									
	Promedio	20,56	21,27	18,86	19,30	19,33	16,01	13,69	12,21	10,29
	Posición No. 1	20,65	22,45	19,25	19,87	19,60	16,22	13,40	11,40	10,49
	Posición No. 2	19,19	20,47	19,22	18,57	19,58	15,93	13,35	12,51	10,29
	Posición No. 3	21,05	22,62	19,17	19,29	20,27	16,32	14,54	12,43	10,47
	Posición No. 4	19,19	18,71	18,21	19,99	18,06	15,90	13,69	12,35	9,99
	Posición No. 5	22,72	22,09	18,44	18,77	19,16	15,69	13,47	12,38	10,20
	TR30									
	Promedio	21,86	21,59	19,16	19,11	18,88	16,20	14,04	12,16	10,13
	Posición No. 1	20,87	22,94	19,01	19,42	18,40	16,51	14,13	11,92	10,03
	Posición No. 2	20,35	21,31	19,52	18,57	18,60	16,20	14,26	12,67	10,03
Posición No. 3	22,18	22,32	19,62	19,14	19,32	16,10	14,24	12,01	10,09	
Posición No. 4	21,54	19,50	18,68	19,57	18,33	16,17	13,92	12,15	10,21	
Posición No. 5	24,37	21,90	18,98	18,83	19,74	16,01	13,65	12,07	10,30	

		800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
Cámara Reverberante Caucho 2,60 m ²	TR20									
	Promedio	8,41	7,08	6,22	5,55	4,85	4,30	3,40	2,58	2,15
	Posición No. 1	8,28	7,54	5,96	5,66	4,93	4,32	3,51	2,53	2,14
	Posición No. 2	8,24	6,89	6,48	5,59	4,84	4,20	3,33	2,58	2,19
	Posición No. 3	8,82	6,89	6,08	5,65	4,86	4,23	3,41	2,57	2,10
	Posición No. 4	8,14	7,05	6,32	5,41	4,87	4,23	3,29	2,64	2,11
	Posición No. 5	8,59	7,02	6,26	5,46	4,75	4,50	3,45	2,58	2,21
	TR30									
	Promedio	8,43	7,17	6,29	5,57	4,86	4,24	3,44	2,63	2,16
	Posición No. 1	8,37	7,19	6,06	5,55	4,84	4,22	3,50	2,60	2,17
	Posición No. 2	8,30	7,09	6,40	5,53	4,95	4,17	3,41	2,64	2,17
Posición No. 3	8,62	7,25	6,17	5,61	4,84	4,26	3,43	2,61	2,15	
Posición No. 4	8,24	7,16	6,50	5,64	4,94	4,28	3,35	2,65	2,12	
Posición No. 5	8,61	7,17	6,30	5,54	4,74	4,29	3,51	2,64	2,20	

Fuente: Autor (2019)

Tabla 15: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 4,00 m² (SRI - Corcho)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	
		TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20
Cámara Reverberante Caucho 4,00 m²		Promedio	21,29	20,74	19,39	18,60	18,25	15,39	12,91	11,08	9,36
		Posición No. 1	20,09	22,75	20,17	19,93	19,44	14,62	13,15	10,87	9,01
		Posición No. 2	22,76	19,79	18,07	18,55	16,54	15,54	12,35	10,95	8,86
		Posición No. 3	22,06	20,75	20,50	17,32	18,77	15,96	13,06	10,83	9,49
		Posición No. 4	18,79	18,68	18,93	18,95	18,24	15,40	13,53	11,78	9,56
		Posición No. 5	22,75	21,72	19,26	18,27	18,25	15,44	12,45	10,97	9,86
Cámara Reverberante Caucho 4,00 m²		Promedio	22,51	21,16	19,61	18,65	18,40	15,56	12,86	11,30	9,39
		Posición No. 1	22,34	23,03	20,11	19,28	18,77	15,39	12,43	11,29	9,26
		Posición No. 2	22,41	20,82	18,51	18,30	17,62	15,34	12,67	11,21	9,26
		Posición No. 3	22,14	21,64	20,78	17,91	18,70	16,00	12,96	11,19	9,51
		Posición No. 4	19,27	19,07	19,49	19,21	18,19	15,52	13,30	11,74	9,42
		Posición No. 5	26,39	21,22	19,16	18,56	18,71	15,56	12,92	11,07	9,49
		800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz	
		TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20	TR20
Cámara Reverberante Caucho 4,00 m²		Promedio	7,85	6,88	6,22	5,54	4,86	4,06	3,23	2,50	2,07
		Posición No. 1	7,63	6,59	5,98	5,76	4,88	4,07	3,28	2,51	2,03
		Posición No. 2	7,67	7,09	6,11	5,39	4,92	4,07	3,13	2,42	2,10
		Posición No. 3	7,76	6,75	6,23	5,53	4,86	4,03	3,26	2,52	2,06
		Posición No. 4	7,92	7,06	6,46	5,39	4,76	4,11	3,31	2,60	2,02
		Posición No. 5	8,27	6,92	6,32	5,62	4,90	4,02	3,19	2,47	2,13
Cámara Reverberante Caucho 4,00 m²		Promedio	7,92	6,97	6,11	5,51	4,80	4,02	3,26	2,50	2,10
		Posición No. 1	7,91	6,94	6,01	5,57	4,74	3,98	3,27	2,51	2,10
		Posición No. 2	7,71	7,00	6,16	5,46	4,78	3,97	3,26	2,46	2,12
		Posición No. 3	7,94	6,82	6,04	5,48	4,81	4,03	3,26	2,50	2,08
		Posición No. 4	8,06	7,06	6,28	5,45	4,84	4,06	3,26	2,47	2,09
		Posición No. 5	7,97	7,04	6,05	5,57	4,83	4,08	3,23	2,56	2,11

Fuente: Autor (2019)

Tabla 16: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 12,00 m² (SRI - Corcho)

		TR ₂₀	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
		Promedio	19,94	20,81	18,46	17,28	15,89	14,36	11,36	9,78	8,15
Cámara Reverberante Caucho 12,00 m ²	Posición No. 1		21,05	23,82	19,11	18,08	15,78	14,32	11,33	9,89	8,38
	Posición No. 2		19,56	19,92	17,85	17,56	16,15	14,31	10,90	9,48	8,01
	Posición No. 3		19,98	20,82	19,00	16,52	15,53	13,99	11,57	9,81	8,03
	Posición No. 4		17,94	19,69	17,71	16,95	15,81	14,06	11,05	9,86	8,60
	Posición No. 5		21,19	19,78	18,61	17,28	16,19	15,12	11,93	9,85	7,75
		TR ₃₀	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
	Promedio		20,71	21,12	18,49	17,10	16,30	14,10	11,43	9,81	8,14
	Posición No. 1		20,25	22,98	19,09	17,78	16,87	14,20	11,35	9,79	8,07
	Posición No. 2		20,39	20,31	17,82	17,22	16,48	14,35	11,38	9,64	8,03
	Posición No. 3		20,92	22,09	19,24	16,88	15,90	13,73	11,16	9,69	8,12
Posición No. 4		19,08	20,37	17,78	16,68	15,99	13,88	11,38	10,28	8,20	
Posición No. 5		22,92	19,87	18,51	16,92	16,24	14,34	11,88	9,64	8,26	

		TR ₂₀	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
		Promedio	6,93	5,81	5,06	4,36	3,69	3,00	2,38	1,89	1,63
Cámara Reverberante Caucho 12,00 m ²	Posición No. 1		6,77	5,92	5,17	4,32	3,60	2,94	2,44	1,82	1,54
	Posición No. 2		7,12	6,14	4,96	4,24	3,62	3,17	2,35	1,85	1,64
	Posición No. 3		7,32	5,44	5,08	4,39	3,75	2,96	2,48	1,92	1,66
	Posición No. 4		6,74	5,73	4,98	4,44	3,60	2,96	2,36	1,92	1,62
	Posición No. 5		6,70	5,81	5,11	4,39	3,90	2,99	2,29	1,94	1,68
		TR ₃₀	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
	Promedio		6,84	5,84	5,06	4,37	3,70	3,03	2,38	1,88	1,65
	Posición No. 1		6,69	5,87	5,07	4,32	3,59	2,97	2,37	1,89	1,64
	Posición No. 2		6,93	5,92	4,97	4,34	3,68	3,10	2,42	1,85	1,65
	Posición No. 3		7,05	5,61	5,15	4,37	3,72	3,03	2,42	1,87	1,64
Posición No. 4		6,69	5,79	5,05	4,49	3,68	3,02	2,35	1,89	1,66	
Posición No. 5		6,82	5,99	5,05	4,31	3,84	3,03	2,33	1,88	1,66	

Fuente: Autor (2019)

4.2 MEDICIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE MÉTODO DE LA RESPUESTA IMPULSIVA INTEGRADA.

Tabla 17: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 1,40 m² (RII - Corcho)

		TR ₂₀	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
		Promedio	19,85	20,28	18,35	18,75	17,45	15,60	13,68	11,92	9,66
Cámara Reverberante Caucho 1,40 m ²		Posición No. 1	19,50	22,04	19,14	19,40	17,93	15,37	13,72	11,66	9,43
		Posición No. 2	19,09	20,08	18,04	18,72	17,36	15,33	13,74	11,91	9,53
		Posición No. 3	19,84	20,06	18,98	18,82	17,10	15,65	13,89	11,82	9,59
		Posición No. 4	19,35	19,23	17,03	18,74	16,77	15,64	13,45	12,06	9,88
		Posición No. 5	21,45	19,97	18,56	18,07	18,07	16,01	13,62	12,15	9,84
		TR ₃₀	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
		Promedio	20,26	20,75	18,67	18,95	18,06	15,78	13,65	11,89	9,84
		Posición No. 1	19,83	21,97	19,06	19,24	18,33	15,72	13,47	11,79	9,48
		Posición No. 2	19,79	20,86	18,52	18,77	17,51	15,48	13,74	11,88	9,82
		Posición No. 3	20,05	20,86	19,48	18,65	18,21	15,71	13,49	11,76	9,85
		Posición No. 4	19,87	20,07	17,61	19,21	17,71	15,73	13,61	12,00	10,13
		Posición No. 5	21,76	19,98	18,69	18,87	18,53	16,24	13,94	12,00	9,90
Cámara Reverberante Caucho 1,40 m ²		TR ₂₀	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
		Promedio	8,22	7,34	6,39	5,78	5,19	4,41	3,57	2,74	2,21
		Posición No. 1	8,20	7,28	6,33	5,65	5,01	4,34	3,57	2,73	2,11
		Posición No. 2	8,47	7,37	6,50	5,90	5,14	4,41	3,55	2,68	2,22
		Posición No. 3	7,93	7,35	6,42	5,68	5,15	4,41	3,58	2,74	2,21
		Posición No. 4	8,11	7,35	6,47	5,99	5,54	4,45	3,62	2,80	2,26
		Posición No. 5	8,40	7,37	6,25	5,67	5,12	4,43	3,51	2,77	2,28
		TR ₃₀	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
		Promedio	8,24	7,26	6,46	5,79	5,17	4,43	3,61	2,76	2,22
		Posición No. 1	8,14	7,10	6,37	5,67	4,98	4,36	3,55	2,68	2,14
		Posición No. 2	8,25	7,24	6,59	5,88	5,16	4,42	3,63	2,75	2,21
Posición No. 3	8,12	7,27	6,42	5,74	5,18	4,45	3,61	2,74	2,22		
Posición No. 4	8,28	7,24	6,47	5,86	5,33	4,45	3,66	2,81	2,27		
Posición No. 5	8,40	7,45	6,44	5,80	5,18	4,47	3,59	2,81	2,26		

Fuente: Autor (2019)

Tabla 18: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 2,60 m² (RII - Corcho)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
Cámara Reverberante Caucho 2,60 m²	TR20									
	Promedio	19,75	20,35	18,15	18,91	18,04	15,57	13,45	11,90	9,67
	Posición No. 1	19,44	21,93	18,94	19,75	18,38	15,69	13,71	11,72	9,63
	Posición No. 2	19,02	20,01	17,64	18,29	17,58	15,19	13,18	12,00	9,47
	Posición No. 3	19,51	19,94	18,66	18,85	18,22	16,01	13,65	12,11	9,90
	Posición No. 4	19,34	19,37	16,76	19,30	17,48	15,49	13,39	11,80	9,70
	Posición No. 5	21,45	20,49	18,76	18,36	18,55	15,50	13,30	11,86	9,65
	TR30									
	Promedio	20,17	20,84	18,47	18,97	18,31	15,89	13,57	11,83	9,92
	Posición No. 1	19,73	21,95	18,86	19,39	18,33	16,23	13,72	11,75	9,62
Posición No. 2	19,54	20,80	18,06	18,70	17,92	15,83	13,39	11,76	9,81	
Posición No. 3	19,72	20,73	19,23	18,89	18,38	15,93	13,64	12,10	10,09	
Posición No. 4	19,85	20,19	17,37	19,09	18,03	15,91	13,48	11,75	10,07	
Posición No. 5	21,98	20,56	18,83	18,77	18,91	15,57	13,63	11,77	10,03	
		800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
Cámara Reverberante Caucho 2,60 m²	TR20									
	Promedio	8,28	7,21	6,23	5,65	4,93	4,17	3,34	2,60	2,09
	Posición No. 1	8,19	7,15	6,31	5,82	4,91	4,19	3,40	2,67	2,11
	Posición No. 2	8,13	7,21	6,08	5,55	5,07	4,25	3,32	2,57	2,08
	Posición No. 3	8,36	7,24	6,22	5,72	4,89	4,12	3,37	2,57	2,09
	Posición No. 4	8,23	7,21	6,35	5,55	4,80	4,09	3,23	2,58	2,03
	Posición No. 5	8,47	7,25	6,18	5,60	4,98	4,20	3,37	2,61	2,13
	TR30									
	Promedio	8,30	7,19	6,30	5,63	4,93	4,17	3,35	2,63	2,09
	Posición No. 1	8,26	7,22	6,38	5,75	4,94	4,18	3,35	2,65	2,12
Posición No. 2	8,30	7,24	6,20	5,52	4,97	4,21	3,33	2,61	2,09	
Posición No. 3	8,33	7,22	6,33	5,69	4,95	4,14	3,38	2,64	2,09	
Posición No. 4	8,16	7,03	6,32	5,56	4,88	4,10	3,35	2,59	2,06	
Posición No. 5	8,46	7,25	6,25	5,62	4,93	4,21	3,36	2,66	2,10	

Fuente: Autor (2019)

Tabla 19: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 4,00 m² (RII - Corcho)

		100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
Cámara Reverberante Caucho 4,00 m ²	TR20									
	Promedio	19,73	20,17	18,09	18,28	17,42	15,16	12,63	11,12	9,12
	Posición No. 1	19,07	21,97	19,05	18,90	17,66	14,77	12,66	10,86	9,04
	Posición No. 2	19,54	19,83	17,26	17,76	17,22	15,52	12,29	10,86	8,80
	Posición No. 3	19,31	20,10	18,95	18,25	17,45	15,32	12,91	11,31	8,88
	Posición No. 4	19,27	19,24	16,83	18,59	17,18	15,04	12,72	11,17	9,44
	Posición No. 5	21,44	19,71	18,33	17,89	17,57	15,15	12,55	11,40	9,44
	TR30									
	Promedio	20,23	20,70	18,43	18,51	17,76	15,27	12,77	11,15	9,22
	Posición No. 1	19,55	22,15	18,91	18,86	17,80	15,41	12,39	10,97	9,05
	Posición No. 2	20,24	20,62	17,93	18,27	17,41	15,17	12,62	11,16	9,00
	Posición No. 3	19,60	20,81	19,33	18,31	17,99	15,23	12,79	11,29	9,03
	Posición No. 4	19,88	19,94	17,49	18,82	17,70	15,29	12,88	11,10	9,49
	Posición No. 5	21,88	19,96	18,51	18,31	17,92	15,26	13,19	11,22	9,53

		800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
Cámara Reverberante Caucho 4,00 m ²	TR20									
	Promedio	7,85	6,68	6,01	5,35	4,77	3,90	3,14	2,47	2,07
	Posición No. 1	7,81	6,64	5,89	5,22	4,70	4,00	3,16	2,46	2,08
	Posición No. 2	7,98	6,65	6,10	5,36	4,80	3,81	3,15	2,44	2,05
	Posición No. 3	7,86	6,69	5,99	5,41	4,68	3,86	3,05	2,46	2,11
	Posición No. 4	7,62	6,62	6,04	5,52	4,73	3,86	3,08	2,49	2,04
	Posición No. 5	8,00	6,82	6,05	5,24	4,93	3,97	3,25	2,49	2,08
	TR30									
	Promedio	7,83	6,79	6,03	5,38	4,72	3,95	3,20	2,49	2,06
	Posición No. 1	7,71	6,60	5,86	5,30	4,71	3,94	3,20	2,49	2,04
	Posición No. 2	7,81	6,70	6,11	5,40	4,74	3,93	3,19	2,48	2,04
	Posición No. 3	7,89	6,81	6,06	5,42	4,70	3,96	3,20	2,45	2,09
	Posición No. 4	7,75	6,87	6,06	5,50	4,66	3,93	3,19	2,51	2,06
	Posición No. 5	7,98	6,96	6,05	5,28	4,81	3,99	3,24	2,53	2,08

Fuente: Autor (2019)

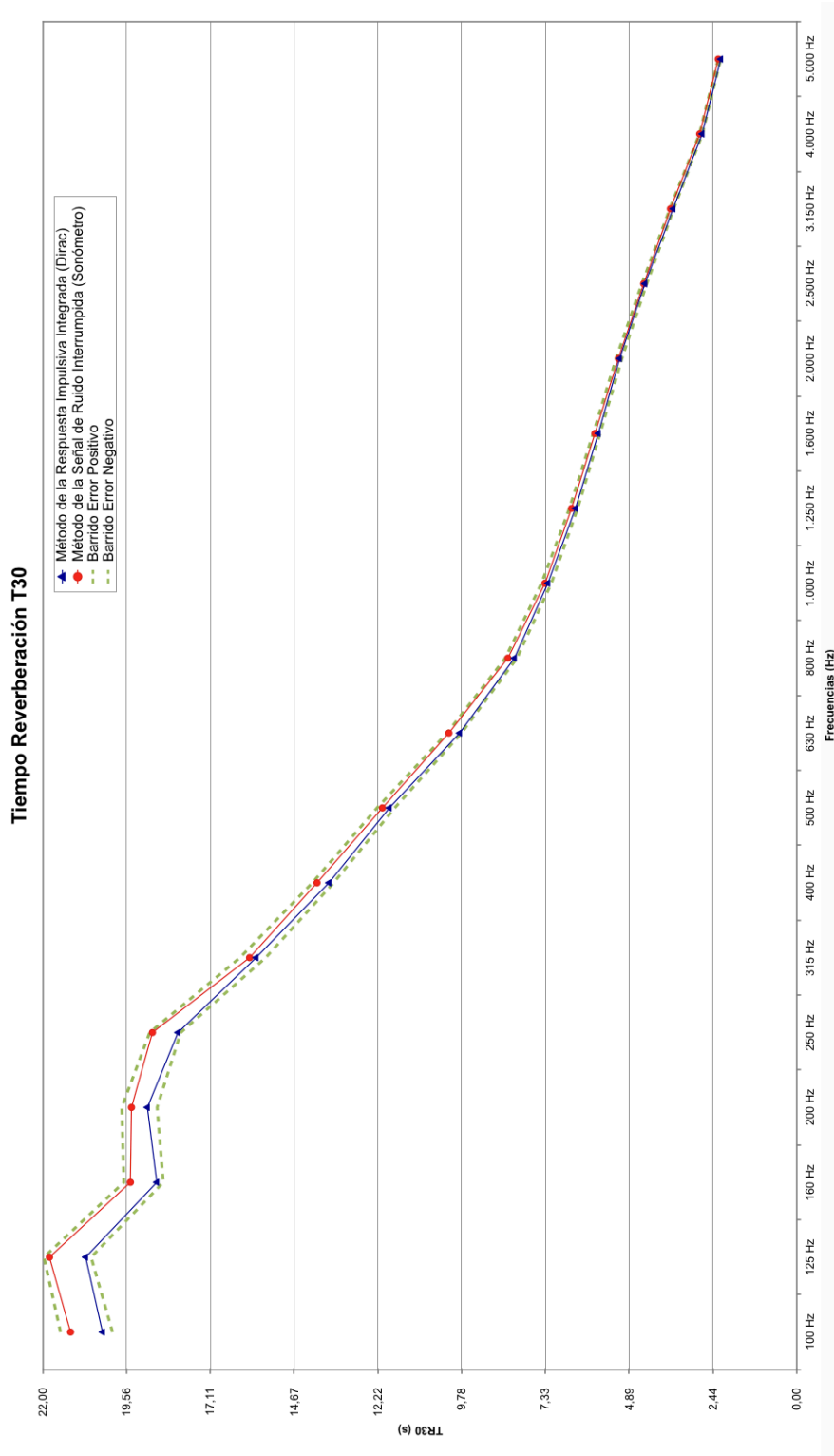
Tabla 20: TR₂₀ y TR₃₀ de muestra de 12,00 m² (R11 - Corcho)

Cámara Reverberante Caucho 12,00 m ²	TR20	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
	Promedio	19,13	19,60	17,20	16,92	15,90	13,93	11,12	9,67	7,79
	Posición No. 1	18,90	20,95	18,16	17,42	16,30	13,82	11,26	9,51	7,67
	Posición No. 2	18,40	19,47	16,61	16,80	15,94	13,77	10,86	9,36	7,68
	Posición No. 3	19,15	19,25	17,52	16,81	15,58	14,25	11,57	9,42	7,72
	Posición No. 4	18,73	18,70	15,99	16,98	15,44	13,72	11,31	9,86	7,79
	Posición No. 5	20,48	19,63	17,73	16,58	16,25	14,09	10,59	10,19	8,10
	TR30	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
	Promedio	19,51	19,93	17,48	16,90	16,14	13,88	11,21	9,62	7,94
	Posición No. 1	19,03	20,53	17,80	16,78	15,97	13,76	10,99	9,49	7,74
	Posición No. 2	19,06	20,13	16,93	16,89	16,21	13,90	11,15	9,48	7,87
	Posición No. 3	19,34	20,00	18,25	16,89	16,35	13,84	11,21	9,43	7,83
	Posición No. 4	19,23	19,36	16,50	17,18	15,81	13,97	11,44	9,76	7,98
	Posición No. 5	20,87	19,63	17,95	16,76	16,36	13,95	11,25	9,93	8,26
	Cámara Reverberante Caucho 12,00 m ²	TR20	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz
Promedio		6,73	5,83	4,97	4,36	3,62	2,95	2,32	1,85	1,59
Posición No. 1		6,92	6,02	5,00	4,25	3,55	2,93	2,38	1,83	1,58
Posición No. 2		6,72	5,76	4,77	4,32	3,65	2,92	2,38	1,86	1,57
Posición No. 3		6,81	5,96	5,04	4,32	3,61	3,00	2,23	1,84	1,59
Posición No. 4		6,49	5,69	4,92	4,48	3,74	2,91	2,31	1,85	1,61
Posición No. 5		6,72	5,71	5,14	4,44	3,54	2,98	2,30	1,85	1,62
TR30		800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
Promedio		6,67	5,80	4,98	4,35	3,65	2,99	2,35	1,87	1,60
Posición No. 1		6,65	5,87	4,89	4,31	3,59	3,01	2,37	1,83	1,61
Posición No. 2		6,52	5,78	4,88	4,33	3,67	2,99	2,36	1,89	1,61
Posición No. 3		6,80	5,82	4,97	4,24	3,64	2,98	2,33	1,88	1,58
Posición No. 4		6,64	5,79	5,02	4,43	3,69	2,96	2,33	1,86	1,59
Posición No. 5		6,73	5,75	5,14	4,46	3,66	3,03	2,33	1,87	1,62

Fuente: Autor (2019)

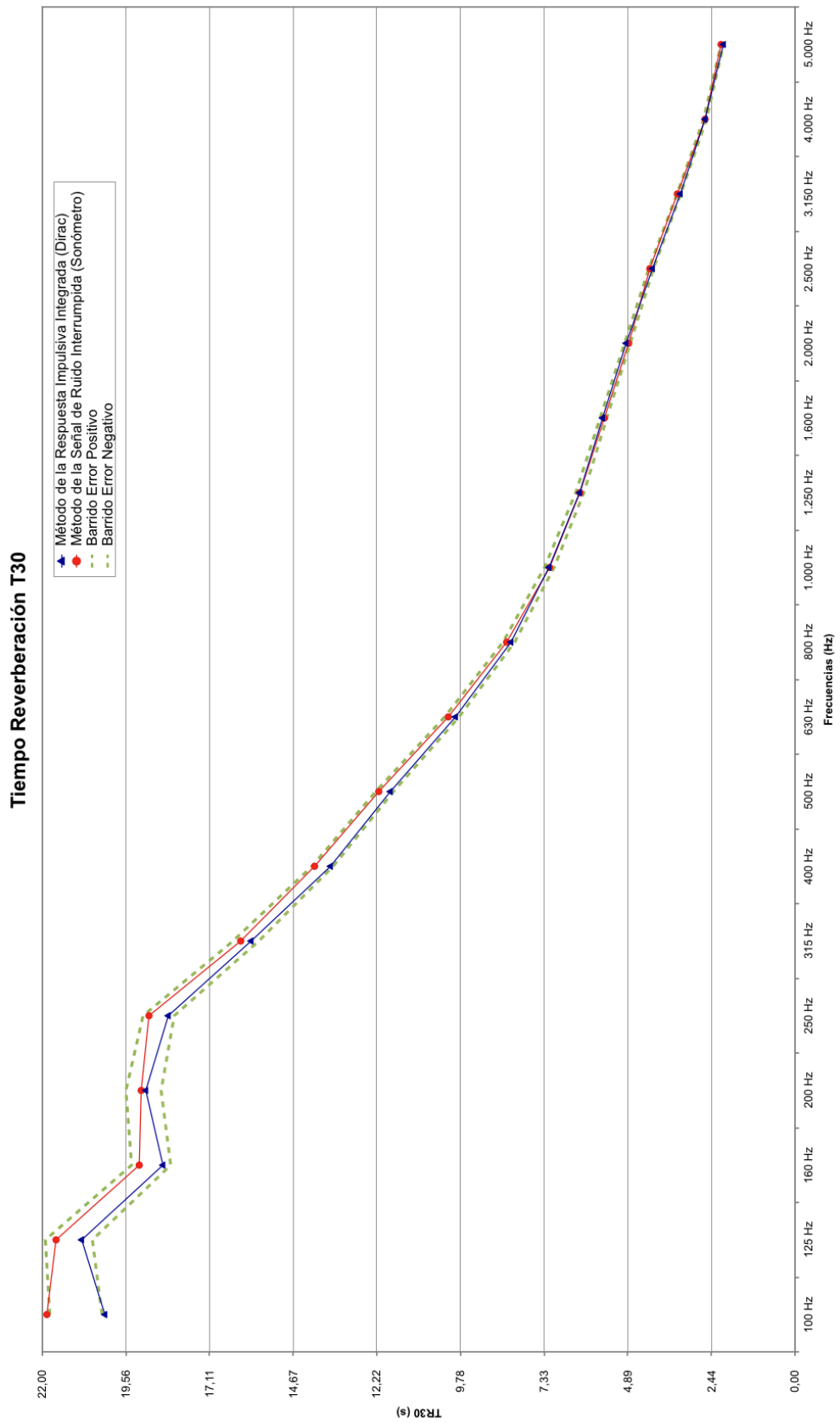
4.3 ESTUDIO DE LA PRECISIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE AMBOS MÉTODOS.

Figura 20: Precisión entre ambos métodos muestra de 1,40 m² (Corcho)



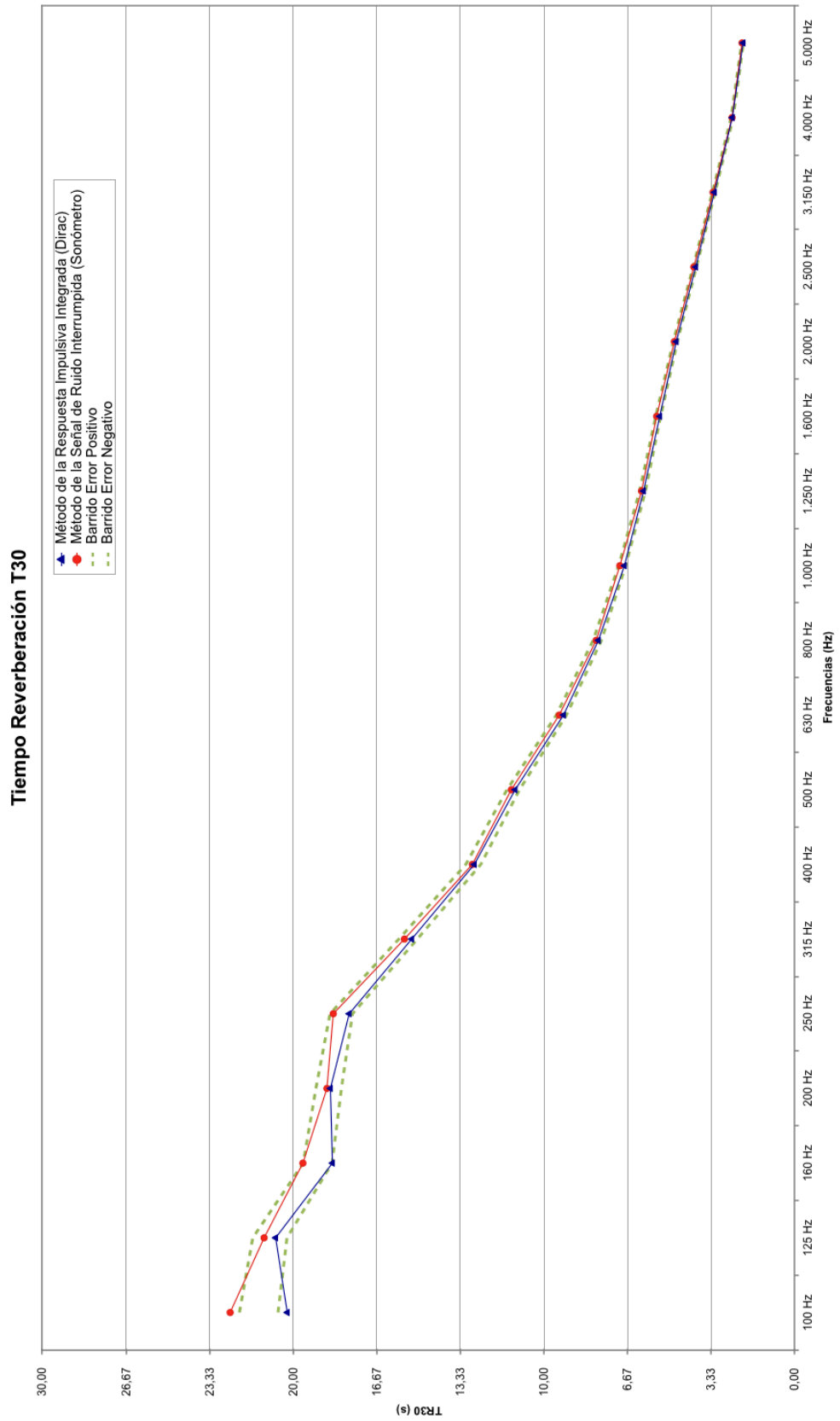
Fuente: Autor (2019)

Figura 21: Precisión entre ambos métodos muestra de 2,60 m² (Corcho)



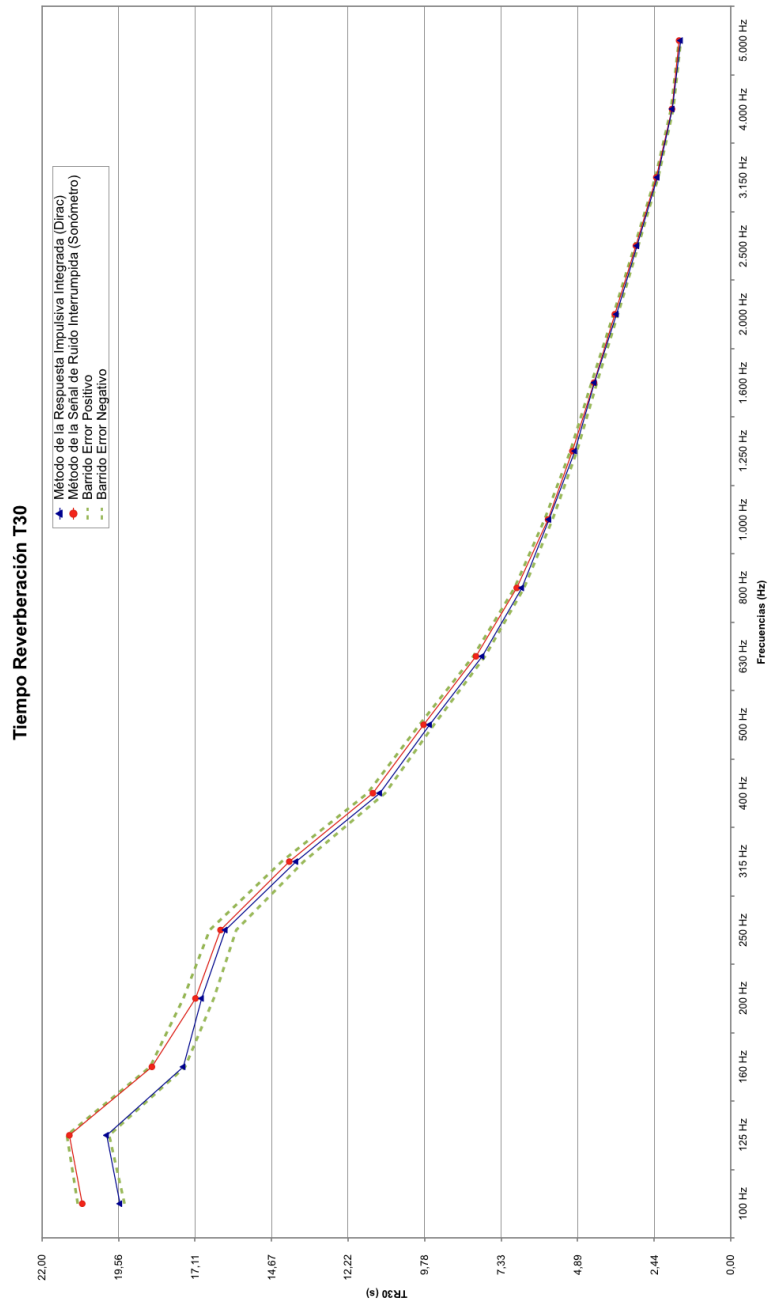
Fuente: Autor (2019)

Figura 22: Precisión entre ambos métodos muestra de 4,00 m² (Corcho)



Fuente: Autor (2019)

Figura 23: Precisión entre ambos métodos muestra de 12,00 m² (Corcho)

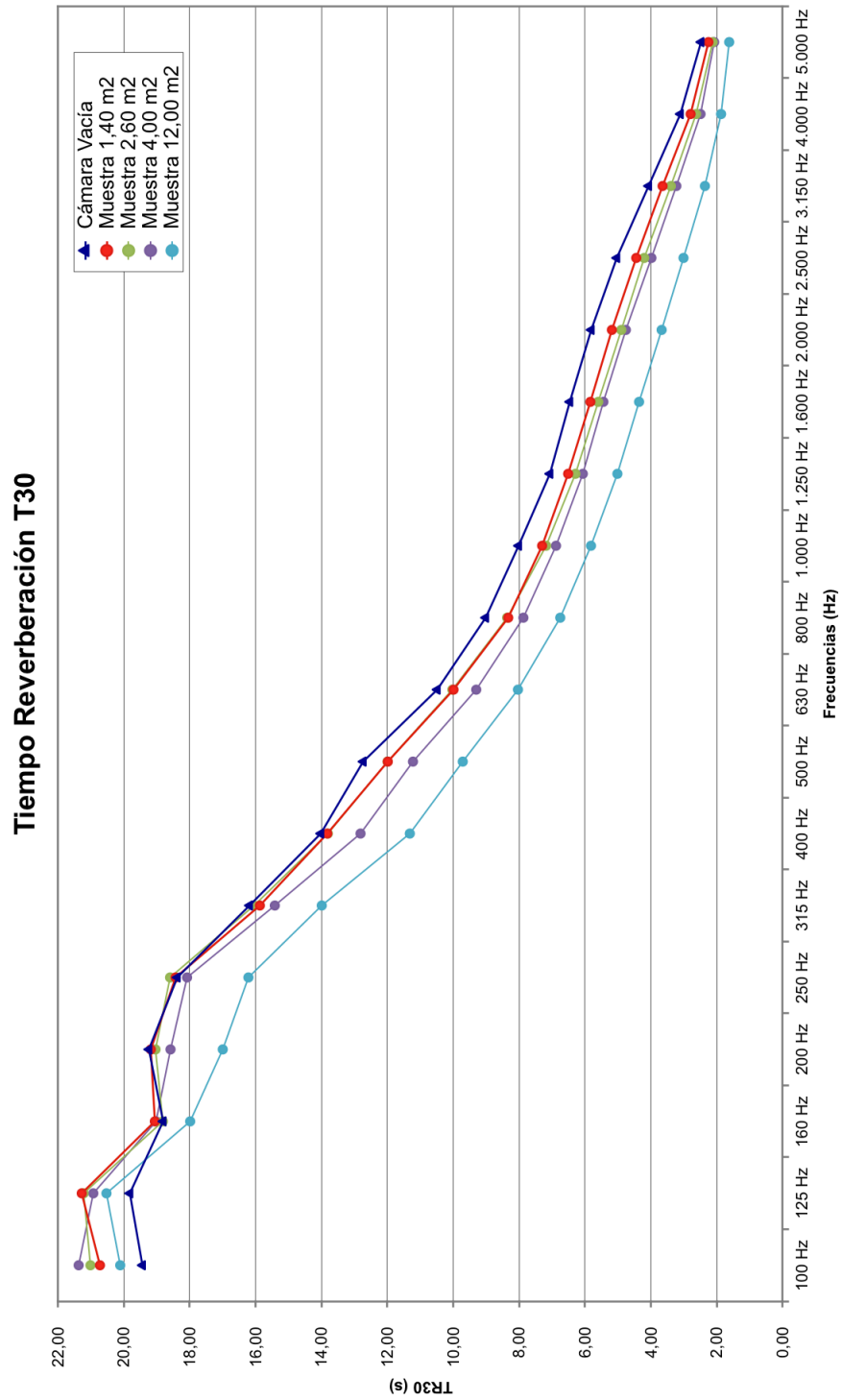


Fuente: Autor (2019)

Al acabar la comparativa se concluye que, debido a que los resultados obtenidos mediante ambos métodos se encuentran dentro del rango de precisión establecido en la Norma, no hay distinción alguna entre un método y otro por lo cual para la determinación del coeficiente de absorción sonora se tomarán en cuenta tanto las muestras ensayadas de un método como del otro siendo un total de 10 unidades.

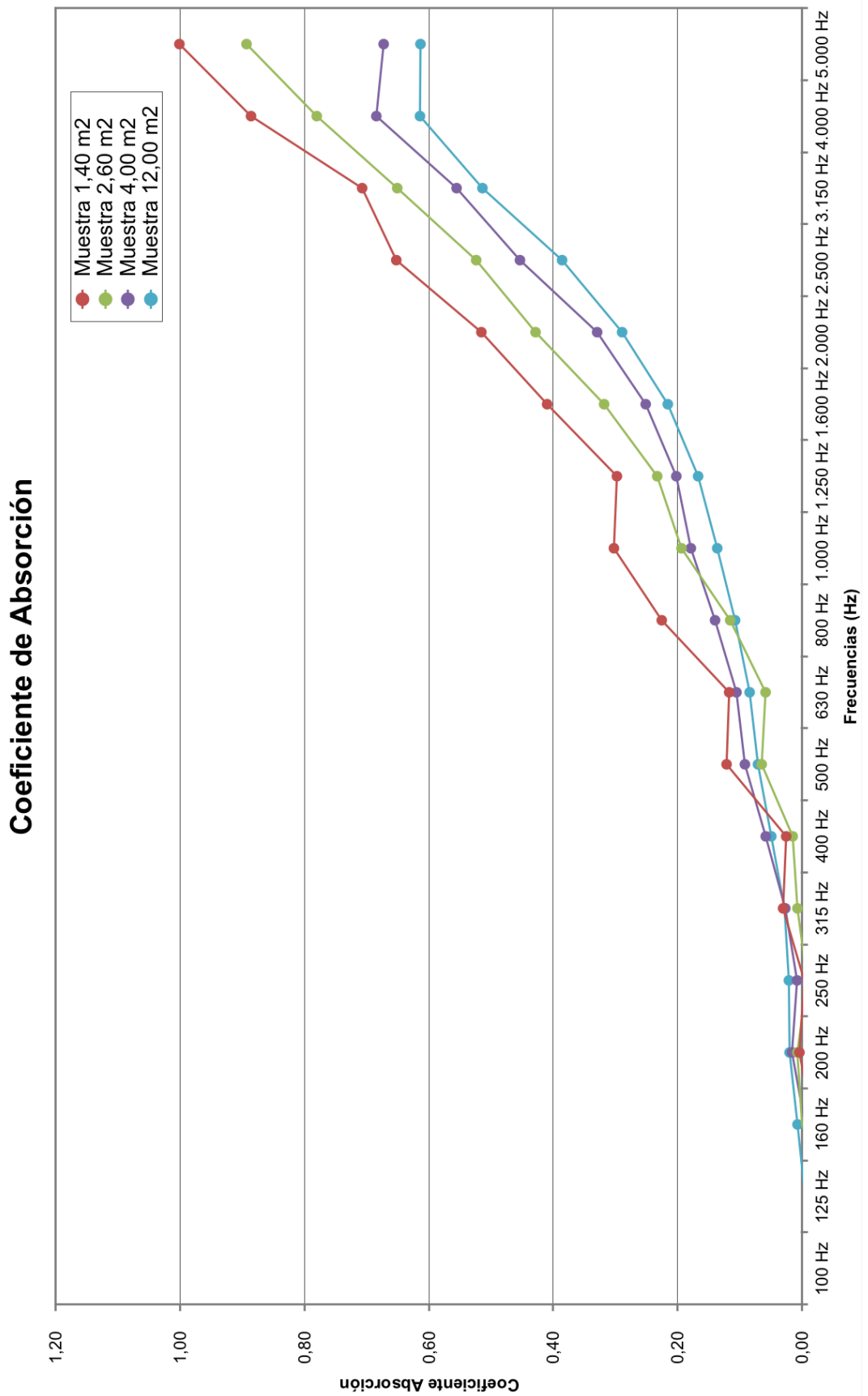
4.4 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS.

Figura 24: TR30 muestras ensayadas (Corcho)



Fuente: Autor (2019)

Figura 25: Coeficiente de absorción sonora de muestras ensayadas (Corcho)

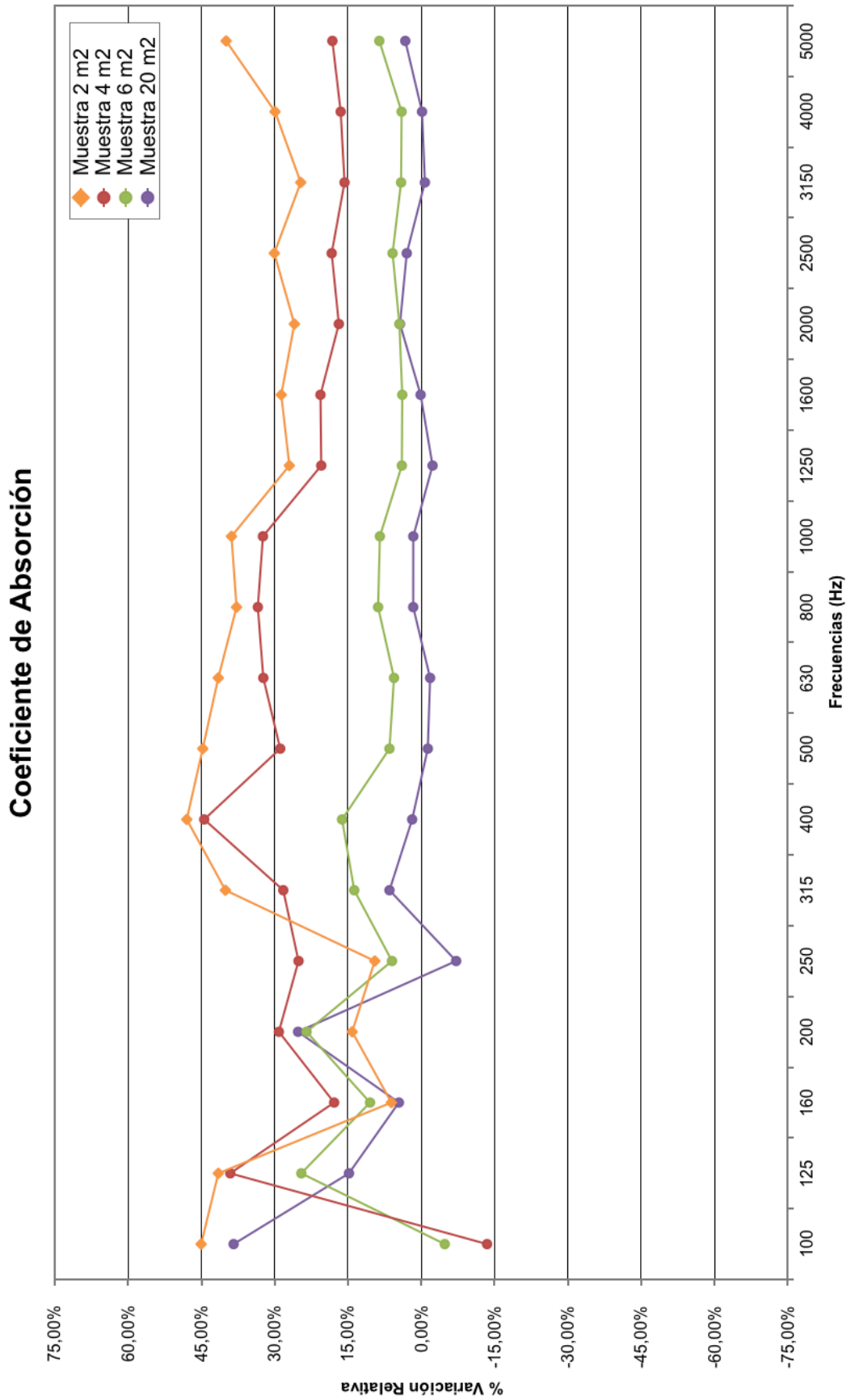


Fuente: Autor (2019)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

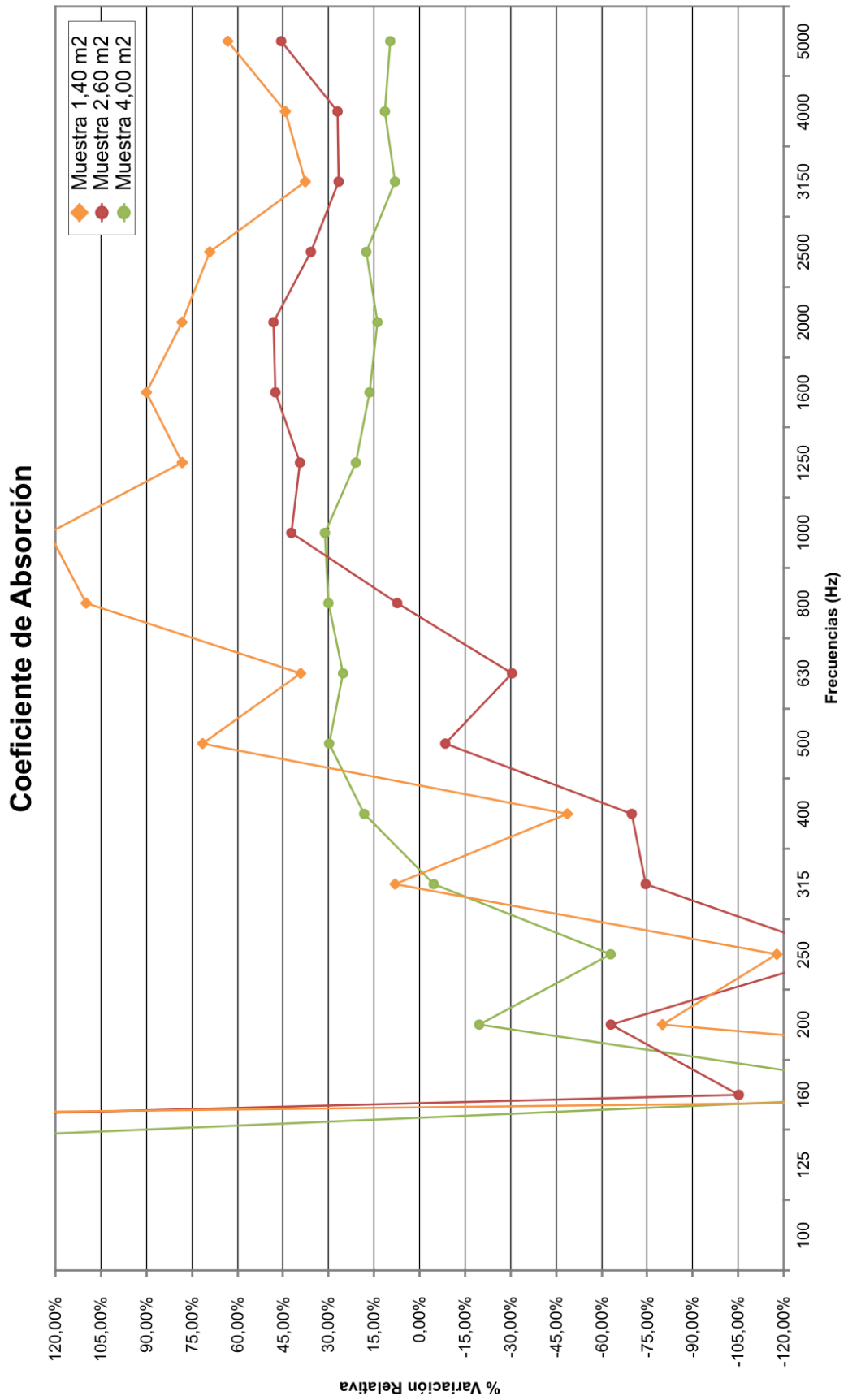
1. Los resultados obtenidos del tiempo de reverberación tanto por el método de “*La Respuesta Impulsiva Integrada*” como por el método de “*La Señal de Ruido Interrumpida*” se encuentran dentro del rango de precisión establecido en la Normativa ISO - 354 y coincidentes dentro de dicho rango de precisión. Por ende, no hay distinción alguna entre los resultados obtenidos por ambos métodos por lo cual para la determinación del coeficiente de absorción sonora se pueden tomar tanto las muestras ensayadas por un método como del otro.
2. Los resultados obtenidos, ilustrados en la Figura No. 26, de la variación relativa del coeficiente de absorción sonora debido al efecto del tamaño de la muestra de la espuma de poliuretano comprueban que para frecuencias > 400 Hz las muestras cuya superficie ensayada se encuentran próximas o superiores a la establecida en la normativa > 12 m² presentan un valor del coeficiente absorción sonora prácticamente iguales. Sin embargo, para muestras de menor superficie < 4 m² dicho valor del coeficiente de absorción sonora incrementa según disminuya su superficie en un 15% - 45%. Por otro lado, a frecuencias < 400 Hz, los valores de los coeficientes absorción sonora se ven dispersados y presentan variaciones en parte debido a la falta de consideración de acción del hecho de que al colocar una muestra no se descuenta, en la formula de Sabine, la envolvente del recinto cubierta por la muestra colocada en su lugar y/o por la comparable absorción que presenta el material frente a la de la cámara vacía.
3. Los resultados obtenidos, ilustrados en la Figura No. 27, de la variación relativa coeficiente de absorción sonora debido al efecto del tamaño de la muestra del laminado de partículas de corcho comprueban que para frecuencias > 1000 Hz las muestras cuya superficie ensayada se encuentran próximas o superiores a la establecida en la normativa > 12 m² presentan un valor del coeficiente absorción sonora prácticamente iguales. Sin embargo, para muestras de menor superficie $< 2,60$ m² dicho valor del coeficiente de absorción sonora incrementa según disminuya su superficie en un 45% - 60%. Por otro lado, a frecuencias < 1000 Hz, los valores de los coeficientes absorción sonora se ven dispersados y presentan variaciones en parte debido a la falta de consideración de acción del hecho de que al colocar una muestra no se descuenta, en la formula de Sabine, la envolvente del recinto cubierta por la muestra colocada en su lugar y/o por la comparable absorción que presenta el material frente a la de la cámara vacía.

Figura 26: Comparativa (%) de coeficiente de absorción sonora de muestras ensayadas (Espuma)



Fuente: Autor (2019)

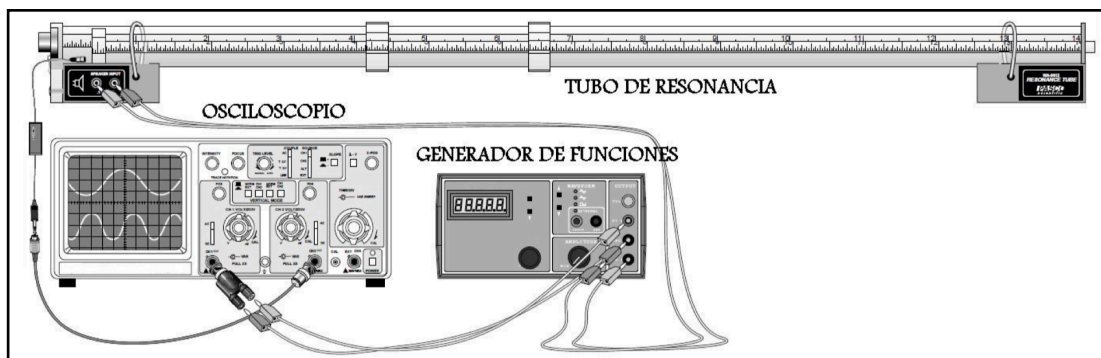
Figura 27: Comparativa (%) de coeficiente de absorción sonora de muestras ensayadas (Corcho)



Fuente: Autor (2019)

Los resultados obtenidos nos permiten concluir el efecto del tamaño de la muestra en el coeficiente de absorción sonora de los materiales. Sin embargo, no nos permiten decidir el curso de acción a tomar cuando se vayan a utilizar materiales con superficies menores a las establecidas en la normativa en un orden $< 4 \text{ m}^2$ debido al incremento aparente que presenta el valor del coeficiente de absorción sonora con relación a aquel establecido en la Norma ISO-354. Un estudio que ayudaría a la determinación correcta del coeficiente de absorción sonora a menores superficies a emplear para determinar el valor del tiempo de reverberación deseado de una sala dada es comprar los resultados obtenidos en este trabajo con un análisis mediante el método del Tubo de Kundt, el cual nos permite determinar el valor del coeficiente de absorción sonora de un material introduciéndolo en un tubo sobre el cual viajan ondas sonoras longitudinales que rebotan sobre el material captando las respuestas mediante micrófonos en varias posiciones.

Figura 28: Esquema del Tubo de Kundt



Fuente: UVA Mudarra - Propagación Ondas

BIBLIOGRAFÍA

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Norma Española UNE - EN ISO 354 (2003): *“Acústica, Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante (ISO 354:2003)”*

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Norma Española UNE - EN ISO 266 (1998): *“Acústica, Frecuencias preferentes (ISO 266:1997)”*

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Norma Española UNE - EN ISO 18233 (2007): *“Acústica, Aplicación de nuevos métodos de medición en la acústica de los edificios y recintos (ISO 18233:2006)”*

MIYARA, Federico, 2006 (Universidad Nacional de Rosario). “Acústica y Sistemas de Sonidos”. Consultada el 10 de agosto del 2019 de: <http://www.eumus.edu.uy/eme/ensenanza/acustica/apuntes/cap04.pdf>

HIGINI, Arau, 2007 (Ediciones CEAC). *“ABC de la Acústica Arquitectónica”*. Consultada el 8 de agosto del 2019 de: <https://www.distritooficina.com/disenio/abc-de-la-acustica-arquitectonica/>

Brüel & Kjaer Beyond Measure (2013). *“2260 Investigator - Sound Intensity Software”*. Consultada el 28 de Julio del 2019 de: <https://www.bksv.com/es-ES/Service/downloads/2260-Maintenance/2260-Investigator---Sound-Intensity-Software>

Brüel & Kjaer Beyond Measure (2019). *“ENSAYOS DE ACÚSTICA DE MATERIALES”*. Consultada el 6 de agosto del 2019 de: <https://www.bksv.com/es-ES/Applications/product-noise/Acoustic-material-testing>

Boston Symphony Orchestra (2019). *"The Perfect Sound"*. Consultada el 5 de agosto del 2019 de: <https://www.bso.org/brands/bso/about-us/historyarchives/acoustics.aspx/MobileContentPage>

INERCO Acústica (2012). *"Tiempo de Reverberación"*. Consultada el 2 de agosto del 2019 de: <https://www.inercoacustica.com/acustipedia/item/426-tiempo-de-reverberacion>

Plataforma Arquitectura (2019). *"Acústica: Las más recientes noticias y obras de arquitectura: 8 paneles acústicos y sus detalles constructivos"*. Consultada el 3 de agosto del 2019 de: www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/acustica

LLINARES, Jaime.; LLOPIS, Ana.; SANCHO, Javier. (UPV). *"Acústica Arquitectónica y Urbanística"*. Consultada el 4 de septiembre del 2019.

ANEJOS

TABLAS DE PRECISIÓN DE RESULTADOS DE TR: ESPUMA DE POLIURETANO



Información General:

Temperatura (°C):	25,00 °C
Humedad Relativa (%):	72,00 %
Volumen de Cámara Reverbe:	217,00 m³
Superficie de Muestra (m²):	2,00 m²
Vel. Propag. Sonido en Aire (c):	346,00 m/s

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	15,59	14,20	12,17	11,86	10,13	7,82	6,76	6,09	5,37
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	14,85	14,64	12,61	11,96	10,33	8,10	6,67	6,13	5,47
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	15,22	14,42	12,39	11,91	10,23	7,96	6,72	6,11	5,42
Cota Error Absoluto		0,65	0,57	0,46	0,41	0,34	0,26	0,22	0,18	0,15
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	15,87	14,98	12,85	12,32	10,56	8,22	6,93	6,29	5,57
Barrido Error Negativo		14,57	13,85	11,92	11,51	9,89	7,69	6,50	5,92	5,26
Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	5,08	4,69	4,43	4,15	3,85	3,46	3,01	2,39	1,98
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	5,06	4,75	4,45	4,18	3,89	3,51	3,01	2,44	2,01
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	5,07	4,72	4,44	4,16	3,87	3,49	3,01	2,41	1,99
Cota Error Absoluto		0,13	0,11	0,10	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	5,20	4,83	4,54	4,25	3,94	3,55	3,06	2,46	2,02
Barrido Error Negativo		4,93	4,60	4,34	4,08	3,80	3,42	2,96	2,37	1,96



Información General:

Temperatura (°C):	25,00 °C
Humedad Relativa (%):	72,00 %
Volumen de Cámara Reverbe:	217,00 m ³
Superficie de Muestra (m ²):	4,00 m ²
Vel. Propag. Sonido en Aire (c):	346,00 m/s

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	14,54	11,57	8,57	7,99	6,46	5,40	4,40	4,25	3,76
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	14,69	11,28	8,94	8,12	6,59	5,80	4,59	4,44	3,88
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	14,61	11,42	8,75	8,05	6,52	5,60	4,50	4,35	3,82
		0,64	0,50	0,39	0,33	0,27	0,22	0,18	0,16	0,13
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	15,25	11,93	9,14	8,39	6,79	5,82	4,67	4,50	3,95
Barrido Error Negativo		13,98	10,92	8,36	7,72	6,25	5,38	4,32	4,19	3,69
Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	3,58	3,40	3,30	3,18	2,98	2,76	2,46	2,05	1,74
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	3,62	3,48	3,37	3,17	3,04	2,81	2,47	2,05	1,77
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	3,60	3,44	3,33	3,18	3,01	2,79	2,46	2,05	1,75
		0,11	0,10	0,09	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	3,71	3,54	3,42	3,25	3,08	2,84	2,51	2,09	1,79
Barrido Error Negativo		3,49	3,34	3,25	3,10	2,95	2,73	2,42	2,02	1,72



Información General:

Temperatura (°C):	25,00 °C
Humedad Relativa (%):	72,00 %
Volumen de Cámara Reverbe	217,00 m ³
Superficie de Muestra (m ²):	6,00 m ²
Vel. Propag. Sonido en Aire (c)	346,00 m/s

Descripción	Frecuencia										
	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz		
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)										
	12,22	9,89	7,00	6,45	5,57	4,55	3,99	3,74	3,29		
TR30 - Promedio (segundos)	Método de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada (Sonómetro)										
	12,95	10,05	7,38	6,41	5,54	4,67	3,89	3,78	3,49		
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	12,59	9,97	7,19	6,43	5,55	4,61	3,94	3,76	3,39		
Cota Error Absoluto	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	0,59	0,47	0,35	0,30	0,25	0,20	0,17	0,14	0,12		
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	13,18	10,45	7,54	6,73	5,80	4,81	4,11	3,90	3,51		
Barrido Error Negativo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	11,99	9,50	6,84	6,13	5,30	4,41	3,78	3,61	3,27		
Descripción	Frecuencia										
	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz		
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)										
	3,13	3,03	2,90	2,77	2,58	2,41	2,18	1,83	1,57		
TR30 - Promedio (segundos)	Método de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada (Sonómetro)										
	3,21	3,06	2,87	2,77	2,59	2,43	2,15	1,86	1,59		
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	3,17	3,04	2,88	2,77	2,59	2,42	2,17	1,84	1,58		
Cota Error Absoluto	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03		
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	3,28	3,13	2,96	2,84	2,65	2,47	2,21	1,88	1,61		
Barrido Error Negativo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	3,07	2,95	2,80	2,70	2,53	2,36	2,12	1,81	1,55		



Información General:

Temperatura (°C):	25,00 °C
Humedad Relativa (%):	72,00 %
Volumen de Cámara Reverbe	217,00 m³
Superficie de Muestra (m²):	12,00 m²
Vel. Propag. Sonido en Aire (c)	346,00 m/s

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	8,62	7,63	4,59	4,46	3,42	2,95	2,61	2,32	2,10
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	9,51	7,70	5,00	4,64	3,44	3,03	2,59	2,32	2,12
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	9,07	7,67	4,79	4,55	3,43	2,99	2,60	2,32	2,11
		0,50	0,41	0,29	0,25	0,20	0,16	0,13	0,11	0,10
Cota Error Absoluto										
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	9,57	8,08	5,08	4,80	3,62	3,15	2,73	2,43	2,21
		8,57	7,25	4,50	4,30	3,23	2,82	2,46	2,21	2,02
Barrido Error Negativo										
Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	2,07	1,99	1,88	1,80	1,71	1,65	1,52	1,34	1,19
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	2,04	2,00	1,85	1,82	1,72	1,65	1,50	1,34	1,23
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	2,06	2,00	1,87	1,81	1,72	1,65	1,51	1,34	1,21
		0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
Cota Error Absoluto										
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	2,14	2,07	1,93	1,86	1,76	1,70	1,55	1,37	1,24
		1,97	1,92	1,80	1,75	1,67	1,61	1,48	1,31	1,18
Barrido Error Negativo										



Información General:

Temperatura (°C):	25,00 °C
Humedad Relativa (%):	72,00 %
Volumen de Cámara Reverbe:	217,00 m ³
Superficie de Muestra (m ²):	20,00 m ²
Vel. Propag. Sonido en Aire (c):	346,00 m/s

Descripción	Frecuencia										
	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz		
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)										
	5,26	4,88	3,03	2,46	2,33	1,84	1,65	1,52	1,37		
Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)											
	5,42	4,95	3,14	2,52	2,41	1,82	1,66	1,51	1,43		
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	5,34	4,92	3,08	2,49	2,37	1,83	1,66	1,52	1,40		
Cota Error Absoluto	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	0,39	0,33	0,23	0,19	0,16	0,13	0,11	0,09	0,08		
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	5,73	5,25	3,32	2,67	2,53	1,96	1,76	1,61	1,48		
Barrido Error Negativo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	4,96	4,58	2,85	2,30	2,21	1,70	1,55	1,43	1,32		
Descripción	Frecuencia										
	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz		
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)										
	1,36	1,32	1,26	1,21	1,13	1,11	1,06	0,97	0,88		
Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)											
	1,32	1,30	1,29	1,23	1,13	1,13	1,08	0,97	0,89		
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	1,34	1,31	1,28	1,22	1,13	1,12	1,07	0,97	0,88		
Cota Error Absoluto	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02		
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	1,41	1,37	1,33	1,27	1,17	1,15	1,10	1,00	0,91		
Barrido Error Negativo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada										
	1,27	1,25	1,22	1,17	1,09	1,08	1,04	0,94	0,86		

TABLAS DE PRECISIÓN DE RESULTADOS DE TR: LÁMINADO DE PARTICULAS DE CORCHO



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACION

Información General:

Temperatura (°C): 25,00 °C
 Humedad Relativa (%): 72,00 %
 Volumen de Cámara Reverbe: 217,00 m³
 Superficie de Muestra (m²): 1,40 m²
 Vel. Propag Sonido en Aire (c): 346,00 m/s

Descripción	Frecuencia										
	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz		
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	20,26	20,75	18,67	18,95	18,06	15,78	13,65	11,89	9,84	
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	21,19	21,81	19,44	19,41	18,80	15,97	14,00	12,09	10,15	
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	20,72	21,28	19,06	19,18	18,43	15,87	13,82	11,99	9,99	
		0,76	0,69	0,58	0,52	0,45	0,37	0,31	0,26	0,21	
Cota Error Absoluto		21,48	21,97	19,63	19,70	18,88	16,24	14,13	12,25	10,20	
		19,97	20,59	18,48	18,66	17,98	15,50	13,51	11,73	9,78	
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	8,24	7,26	6,46	5,79	5,17	4,43	3,61	2,76	2,22	
		8,43	7,34	6,57	5,89	5,20	4,46	3,69	2,83	2,29	
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	8,24	7,26	6,46	5,79	5,17	4,43	3,61	2,76	2,22	
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	8,43	7,34	6,57	5,89	5,20	4,46	3,69	2,83	2,29	
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	8,33	7,30	6,51	5,84	5,19	4,45	3,65	2,80	2,25	
		0,17	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06	0,04	0,04	
Cota Error Absoluto		8,50	7,45	6,63	5,94	5,27	4,52	3,70	2,84	2,29	
		8,16	7,16	6,39	5,74	5,10	4,38	3,59	2,75	2,22	
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	8,50	7,45	6,63	5,94	5,27	4,52	3,70	2,84	2,29	
		8,16	7,16	6,39	5,74	5,10	4,38	3,59	2,75	2,22	
Barrido Error Negativo		8,50	7,45	6,63	5,94	5,27	4,52	3,70	2,84	2,29	
		8,16	7,16	6,39	5,74	5,10	4,38	3,59	2,75	2,22	



Información General:

Temperatura (°C):	25,00 °C
Humedad Relativa (%):	72,00 %
Volumen de Cámara Reverbe	217,00 m ³
Superficie de Muestra (m ²):	2,60 m ²
Vel. Propag. Sonido en Aire (c)	346,00 m/s

Descripción	Frecuencia										
	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz		
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	20,17	20,84	18,47	18,97	18,31	15,89	13,57	11,83	9,92	
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	21,86	21,59	19,16	19,11	18,88	16,20	14,04	12,16	10,13	
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	21,01	21,22	18,82	19,04	18,60	16,05	13,81	11,99	10,03	
	Cota Error Absoluto	0,76	0,69	0,57	0,51	0,45	0,38	0,31	0,26	0,21	
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	21,78	21,91	19,39	19,55	19,05	16,42	14,12	12,25	10,24	
	Barrido Error Negativo	20,25	20,53	18,24	18,52	18,14	15,67	13,50	11,74	9,82	
Descripción	Frecuencia										
	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz		
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	8,30	7,19	6,30	5,63	4,93	4,17	3,35	2,63	2,09	
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	8,43	7,17	6,29	5,57	4,86	4,24	3,44	2,63	2,16	
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	8,36	7,18	6,29	5,60	4,90	4,20	3,40	2,63	2,13	
	Cota Error Absoluto	0,17	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03	
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	8,53	7,32	6,41	5,70	4,98	4,27	3,45	2,67	2,16	
	Barrido Error Negativo	8,19	7,04	6,17	5,50	4,82	4,14	3,34	2,59	2,09	



Información General:

Temperatura (°C):	25.00 °C
Humedad Relativa (%):	72.00 %
Volumen de Cámara Reverbe	217.00 m ³
Superficie de Muestra (m ²):	4.00 m ²
Vel. Propag. Sonido en Aire (c)	346.00 m/s

Descripción	Frecuencia										
	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz		
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	20,23	20,70	18,43	18,51	17,76	12,77	11,15	9,22		
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	22,51	21,16	19,61	18,65	18,40	12,86	11,30	9,39		
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	21,37	20,93	19,02	18,58	18,08	12,82	11,22	9,30		
		0,77	0,68	0,57	0,51	0,45	0,37	0,30	0,25	0,20	
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	22,14	21,61	19,60	19,09	18,53	13,11	11,47	9,51		
		20,60	20,24	18,45	18,07	17,63	12,52	10,97	9,10		
Descripción	Frecuencia										
	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz		
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	7,83	6,79	6,03	5,38	4,72	3,95	3,20	2,49	2,06	
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	7,92	6,97	6,11	5,51	4,80	4,02	3,26	2,50	2,10	
TR30 - Promedio (segundos)	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	7,87	6,88	6,07	5,44	4,76	3,99	3,23	2,49	2,08	
		0,17	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03	
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	8,04	7,02	6,18	5,54	4,84	4,05	3,28	2,54	2,11	
		7,71	6,74	5,95	5,35	4,68	3,92	3,18	2,45	2,05	



Información General:

Temperatura (°C):	25,00 °C
Humedad Relativa (%):	72,00 %
Volumen de Cámara Reverbe	217,00 m ³
Superficie de Muestra (m ²):	12,00 m ²
Vel. Propag Sonido en Aire (c)	346,00 m/s

Descripción	Frecuencia										
	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz		
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	19,51	19,93	17,48	16,90	16,14	11,21	9,62	7,94		
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	20,71	21,12	18,49	17,10	16,30	11,43	9,81	8,14		
TR30 - Promedio (segundos)	20,11	20,53	17,99	17,00	16,22	13,99	11,32	9,71	8,04		
Cota Error Absoluto	0,75	0,68	0,56	0,49	0,42	0,35	0,28	0,23	0,19		
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	20,86	21,20	18,55	17,48	16,64	14,34	11,60	9,94	8,22	
	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	19,36	19,85	17,43	16,51	15,79	13,64	11,04	9,48	7,85	
Descripción	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz		
TR30 (segundos)	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada (Dirac)	7,83	6,79	6,03	5,38	4,72	3,95	3,20	2,49	2,06	
	Método de la Señal de Ruido Interrumpida (Sonómetro)	7,92	6,97	6,11	5,51	4,80	4,02	3,26	2,50	2,10	
TR30 - Promedio (segundos)	7,87	6,88	6,07	5,44	4,76	3,99	3,23	2,49	2,08		
Cota Error Absoluto	0,17	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03		
Barrido Error Positivo	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	8,04	7,02	6,18	5,54	4,84	4,05	3,28	2,54	2,11	
	Métodos de la Señal de Ruido Interrumpida y Respuesta Impulsiva Integrada	7,71	6,74	5,95	5,35	4,68	3,92	3,18	2,45	2,05	

TIEMPOS DE REVERBERACIÓN TR20 - TR30 DE CÁMARA REVERBERANTE VACÍA

Cámara Reverberante Vacía - T20 (Sonómetro)										
Posición	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	
P1	18,55 s	19,62 s	20,89 s	20,09 s	18,62 s	16,39 s	13,4 s	12,6 s	10,11 s	
P2	19,38 s	19,72 s	19,9 s	19,32 s	19,17 s	16,4 s	14,36 s	12,87 s	10,39 s	
P3	20,21 s	20,3 s	20,2 s	21,3 s	19,31 s	16,2 s	14,7 s	12,71 s	11,47 s	
P4	19,69 s	19,01 s	15,35 s	18,02 s	17,43 s	16,56 s	14,23 s	12,87 s	10,99 s	
P5	22,21 s	19,45 s	20,08 s	18,85 s	19,44 s	16,69 s	13,84 s	12,46 s	10,63 s	
Promedio	20,01 s	19,62 s	19,28 s	19,52 s	18,79 s	16,45 s	14,11 s	12,7 s	10,72 s	

Cámara Reverberante Vacía - T20 (Sonómetro)										
Posición	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz	
P1	9,21 s	7,81 s	7,39 s	6,69 s	5,9 s	5,06 s	4,16 s	3,02 s	2,44 s	
P2	9,05 s	7,89 s	6,92 s	6,25 s	5,94 s	5,01 s	3,89 s	3,1 s	2,57 s	
P3	8,74 s	8,61 s	6,85 s	6,26 s	5,76 s	4,91 s	3,95 s	3,09 s	2,44 s	
P4	8,99 s	8,07 s	7,06 s	6,41 s	5,83 s	4,89 s	4,04 s	3,24 s	2,51 s	
P5	9,19 s	8,38 s	6,85 s	6,46 s	5,91 s	4,86 s	3,99 s	3,05 s	2,43 s	
Promedio	9,04 s	8,15 s	7,01 s	6,41 s	5,87 s	4,95 s	4,01 s	3,1 s	2,48 s	

Cámara Reverberante Vacía - T30 (Sonómetro)										
Posición	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	
P1	18,47 s	19,9 s	20,67 s	20,55 s	18,84 s	16,13 s	13,99 s	12,85 s	10,59 s	
P2	20,55 s	20,7 s	20,09 s	19,65 s	19,33 s	16,57 s	14,21 s	12,89 s	10,54 s	
P3	20,52 s	21,31 s	20,16 s	20,91 s	19,34 s	16,93 s	14,3 s	12,9 s	10,61 s	
P4	19,2 s	19,77 s	16,01 s	18,44 s	18,02 s	16,44 s	13,93 s	12,86 s	10,75 s	
P5	23,49 s	20,67 s	20,38 s	19,88 s	19,57 s	16,81 s	14,52 s	13,28 s	10,66 s	
Promedio	20,45 s	20,47 s	19,46 s	19,89 s	19,02 s	16,58 s	14,19 s	12,96 s	10,63 s	

Cámara Reverberante Vacía - T30 (Sonómetro)										
Posición	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz	
P1	9,24 s	8,0 s	7,13 s	6,6 s	5,92 s	5,03 s	4,11 s	3,08 s	2,47 s	
P2	9,05 s	8,07 s	7,01 s	6,53 s	5,81 s	5,17 s	3,98 s	3,11 s	2,55 s	
P3	8,85 s	8,38 s	7,05 s	6,37 s	5,82 s	5,02 s	4,01 s	3,16 s	2,55 s	
P4	9,1 s	7,95 s	7,11 s	6,43 s	5,79 s	5,0 s	4,1 s	3,22 s	2,49 s	
P5	9,1 s	8,02 s	7,04 s	6,49 s	5,85 s	5,0 s	4,08 s	3,05 s	2,48 s	
Promedio	9,07 s	8,08 s	7,07 s	6,48 s	5,84 s	5,04 s	4,06 s	3,12 s	2,51 s	

Cámara Reverberante Vacía - T20 (Dirac)

Posición	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
P1	18,57 s	20,55 s	19,45 s	19,64 s	18,41 s	15,29 s	13,51 s	12,62 s	10,28 s
P2	18,88 s	19,07 s	18,13 s	19,56 s	17,72 s	16,43 s	13,65 s	12,87 s	10,1 s
P3	19,09 s	19,51 s	19,08 s	20,06 s	18,71 s	16,16 s	13,96 s	11,81 s	10,25 s
P4	19,27 s	18,33 s	17,19 s	18,85 s	17,66 s	16,15 s	14,12 s	12,36 s	10,62 s
P5	19,75 s	17,55 s	17,39 s	16,83 s	17,78 s	16,19 s	14,01 s	12,46 s	10,16 s
Promedio	19,11 s	19,0 s	18,25 s	18,99 s	18,06 s	16,04 s	13,85 s	12,42 s	10,28 s

Cámara Reverberante Vacía - T20 (Dirac)

Posición	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz
P1	9,01 s	7,99 s	7,01 s	6,47 s	5,76 s	5,24 s	3,97 s	3,03 s	2,47 s
P2	8,99 s	7,99 s	7,01 s	6,37 s	5,76 s	5,1 s	4,17 s	3,09 s	2,43 s
P3	9,01 s	8,13 s	7,1 s	6,5 s	5,77 s	5,01 s	4,06 s	3,06 s	2,38 s
P4	9,14 s	8,06 s	7,07 s	6,43 s	5,65 s	4,96 s	4,16 s	3,02 s	2,41 s
P5	9,16 s	7,92 s	7,35 s	6,44 s	5,92 s	5,09 s	4,04 s	3,11 s	2,44 s
Promedio	9,06 s	8,02 s	7,11 s	6,44 s	5,77 s	5,08 s	4,08 s	3,06 s	2,42 s

Cámara Reverberante Vacía - T30 (Dirac)

Posición	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz
P1	9,0 s	8,08 s	7,03 s	6,5 s	5,88 s	5,13 s	4,07 s	3,11 s	2,5 s
P2	8,99 s	7,96 s	7,02 s	6,42 s	5,72 s	5,03 s	4,16 s	3,07 s	2,49 s
P3	8,83 s	8,05 s	7,0 s	6,49 s	5,84 s	5,09 s	4,08 s	3,08 s	2,37 s
P4	9,03 s	7,83 s	7,06 s	6,39 s	5,71 s	4,91 s	4,07 s	3,1 s	2,44 s
P5	8,97 s	7,84 s	7,22 s	6,42 s	5,79 s	4,99 s	4,05 s	3,09 s	2,47 s
Promedio	8,96 s	7,95 s	7,06 s	6,44 s	5,79 s	5,03 s	4,09 s	3,09 s	2,45 s

Cámara Reverberante Vacía - T30 (Dirac)

Posición	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
P1	18,79 s	20,96 s	19,34 s	19,68 s	18,68 s	15,57 s	13,77 s	12,63 s	10,45 s
P2	19,33 s	19,43 s	18,24 s	19,53 s	17,9 s	16,17 s	13,92 s	12,84 s	10,23 s
P3	18,52 s	20,49 s	19,8 s	19,95 s	18,85 s	16,37 s	14,02 s	12,42 s	10,38 s
P4	19,72 s	19,14 s	17,71 s	18,89 s	18,24 s	16,27 s	14,14 s	12,34 s	10,59 s
P5	15,76 s	15,8 s	15,67 s	14,91 s	15,0 s	14,59 s	13,42 s	12,34 s	10,08 s
Promedio	18,42 s	19,16 s	18,15 s	18,59 s	17,74 s	15,79 s	13,85 s	12,51 s	10,34 s

TABLAS DE CÁLCULO DE COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA: ESPUMA DE POLIURETANO



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN

Información General:

Temperatura (°C): 25,00 °C
 Humedad Relativa (%): 72,00 %
 Volumen de Cámara Rever: 217,00 m³
 Superficie de Muestra (m²): 2,00 m²
 Vel. Propag. Sonido en Aire: 346,00 m/s

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
TR30	Cámara Vacía	19,43	19,82	18,81	19,24	18,38	16,18	14,02	12,73	10,49
	Cámara Muestra	15,22	14,42	12,39	11,91	10,23	7,96	6,72	6,11	5,42
Coef. Atenuación Sonora (m ₁):		0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093
Coef. Atenuación Sonora (m ₂):		0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093
Absorción	Cámara Vacía	1,75	1,69	1,75	1,66	1,87	2,11	2,43	2,66	3,23
	Cámara Muestra	2,24	2,35	2,71	2,77	3,37	4,33	5,12	5,62	6,32
alfa (tercios)		0,25	0,33	0,48	0,55	0,75	1,11	1,34	1,48	1,55
Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
TR30	Cámara Vacía	9,02	8,02	7,07	6,46	5,81	5,04	4,07	3,11	2,48
	Cámara Muestra	5,07	4,72	4,44	4,16	3,87	3,49	3,01	2,41	1,99
Coef. Atenuación Sonora (m ₁):		0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000029	0,000038	0,000050	0,000070
Coef. Atenuación Sonora (m ₂):		0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000029	0,000038	0,000050	0,000070
Absorción	Cámara Vacía	3,74	4,20	4,76	5,19	5,95	6,86	8,49	11,12	13,92
	Cámara Muestra	6,74	7,23	7,66	8,16	8,94	9,92	11,48	14,32	17,35
alfa (tercios)		1,50	1,51	1,45	1,48	1,50	1,53	1,50	1,60	1,72



Información General:

Temperatura (°C): 24,00 °C
 Humedad Relativa (%): 72,00 %
 Volumen de Cámara Rever: 217,00 m³
 Superficie de Muestra (m²): 4,00 m²
 Vel. Propag Sonido en Aire: 345,40 m/s

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
-------------	------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

TR30	Cámara Vacía	19,43	19,82	18,81	19,24	18,38	16,18	14,02	12,73	10,49
	Cámara Muestra	14,61	11,42	8,75	8,05	6,52	5,60	4,50	4,35	3,82

Coef. Atenuación Sonora (m₁):		0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093
Coef. Atenuación Sonora (m₂):		0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093

Absorción	Cámara Vacía	1,75	1,69	1,76	1,66	1,87	2,12	2,43	2,67	3,23
	Cámara Muestra	2,34	2,98	3,88	4,17	5,31	6,17	7,68	7,93	9,02

alfa (tercios)	Muestra	0,15	0,32	0,53	0,63	0,86	1,01	1,31	1,32	1,45
-----------------------	---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
-------------	------------	--------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

TR30	Cámara Vacía	9,02	8,02	7,07	6,46	5,81	5,04	4,07	3,11	2,48
	Cámara Muestra	3,60	3,44	3,33	3,18	3,01	2,79	2,46	2,05	1,75

Coef. Atenuación Sonora (m₁):		0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000029	0,000038	0,000050	0,000070
Coef. Atenuación Sonora (m₂):		0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000029	0,000038	0,000050	0,000070

Absorción	Cámara Vacía	3,75	4,21	4,77	5,20	5,96	6,87	8,50	11,14	13,95
	Cámara Muestra	9,56	9,98	10,27	10,76	11,52	12,44	14,07	16,88	19,74

alfa (tercios)	Muestra	1,45	1,44	1,38	1,39	1,39	1,39	1,39	1,44	1,45
-----------------------	---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



Información General:

Temperatura (°C): 24,00 °C
 Humedad Relativa (%): 72,00 %
 Volumen de Cámara Rever: 217,00 m³
 Superficie de Muestra (m²): 6,00 m²
 Vel. Propag Sonido en Aire: 345,40 m/s

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
-------------	------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

TR30	Cámara Vacía	19,43	19,82	18,81	19,24	18,38	16,18	14,02	12,73	10,49
	Cámara Muestra	12,59	9,97	7,19	6,43	5,55	4,61	3,94	3,76	3,39

Coef. Atenuación Sonora (m ₁):	0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,00024	0,00036	0,00052	0,00071	0,00093	0,00093
Coef. Atenuación Sonora (m ₂):	0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,00024	0,00036	0,00052	0,00071	0,00093	0,00093

Absorción	Cámara Vacía	1,75	1,69	1,76	1,66	1,87	2,12	2,43	2,67	3,23
	Cámara Muestra	2,72	3,42	4,74	5,26	6,24	7,51	8,77	9,19	10,16

alfa (tercios)	Muestra	0,16	0,29	0,50	0,60	0,73	0,90	1,06	1,09	1,15
----------------	---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
-------------	------------	--------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

TR30	Cámara Vacía	9,02	8,02	7,07	6,46	5,81	5,04	4,07	3,11	2,48
	Cámara Muestra	3,17	3,04	2,88	2,77	2,59	2,42	2,17	1,84	1,58

Coef. Atenuación Sonora (m ₁):	0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,00024	0,00029	0,00038	0,00050	0,00070	0,00070
Coef. Atenuación Sonora (m ₂):	0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,00024	0,00029	0,00038	0,00050	0,00070	0,00070

Absorción	Cámara Vacía	3,75	4,21	4,77	5,20	5,96	6,87	8,50	11,14	13,95
	Cámara Muestra	10,85	11,30	11,90	12,39	13,41	14,35	16,01	18,83	21,93

alfa (tercios)	Muestra	1,18	1,18	1,19	1,20	1,24	1,25	1,25	1,28	1,33
----------------	---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



Información General:

Temperatura (°C): 24.00 °C
 Humedad Relativa (%): 72.00 %
 Volumen de Cámara Rever: 217.00 m³
 Superficie de Muestra (m²): 12.00 m²
 Vel. Propag Sonido en Aire: 345.40 m/s

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
-------------	------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

TR30	Cámara Vacía	19,43	19,82	18,81	19,24	18,38	16,18	14,02	12,73	10,49
	Cámara Muestra	9,07	7,67	4,79	4,55	3,43	2,99	2,60	2,32	2,11

Coef. Atenuación Sonora (m ₁):	0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,00024	0,00036	0,00052	0,00071	0,00093	0,00093
Coef. Atenuación Sonora (m ₂):	0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,00024	0,00036	0,00052	0,00071	0,00093	0,00093

Absorción	Cámara Vacía	1,75	1,69	1,76	1,66	1,87	2,12	2,43	2,67	3,23
	Cámara Muestra	3,79	4,47	7,16	7,49	10,11	11,60	13,34	14,91	16,36

alfa (tercios)	Muestra	0,17	0,23	0,45	0,49	0,69	0,79	0,91	1,02	1,09
----------------	---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
-------------	------------	--------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

TR30	Cámara Vacía	9,02	8,02	7,07	6,46	5,81	5,04	4,07	3,11	2,48
	Cámara Muestra	2,06	2,00	1,87	1,81	1,72	1,65	1,51	1,34	1,21

Coef. Atenuación Sonora (m ₁):	0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,00024	0,00038	0,00050	0,00070	0,00070	0,00070
Coef. Atenuación Sonora (m ₂):	0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,00024	0,00038	0,00050	0,00070	0,00070	0,00070

Absorción	Cámara Vacía	3,75	4,21	4,77	5,20	5,96	6,87	8,50	11,14	13,95
	Cámara Muestra	16,80	17,28	18,48	19,04	20,23	21,00	22,93	25,92	28,65

alfa (tercios)	Muestra	1,09	1,09	1,14	1,15	1,19	1,18	1,20	1,23	1,23
----------------	---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



Información General:

Temperatura (°C): 24,00 °C
 Humedad Relativa (%): 72,00 %
 Volumen de Cámara Rever: 217,00 m³
 Superficie de Muestra (m²): 20,00 m²
 Vel. Propag. Sonido en Aire: 345,40 m/s

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
-------------	------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

TR30	Cámara Vacía	19,43	19,82	18,81	19,24	18,38	16,18	14,02	12,73	10,49
	Cámara Muestra	5,34	4,92	3,08	2,49	2,37	1,83	1,66	1,52	1,40

Coef. Atenuación Sonora (m₁):	0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,00024	0,00036	0,00052	0,00071	0,00093	0,00093
Coef. Atenuación Sonora (m₂):	0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,00024	0,00036	0,00052	0,00071	0,00093	0,00093

Absorción	Cámara Vacía	1,75	1,69	1,76	1,66	1,87	2,12	2,43	2,67	3,23
	Cámara Muestra	6,46	7,01	11,17	13,83	14,62	18,96	20,95	22,81	24,71

alfa (tercios)	Muestra	0,24	0,27	0,47	0,61	0,64	0,84	0,93	1,01	1,07
-----------------------	---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
-------------	------------	--------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

TR30	Cámara Vacía	9,02	8,02	7,07	6,46	5,81	5,04	4,07	3,11	2,48
	Cámara Muestra	1,34	1,31	1,28	1,22	1,13	1,12	1,07	0,97	0,88

Coef. Atenuación Sonora (m₁):	0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,00024	0,00029	0,00038	0,00050	0,00070	0,00070
Coef. Atenuación Sonora (m₂):	0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,00024	0,00029	0,00038	0,00050	0,00070	0,00070

Absorción	Cámara Vacía	3,75	4,21	4,77	5,20	5,96	6,87	8,50	11,14	13,95
	Cámara Muestra	25,86	26,35	27,09	28,29	30,78	31,12	32,37	35,74	39,26

alfa (tercios)	Muestra	1,11	1,11	1,12	1,15	1,24	1,21	1,19	1,23	1,27
-----------------------	---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN

Información General:

Temperatura (°C): 25,00 °C
 Humedad Relativa (%): 72,00 %
 Volumen de Cámara Rever: 217,00 m³
 Superficie de Muestra (m²): 1,40 m²
 Vel. Propag. Sonido en Aire: 346,00 m/s

TABLAS DE CÁLCULO DE COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ONORA: LÁMINADO DE PARTÍCULAS DE CORCHO

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
TR30	Cámara Vacía	19,43	19,82	18,81	19,24	18,38	16,18	14,02	12,73	10,49
	Cámara Muestra	20,72	21,28	19,06	19,18	18,43	15,87	13,82	11,99	9,99
Coef. Atenuación Sonora (m₁):		0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093
Coef. Atenuación Sonora (m₂):		0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093
Absorción	Cámara Vacía	1,75	1,69	1,75	1,66	1,87	2,11	2,43	2,66	3,23
	Cámara Muestra	1,64	1,57	1,73	1,67	1,86	2,15	2,46	2,83	3,39
alfa (tercios)	Muestra	-0,08	-0,09	-0,02	0,00	-0,00	0,03	0,03	0,12	0,12
Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
TR30	Cámara Vacía	9,02	8,02	7,07	6,46	5,81	5,04	4,07	3,11	2,48
	Cámara Muestra	8,33	7,30	6,51	5,84	5,19	4,45	3,65	2,80	2,25
Coef. Atenuación Sonora (m₁):		0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000029	0,000038	0,000050	0,000070
Coef. Atenuación Sonora (m₂):		0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000029	0,000038	0,000050	0,000070
Absorción	Cámara Vacía	3,74	4,20	4,76	5,19	5,95	6,86	8,49	11,12	13,92
	Cámara Muestra	4,06	4,63	5,18	5,77	6,67	7,77	9,48	12,36	15,32
alfa (tercios)	Muestra	0,23	0,30	0,30	0,41	0,52	0,65	0,71	0,89	1,00



Información General:

Temperatura (°C): 25,00 °C
 Humedad Relativa (%): 72,00 %
 Volumen de Cámara Rever: 217,00 m³
 Superficie de Muestra (m²): 2,60 m²
 Vel. Propag Sonido en Aire: 346,00 m/s

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
-------------	------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

TR30	Cámara Vacía	19,43	19,82	18,81	19,24	18,38	16,18	14,02	12,73	10,49
	Cámara Muestra	21,01	21,22	18,82	19,04	18,60	16,05	13,81	11,99	10,03

Coef. Atenuación Sonora (m ₁):		0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093
	Coef. Atenuación Sonora (m ₂):	0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093

Absorción	Cámara Vacía	1,75	1,69	1,75	1,66	1,87	2,11	2,43	2,66	3,23
	Cámara Muestra	1,61	1,58	1,75	1,68	1,84	2,13	2,47	2,83	3,38

alfa (tercios)	Muestra	-0,05	-0,04	-0,00	0,01	-0,01	0,01	0,01	0,06	0,06
----------------	---------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	------	------

Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
-------------	------------	--------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

TR30	Cámara Vacía	9,02	8,02	7,07	6,46	5,81	5,04	4,07	3,11	2,48
	Cámara Muestra	8,36	7,18	6,29	5,60	4,90	4,20	3,40	2,63	2,13

Coef. Atenuación Sonora (m ₁):		0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000029	0,000038	0,000050	0,000070
	Coef. Atenuación Sonora (m ₂):	0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000029	0,000038	0,000050	0,000070

Absorción	Cámara Vacía	3,74	4,20	4,76	5,19	5,95	6,86	8,49	11,12	13,92
	Cámara Muestra	4,04	4,71	5,37	6,02	7,06	8,22	10,18	13,15	16,24

alfa (tercios)	Muestra	0,12	0,19	0,23	0,32	0,43	0,52	0,65	0,78	0,89
----------------	---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



Información General:

Temperatura (°C): 25,00 °C
 Humedad Relativa (%): 72,00 %
 Volumen de Cámara Rever: 217,00 m³
 Superficie de Muestra (m²): 4,00 m²
 Vel. Propag. Sonido en Aire: 346,00 m/s

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
TR30	Cámara Vacía	19,43	19,82	18,81	19,24	18,38	16,18	14,02	12,73	10,49
	Cámara Muestra	21,37	20,93	19,02	18,58	18,08	15,42	12,82	11,22	9,30
Coef. Atenuación Sonora (m₁):		0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093
Coef. Atenuación Sonora (m₂):		0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093
Absorción	Cámara Vacía	1,75	1,69	1,75	1,66	1,87	2,11	2,43	2,66	3,23
	Cámara Muestra	1,58	1,60	1,73	1,73	1,90	2,22	2,66	3,03	3,65
alfa (tercios)	Muestra	-0,04	-0,02	-0,01	0,02	0,01	0,03	0,06	0,09	0,11
Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
TR30	Cámara Vacía	9,02	8,02	7,07	6,46	5,81	5,04	4,07	3,11	2,48
	Cámara Muestra	7,87	6,88	6,07	5,44	4,76	3,99	3,23	2,49	2,08
Coef. Atenuación Sonora (m₁):		0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000029	0,000038	0,000050	0,000070
Coef. Atenuación Sonora (m₂):		0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000029	0,000038	0,000050	0,000070
Absorción	Cámara Vacía	3,74	4,20	4,76	5,19	5,95	6,86	8,49	11,12	13,92
	Cámara Muestra	4,30	4,92	5,57	6,20	7,26	8,67	10,71	13,86	16,61
alfa (tercios)	Muestra	0,14	0,18	0,20	0,25	0,33	0,45	0,56	0,68	0,67



Información General:

Temperatura (°C): 25,00 °C
 Humedad Relativa (%): 72,00 %
 Volumen de Cámara Rever: 217,00 m³
 Superficie de Muestra (m²): 12,00 m²
 Vel. Propag. Sonido en Aire: 346,00 m/s

Descripción	Frecuencia	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
TR30	Cámara Vacía	19,43	19,82	18,81	19,24	18,38	16,18	14,02	12,73	10,49
	Cámara Muestra	20,11	20,53	17,99	17,00	16,22	13,99	11,32	9,71	8,04
Coef. Atenuación Sonora (m₁):		0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093
Coef. Atenuación Sonora (m₂):		0,000044	0,000068	0,000106	0,000163	0,000024	0,000036	0,000052	0,000071	0,000093
Absorción	Cámara Vacía	1,75	1,69	1,75	1,66	1,87	2,11	2,43	2,66	3,23
	Cámara Muestra	1,69	1,63	1,84	1,90	2,12	2,45	3,02	3,51	4,23
alfa (tercios)	Muestra	-0,00	-0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08
Descripción	Frecuencia	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz
	Cámara Vacía	9,02	8,02	7,07	6,46	5,81	5,04	4,07	3,11	2,48
Cámara Muestra	6,75	5,82	5,02	4,36	3,68	3,01	2,36	1,87	1,62	
Coef. Atenuación Sonora (m₁):		0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000024	0,000029	0,000038	0,000070
Coef. Atenuación Sonora (m₂):		0,000117	0,000143	0,000169	0,000200	0,000024	0,000024	0,000029	0,000038	0,000070
Absorción	Cámara Vacía	3,74	4,20	4,76	5,19	5,95	6,86	8,49	11,12	13,92
	Cámara Muestra	5,03	5,84	6,76	7,78	9,42	11,49	14,65	18,49	21,28
alfa (tercios)	Muestra	0,11	0,14	0,17	0,22	0,29	0,39	0,51	0,61	0,61

TABLAS DE COEFICIENTES DE ATENUACIÓN NORMA ISO - 9613 - 1

Tabla 1. Coeficientes de atenuación por absorción atmosférica de tono puro, en decibeles por kilómetro, en una presión de aire de una atmósfera estándar (101, 325 kPa)

Frecuencia preferida Hz	Temperatura del aire: 25 °C										
	Humedad relativa, %										
	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	2,62 x 10 ⁻¹	1,97 x 10 ⁻¹	1,56 x 10 ⁻¹	1,09 x 10 ⁻¹	8,30 x 10 ⁻²	6,71 x 10 ⁻²	5,63 x 10 ⁻²	4,85 x 10 ⁻²	4,26 x 10 ⁻²	3,79 x 10 ⁻²	3,42 x 10 ⁻²
63	3,74 x 10 ⁻¹	2,95 x 10 ⁻¹	2,38 x 10 ⁻¹	1,69 x 10 ⁻¹	1,30 x 10 ⁻¹	1,06 x 10 ⁻¹	8,88 x 10 ⁻²	7,65 x 10 ⁻²	6,73 x 10 ⁻²	6,00 x 10 ⁻²	5,41 x 10 ⁻²
80	5,15x 10 ⁻¹	4,29 x 10 ⁻¹	3,57 x 10 ⁻¹	2,61 x 10 ⁻¹	2,03 x 10 ⁻¹	1,66 x 10 ⁻¹	1,40x 10 ⁻¹	1,21 x 10 ⁻¹	1,06 x 10 ⁻¹	9,48 x 10 ⁻²	8,58 x 10 ⁻²
100	6,81 x 10 ⁻¹	6,04 x 10 ⁻¹	5,23 x 10 ⁻¹	3,97 x 10 ⁻¹	3,14 x 10 ⁻¹	2,58 x 10 ⁻¹	2,19x10 ⁻¹	1,90x 10 ⁻¹	1,67 x 10 ⁻¹	1,49 x 10 ⁻¹	1,35 x 10 ⁻¹
125	8,67 x 10 ⁻¹	8,16 x 10 ⁻¹	7,40 x 10 ⁻¹	5,91 x 10 ⁻¹	4,79 x 10 ⁻¹	3,99 x 10 ⁻¹	3,40 x 10 ⁻¹	2,96 x 10 ⁻¹	2,62 x 10 ⁻¹	2,35 x 10 ⁻¹	2,13 x 10 ⁻¹
160	1,07	1,06	1,01	8,66 x 10 ⁻¹	7,17x10 ⁻¹	6,08 x 10 ⁻¹	5,25 x 10 ⁻¹	4,60 x 10 ⁻¹	4,09 x 10 ⁻¹	3,67 x 10 ⁻¹	3,33 x 10 ⁻¹
200	1,31	1,32	1,31	1,20	1,05	9,09 x 10 ⁻¹	7,97 x 10 ⁻¹	7,06 x 10 ⁻¹	6,31 x 10 ⁻¹	5,70 x 10 ⁻¹	5,20 x 10 ⁻¹
250	1,61	1,60	1,84	1,60	1,47	1,32	1,18	1,06	9,63 x 10 ⁻¹	8,76 x 10 ⁻¹	8,03 x 10 ⁻¹
315	2,02	1,93	1,99	2,05	1,99	1,86	1,71	1,57	1,44	1,32	1,22
400	2,63	2,35	2,38	2,53	2,57	2,51	2,38	2,24	2,10	1,96	1,83
500	3,66	2,92	2,86	3,04	3,19	3,23	3,18	3,08	2,95	2,80	2,66
630	5,00	3,78	3,50	3,61	3,84	4,00	4,06	4,05	3,97	3,86	3,73
800	7,24	5,09	4,44	4,31	4,55	4,60	4,99	5,09	5,12	5,09	5,02
1 000	1,07 x 10	7,13	5,87	5,27	5,39	5,68	5,96	6,19	6,35	6,44	6,47
1 250	1,61 x 10	1,03 x 10	8,09	6,68	6,52	6,73	7,04	7,35	7,62	7,84	8,00
1 600	2,43 x 10	1,53 x 10	1,16x 10	8,85	8,16	8,14	8,36	8,68	9,01	9,33	9,61
2 000	3,66 x 10	2,30 x 10	1,70 x 10	1,22 x 10	1,07 x 10	1,02 x 10	1,02 x 10	1,04 x 10	1,07 x 10	1,10x 10	1,14 x 10
2 500	5,42 x 10	3,49 x 10	2,55 x 10	1,75 x 10	1,45 x 10	1,33 x 10	1,28 x 10	1,28x 10	1,29 x 10	1,32 x 10	1,35x 10
3 150	7,86 x 10	5,29 x 10	3,86 x 10	2,58 x 10	2,06 x 10	1,81 x 10	1,69 x 10	1,63 x 10	1,62 x 10	1,62 x 10	1,64 x 10
4 000	1,10 x 10 ²	7,94 x 10	5,88 x 10	3,88 x 10	3,01 x 10	2,57 x 10	2,32 x 10	2,19 x 10	2,11 x 10	2,08 x 10	2,06 x 10
5 000	1,49 x 10 ²	1,17 x 10 ²	8,91 x 10	5,90 x 10	4,50 x 10	3,76 x 10	3,32 x 10	3,05 x 10	2,88 x 10	2,77 x 10	2,71 x 10
6 300	1,91 x 10 ²	1,68 x 10 ²	1,33 x 10 ²	9,00 x 10	6,83 x 10	5,62 x 10	4,88 x 10	4,41x 10	4,08 x 10	3,86 x 10	3,71 x 10
8 000	2,33 x 10 ²	2,32 x 10 ²	1,96 x 10 ²	1,37 x 10 ²	1,04 x 10 ²	8,64 x 10	7,34 x 10	6,64 x 10	5,98 x 10	5,58 x 10	5,28 x 10
10 000	2,74 x 10 ²	3,06 x 10 ²	2,79 x 10 ²	2,07 x 10 ²	1,60 x 10 ²	1,31 x 10 ²	1,12 x 10 ²	9,89 x 10	8,96 x 10	8,28 x 10	7,76 x 10

Tabla 1. (Continuación)